FUNKTIONSPRAKSIS FOR AFLØBSSYSTEMER UNDER REGN

Baggrundsrapport for Skrift Nr. 27

DANVA
Dansk Vand- og Spildevandsforening

Forord **5**

Kapitel 1. Indledning og baggrund **6**

Kapitel 2. Perspektiver og principper **7**

2.1 Nuværende praksis 7

2.2 Funktionskrav 7

2.3 Beregninger 9

2.4 Beregningsniveauer 10

2.5 Usikkerhed 11

2.6 Forvaltning og forslag 12

2.7 X-købings funktionspraksis 12

Kapitel 3. Nuværende funktionspraksis **13**

3.1 Lærebogsmateriale 13

3.2 Spildevandskomitéens skrifter 14

3.3 Eksempler på dimensioneringspraksis 15
3.3.1 Aalborg 15
3.3.2 Hvidovre 15
3.3.3 Københavns Kommune - Ørestaden 16
3.3.4 Sammenfatning af eksempler 17

3.4 CEN-standard: DS/EN 752-4 (1. udgave, godkendt: 1996-12-20) 17
3.4.1 Forslag til mindste gentagelsesperiode i CEN-standard 18

3.5 Svensk anvisning til dimensionering af afløbssystemer, P90 19
3.5.1 Definition af kritisk kote 20
3.5.2 Foreslåede svenske krav 21

3.6 Forsikringsskader 22

3.7 Aalborg undersøgelse af anmeldelser af opstuvning i kældre 24

3.8 Sammenfatning 25

Kapitel 4. Funktionskrav **27**

4.1 Funktionskravenes afgrænsning 27
4.1.1 Valg af serviceniveau 28
4.1.2 Krav til dimensionering 28
4.1.3 Krav til drift 29
4.1.4 Samspillet mellem dimensionering og drift 29

4.2 Interessenterne 29
4.2.1 Den enkelte husstand 30
4.2.2 Særlige interessenter 30
4.2.3 De kommunale politikere 30
4.2.4 Kloakforsyningen 31

4.2.5 EU 31
4.2.6 Identifikation af modstridigheder 31

4.3 De grundlæggende værdier 31
4.3.1 De etiske principper 32
4.3.2 Opstuvning som værdimål 33
4.3.3 Det statiske/dynamiske værdimål 33
4.3.4 Nuværende service 33
4.3.5 Udnyttelse af den eksisterende kapacitet 34
4.3.6 Optimering 34
4.3.7 Kombineret optimering og minimumskrav 36
4.3.8 Principper og begrænsning for kravfastsættelse 36
4.3.9 Ligelighed 37
4.3.10 Oplyst samtykke 37

4.4 Arealanvendelse og krav 38
4.4.1 Kategorier af arealanvendelse 38

4.5 Konkret formulering af krav 40
4.5.1 Minimumskrav 40
4.5.2 Skærpede krav 40
4.5.3 Planperiode 40

4.6 Kommunikation af funktionsniveau 40
4.6.1 Den enkelte husstand 40
4.6.2 Det offentlige rum 41

4.7 Privatøkonomisk kontra samfundsøkonomisk fortolkning 41

4.8 Eksempler 43
4.8.1 Sammenfatning af eksempler 44
4.8.2 Privatøkonomisk afvejning 44

Kapitel 5. Beregninger 46

5.1. Beregningernes funktion 46
5.1.1 Målsætning 47
5.1.2 Minimumskrav 47
5.1.3 Skærpede krav 47
5.1.4 Optimering 48
5.1.5 Beregninger - præsentation 49
5.1.6 Princip for valg af beregningsniveau 50

5.2 De 3 beregningsniveauer 51
5.2.1 Beregningsniveau 1 51
5.2.2 Beregningsniveau 2 53
5.2.3 Beregningsniveau 3 56
5.2.4 Diskussion. 58

5.3. Anvendelse af beregningsniveauer 61
5.3.1 Anvendelsesområder 61

5.4. Kalibrering 63
5.4.1 Det grundliggende princip 63
5.4.2 Målinger 63
5.4.3 Udførelse af kalibrering. 64

5.5 Beregninger og formidling af resultater 66
5.5.1 Opfyldelse af minimumskrav 66
5.5.2 Beregninger i forbindelse med optimering 69

6. Sikkerhedstillæg 74

6.1 Usikkerhed 75
6.1.1 Terminologi 75
6.1.2 Usikkerhedens placering 75
6.1.3 Typen af usikkerhed 76
6.1.4 Usikkerhedens natur 77

6.2 Kvantificering af usikkerhed 78
6.2.1 Statistisk usikkerhed 78
6.2.2 Scenarieusikkerhed 78
6.2.3 Brug af sikkerhedsfaktorer 79
6.2.4 Reduktion af usikkerhed 79
6.2.5 Erkendelse af uvidenhed 80

6.3 Usikkerhedsanalyse for beregningsniveau 1 81
6.3.1 Første ordens usikkerhedsanalyse og beregning af sikkerhedsfaktoren s 81
6.3.2 Beregningseksempel 82

6.4 Usikkerhedsanalyse for beregningsniveau 2 83
6.4.1 Monte Carlo simulering og beregning af sikkerhedsfaktoren s 83
6.4.2 Beregningseksempel 84

6.5 Valg af sikkerhedsfaktor på tilstrømningen 87

Kapitel 7. Kommunal administrativ praksis 88

7.1 Planlægning og udførelse af kommunale afløbssystemer 88
7.1.1 Det planlægningsmæssige hierarki 88
7.1.2 Spildevandsplanen og sammenhæng med øvrige planer 89
7.1.3 Krav til offentliggørelse 90

7.2 Krav til afløbssystemet 90
7.2.1 Borgerens tilslutningspligt/ret 91
7.2.2 Afledning af spildevand 91
7.2.3 Regulering af tilstrømningen til kloak 92
7.2.4 Kommunens fastsættelse af funktionskrav 92
7.2.5 Erstatningsansvar ved oversvømmelse 93

7.3 Kommunens forpligtelse 94

7.4 Grundejerens forpligtelse 97

7.5 Tjeklisten 98

7.6 Kommunens dokumentation af en ekstrem hændelse 99
7.6.1 Kontrolregel for overskridelse af funktionskrav 100
7.6.2 Analyse af afstrømningshændelsen 101

7.7 Sammenfatning af kommunens administrative praksis 102

8. X-købings funktionspraksis – et eksempel 104

8.1 X-købings afløbssystem 104
8.1.1 Nuværende funktionspraksis 104
8.1.2 Oplandene 104

8.2 Plangrundlaget 106
8.2.1 Planlægning af ændring af afløbssystemets funktion 107
8.2.2 Opstilling af funktionskrav 107
8.2.3 Det valgte serviceniveau 110
8.2.4 Usikkerheder 111
8.2.5 Økonomisk konsekvens ved brug af sikkerhedsfaktorer 113
8.2.6 Beregning med sikkerhedsfaktorer 114

8.3 Beregningerne 115

8.4 Strategi for fornyelse 115

8.5 Opfølgning 116
8.5.1 Dokumentation af ekstremhændelse 116

Referencer 117

Udgiver	**DANVA** Dansk Vand- og Spildevandsforening Vandhuset Danmarksvej 26 8660 Skanderborg
Udgivelsesår	**2005**
Titel	**Funktionspraksis for afløbssystemer under regn** Baggrundsrapport for Skrift nr. 27 DANVA vejledning nr. 67
ISBN	**87-90455-53-3**
Distribution	Rapporten kan downloades på www.danva.dk eller købes på Sekretariatet. Bestillinger sendes til: danva@danva.dk
Pris	**200,- kr. eksl. moms**

Forord

Denne rapport udgør den detaljerede del af et samlet produkt, som omfatter nærværende rapport og et skrift (Skrift 27, IDA Spildevandskomitéen). I rapporten er der redegjort for de forhold, som har motiveret de beslutninger, der ligger til grund for skriftet.

Baggrunden for udarbejdelsen af rapporten og skriftet var et behov for at få formuleret en fælles national funktionspraksis for afløbssystemer under regn, som kunne få konsensus inden for området og derved udgøre moderne sædvanlig praksis.

Behovet for en fælles national praksis opstod i lyset af en ny CEN-standard DS/EN 752: ”Drain and sewer systems outside buildings”, som skabte en del usikkerhed i branchen. En juridisk undersøgelse i denne forbindelse vurderede, at en fælles dansk praksis, som er fulgt af mange kommuner, vil veje tungere end de standarder af vejledende karakter, der er indeholdt i DS/EN 752.

Der er i rapporten lagt vægt på de juridiske aspekter, de forvaltningsmæssige principper og praksis i relation til danske traditioner for planlægning og relation til borgerne, samt de teknisk forvaltningsmæssige forhold, som styrer teknikken. I tilknytning hertil kommer så de teknisk faglige forhold af betydning for vurdering og fastsættelse af funktionskrav.

De juridiske forhold har været fremlagt til kommentering på et tidligt tidspunkt, fordi de blev opfattet som rammen for fortolkning af relationen til den CEN-norm, som har foranlediget projektet.

Arbejdet er udført i et samarbejde mellem DANVA og Spildevandskomiteen (IDA). PH-consult har været konsulent på opgaven, og advokat Søren Stenderup Jensen (Advokatfirmaet Plesner) har været tilknyttet projektet som juridisk sagkyndig.

Der har været afholdt to ERFA-dage med repræsentanter fra kommuner, rådgiverbranchen, universiteter og Miljøstyrelsen for at sikre størst mulig åbenhed omkring projektet og herigennem skabe forudsætninger for en bredt accepteret funktionspraksis.

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

Styregruppen vil gerne takke alle de, som har bidraget til processen.

Skanderborg, september 2005

Kapitel 1. Indledning og baggrund

Væsentlige funktioner ved afløbssystemer er at undgå oversvømmelser i byer og undgå forurening af recipienter fra afløbssystemets overløb. Det er dog ikke muligt helt at undgå hverken oversvømmelser eller overløb i forbindelse med kraftige regnskyl.

Inden for afløbsteknikken er der en lang tradition for dimensionering af afløbssystemer under hensyntagen til kraftige regnskyl. Den er opbygget gennem tiderne af de involverede teknikere, og det har medført, at der ikke eksisterer nogen lovmæssige reguleringer inden for området ledningsdimensionering - udelukkende sædvanlig praksis. I dag afgøres enhver tvist om skader, der skyldes opstigende kloakvand, således næsten altid efter culpareglen, dvs. retten afgør i hvert enkelt tilfælde, om der er handlet forsvarligt.

Foranlediget af en ny CEN standard DS/EN752: ”Drain and sewer systems outside buildings”, som skabte en del usikkerhed blandt fagfolk, gennemførte DANVA (dengang DANAS) og Spildevandskomitéen(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 blev 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 national funktionspraksis for afløbssystemer under regn, som kan få konsensus inden for 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 inden for 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 projektet var derfor at udarbejde en dokumenteret anbefaling til et rummeligt og fleksibelt dimensioneringskoncept, som beskriver funktionskrav til afløbssystemet, og som kan accepteres af det store flertal af kommuner: en funktionspraksis som dermed kan opnå status som en moderne sædvanlig praksis.

Kapitel 2. Perspektiver og principper

2.1 Nuværende praksis

Udgangspunktet for vurdering af funktionskrav har været at identificere den praksis, som hidtil har ligget til grund for projektering af afløbssystemer i Danmark. Det omfatter en redegørelse for gældende praksis, således som den kan beskrives i gamle og nye lærebøger, og i aktuelle artikler eller rapporter om gennemførte projekter (f.eks. projektering af afstrømning i Aalborg, på Amager og i Hvidovre). Indholdet i CEN-normen og den seneste rapport fra Sverige vil blive beskrevet. Desuden redegøres for en undersøgelse af alarmeringer i forbindelse med opstuvninger i Aalborg, samt en redegørelse for oplysninger fra danske forsikringsselskaber, som tyder på, at der er ca. 10.000 skader i Danmark pr. år, som gennemsnitligt giver en erstatning på 10.000 pr. skade, i alt 100 mill. kr./år for det danske samfund.

Opstuvning og skader fra kloakker er et minoritetsproblem af forskellig størrelse. Valg af gentagelsesperiode for opstuvning afhænger af de lokale forhold, f.eks. om der er tale om enkelte huse med kælder, som kun giver anledning til sædvanlig gentagelsesperiode (hvert andet år), eller om der er tale om større områder, som omfatter hele grundejerforeninger, hvor gentagelsesperioden vælges større. Det kan også være afgørende, om der er tale om nyprojektering eller fornyelse af afløbssystemet, hvor tendensen er, at man ved nyprojektering kan fastsætte længere gentagelsesperiode ud fra en økonomisk overvejelse; se Spildevandskomitéens skrift nr. 23.
.

Det er erfaringerne fra nuværende praksis og den konstaterede udvikling i metoder og hensyn, som ligger til grund for valget af funktionskrav.

2.2 Funktionskrav

Det anses for vigtigt, at de tekniske forhold ikke kun behandles i en snæver teknisk sammenhæng, men ses i lyset af denne større helhed. Derfor indeholder kapitel 4 om funktionskrav, en redegørelse med overordnede perspektiver for de principper, som ligger til grund for fastsættelse af krav. Dette er helt centralt, og udfordrer til stillingtagen til helt afgørende beslutninger, som:

- *Skal det være realiteten: oversvømmelse, frem for et beregningsresultat for fuldtløbende ledning eller opstuvning, som skal danne grundlag for opstillingen af funktionskrav?*

  Dette er besvaret med et klart svar: Det er den faktisk oplevede oversvømmelse, som kommer borgeren ved, ikke en fremmedgørende beregningsteknik. Dette valg har konsekvenser for formulering af kravene og for den rolle, som beregninger vil spille.

- *Hvad er forholdet mellem økonomisk optimering og borgernes krav til funktionen?*

  Dette har ført til den opfattelse, at minimumskrav og økonomisk optimering er kombinerede hensyn. Et minimumskrav opfattes som et ufravigeligt krav. Det

opfattes således som borgerens ret at blive betjent svarende til et givent serviceniveau. En økonomisk optimeringsberegning kan benyttes som begrundelse for at øge serviceniveauet i forhold til minimumskravet.

- *Skal økonomisk optimering foretages som en "samfundsøkonomisk" opstilling (alle omkostninger inddrages, uanset hvem der oplever omkostningen)?*

  I modsætning hertil står en "sektorøkonomisk" opstilling, som kunne opstilles for kloakforsyningen ensidigt, borgeren ensidigt eller forsikringsselskaberne ensidigt. Det er valgt at tage udgangspunkt i en "velfærdsøkonomisk" opstilling for så vidt angår samfundet som helhed, som tilstræber at balancere samfundets samlede omkostninger ved skade samt ved investering og drift; medens det bliver en "privatøkonomisk" opstilling, hvorvidt den enkelte borger ønsker at opnå større højvandsbeskyttelse end foreslået.

- *Hvem er den egentlige beslutningstager?*

  Det er i følge CEN-normen "den relevante myndighed", som i denne sammenhæng og i overensstemmelse med dansk forvaltningspraksis er kommunalbestyrelsen. Denne rapport har ikke retskraft til at fastlægge funktionskravet for den enkelte kommune. Derfor tjener rapporten kun som oplæg til og rationelt grundlag for kommunens egen beslutning. I mangel af en klar udmelding fra den relevante myndighed kunne CEN-normen få retskraft ved retsafgørelser, såfremt denne rapport og det tilhørende skrift ikke fastlagde grundlaget for en dansk praksis. Det er hensigten, at denne rapport/dette skrift skal overtage denne rolle som udtryk for en dansk praksis, der kan henvises til i tvivlstilfælde.

I tilknytning hertil redegøres for en række forhold, som sammenkobler de forvaltningsmæssige og tekniske forhold, f. eks. i relation til den enkelte borger i kraft af høringer, baseret på princippet om oplyst samtykke. Disse forhold motiverer desuden, f. eks. stillingtagen til hensyn til en borger, som hidtil ikke har oplevet oversvømmelse, som ved mere effektiv dimensionering i forbindelse med fornyelse pludseligt ser gentagelseshyppigheden reduceret fra noget uproblematisk til f. eks. hvert andet år.

Det er alt for hyppigt, at eksperter og specialister, herunder også ingeniører, ser et givent teknisk problem i en meget snæver faglig ramme. Dette kan illustreres med henvisning til CEN-normen, som blot annoncerer en række ret så betydningsfulde tal for gentagelsesperioder (afsnit 3.4), uden anden baggrund end en redegørelse for en række tekniske detaljer, som tilsyneladende er uden betydning for tallene. Tilsvarende kan der refereres til udkastet til den tilsvarende rapport fra Sverige: "P90 Dimensionering av allmänna avloppsledningar", version 7.8.2003. I denne fastsættes tilsvarende tal i kapitel 3, også uden nogen form for kvalificerende redegørelse for valget.

De overordnede principper er af langt større betydning for anvendelsen af rapporten og skriftet end mange af de rent tekniske detaljer. Det har været formålet med denne opstilling at identificere alle interessante forhold af overordnet betydning, som kan have afgørende betydning for fastsættelse og forvaltning af funktionskrav.

De tekniske forhold danner en ramme for fastsættelsen af tekniske krav til funktion, som skal overholdes for, at tingene fungerer i praksis. Rent tekniske betragtninger kan dog ikke fastlægge et serviceniveau, men kan godtgøre, at et valgt niveau kan realiseres inden for rammerne af det teknisk mulige.

Det kan vælges at anlægge økonomiske betragtninger ud fra den rimelige forventning, at beslutningstagere lægger stor vægt på økonomiske forhold. Dette er et erklæret hensyn i kommunalfuldmagten og bør derfor indgå i betragtningerne.

Det er dog uomtvisteligt, at der også kan tages mere grundlæggende hensyn til den service, som borgerne ydes eller modsvarende politikernes ønske om at yde service over et vist niveau. For disse hensyn og ønsker gælder, at de til syvende og sidst er politisk bestemte, men for sådanne hensyn og ønsker kan der primært anlægges en række etiske betragtninger, som kan ligge til grund for de politiske valg.

Mange filosoffer har konstateret, at beslutninger ikke kan træffes på grundlag af kendsgerninger alene, men at der altid indgår holdninger i valget af beslutning.

På dette grundlag og på grundlag af eksemplificerende beregninger vil der blive foreslået en konkret gentagelsesperiode for væsentlige omstændigheder. Det er ikke muligt for et udvalg at overskue alle situationer. Såfremt det skete, ville det kunne skabe grundlag for både irrationelle og uøkonomiske krav i situationer, som ikke svarede til de forudsatte. Det vil fremgå klart, at der er meget store variationer fra et opland til et andet. Derfor foreslås minimumskrav, som en basal ret til service for den enkelte borger. Det vil herunder blive dokumenteret gennem beregninger og skadestatistikker, at funktionskravet vedr. oversvømmelse er en mindretalsbeskyttelse af de relativt få husstande, som er udsatte. For alle andre er der meget større sikkerhed mod oversvømmelse. I relationen mellem minimumskrav og økonomisk optimering bliver det afgørende, om samfundet vil beskytte minoriteten uanset omkostning, eller hvor mange penge man vil ofre på en sådan beskyttelse. Dette spørgsmål er en del af den ultimative stillingtagen, som end ikke er berørt i de ovenfor nævnte kilder, CEN-normen og det svenske udkast.

Ved opstilling af kravene må der skelnes mellem to omstændigheder, afhængigt af retsforholdene. Kommunen kan kun optimere egne funktionskrav, som ikke omfatter begrænsende foranstaltninger på privat grund. Derfor må der skelnes mellem på den ene side: optimering af det kommunale afløbssystem, og på den anden side: den enkelte borgers optimering af egne forhold, såfremt han ikke ønsker at udsættes for oversvømmelse med de gentagelsesperioder, som vil blive valgt som gældende funktionspraksis.

2.3 Beregninger

Det altafgørende princip for fastlæggelse af funktionskrav er, at disse krav baseres på de faktiske forhold; dvs. oversvømmelse som det opleves af de berørte. Den afledte erkendelse er, at beregninger kun er tilnærmelser til virkeligheden, og skal behandles som sådan; en tilnærmelse, som kan være mere eller mindre god. Dette må der tages hensyn til, når det skal sættes i relation til funktionskravet.

På dette grundlag gælder følgende principper: Anvendelse af givne beregningsmetoder kan ikke standardiseres, men skal vælges af kommunen, så det optimalt passer til situationen. Nogle situationer vil kun kræve den simpleste beregningsmetode, som kan give rimelig sikkerhed mod overskridelse af funktionskravet. I modsætning hertil kan vanskelige situationer gøre det berettiget at benytte det mest avancerede, f. eks. den fuldt dynamiske model med tilsvarende modul til beregning af overfladisk afstrømning i tilfælde af opstuvning til terræn.

Det er afgørende ikke at fastlåse anvendelsen til en eller flere metoder. Dette vil vanskeliggøre anvendelse af en metode, som er tilpasset til den aktuelle situation, og som vil kunne give den bedste løsning til overholdelse af det vejledende minimumskrav og/eller finde den billigste løsning. Det skal ikke opfattes således, at rapporten/skriftet favoriserer f. eks. specielt simple metoder (den rationelle metode) eller den mest komplicerede (fuldt dynamiske bølge med overfladeafstrømning på terræn i tilfælde af opstuvning). Det må den enkelte kommune suverænt afgøre i forhold til den aktuelle situation.

Rapporten skal kun illustrere spektret af beregningsmetoder. Dette sker ved at udvælge tre beregningsniveauer, som eksemplificerer tre principielt forskellige tilgange, som frit kan vælges af kommunen.

Det er ikke muligt – og heller ikke ønskeligt, om det var muligt – at lave, en ståbi eller en opskrift på gennemførelse af beregninger. Der foreligger kvalificerede lærebøger og skrifter fra Spildevandskomitéen m.m., som omhyggeligt redegør for beregningsmetoder. Rapporten/skriftet skal redegøre for principperne på en måde, så de kan anvendes af en kvalificeret afløbstekniker.

2.4 Beregningsniveauer

De tre beregningsniveauer vil blive illustreret af relevante eksemplificeringer. Det afgørende er at illustrere det karakteristiske ved hver metode og at illustrere i hvilke tilfælde, det kan anbefales at vælge den ene frem for den anden. Dette valg er i det væsentlige bestemt af problemstillingen og af beregningsmetodens usikkerheder.

Beregningsniveau 1: Den simpleste beregningsmetode (den rationelle metode) kan slet ikke beregne opstuvning, kun om vandføringen for en given regn overskrider ledningens kapacitet. Dette er i langt de fleste tilfælde helt uproblematisk, fordi der foreligger generel erfaring for, at der er overskydende sikkerhed mod oversvømmelse, undtagen i særligt udsatte tilfælde (minoritetsproblemet).

Beregningsniveau 2: CDS-regn og den dynamiske bølgeberegning er en forenkling af det tredje niveau. I stedet for at regne på en fuld regnserie, hvilket giver omfattende beregninger, har det i praksis vist sig, at en kombination af alle regn i en CDS-regn kan give resultater, som er en god tilnærmelse til de resultater, man får ved at regne på en fuld regnserie. På dette grundlag er CDS-regnen indført i Spildevandskomitéens skrift nr. 26 som en anbefalelsesværdig, beregningseffektiv mulighed.

Beregningsniveau 3: Den dynamiske bølgeberegning kan beregne oversvømmelse. Denne metode, suppleret med en regnserie, udgør det fagligt højeste beregningsniveau. Denne mulighed står åben, fordi der vil være tilfælde, hvor en sådan

beregning er det eneste sikre grundlag for analyse af et afløbssystem på grund af dets udformning (nedstrøms opstuvning, bassiner, pumpestationer m.m.; se afsnit om beregningsmetoder).

Overgangen mellem et rimeligt valg af den ene metode frem for den anden vil blive illustreret, men det vil ikke ændre ved, at det er kommunens privilegium at vælge metode, som bedst passer til den aktuelle opgave. Der er metodevalgfrihed i forhold til aktuelle situationer.

På tilsvarende måde skal der være metodevalgfrihed inden for hvert beregningsniveau. Der er mange forskellige synspunkter på, hvordan man bedst tilpasser en model (simpel eller kompliceret) til en given situation. De kan ikke alle sammen beskrives i rapporten/skriftet, og metoderne skal i hvert fald ikke standardiseres. I udlandet kan man finde mange skræmmende eksempler på velmente, men misforståede standardiseringer af metoder, som førte til en faglig forringelse af branchen på lidt længere sigt. Det skyldes, at en sådan standardisering oftest bliver den fagligt laveste fællesnævner, til skade for det faglige niveau i branchen, til skade for optimal tilpasning til aktuelle situationer og desuden direkte forhindrende for faglig udvikling.

2.5 Usikkerhed

Erkendelse af, at beregninger kun er tilnærmelser – og at denne tilnærmelse kan være mere eller mindre god – fører til, at det bliver afgørende at forholde sig til de forskellige metoders usikkerhed i den enkelte beregningssituation.

I ingeniørnormer er der tradition for at forholde sig det dette ved at indføre sikkerhedsfaktorer eller partialkoefficienter. Når man bygger et hus, forholder man sig til muligheden for, at huset falder sammen. Ved dimensioneringen benyttes metoder, som er behæftet med usikkerhed. Man benytter materialer, hvis egenskaber er behæftet med usikkerhed. Derfor påføres dimensioneringen sådanne sikkerhedsfaktorer eller partialkoefficienter, at der er en rimelig stor sandsynlighed for at konstruktionen ikke falder sammen i sin levetid.

Tilsvarende gælder det, at de krav, som opstilles i denne rapport/dette skrift, relaterer sig til den skadevoldende begivenhed (oversvømmelse), på samme måde som konstruktøren forholder sig til, at konstruktionen kan bryde sammen. Derfor er det en logisk konsekvens, at beregninger, som kun er tilnærmelser til virkeligheden, påføres sikkerhedsfaktorer/partialkoefficienter, som med rimelighed sikrer mod, at den lovede gentagelsesperiode for oversvømmelse ikke overskrides. Tilsvarende gælder for de anvendte materialers egenskaber. Der bør tages hensyn til afvigelser i disse egenskaber ved at indføre sikkerhedsfaktorer, som modsvarer disse egenskabers usikkerhed, herunder deres opretholdelse ved vedligehold.

Der bør ved enhver beregning foretages et skøn over den forventede usikkerhed, hvormed beregningen tilpasser forholdene i oplandet og simulerer opstuvning i kælder eller til terræn. Beregningsmetoder, som dårligt tilpasser selve opstuvningen, bør tilskrives en større sikkerhedsfaktor end metoder, som i kraft af beregningsprincip kommer tættere på virkeligheden.

Det bør ligeledes belønnes at foretage målinger for at opnå en bedre tilpasning til virkeligheden. Lokal indsats for at tilpasse modellen til den givne situation er den bedste investering i pålidelige forudsigelser af den reelle duelighed af beregnings-metoden. Ukalibrerede metoder og modeller er notorisk upålidelige, trods alskens standardparametre i lærebøger og normerede beregningsbeskrivelser.

2.6 Forvaltning og forslag

De teknisk-økonomiske betragtninger sættes sammen med de forvaltningsmæssige i den endelige konklusion med hensyn til anbefaling til funktionskrav.

2.7 X-købings funktionspraksis

I det afsluttende kapitel eksemplificeres indholdet af denne rapport ved hjælp af en fiktiv by kaldet X-købing. Der gennemgås overordnet, hvorledes det for 3 konkrete oplande i byen gribes an at nydimensionere og forny i overensstemmelse med de principper, som er opstillet i rapporten.

Kapitel 3. Nuværende funktionspraksis

Den nuværende, anvendte funktionspraksis´ oprindelse fortaber sig i forhistorien, som det ikke har været formålet at afdække ved denne lejlighed; men der foreligger let tilgængeligt materiale, som kan danne udgangspunkt for en vurdering af, hvad der er den nuværende praksis, i det omfang en sådan kan fastlægges ud fra en helhedsbetragtning.

3.1 Lærebogsmateriale

Dansk Ingeniørforenings kursusberetning "Kloakering", Teknisk Forlag fra 1968 er en fortsættelse af tilsvarende kursusberetninger: "Moderne kloakteknik" fra 1944 og "Kloakteknik" fra 1950. Her finder man en bemærkelsesværdigt tidssvarende redegørelse for spildevandsmængder, regnrækker, afløbskoefficienter, hydraulisk modstand, minimumsfald, m.m.; samt en redegørelse for den rationelle metode, afløbsdiagrammetoden og en meget læseværdig kvalitativ beskrivelse af ikke-stationære strømme i afløbsledninger under regn. På side 71 i afsnit om "Regnvandsmængder og regnrækker" findes følgende udsagn: "… det er almindeligt at dimensionere kloakledninger - og vel særligt fællessystemer - svarende til n=0,5, hvilket skulle give en overbelastning en gang hvert andet år". I afsnit om "Vandspejlsberegninger" læses følgende: "Eksempelvis dimensioneres et fællessystem ofte ud fra en bestemt regnrække (+ spildevand) svarende til overbelastning en gang hvert andet år, mens regnvandssystemer i separatsystemer dimensioneres ud fra en anden regnrække svarende til overbelastning en gang hvert år. Tankegangen er den, at en overbelastning af et spildevandssystem er mere generende end en overbelastning af et regnvandssystem". Derpå fortsættes med denne perspektivrige bemærkning: "For at få et skøn over den ved dimensionsafrundingen indførte ukendte sikkerhed, vil det være rigtigt at gennemregne systemet, uanset om det er et fællessystem eller et regnvandssystem, med en regnrække svarende til en sjældnere overbelastning". Det skal erindres, at dengang blev vandspejlsberegninger udført i hånden!

I lærebogen "Teknisk Hygiejne - Afløbsteknik" fra 1974 står der på side 156: "Almindelig praksis i Danmark er at dimensionere fællessystemer for intensiteter, som nås eller overskrides én gang hvert andet år (n=½, jvf. kapitel 2), og separate regnvandsledninger for n=1, dvs. overskridelse én gang hvert år." I den seneste udgave af samme bog: "Afløbsteknik" fra 2002 står på side 136-137 under afsnit om "Valg af dimensioneringskriterier" og "Gentagelsesperioder": "Ved dimensionering af afløbssystemer efter regnrækker og den rationelle metode, eller tid-areal metoden, har der været tradition for anvendelse af regnrækken med en gentagelsesperiode på T = 2 år for fællessystemer, og T = 1 år for separatsystemer".

Derpå omtales principperne i samfundsøkonomisk optimering som grundlag for valg af optimal gentagelsesperiode. Endelig omtales den nedenfor omtalte CEN-norm, som introducerer gentagelsesperiode for oversvømmelse som et supplement/alternativ til dimensionering baseret på fuldtløbende ledning.

I den udstrækning, lærebøger kan benyttes som udgangspunkt for en funktionspraksis, kan det konstateres, at "der har været tradition for anvendelse af regnrækken med en gentagelsesperiode på T = 2 år for fællessystemer, og T = 1 år for separatsystemer". Det er desuden almindeligt erkendt, at det er god praksis at benytte

en større handelsdimension end den, beregningen udsiger, og at der heri ligger en skjult sikkerhed af ukendt omfang.

3.2 Spildevandskomitéens skrifter

Der er i tiden siden 1974 udkommet en række skrifter fra Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité, som er af betydning for den aktuelle problemstilling. Det gælder især følgende skrifter:

- Skrift nr. 20: "Undersøgelse af dimensionspraksis for små afløbssystemer", 1982
- Skrift nr. 23: "Tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer", 1985
- Skrift nr. 26: "Regional variation af ekstremregn i Danmark", 1999

Skrift nr. 20 analyserer beregninger af afstrømning i små oplande ved at sammenligne tre principielt forskellige metoder:

- Den rationelle metode
- Den kinematiske bølgemodel
- Den dynamiske bølgemodel

Beregningerne blev baseret på gennemregning af lange regnserier og på beregning af afløb i et stiliseret opland og i et virkeligt opland. For det virkelige opland kunne det konkluderes, at oversvømmelse af terræn (lavning ca. 1 m over top af rør) og af kælder (i laveste niveau ca. 0,5 m over top af rør) på de udsatte steder stort set sker med en gentagelsesperiode, som er øget fra 2 år for fuldtløbende rør til 3-4 år for opstuvning til terræn og kælder. På grund af terrænforholdene i øvrigt var der ikke fare for oversvømmelse nogen andre steder.

Skrift nr. 23 er særdeles relevant for den aktuelle problemstilling.
Det foreslås at benytte den rationelle metode for simple oplande og at benytte en model, som kan simulere opstuvning, når forudsætningerne for den rationelle metode ikke holder stik, og/eller når problemstillingen er kritisk.

Økonomisk optimering beskrives og eksemplificeres. Konklusionen på grundlag af stiliserede oplande, det virkelige opland, samt en analyse fra Odense er, at simple oplande kan dimensioneres uden problemer ved hjælp af den rationelle metode. En analyse af et mere kompliceret opland vil derimod kræve en model, som kan tage hensyn til et mere indviklet system i et gammelt kloaksystem, som indeholder sådanne konstruktioner og afløbsforhold, at forudsætningerne for den rationelle metode slet ikke er gældende. Kort fortalt konkluderes det:

- At beregning af oversvømmelse anbefales udført med historiske regn og edb-program baseret på dynamisk bølgeteori
- At det generelt anbefales at øge den dimensionsgivende gentagelsesperiode for fuldtløbende ledning i fællessystemer fra T = 2 år til T = 5 år
- At der ikke fandtes holdepunkt for at ændre gentagelsesperioden for separate systemer i forhold til en sædvane baseret på T = 1 år

Skrift nr. 26 præsenterer en gennemgribende bearbejdning af data fra Spildevandskomitéens regnmålersystem siden 1979. Resultatet præsenteres som regnrækker

på traditionel måde, som CDS-regn (en aggregeret standardregn, som repræsenterer regn af flere varigheder på en gang) samt som regnserier. Dette er i dag grundlaget for beregninger af afløbssystemer i Danmark. Det principielle er, at regnrækker kan benyttes i forbindelse med den rationelle metode på sædvanlig vis, og at materialet kan benyttes til beregning med dynamisk bølgemodel, enten som standard regn med valgt gentagelsesperiode eller med en regndataserie, hvorved det bliver muligt at beregne statistik på den skadevoldende hændelse, her oversvømmelse, hvilket ikke nødvendigvis er identisk med statistikken for en dimensionsgivende regn.

Med disse skrifter er der åbnet for en anden fremgangsmåde end den traditionelle og for fastsættelse af andre gentagelsesperioder end de traditionelle. Det er uvist, i hvilket omfang sådanne alternative gentagelsesperioder og beregningsmetoder har vundet indpas i praksis. Derfor gennemgås i det følgende nogle få eksempler.

3.3 Eksempler på dimensioneringspraksis

3.3.1 Aalborg

I notat af 23.9.1998: "Dimensionering af offentlige kloakanlæg i Aalborg Kommune" fastslås det: "Den gældende praksis for dimensionering af afløbssystemer bygger på kriteriet om fuldtløbende ledninger én gang pr. år i separatsystemer (spildevand og regnvand afledes i hvert sit rørsystem) og én gang hvert andet år i fællessystemer (spildevand og regnvand i samme rørsystem)”. I afsnittet om kælderoversvømmelser pointeres det, "at gentagelsesperioden er relateret til overskridelse af ledningskapaciteten, og ikke til den skadevoldende begivenhed: Kælderopstuvning eller terrænoversvømmelse". Det anføres, at "hvis gentagelsesperioden øges fra 2 år til 5 år i Aalborg, stiger de samlede kloaksaneringsomkostninger fra 1,35 mia. kr. til ca. 2,0 mia. kr.".

Der henvises desuden til den undersøgelse af opstuvning i kældre i Aalborg, som er omtalt afsnit 3.7. Det fremgår heraf, at problemet med opstuvning i kældre i Aalborg er et mindretalsproblem, som foreslås klaret individuelt med højvandsbeskyttelse.

3.3.2 Hvidovre

I Hvidovre er problemet et andet, fordi oplandet er fladt og oversvømmelse udbredt, når det sker. På grundlag af en indgående analyse af oplandet har kommunen stillet følgende forslag:

Generelt:

- Kældre, der ikke er tilsluttet via en pumpe på ejendommen, skal overholde følgende betingelser:
  - Mindst 30 cm over ledningstop
  - Mindst 30 over overløbskant og
  - Højst 120 cm under terræn

Nyanlagte ledningssystemer:

- Stuvning til terræn må højst forekomme hvert **20. år**
- Fællessystemer
  - Vandstanden må ikke overstige 150 cm under terræn for en gentagelsesperiode på **7 år**
- Separate systemer
  - Vandstanden må ikke overstige 75 cm under terræn for en gentagelsesperiode på **2 år**

Fornyede ledningssystemer:

- Stuvning til terræn må højst forekomme hvert **10. år**
- Fællessystemer
  - Hvor top af ledning ligger mindst 150 cm under terræn, må vandstanden ikke overstige 150 cm under terræn for en gentagelsesperiode på **7 år**
  - Hvor top af ledning ligger mindre end 150 cm under terræn, må vandstanden ikke overstige top af ledning for en gentagelsesperiode på **7 år**
- Separate systemer
  - Vandstanden må ikke overstige 75 cm under terræn for en gentagelsesperiode på **1 år**

Dette skyldes utvivlsomt, at en oversvømmelse har en helt anden relativ udbredelse end i Aalborg. De to forhold er således ikke direkte sammenlignelige.

Kilde: Hvidovre Kommune (2003): Revision af målsætningen for spildevandsområdet, Teknisk Forvaltning.

3.3.3 Københavns Kommune - Ørestaden

Det tredje eksempel er en nyudvikling baseret alene på separatsystem. Som basis for dimensioneringen er fastlagt "et nyt sæt af dimensioneringsregler, der fulgte de nye strømninger, men som også var blevet tilpasset forholdene i København". Med nye strømninger henvises til DS/EN752-2 og til skrift nr. 26 samt Vejdirektoratets daværende vejregel forslag. Disse nye regler kan kort beskrives med følgende tabel for opstuvning til terræn:

Tabel: 3.3.1: Gentagelsesperiode (år) for opstuvning til terræn

Oplandstype	Gentagelsesperiode i år
Ubebygget	2
Tagarealer	5
Lokalveje	10
Gang- og cykelstier	5
Hovedfærdselsårer	25
Stationsforpladser	50

Kilde: Sørensen, S. (2002): Dimensioneringspraksis i Københavns kommune, EVA, årgang 15, nr. 3, side 15-17.

Den nye dimensioneringspraksis blev baseret på en eksemplificeret økonomisk opstilling.

3.3.4 Sammenfatning af eksempler

Det almene funktionskrav er fortsat at dimensionere fællessystemer svarende til overbelastning én gang hvert andet år og separatsystemer svarende til overbelastning én gang hvert år. Hertil kommer en ukendt sikkerhed i kraft af en sædvane i dimensioneringen, som tilsiger at vælge en handelsdimension større end påkrævet på grundlag af beregning. Hvor omstændighederne taler derfor, sker der ændringer i funktionskravene til afløbssystemer, baseret på dedikerede undersøgelser, som skaber grundlag for lokalt fastsatte gentagelsesperioder i forhold til arealets anvendelse og betydning for byens funktioner.

3.4 CEN-standard: DS/EN 752-4 (1. udgave, godkendt: 1996-12-20)

Det er CEN-standarden, som har givet anledning til en genvurdering af den danske praksis på området. Med hensyn til den juridiske fortolkning af CEN-standardens status og betydning for danske forhold henvises til juridiske responsa, som er blevet gennemført som led i dette projekt. Det centrale i forhold til teknisk fortolkning er, at såfremt der etableres en dansk praksis med generel opbakning i Danmark, da vil denne praksis med stor sandsynlighed kunne ligge til grund for vurdering af forholdet mellem kommune/afløbsselskab og bruger af afløbssystemet i tvister om oversvømmelse, forårsaget af opstuvning under regn.

CEN-normen DS/EN 752-4 har følgende indhold:

1. Vision
2. Definitioner
3. Normative henvisninger
4. Kilde til mere information
5. Beskyttelse mod opstuvning og oversvømmelse
6. Beskyttelse mod forurening
7. Beskyttelse mod anaerobe forhold
8. Selvrensning
9. Hydrauliske beregninger
10. Spildevandsstrømme
11. Overfladeafstrømning
12. Miljøhensyn

Det er bemærkelsesværdigt, at kun afsnit 5, som fylder tre linier, og afsnit 11.2, som fylder en halv side, omhandler krav til mindste gentagelsesperioder for opstuvning og oversvømmelse. Der er ikke nogen forklaring eller motivering for de foreslåede valg, som heller ikke er sat i sammenhæng med mere generelle forhold omkring den offentlige forvaltningspraksis. Det er bemærkelsesværdigt, fordi den offentlige forvaltningspraksis varierer en del fra det ene EU-land til det andet.

Det er tilsvarende bemærkelsesværdigt, at afsnit 11.3, som fylder én side, kort beskriver den rationelle metode til projektering og dimensionering af små oplande, samt seks linier om simulering af modeller. Dette er fulgt op i appendiks D, som fylder to sider og omhandler valg af model til dimensionering.

3.4.1 Forslag til mindste gentagelsesperiode i CEN-standard

Afsnit 11.2 indledes med den konstatering, at det normalt i praksis ikke er muligt at undgå oversvømmelser i forbindelse med meget kraftige regnskyl. Derpå fremhæves det som et vigtigt moment, at der skal opnås en balance mellem omkostninger og niveauet af beskyttelse mod oversvømmelse. Derpå henvises til de beskyttelseskriterier, som fastsættes af den relevante myndighed. I mangel af sådanne beskyttelseskriterier af relevante myndigheder foreslår CEN-normen en række mindste gentagelsesperioder for dimensionsgivende regn og for dimensionsgivende krav til mindste gentagelsesperiode for oversvømmelse, som nedenstående er vist som en gengivelse af tabellen fra CEN-normen, tabel 3.4.1.

Tabel 3.4.1: Gengivelse af tabel 1 fra CEN-standarden: Anbefalede dimensionsgivende hyppigheder, angivet som gentagelsesperioder.

Design storm frequency* (1 in "n" years)	Location	Design flooding frequency (1 in "n" years)
1 in 1	Rural areas.	1 in 10
1 in 2	Residential areas.	1 in 20
	City centres/industrial/commercial areas:	
1 in 2	- with flooding check;	1 in 30
1 in 5	- without flooding check.	-
1 in 10	Underground railway/underpasses.	1 in 50
* For these design storms no surcharge shall occur		

Det angives i teksten, at "hyppighed for dimensionsgivende regn" gælder for små oplande, mens det for større projekter anbefales at anvende simulationsmodeller, som benyttes til at kontrollere, at der opnås en rimelig beskyttelse mod oversvømmelse, svarende til angivelserne for dimensionsgivende hyppighed for oversvømmelse.

I afsnit 11.3.2 anbefales det at anvende den rationelle metode (med mindre andet er anbefalet af en relevant myndighed) til arealer af størrelse op til 200 ha eller en afløbstid på 15 min. Dette er forbavsende højt sat uden forbehold med hensyn til overholdelse af den rationelle metodes grundlæggende forudsætninger, se afsnit om beregninger.

Afsnit 11.3.3 om simulationsmodeller begrænser sig til henvisning til beregning af belastning af recipienter, hvor det anbefales at anvende tidsvarierende regn og edb-baserede simulationsmodeller. Det anbefales at finde en balance mellem omkostning, kompleksitet og krævet nøjagtighed. Der henvises til appendiks D, hvor der er en gennemgang af de tre principielt forskellige beregningsmetoder:

1. Den simple/empiriske metode, dvs. den rationelle metode
2. Den kinematiske bølge metode
3. Den dynamiske bølge metode

Disse metoders anvendelighed er illustreret i tabel 3.4.2, hvoraf følgende er uddraget som relevant for oversvømmelse under regn (resten gælder simulation af forureningstransport og belastning af recipienter).

Tabel 3.4.2: Uddrag fra tabel D.1 i CEN-normen, appendiks D: ”Anvendelighed af simulations-modeller”.

	▪ *Metode*		
	Rationel metode	**Kinematiske bølge metode**	**Dynamisk bølge metode**
Dimensionering af små oplande	S	S	*
Dimensionering af store projekter	-	S	*
Kontrol af funktion m.h.t. oversvømmelse	-	-	S eller D
Kontrol af funktion af eksisterende oplande	-	S eller D	S eller D
Kommentarer: S Hydrologiske processer beregnes på simpel måde D Hydrologiske processer beregnes detaljeret - Ikke anvendelig * Generelt ikke anbefalelsesværdigt			

På et enkelt punkt er denne opstilling bemærkelsesværdig. Det må således anses for forældet, at den dynamiske bølgemodel ikke anbefales ved projektering af store projekter, fordi den dynamisk bølgemodel er den eneste af de tre modeller, som på en fysisk korrekt måde kan simulere oversvømmelse, se afsnit om beregning i denne rapport. Tiden er løbet fra den kinematiske bølgemodel, som havde det fortrin, at afvikling af en beregning kun tog kort tid; i modsætning til en dynamisk bølgeberegning, som tog så meget længere tid, at det var afgørende for dimensionering og analyse. Nu kan edb-beregninger udføres på maskiner, som er så hurtige, at dette forhold ikke længere er af betydning. Derfor har den kinematiske bølgemodel ikke samme aktualitet som for ti år siden.

Sammenfattende må CEN-normen anses for temmelig unuanceret og uargumenteret. Men den henviser grundlæggende til praksis, som måtte være fastsat af en relevant myndighed. Dette motiverer en mere nuanceret analyse og anbefaling af en dansk praksis, til hvilken CEN-normen da blot er en inspirationskilde.

3.5 Svensk anvisning til dimensionering af afløbssystemer, P90

"Svenskt Vatten AB" har fundet, at deres tidligere rapport af 1972: VAV P28 "Anvisninger för beräkning av allmänna avloppsledningar" trængte til revision. Det fremgår ikke af forordet, hvorvidt dette er inspireret af CEN-normen af 1998, men der er henvist til den og sammenlignet med den i afsnittet om funktionskrav. I lyset af den udvikling, som har fundet sted siden 1972, er det sandsynligt, at en opdatering af "anvisningen" har været tiltrængt på mange andre punkter også.

Det er vigtigt at fremhæve, at anvisningen er en generel vejledning i beregning af afløbssystemer, hvorfor den omfatter en lang række detaljer, som ikke er omfattet af denne rapport for danske forhold, som specifikt omfatter de principper ved beregning, som er af betydning for fastsættelse og håndtering af funktionskrav. I denne rapport henvises til det almindeligt tilgængelige lærebogsmateriale eller til anbefalinger i skrifter fra IDA's Spildevandskomité, som det ikke er fundet relevant at gengive i denne rapport.

På dette grundlag er det centrale i rapportudkastet til P90: "Dimensionering af allmänna avloppsledningar" kun kapitel 3 om funktionskrav og tabellerne i afsnittene 4.2.2 og kommentar til kapitel 4.2, side 50, hvor de svenske forslag sammenlignes med CEN-normen.

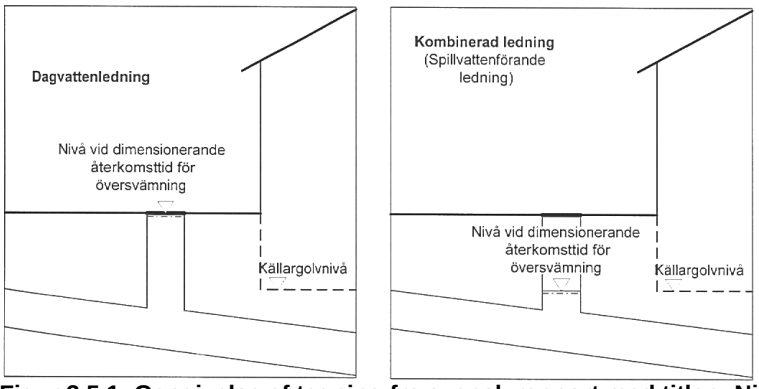
Der er allokeret 3½ side til fastsættelse af funktionskrav. Følgende anses for centralt:

3.5.1 Definition af kritisk kote

Figur 3.5.1 er en gengivelse af rapportens figur 3.1, som definerer, hvad vi vil betegne som "kritisk kote". På figuren er angivet de dimensionsgivende niveauer, som skal ligge til grund for dimensionsgivende gentagelsesperiode. I direkte tilknytning til figuren skrives følgende i direkte oversættelse:

Generelt gælder som funktionskrav, at det regnvandsførende afløbssystem som indgår i den almene kloakering, skal projekteres og drives således med hensyn til risiko for kælderoversvømmelse, at de mest udsatte ejendomme statistisk set ikke påføres en risiko for oversvømmelse fra afløbssystemet med en kortere gentagelsesperiode end 10 år.

Dette anføres i en artikel (Svensk vatten nr. 3, 2003) at svare til den praksis, som er udviklet de seneste 20 år, jævnfør undersøgelser udført af Statens VA-nævn.



Figur 3.5.1: Gengivelse af tegning fra svensk rapport med titlen: Niveauer for dimensionsgivende gentagelsesperiode for oversvømmelse i forskellige systemer

Derpå henvises til rapportens tabel 4.5, her gengivet som kopi, som tabel 3.5.1.

3.5.2 Foreslåede svenske krav

Tabel 3.5.1: Gengivelse af den svenske rapports tabel over gentagelsesperioder for regn ved dimensionering af afløbssystemer.

Typ av område	Dimensionering för fylld ledning		Återkomsttid för trycklinje i	
	Dagvatten-ledning	Kombinerad ledning	Marknivå för dagvattenledning (Se figur 3:1)	Källarnivå för kombinerad ledning (Se figur 3:1)
Ej instängt* område utanför citybebyggelse	1 år	5 år	10 år	10 år
Ej instängt* område inom citybebyggelse	2 år	5 år	10 år	10 år
Instängt område utanför citybebyggelse	5 år	10 år	10*** år	10 år**
Instängt område inom citybebyggelse	10 år	10 år	10*** år	10 år**

*Med *ej instängt område* avses ett område där avrinning med självfall kan ske ytledes via rännstenar, diken och vattendrag till recipient.
** Då dimensionerande återkomsttid för fylld ledning är 10 år blir återkomsttiden för trycklinje i källargolvsnivå större än 10 år. Kravet är dock att återkomsttiden ska vara minst 10 år.
*** Då dimensionerande återkomsttid för för fylld ledning är 5-10 år kommer återkomsttiden för uppdämning till marknivå att bli längre än 10 år. Kravet är dock att återkomsttiden ska vara minst 10 år.

Heraf fremgår, at der skelnes mellem to typer områder:

- ”Indestængt” opland, defineret som et opland, hvorfra overskydende vand ikke kan afledes overfladisk via rendestene, grøfter og vandløb til recipient.
- ”Ej-indestængt” opland, som modsat må fortolkes som et opland, hvorfra overskydende vand uden andre gener kan bortledes overfladisk.

Der er desuden skelnet mellem city-bebyggelse og ikke-city-bebyggelse.

Det er bemærkelsesværdigt, at gentagelsesperioden for fuldtløbende ledning i fællessystem er fastsat til 5 år uden for city-bebyggelse og 10 år inden for city-bebyggelse, medens gentagelsesperioden for overskridelse af kælderniveau og terræn begge er sat til 10 år.

I teksten suppleres dette med følgende kommentar i direkte oversættelse: *"I kritiske tilfælde er det nødvendigt at udføre en beregning af selve trykliniens niveau med tilknyttet gentagelsesperiode"*.

Desuden ledsages dette af følgende kommentar i direkte oversættelse om forholdet mellem gentagelsesperiode for oversvømmelse og gentagelsesperiode for fuldtløbende ledning:

Formuleringen af det generelle funktionskrav kan ikke tolkes således, at regnvandsførende ledninger skal dimensioneres med en gentagelsesperiode på 10 år. Ledninger er i almindelighed dimensioneret for en kortere gentagelsesperiode (for fuldtløbende ledning - tilføjelse i denne oversættelse, underforstået i den svenske version -). Kravet til en gentagelsesperiode for oversvømmelse opfyldes i almindelighed på grund af forskellen mellem standarddimensioner.

Denne, ofte omtalte, men sjældent kvantificerede sikkerhed ved dimensionering, baseret på fuldtløbende ledning (angivet til 5 eller 10 år) mod vandstandens overskridelse af kælderniveau (angivet til 10 år) er ikke nærmere beskrevet, men må på det foreliggende være opfattet som af en størrelsesorden på en sikkerhedsfaktor på gentagelsesperioden mellem 1 og 2.

Det er desuden interessant, at den svenske fortolkning af CEN-normen (side 51 i R90-rapporten) er, at den kan fortolkes således: Opstuvning til top af ledning (svensk: hjässa) fortolkes som en gentagelsesperiode på 1 år for ”ej-indestængt” opland uden for city, 2 år for ”ej-indestængt” opland inden for city, 2-5 år for ”indestængt” opland uden for city samt 5 år for ”indestængt” opland inden for city. De andre CEN-normer for dimensioneringskrav for oversvømmelse fortolkes som krav til overskridelse af opstuvning til terræn. Disse fortolkninger fremgår ikke direkte af CEN-normen men er svensk fortolkning.

Sammenfattende er det bemærkelsesværdigt, at den svenske anvisning kun i begrænset omfang motiverer de foreslåede krav, samt at der gennemgående stilles ret strenge krav til gentagelsesperioden for oversvømmelse af kældre, og endelig at krav til oversvømmelse af terræn for cityområder er lavere, end de i CEN-normen foreslåede krav.

3.6 Forsikringsskader

Det er ikke let at skaffe oplysninger om de erfaringer, som forsikringsselskaberne er i besiddelse af med hensyn til forsikringsskader på grund af oversvømmelse i byer, forårsaget af opstuvning fra afløbssystemer under regn. Det er der flere grunde til:

- Brancheforeningen for Forsikring & Pension giver rutinemæssigt oplysninger, men kun på et meget overordnet plan, som ikke er relevant for den aktuelle problemstilling.
- Forsikringsselskaberne selv har ikke rutinemæssig registrering af statistik på erstatninger, som kan rubriceres så snævert, som det er ønskeligt i denne forbindelse. Deres statistik er ikke aggregeret så detaljeret som ønskeligt men er sammenblandet med andre erstatningskategorier.
- Detaljeret statistik for erstatninger varierer fra det ene forsikringsselskab til det andet og er vanskeligt sammenligneligt.
- Detaljeret statistik er en konkurrenceparameter, som ikke oplyses uden klausul.

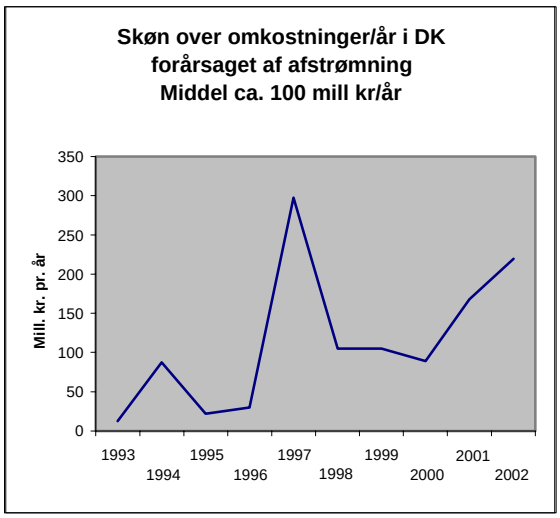
På trods heraf har det været muligt at sammenstykke følgende billede, som utvivlsomt er behæftet med betydelig usikkerhed:

Opskalering af de forskellige oplysninger fra markedsandele til det samlede marked giver et billede for skader, erstattet i forbindelse med skybrud og tøbrud over de seneste 10 år, som vist på figurerne 3.6.1-3.6.3.

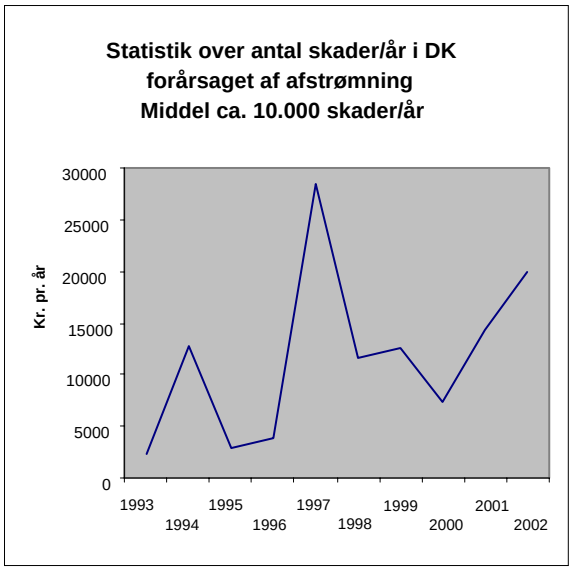
Det fremgår af figurerne, at den gennemsnitlige erstatning udbetalt i forbindelse med afstrømning under skybrud og tøbrud ligger på ca. 100 mio. kr. pr. år. Dette er sket i tilknytning til ca. 10.000 hændelser/år med en gennemsnitlig udbetaling på 10.000 kr. pr. hændelse. Statistikken er domineret af skader på helårshuse, ligeligt fordelt mellem skader på indbo og skader på selve huset. Det må vurderes, at skadeomkostningerne gennem forsikringspræmier for huse stort set fordeles over den samlede boligmasse, svarende til ca. 40 kr./år pr. husstand. Desuden fremgår det, at ca. 4 ‰ af alle husstande én gang om året oplever skader fra opstuvning fra afløbssystemet under regn – en minoritet.

Der er øget opmærksomhed på disse skader, fordi de viste billeder kan opfattes som en statistisk tendens til øgede årlige omkostninger. Såfremt dette billede fortsætter, kan det forventes, at forsikringsselskaberne vil holde bedre øje med netop denne skadekategori og derfor fremover vil aggregere de statistiske oplysninger på en måde, som bedre kan fortolkes med relation til oversvømmelse, forårsaget af opstuvning fra afløbssystemer.

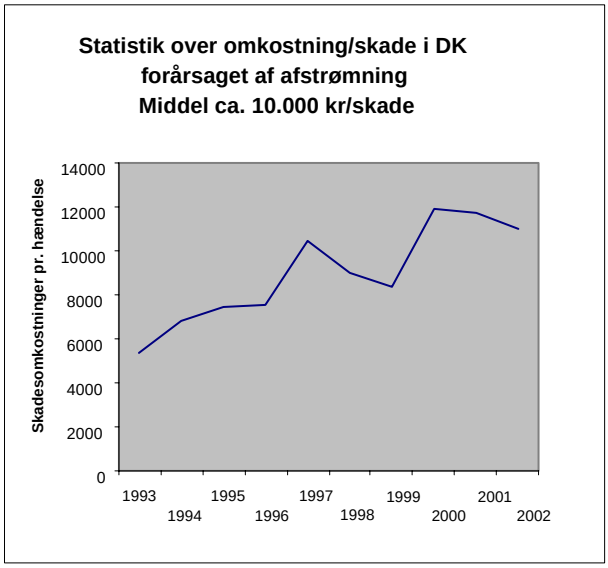
Det er oplyst, at det er sjældent, at der søges regres mod kommuner for forsikringsdækning af denne kategori af skadeomkostninger. En stigning i omkostningerne må således forventes i det lange løb at påvirke præmierne i forbindelse med forsikringer, som dækker denne form for oversvømmelse.



Figur 3.6.1: Skønnede samlede erstatninger udbetalt per år i Danmark i de seneste 10 år, forårsaget af afstrømning i forbindelse med skybrud og tøbrud.



Figur 3.6.2: Antal erstatninger udbetalt per år i Danmark i de seneste 10 år, forårsaget af afstrømning i forbindelse med skybrud og tøbrud.



Figur 3.6.3: Den gennemsnitlige erstatning udbetalt over de seneste 10 år, forårsaget af afstrømning i forbindelse med skybrud og tøbrud

3.7 Aalborg undersøgelse af anmeldelser af opstuvning i kældre

I Aalborg er der gennemført en undersøgelse af antallet af tilfælde, hvor der er rettet henvendelse til kommunen til Falck eller ISS vedr. oversvømmelse af kældre. Dette materiale kan give en forestilling om, hvor stort problemet måtte være i Aalborg – og måske også på landsplan, såfremt Aalborgs forhold kan anses for repræsentative (Notat af 14.3.2003: "Kælderoplysninger fra ejendoms & miljødatabasen" og notat af 14.3.2003: "Bearbejdning af oplysninger fra Falck og ISS" samt notat af 14.3.2003:

"Opstuvninger af kloakvand i Aalborg Kommune, sommeren 2002", alle fra NIRAS for Aalborg Kommune).

I Aalborg er der 50.365 ejendomme på 39.716 adresser. Heraf er 14.333 registreret med kælder.

I 2002 modtog kloakforsyningen henvendelse fra 83 ejendomme berørt med i alt 151 tilfælde, hvor der har været gener som følge af opstuvet kloak. Af størrelsesorden 80-90 % af alle henvendelser er fra adresser med kælder. 80-90 % af henvendelser er fra ejendomme med afledning til et fællessystem. 40 % af henvendelserne er gengangere inde for det samme år. Ud af et samlet antal ejendomme udgør det ca. 2 ‰. I forhold til ejendomme med kælder udgør andelen med problemer ca. 4 ‰.

I perioden 1999-2002 havde Falck og ISS i alt 2024 udrykninger til vandskader, hvoraf 151 med sikkerhed skyldes opstuvning af kloakvand, 1235 med stor sandsynlighed og 638 med lille sandsynlighed. Heraf fås 460 tilfælde per år med sikkerhed eller stor sikkerhed. Benyttes samme forhold mellem antal hændelser og antal berørte ejendomme som for henvendelse til kommunen, fås 253 ejendomme. Dette giver 5 ‰ af det samlede antal ejendomme.

Såfremt at disse tal er repræsentative for hele landet, at Aalborg udgør 3 % af landets befolkning og boligmasse, og at der kan laves en lineær opskalering, da svarer det til 15.000 tilfælde af henvendelser/udrykninger pr. år for Danmark som helhed. Sættes dette i forhold til et skønnet antal anmeldte forsikringsskader, jvf. foregående afsnit, betyder det at ca. 60 % af hændelser, som fører til henvendelse/udrykning, også fører til anmeldelse til forsikringsselskaber og udbetaling af erstatning. Disse tal må fortolkes med stor forsigtighed, da talmaterialet er usikkert og opskalering er behæftet med endnu større usikkerhed.

Det kan dog med sikkerhed konkluderes, at oversvømmelse af kældre er et minoritetsproblem, som berører af størrelsesorden ca. 2-5 ‰ af ejendomme. Dette forhold må have betydning for valg af gentagelsesperiode, fordi det berører forholdet mellem den enkelte borgers ret til at blive beskyttet, hensynet til samfundsomkostningerne, forbundet med en sådan beskyttelse, set i forhold til den enkeltes muligheder for at sikre sig ved privatøkonomiske foranstaltninger.

3.8 Sammenfatning

Sammenfattende kan det konkluderes:

- Der er en rimelig veletableret praksis, baseret på gentagelsesperioder for fuldtløbende ledning med en ukendt sikkerhed mod oversvømmelse baseret på højden fra top af rør til kritisk kote og i form af en sædvane om valg af dimension større end den beregnede. Der sker skærpelser baseret på mere detaljerede lokale undersøgelser, hvor omfanget af skader fra oversvømmelser berettiger til det.

- Oplandets topografi har stor betydning for resultatet af en detaljeret lokal undersøgelse. I nogle tilfælde omfatter oversvømmelsen kun et mindretal, men i andre tilfælde med fladt opland kan oversvømmelsen give anledning til mange skader.
- CEN-normen og det svenske udkast til dimensionering kan tjene som inspirationskilde, men begge lider ved ikke at oplyse noget om beslutningsgrundlaget.
- Oplysninger fra forsikringsselskaber om erstatninger fra skybrud og tøbrud ligger i størrelsesordenen 100 mio. kr. pr. år og ca. 10.000 kr. pr. skade. Af størrelsesorden 2-5 ‰ af husstande oplever oversvømmelse én gang om året.

Kapitel 4. Funktionskrav

I dette kapitel vil den givne opgave blive formuleret og afgrænset i forholdet mellem den hydrauliske funktion af afløbssystemer og omgivelserne, dvs. teknikken i forhold til funktionen i samfundet. Det er vigtigt i denne sammenhæng at opstille en begrebsverden, som på den ene side svarer til de hydrauliske realiteter i de anlæg, som tjener til afledning af spildevand og regnvand i byer, og på den anden side svarer til samfundets opfattelse af disse anlægs funktion, og de krav som stilles til denne funktion.

Opgaven afgrænses til kommunale afløbssystemer. Kommunen bygger og driver afløbsanlæg, og den aktuelle opgave er at fastlægge de funktionskrav, som med rimelighed kan opstilles for den kommunale service, som ydes for brugerne ved byggeri og drift af afløbsanlæggene.

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.
- at funktionskravene formuleres således, at de kan opfyldes inden for det teknisk mulige og økonomisk forsvarlige.
- at funktionskravene formuleres således, at der er et ensartet serviceniveau i hele kommunen.

Disse overordnede hensyn til formulering af funktionskrav vil blive kategoriseret, og beskrevet og funktionskravene fastlagt i de følgende kapitler.

4.1 Funktionskravenes afgrænsning

Afløbssystemers funktion kan opdeles i fire kategorier:

1. Afløbssystemets funktion som transportvej for spildevand *under tørvejr*, hvorved spildevandet føres fra kilde til renseanlæg og til recipient efter rensning. Denne del af afløbssystemets funktion er reguleret af beføjelser via de almindelige tilladelser og tilsyn og er **ikke** behandlet i denne funktionspraksis.

2. Afløbssystemets funktion *under regn* til afledning af regnvand, således at afledningen ikke fører til urimelige skader og ulemper i byen.

Den aktuelle opgave drejer sig specifikt om at opstille funktionskrav til afløbssystemer med henblik på at regulere skadernes omfang, alvor og hyppighed.

3. Afløbssystemets funktion *under regn i fællessystemer* er at bortlede blandet spildevand og regnvand, hvorved forurening føres fra kilde til renseanlæg eller via overløbsbygværker direkte til recipient. Denne del af afløbssystemets funktion er reguleret af beføjelser via de almindelige tilladelser og tilsyn og er **ikke** behandlet i denne funktionspraksis.

4. Afløbssystemets funktion *under regn i separatsystemer* er at bortlede regnvand, hvorved forurening i separat systemer føres fra kilde direkte til recipient. Denne del af afløbssystemets funktion er reguleret af beføjelser via de almindelige tilladelser og tilsyn og er **ikke** behandlet i denne funktionspraksis.

4.1.1 Valg af serviceniveau

Det skal fastslås, at det serviceniveau, som kan ydes af kommunens afløbssystemer i forhold til afledning af regn beror på skadernes omfang, alvor og hyppighed, således som det opleves af den enkelte bruger og af almenvellet. Ved valg af et givent serviceniveau er det en betingelse, at det givne niveau skal gælde i hele kommunen, idet der inden for kommunen betales det samme spildevandsbidrag for ensartede grupper af tilsluttede eller tilknyttede brugere uanset geografisk beliggenhed.

De nævnte fænomener omfatter:

- Opstuvning i kældre
- Opstuvning i stueplan
- Opstuvning på terræn

Det skal samtidig fastslås, at det ikke kan undgås, at skader forekommer. Det er naturgivet, at regn forekommer med en usikkerhed, kaldet *variabilitet*, som det kun er muligt at registrere, ikke at ændre. Ved *variabilitet* forstås en naturgiven egenskab, som ikke kan ændres ved menneskelige indgreb, men som man må affinde sig med og tage forholdsregler over for, såfremt variabiliteten kan føre til ulemper og skader.

Det betyder, at kraftig regn er et stokastisk fænomen, og at der altid vil kunne komme en kraftig regnhændelse, som fører til opstuvning og oversvømmelse et eller flere steder i byen. Sådanne fænomener kan ikke hindres, men den hyppighed, hvormed det sker, kan reduceres, så det sker med en acceptabel hyppighed. Funktionskravet må nødvendigvis formuleres som en tilladelig hyppighed, f.eks. én gang hvert tiende år, også beskrevet som en gentagelsesperiode på ti år.

4.1.2 Krav til dimensionering

Det skal desuden fastslås, at mens funktionskravet, som ovenfor beskrevet, relaterer sig til de oplevede realiteter, så vil enhver projektering/dimensionering af et afløbssystem være baseret på en mere eller mindre god tilnærmelse til de fysiske realiteter i afløbssystemet og i byen. Denne tilnærmelse afhænger af den dimensioneringsmetode og/eller analysemetode, som anvendes. Desuden afhænger det af de ændringer, som på et givent efterfølgende tidspunkt har fundet sted i systemet. Disse forhold og metoder vil blive gjort til genstand for detaljeret gennemarbejdning i

næste kapitel.

For hver metode vil der være en usikkerhed, som bør give sig udslag i et sikkerhedstillæg for dimensioneringen. Det er vigtigt at skelne skarpt mellem den usikkerhed, kaldet *variabilitet*, som ligger til grund for regnens statistiske variation fra en hændelse til en anden og som er naturgiven og ikke kan ændres, og den *videnusikkerhed*, som består i manglende eller usikkert kendskab til de fysiske forhold i afløbssystemet.

Variabilitet udtrykkes ved en valgt hyppighed/gentagelsesperiode.

Videnusikkerhed består i, at enhver dimensioneringsmetode er behæftet med en systematisk og en statistisk usikkerhed, som man ved valg af dimensioner må tage hensyn til. Dette sker ved valg af sikkerhedstillæg i forhold til den mulighed, at forholdene ikke er, som de antages at være ved projekteringen/dimensioneringen. Herunder hører en fremskrivning i tid, fordi enhver projektering/dimensionering er baseret på en forventet tilstand af afløbssystemet og omgivelserne, efter at afløbssystemet er bygget eller ombygget.

4.1.3 Krav til drift

Et afløbssystems funktion afhænger af dets størrelse og arrangement, hvilket fastlægges ved projekteringen, men funktionen afhænger også af systemets tilstand efter længere tids drift, som kan påvirke de ved dimensioneringen forudsatte egenskaber. Typisk kan aflejringer, sætninger og forskydninger påvirke ledningernes kapacitet, hvorved hyppigheden af opstuvning øges. Også typisk er ændringer i oplandets karakter, f. eks. ved fortætning, som består i, at befæstelsesgraden øges.

4.1.4 Samspillet mellem dimensionering og drift

Der er således et samspil mellem den planlagte drift af afløbssystemet og de egenskaber ved afløbssystemet, som skal lægges til grund for fastsættelse af funktionskrav. I forbindelse med fastlæggelse af funktionskravene skal der således formuleres både en dimensioneringsstrategi og en driftsstrategi for afløbssystemet.

4.2 Interessenterne

Ved afvejning af rettigheder og pligter samt ved økonomisk optimering er det formålstjenligt at identificere de interessenter og tilhørende hensyn, som kan forventes at blive tillagt betydning af interessenterne. Dette bør ske for at sikre, at berettigede interesser og hensyn har været under overvejelse og har indgået i den konkrete stillingtagen.

I det følgende benyttes fællesbetegnelsen *brugere* for de interessenter, som er afhængige af afløbssystemet funktion.

I det følgende gennemgås de interessenter, som skønnes at have særlige interesser ved fastsættelse af funktionskrav.

4.2.1 Den enkelte husstand

Den enkelte husstand - og dermed den enkelte borger - har et berettiget krav om, at boligen ikke udsættes for opstuvning fra afløbssystemet med en hyppighed, som er større end hvad der anses for alment acceptabelt.

Den foreliggende opgave består i at fastlægge et sådant berettiget krav og tage stilling til, hvad der under forskellige omstændigheder kan anses for acceptabelt.

4.2.2 Særlige interessenter

Særlige interessenter kan være karakteriseret ved alle former for areal og bygningsanvendelse, til hvilke der må knyttes særlige funktionskrav. Dette kan typisk være særlig virksomhed, som en industri, et værksted, hospital og andet, der ikke har karakter af bolig. I sådanne tilfælde kan forekomme særlige krav, fordi opstuvning kan føre til exceptionelt store skader på ejendommen eller på omgivelserne. Krav til hyppighed af opstuvning bør kun fastsættes efter specifik undersøgelse og vurdering af, om der skal tages specielle hensyn til implicerede interessenter.

Det gælder som alment princip, at sådanne virksomheder ikke kan stille særlige krav i sammenligning med et boligområde, og at virksomheden selv må bekoste de meromkostninger, som de specielle funktionskrav måtte give anledning til. Særlige konstruktive forholdsregler og driftsrutiner kan forlanges af kommunen og kan udføres af virksomheden på egen grund for egen regning. Tilsvarende forholdsregler og driftsrutiner i det offentlige afløbssystem må forhandles mellem kommune og virksomhed, hvilket bør baseres på det princip, at virksomheden refunderer de affødte merudgifter.

Offentlige bygninger, konstruktioner, trafikanlæg og offentlige rum (parker og pladser) kan give anledning til specielle funktionskrav, som må forhandles de respektive offentlige myndigheder imellem og i forhold til offentligheden, både med hensyn til kravets størrelse og med hensyn til afholdelse af de specielle merudgifter. Dette må, som beskrevet ovenfor, også baseres på det princip, at det er de øvrige offentlige myndigheder, som må afholde de affødte merudgifter.

Tilsvarende gælder for den samlede problemstilling omfattende alle interessenter og alle hensyn.

4.2.3 De kommunale politikere

De kommunale politikere har ansvaret for, at kommunens afløbssystemer virker i overensstemmelse med en given praksis, som denne rapport lægger op til. Det forventes, at politikernes beslutninger om afløbssystemer lever op til lovgivningsmæssige krav med hensyn til organisation, projektering og drift; at de skaber løsninger, som har folkelig opbakning, herunder at der er ligelighed i forvaltningen over for borgerne; samt at de skaber løsninger som tilgodeser forpligtelsen til at forvalte borgernes skattemidler på økonomisk forsvarlig vis. Desuden bør beslutninger og grundlaget for beslutninger kommunikeres til alle interessenter på en måde, som gør det forståeligt for alle.

4.2.4 Kloakforsyningen

Det er kloakforsyningens opgave at finde de bedste løsninger inden for rammerne af det teknisk mulige og det økonomisk forsvarlige inden for de politisk afstukne rammer, herunder allerede godkendte planer. Kloakforsyningen kan uddelegere alle opgaver, men kan ikke overdrage ansvaret for funktionskravenes overholdelse.

4.2.5 EU

EU har vist fagområdet interesse ved at foranledige udarbejdet fælles retningslinier i form af CEN-standarden.

4.2.6 Identifikation af modstridigheder

Som de væsentligste modstridigheder mellem de listede interessenter kan opstilles følgende forhold:

- En borgers eller en virksomheds egeninteresse om at reducere opstuvning mest muligt kan være i modstrid med kommunens ønske om at finde billige løsninger af hensyn til almenvellets generelle omkostninger eller afløbsselskabets privatøkonomiske ønske om ensidigt reducerede omkostninger.
- En borgers eller en virksomheds egeninteresse kan være at bevare en eventuelt hævdvunden ret til en stor gentagelsesperiode (lille hyppighed) for opstuvning, i modstrid med kommunens eller afløbsselskabets ønske om at udnytte den akkumulerede anlægskapital, således at investeret kapital i ledningsnet med stor gentagelsesperiode udnyttes med aftagende gentagelsesperiode for opstuvning i ledningsnettet.
- En borgers eller en virksomheds egeninteresse kan være, at der dimensioneres på grundlag af let forståelige regler, i modstrid med kommunens ønske om at benytte de bedste (eventuelt komplicerede) metoder, som kan benyttes til at opnå optimale, herunder billigere løsninger.
- EU har en interesse i at harmonisere funktionskrav i EU, som kan være i modstrid med lokale interesser om at finde en selvstændig holdning til funktionskrav i forhold til ønsket serviceniveau.

4.3 De grundlæggende værdier

Enhver beslutning om fordeling af goder og risici er grundlæggende et spørgsmål om etisk holdning og opfattelse af værdier. Etik giver ikke konkret svar på det stillede spørgsmål, men opstiller en væsentlig kategorisering og opstiller grundlæggende principper, som bør overholdes.

Etik er det grundlag, hvorpå mange af samfundets forhold hviler, f. eks. almindelig omgang mennesker imellem, lovgivning, forvaltningspraksis, specielt forholdet mellem borger og samfundets institutioner. Disse forhold er ofte reguleret i love, bekendtgørelser, forordninger, m.v. Specielt i teknisk sammenhæng kan sådanne forhold være reguleret i normer og standarder, hvoraf CEN-normen om afløbssystemer er et eksempel. Det er ofte upåagtet i hvilket omfang, disse skriftlige reguleringer er suppleret med almindelig opfattelse af alment accepterede og forventede målsæt-

ninger og krav til adfærd, som ikke er nedfældet, men underforstået. Dette gælder også ingeniørvirksomhed og giver sig udslag i alment anerkendte men ikke nedfældede "regler", som hører til god *ingeniørpraksis.*

Etikkens opgave er:

- at opregne alle perspektiver
- at forholde sig til alle interesser
- at opstille alment acceptable principper

4.3.1 De etiske principper

Etik er en gammel disciplin, som berører alle livets forhold. Det giver ikke mening her at opstille et samlet system for etiske forhold. I det følgende fremstilles kun sådanne forhold, som er direkte relevant for den givne problemstilling.

Regulering af forhold mellem interessenter i relation til afløbssystemers funktionalitet kan grundlæggende opdeles i følgende kategorier: *Pligtetik og Nytteetik*. Enhver beslutning består i at erkende et problem, forholde sig til det, beslutte sig til at gøre noget ved det i form af en handling, som derpå udløser et resultat.

Pligtetikken beskæftiger sig med den handling, der afgør det videre forløb i form af en handling og et resultat. Vægten i bedømmelsen ligger i handlingen. Det handler især om de rettigheder og de forpligtelser, som er afgørende for reguleringen mellem interessenter.

Det afgørende i pligtetikken er i denne sammenhæng spørgsmålet om, hvem af interessenterne, der har rettigheder og hvem der har tilsvarende forpligtelser. Ofte vil disse rettigheder og forpligtelser være lovbundne, undertiden kan de være underforstået, som en ikke-nedskreven norm, f. eks. i form af en almindelig anerkendt opfattelse af, at man skal agere på en bestemt måde.

I det aktuelle tilfælde drejer det sig om følgende spørgsmål blandt de modstridigheder, som er listet ovenstående:

- På hvilket niveau har en bruger en rettighed til at blive beskyttet mod opstuvning, og hvorledes skal dette funktionskrav udfoldes i forholdet mellem borger eller en virksomhed på den ene side og kommunen/afløbsselskabet på den anden side? Ved fastsættelse af funktionskravet får kommunen/afløbsselskabet en tilsvarende forpligtelse.
- Har en bruger, som i mange år har haft sjældne opstuvninger, en eventuel ret til en fortsat service på det pågældende niveau og kommunen/afløbsselskabet en tilsvarende forpligtelse?
- Hvad kan anses for acceptabel *ingeniørpraksis* for kommunens/afløbsselskabets projektering og drift af afløbssystemet i udfoldelse af sine forpligtelser?

I det følgende vil brugerens ret og kommunens/afløbsselskabets forpligtelse blive omtalt som: ***Minimumskravet***.

Nytteetik er det andet almindeligt anvendte koncept. Det går ud på at optimere beslutningen, således at der opnås bedst resultat over for flest interessenter. Nytteetik

kan opdeles i *"for og imod"* afvejning og *"cost-benefit"* afvejning, dvs. en afvejning af *"goder og omkostninger"*. Cost-benefit er det almindeligt anerkendte begreb for økonomisk optimering i forhold til afvejning af interessenters forskellige interesser.

I det aktuelle tilfælde er det sædvanligt at tale om afvejning af de samfundsmæssige fællesinteresser. Der anlægges således en integreret afvejning af samtlige goder og omkostninger, som kan vurderes og tages i regning inden for den til opgaven afgrænsede problemstilling. Dette kaldes en samfundsøkonomisk analyse. Heri ligger der i sig selv et etisk valg, som kan være årsag til konflikt. Man kan opstille en sådan afvejning af goder og omkostninger ved at se på særinteresser og ved delafgrænsninger, f. eks. ved kun at se på kommunens/afløbsselskabets økonomiske interesse - eller ved kun at se på borgernes og virksomhedernes økonomiske interesse.

I det følgende vil det nytteetiske koncept blive betegnet: ***Optimering****.*

4.3.2 Opstuvning som værdimål

Ved *værdimål* forstås en identifikation af det fænomen, som tillægges betydning (værdi opfattet i både positiv og negativ betydning) i den aktuelle problemstilling. Det er i dette tilfælde helt entydigt:

- Det er opstuvningen, som det opleves af den enkelte bruger eller af almenvellet, som skal lægges til grund for vurderingen. Det omfatter opstuvningens hyppighed (almindeligvis opgivet som en gentagelsesperiode), opstuvningens størrelse og dens alvor. Det gælder ikke kun fastsættelse af en mindste gentagelsesperiode for at der opstår opstuvning, men også stillingtagen til omfanget og alvoren af de skader som opstår, når en opstuvning finder sted.

4.3.3 Det statiske/dynamiske værdimål

Afløbssystemet i en by er ikke et statisk system, for hvilket det er muligt én gang for alle at overholde et fastlagt funktionskrav. Et afløbssystem er i stadig udvikling på grund af udbygning, fortætning, forældelse, fornyelse og ændrede funktionskrav til opstuvning og til miljø. Ved fastlæggelse af funktionskrav må der tages hensyn til dynamikken i systemet. Dette kan ske ved, at der til en given tid fastlægges funktionskrav, og at der samtidig fastlægges en tidsplan for projekters gennemførelse, som inden for en identificeret tidsramme vil overholde de fastlagte funktionskrav.

4.3.4 Nuværende service

Opstuvning i et afløbssystem med tilhørende skader i oplandet afhænger meget af de lokale forhold inden for et givent opland. Opstuvning i givne kritiske områder af oplandet vil finde sted med en gentagelsesperiode, som svarer til nuværende praksis. I andre dele af oplandet vil opstuvning være meget sjældent eller slet ikke forekommende. Det er således en kendsgerning, at kun få steder i et opland vil man opleve, at opstuvning finder sted med den i følge nuværende praksis fastlagte mindste gentagelsesperiode. Der er således i de eksisterende systemer indbygget en vis reserve, som i det væsentlige har været ukendt, og ikke har været genstand for specifik analyse.

Opstuvningsproblemet i kældre og huse fra afløbssystemer er et minoritetsproblem. Ud fra et pligtetisk synspunkt er det spørgsmålet om at give et mindretal af brugerne

en ret til beskyttelse mod oversvømmelse. Ud fra et nytteetisk synspunkt er spørgsmålet i hvilken udstrækning, der skal ofres omkostninger på at beskytte et mindretal, som påføres mindre omkostninger.

4.3.5 Udnyttelse af den eksisterende kapacitet

Som udgangspunkt for vurdering af den modstridende interesse mellem brugeren på den ene side og kommunen/afløbsselskabet på den anden side med hensyn til udnyttelse af en eksisterende overskydende kapacitet i systemet, skal man gøre sig klart, at størstedelen af brugerne i dag har en bedre service end svarende til de funktionskrav, som har udgjort nuværende praksis.

Brugerne kan i store træk opdeles i to kategorier:

- Udsatte lokaliteter, som har været udsat for opstuvning svarende til nuværende praksis, som giver opstuvning så hyppigt, at det er en realitet brugerne har indrettet sig efter. Der sker således ikke store skader, fordi terræn eller kælder ikke udnyttes på en måde, som er sårbar over for opstuvning
- Lokaliteter, som kun sjældent har været udsat for opstuvning, vil ofte have udnyttet faciliteten, f. eks. kælderen, i tillid til at opstuvning kun vil ske sjældent eller slet ikke. Ved en øget udnyttelse af overskydende kapacitet i afløbssystemet vil man på disse lokaliteter kunne opleve øgede skader, når gentagelsesperioden for opstuvning mindskes. Dette vil kunne føre til utilfredshed. Spørgsmålet er, om en tidligere sikkerhed mod opstuvning kan opfattes som en pligtetisk ret eller ej, eller om en forventet utilfredshed i en overgangsperiode skal tillægges betydning ved beslutning om øget udnyttelse af det eksisterende kapitalapparat.

4.3.6 Optimering

Den nytteetiske optimering går ud på at opstille alle goder og alle omkostninger ved valg af funktionskrav. En sådan opstilling af omkostninger, omtalt som skader, i kategorier har før været beskrevet i Spildevandskomitéens skrift nr. 23: "Tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer", 1985:

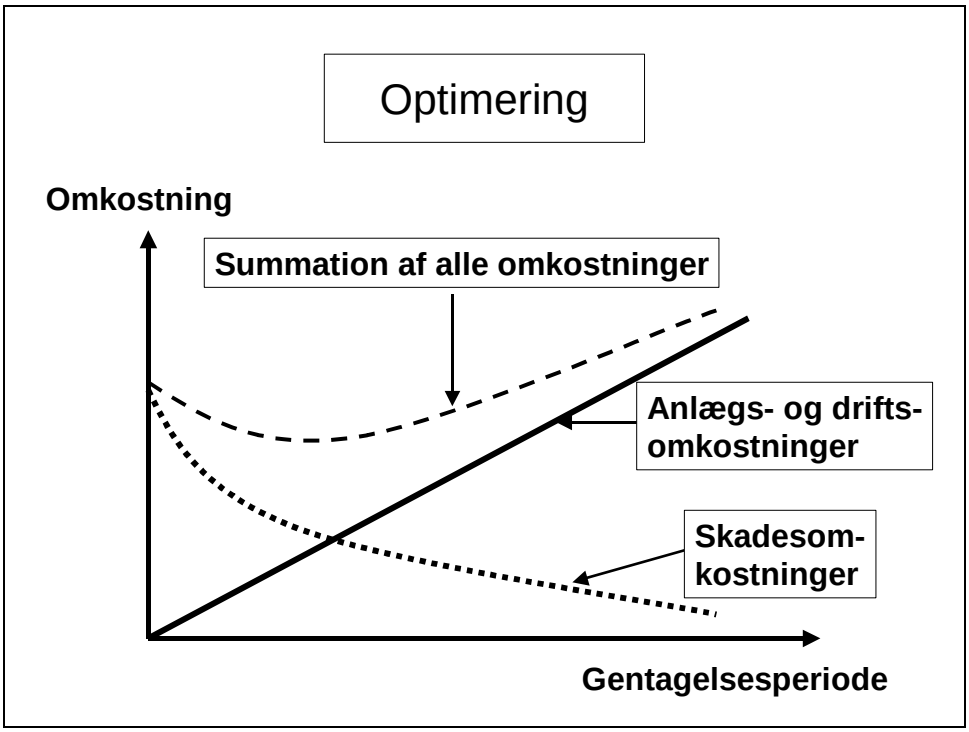
- Direkte
  - Bygninger
  - Inventar
  - Veje
  - Anlæg
- Indirekte
  - Tab af omsætning og produktion
  - Trafikomlægning
  - Forsinkelser
- Upræcise
  - Hygiejniske
  - Psykologiske

Disse omkostninger kan være svære at opgøre og endnu sværere at omsætte til økonomiske mål. For et givent opland vil omkostningerne afhænge af gentagelsesperioden for opstuvning, som er en funktion af omkostningen til omlægning og for-

bedring af afløbssystemet.

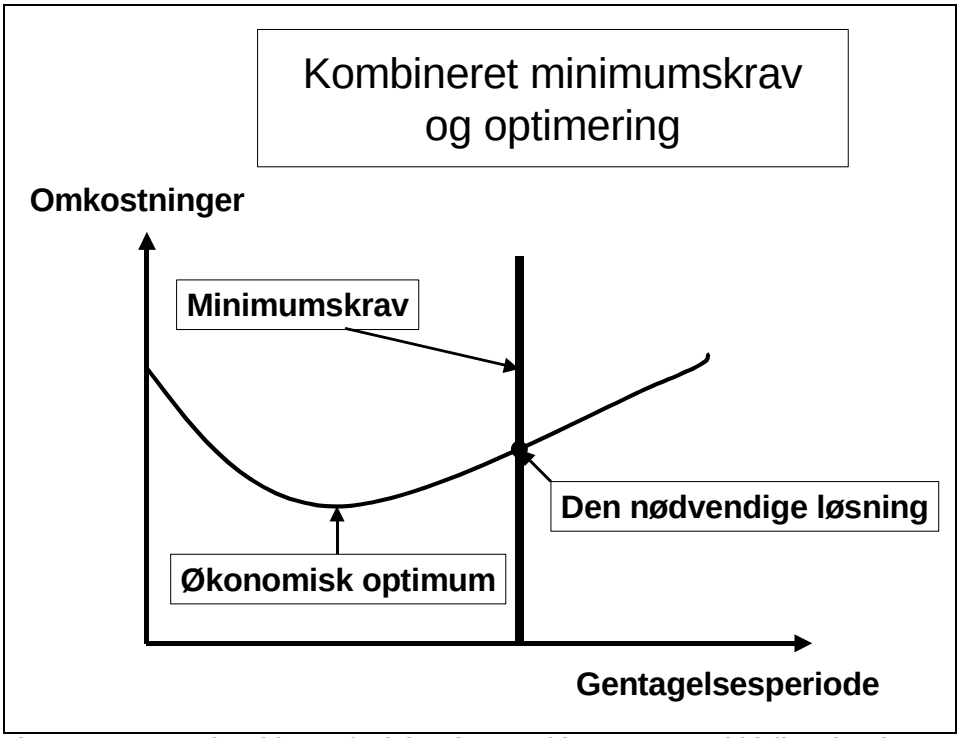
I et givent opland er det lettere at opgøre omkostningerne ved at nykonstruere et afløbssystem eller ved at omlægge og forbedre eksisterende afløbssystem.

Princippet i optimering er vist i figur 4.3.1. 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 givent opland. På Y-aksen er afbildet den samlede omkostning. Til en given gentagelsesperiode er knyttet en nødvendig anlægs- og driftsomkostning for at opnå den givne gentagelsesperiode. Det er udtryk for den amortiserede anlægsudgift lagt sammen med den årlige driftsomkostning, se skrift nr. 23. Til en given gentagelsesperiode er 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. Dette er udtryk for, 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.



Figur 4.3.1: Det grundlæggende princip for økonomisk optimering af forholdet mellem anlægsomkostninger og skadeomkostninger, omregnet til en gennemsnitlig årlig udgift som funktion af gentagelsesperiode for opstuvning hos mest udsatte bruger.

4.3.7 Kombineret optimering og minimumskrav



Figur 4.3.2: For et kombineret funktionskrav gælder, at man umiddelbart kan benytte løsninger til højre for minimumskravet. Den økonomisk optimale løsning ligger til venstre for minimumskravet men kan ikke anvendes, fordi minimumskravet anses for ufravigeligt. Den nødvendige løsning ligger i skæringen mellem de to kurver.

Der er god grund til at benytte en kombination af de to principielle former for funktionskrav. Brugeren har ret til en vis minimumsservice, som giver sig udslag i et minimumskrav, der er en mindste gentagelsesperiode for opstuvning. På figur 4.3.2 er dette krav vist som en lodret kurve. Det svarer til, at det pågældende krav skal tilfredsstilles under alle omstændigheder, uanset omkostning. Alle løsninger skal således ligge til højre for den viste linie svarende til minimumskravet. En økonomisk analyse kan føre til et resultat, som er illustreret ved kurven med et minimum, *optimering*. Uden hensyn til minimumskravet ville den mest økonomiske løsning svare til en lavere gentagelsesperiode end minimumskravet. Dette er ikke tilladt, hvorfor den nødvendige løsning findes i skæringspunktet mellem de to kurver, som kombinerer hensyn til økonomisk ansvarlig anvendelse af borgernes penge og en ufravigelig ret for den enkelte bruger, til ikke at blive udsat for opstuvning hyppigere end minimumskravet.

4.3.8 Principper og begrænsning for kravfastsættelse

På det foreliggende grundlag foreslås, at fastsættelse af krav til serviceniveau for afløbssystemer sker på følgende grundlag:

- Valget af service baseres på en kombination af *minimumskrav og ønsker om skærpede krav, der evt. kan være motiveret af optimering.* Minimumskravet udgør lavest acceptable gentagelsesperiode for opstuvning hos den

mest udsatte bruger. Inden for denne ramme gives der frihed til valg af anlægsudformning. Det er op til kommunalbestyrelsen at vælge et højere serviceniveau, der i givet fald skal være gældende for hele kommunen.

For at fastlægge en praksis for funktionskrav i Danmark er det nødvendigt også at fastlægge de metoder, som kan lægges til grund for beregninger. Hvor kravfastsættelsen beskæftiger sig med den virkelighed som en bruger vil opleve i praksis, er beregningsmetoder altid tilnærmelser til denne virkelighed. Ved valg af metode vælger man således ikke bare en metode, men man vælger også en tilnærmelse til den realitet, som er det ultimative kriterium. Det er vigtigt at give mulighed for valg af forskellige beregningsmetoder, således at den projekterende ingeniør kan vælge en egnet metode, en egnet tilnærmelse og en egnet sikkerhed mod systematiske og tilfældige fejl i information og metode. Denne rapport opstiller tre eksempler, som forventes at kunne tilfredsstille mange praktiske tilfælde. I alle tilfælde må der gives mulighed for dedikerede valg af metode, som tilfredsstiller tilsvarende rimelige krav til information og tilnærmelse.

Det er et pligtetisk krav, at den projekterende ingeniør anvender en alment anerkendt, eventuelt normeret *ingeniørpraksis* ved valg af metode og sikkerhed ved dimensionering og ved drift. I tilfælde af fornyelse skal disse metoders anvendelighed dokumenteres med hensyn til egnet tilnærmelse til virkeligheden, under hensyntagen til nødvendig information og tilknyttet usikkerhed.

4.3.9 Ligelighed

Som generelt princip gælder, at fastsættelsen af funktionskrav i de enkelte tilfælde sker under hensyn til ligelighed for brugerne. I denne sammenhæng fortolkes det således, at der for analoge tilfælde bør gælde samme regler. Dette skal forstås således, at der i en kommune skal lægges en overordnet politik, således at brugere af afløbssystemer opnår samme service.

4.3.10 Oplyst samtykke

Som generelt princip gælder, at brugere af afløbssystemet skal være bekendt med serviceniveauet og således gennem oplysning have samtykket med fastsættelse af funktionskrav. Dette vil i praksis ske gennem høring forud for vedtagelse af kommunale planer. I overensstemmelse med dette princip har kommunen en forpligtelse til at holde brugerne informeret om det for systemet gældende serviceniveau. Brugerne kan på samme vis ikke frasige sig ansvar med begrundelse i ukendskab til det gældende serviceniveau og bør derfor gøre sig bekendt med gældende regler.

4.4 Arealanvendelse og krav

Der er tre aspekter ved arealanvendelse, som er af betydning for opstilling af krav og for valg af beregningsmetode:

- Arealanvendelsens betydning for valg af funktionskrav.
- Information om arealanvendelsen som inddata til dimensionering og analyse af afløbssystemer.
- Tidshorisontens betydning for både fastsættelse af funktionskrav og for dimensionering og analyse af afløbssystemer.

4.4.1 Kategorier af arealanvendelse

Af hensyn til fastsættelse af funktionskrav er det væsentligt at foretage en egnet kategorisering af relevante arealanvendelser. Det afgørende er at rubricere arealanvendelser, som kan sættes i samme kategori med hensyn til funktionskrav for opstuvning fra afløbssystemet. I hvert tilfælde skal der tages stilling til, om den foreslåede kategorisering er egnet. For hver kategori skal der fastsættes en gentagelsesperiode for opstuvning.

Fælleskloakeret boligområde med kælder
Den traditionelle problemstilling er affødt af udviklingen med fælleskloakering i forrige århundrede og den efterfølgende udbygning i fortsættelse af denne metode. Der vil næppe foreligge detaljerede oplysninger om kældres anvendelse og derfor heller ikke mulighed for at skønne omkostningerne forbundet med tilfælde af opstuvning. Det kan med rimelighed forventes, at kældre med hyppig opstuvning vil være anvendt på en måde, som ikke giver store omkostninger. Modsat kan det forventes, at i tilfælde, hvor det historiske forløb har vist meget sjældne opstuvninger vil omkostningerne kunne blive store, fordi der kan være indrettet bolig på samme måde som i stueplan.

Den centrale problemstilling er, hvilken mindste rettighed brugerne har, og hvilken grundlæggende forpligtelse, kommunen har med relation til opstuvning i kælder i følgende tilfælde:

- Den gamle boligmasse
- Ny bebyggelse
- Ved fornyelse af afløbssystemet
- Hvor der ikke før har været opstuvning af betydning

Fælleskloakeret boligområde uden kælder
I boligområder med fælleskloakering er problemstillingen, at der kan ske opstuvning til stuegulv i boligen. Det karakteristiske er, at der i dette tilfælde må forventes fuld boligindretning og en hertil svarende omkostning.

Den centrale problemstilling er, hvilken mindste rettighed brugere har og hvilken grundlæggende forpligtelse kommunen har med relation til opstuvning til laveste kote stuegulv i følgende tilfælde:

- Ved fornyelse af afløbssystemet
- Hvor der ikke før har været opstuvning af betydning

Separatkloakerede områder med kælder
I disse tilfælde må det forventes, at spildevandsledningen ligger under kælderniveau, og at der ikke tilføres regnvand til spildevandssystemet. Hvor denne forudsætning ikke er overholdt må tilfældet anses for sammenligneligt med fælleskloakerede områder med kælder, se ovenfor. I alle andre tilfælde kan skader kun opstå ved opstuvning til terræn, hvorfra vandet kan løbe ned i kælderen. Dette må sidestilles med opstuvning til terræn, jvf. nedenstående.

Separatkloakerede områder uden kælder
Den centrale problemstilling er, hvilken mindste rettighed brugere har, og hvilken grundlæggende forpligtelse, kommunen har i relation til opstuvning til laveste kote stuegulv. Omkostningerne ved opstuvning i stuen i almindelig bebyggelse må forventes at blive betydelige. Det anses for berettiget at skelne mellem to forskellige tilfælde:

- I det generelle tilfælde
- Hvor der ikke før har været opstuvning af betydning

Sekundære vejarealer
Sekundære vejarealer er veje, hvis funktion begrænser sig til adgangsvej for lokal trafik. En begrænsning af vejens funktion under regn vil kun påvirke adgangen til lokalområdet.

Primære vejarealer
Primære veje betjener byfunktioner for et større område. Typiske tilfælde af begrænsning af vejens funktion finder man i viadukter, som ikke kan passeres under kraftig regn.

Hovedfærdselsveje
Herved forstås vejforbindelser mellem bydele og byer.

Centrale byfunktioner
Specielle tilfælde, hvor der kan blive tale om særlige krav, gælder centrale byfunktioner, som f. eks. trafikcentre, brandstationer, hospitaler, som indgår i alle byer, og som bør gives særlig opmærksomhed på grund af betydning under alle forhold.

Arealer med særlig værdi
Bygninger, konstruktioner, parker, pladser som kræver særlig beskyttelse. Der kan ikke fastlægges generelle krav, fordi beskyttelsesniveauet afhænger af de specielle forhold og må fastsættes individuelt.

Tilstrømning til nærliggende arealer
De ovenstående kategorier for arealanvendelse gælder i tilfælde af, at en opstuvning udelukkende påvirker det lokale areal. Det må imidlertid understreges, at en opstuvning af en vis størrelse i et lokalområde kan påvirke andre arealer ved overfladeafstrømning fra lokalområdet til naboområder. Enhver analyse af opstuvning

bør inkludere en analyse af, hvor vandet kan løbe hen i tilfælde af regn af en større gentagelsesperiode, end det forudsatte funktionskrav for lokalområdet.

4.5 Konkret formulering af krav

Nedenstående opstilles funktionskrav efter de opstillede principper, som baseres på en kombination af minimumskrav og optimering. Ved et kombineret princip forstås, at der i alle tilfælde skal lægges et minimumskrav til grund for beslutninger om funktionen af afløbssystemer, og at der derudover kan opstilles skærpede krav, der f.eks. kan være motiveret af optimering. I kapitel 7 konkretiseres minimumskravet, mens optimering opstilles som en almen mulighed uanset arealanvendelse.

Kritisk kote er defineret som den kote, hvortil vand kan opstuve ifølge vedtaget serviceniveau.

4.5.1 Minimumskrav

Som alment ufravigeligt minimumskrav for funktionen af afløbssystemer gælder følgende:

For et givent areal fastsættes den mindste tilladelige gentagelsesperiode for opstuvning til veldefineret kritisk kote. Denne gentagelsesperiode fastsættes til en værdi T.

4.5.2 Skærpede krav

Som alment grundlag for funktionen af afløbssystemer gælder, at kommunen kan vælge at opstille skærpede krav.

Dette kan ske ud fra

- et ønske om at hæve serviceniveau
- økonomisk betragtning – optimering, svarende til at summen af de årlige skader og de årlige omkostninger til investering og drift af anlæggets minimeres.

4.5.3 Planperiode

Ved fornyelse af et opland kan ovenstående funktionskrav først gøres gældende ved afslutningen af en specificeret planperiode for anlæggets fornyelse.

De ufravigelige minimumskrav er konkretiseret i kapitel 7, hvor de er sat i sammenhæng med de forvaltningsmæssige aspekter af kravenes anvendelse i praksis.

4.6 Kommunikation af funktionsniveau

I overensstemmelse med forpligtelse til oplyst samtykke bør kommunen gennemføre specifikke oplysningstiltag, som i konkrete situationer og med rimelig mellemrum holder brugeren orienteret.

4.6.1 Den enkelte husstand

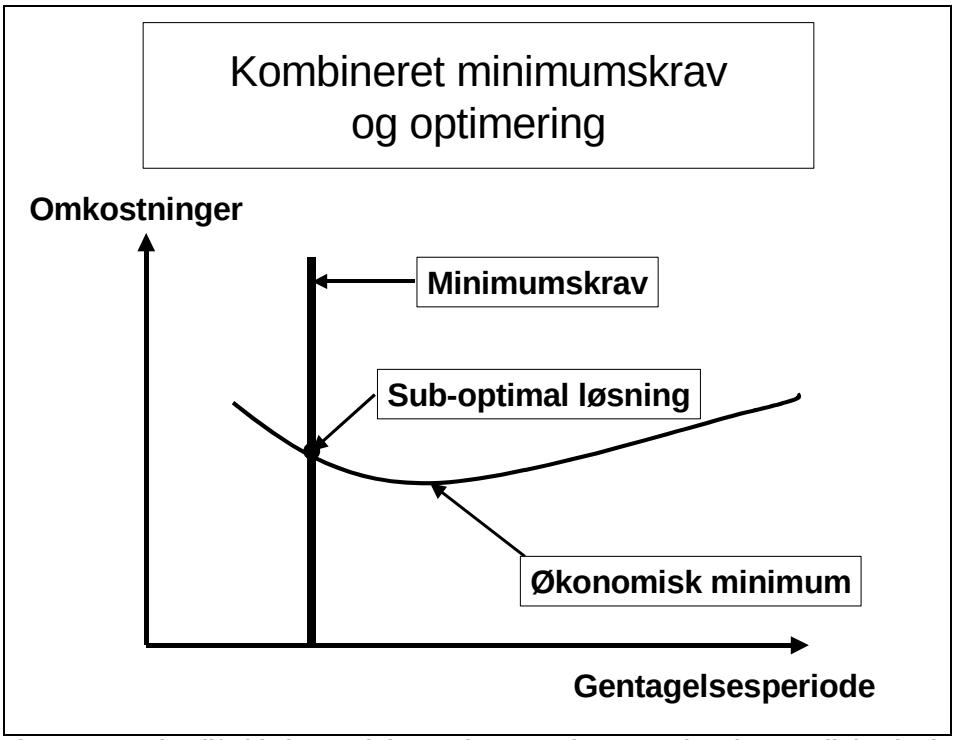
Dette gælder den enkelte husstand, hvilket kan ske gennem foreskrevne annonceringer af høring forud for vedtagelse af planer, som er relevante for serviceniveauet

for afledning af regn- og spildevand. Dette kunne suppleres med brochurer fremlagt på kommunens kontorer og rundsendt til husstandene med information om kritisk kote og konsekvenserne heraf for anvendelse af givne arealer, f. eks. anvendelse af kældre til beboelse.

4.6.2 Det offentlige rum

Tilsvarende gælder for orientering af borgerne om serviceniveauet vedr. opstuvning i det offentlige rum: veje, bycentre, osv. Det kan ske ved udsendelse, fremlæggelse af brochurer, som orienterer om gentagelsesperiode for oversvømmelse af identificerede offentlige arealer i kommunen.

4.7 Privatøkonomisk kontra samfundsøkonomisk fortolkning

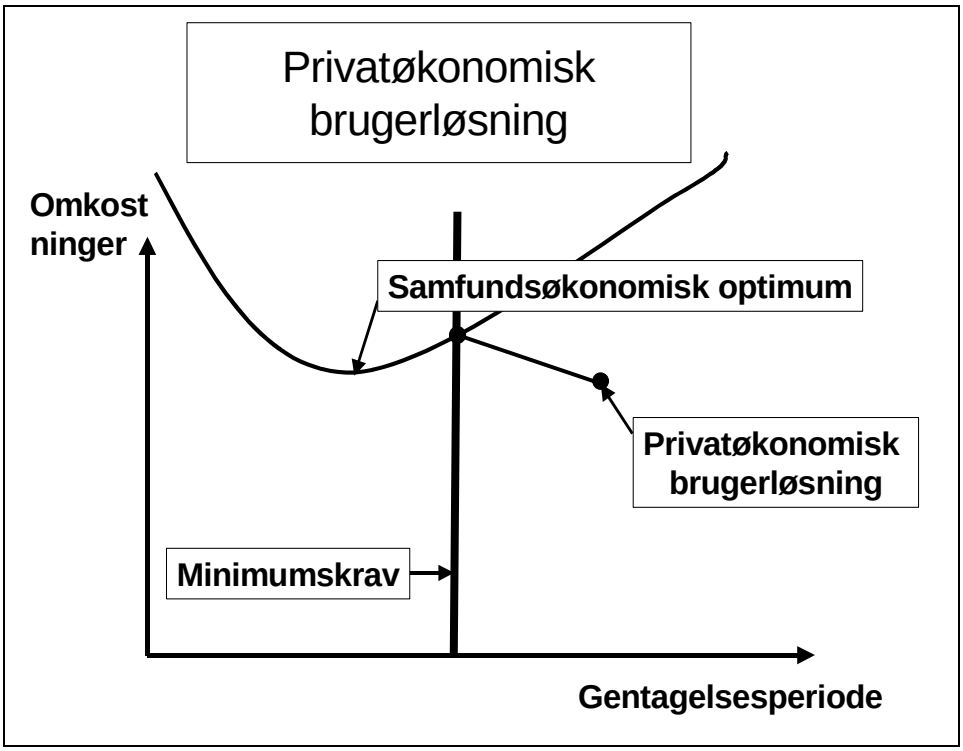


Figur 4.7.1: I det tilfælde hvor minimumskravet er lavere end optimum, vil den bedste løsning være at benytte den optimale løsning, fordi det er billigst, i modsætning til at benytte skæringspunktet mellem de to kurver, som er suboptimalt. Sammenlign med figur 4.3.2.

Figur 4.7.1 viser det tilfælde, hvor en økonomisk analyse fører til en økonomisk optimal løsning, som kombinerer at være billigere end løsningen svarende til minimumskravet og giver en højere gentagelsesperiode, altså mindre ulemper for alle parter. Valg af skæringspunktet mellem de to kurver vil således være en både dyrere og dårligere løsning. Det skal derfor fastslås, at et ønske om at gøre et simpelt minimumskrav til en ufravigelig regel vil kunne føre til urimelige løsninger.

Det er ikke ved fastsættelse af simple krav muligt at tage højde for alle kombinationer og forestille sig alle praktiske tilfælde. Der vil utvivlsomt opstå situationer, hvor der vil være oplagte praktiske løsninger, som ikke kan kombineres med en klar sim-

pel regel om overholdelse af et minimumskrav. Det kan betragtes som et mindste krav, men der skal åbnes mulighed for og tilskyndes til, at særlige forhold kan gøres til genstand for særlig analyse, som fører til bedre og billigere løsninger i praksis. Derfor kan funktionskrav formuleres som en kombination af minimumskrav og økonomisk optimering. Herved tages hensyn til både brugernes rettigheder og hensyn til en rimelig økonomi i valg af løsning. Dette kan imidlertid kun ske inden for den offentlige forvaltnings råderum, som principielt ikke omfatter foranstaltninger på privat grund.



Figur 4.7.2: I visse tilfælde vil minimumskravet ikke blive opfattet som rimeligt ud fra den enkelte brugers privatøkonomiske vurdering. Hvor brugeren ikke er tilfreds med det serviceniveau, som svarer til minimumskravet, kan der forekomme privatøkonomiske løsninger, som kan være billigere for den enkelte end de skader, som brugeren ellers ville være udsat for. Sådanne løsninger består i privat finansieret højvandsbeskyttelse (højvandslukker eller pumpebrønde).

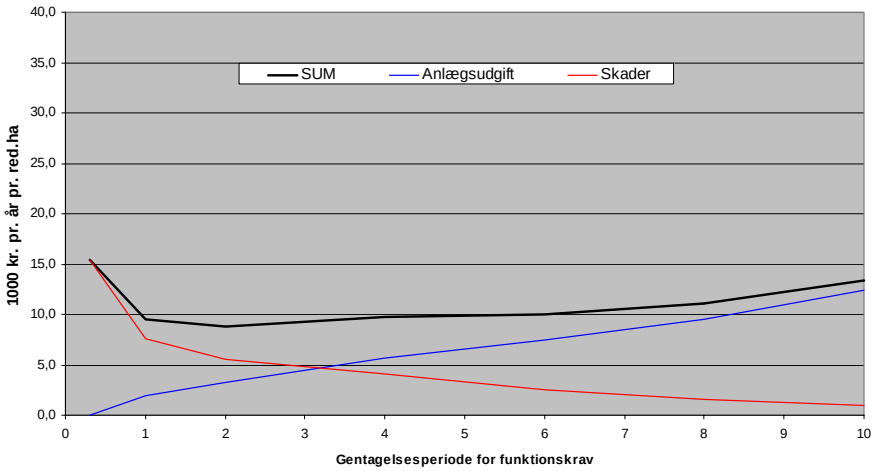
I det foregående er minimumskravet formuleret som et krav gældende for den mest udsatte bruger, og på figurerne er det vist som en lodret linie svarende til et ufravigeligt krav.

Det er udenfor kommunens/afløbsselskabets råderum at stille krav til den enkelte brugers reaktion på det serviceniveau, som ydes i form af tilladelige gentagelsesperiode for oversvømmelse. Såfremt den enkelte bruger ikke er tilfreds med den fastlagte gentagelsesperiode, hvad enten det gælder et minimumskrav eller et samfundsøkonomisk optimum med en højere gentagelsesperiode, da kan brugeren på egen foranstaltning arrangere og betale for højvandsbeskyttelse for at mindske omfanget af skader på egne værdier. Dette er illustreret på figur 4.7.2, hvor den lodrette linie udgør minimumskravet, og punktet til højre for linien en bruger som i egen opfattelse oplever for hyppige opstuvninger. Det er på tegningen vist sådan, at brugeren er villig til selv at investere i en øget gentagelsesperiode. I de tilfælde, hvor et mindretal af brugere ikke er tilfredse med at blive udsat for lavere gentagelsesperio-

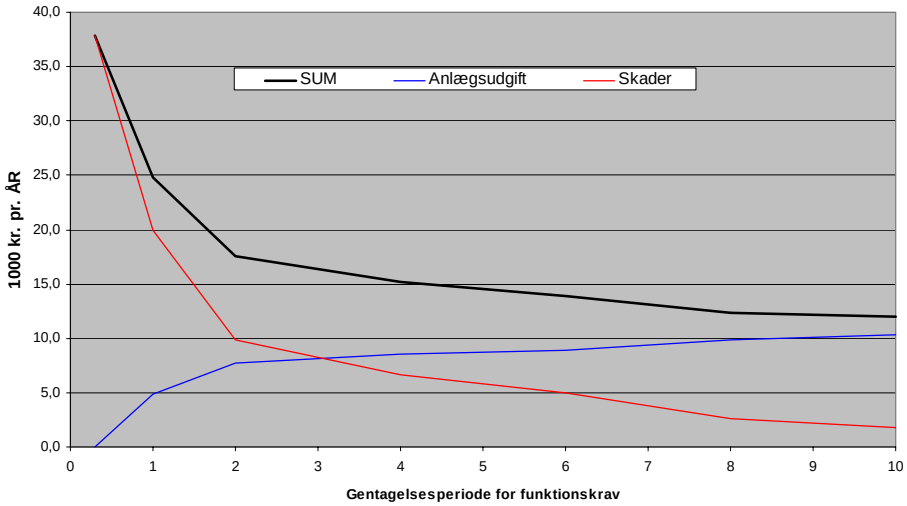
der kan de foretage sådanne privatøkonomiske foranstaltninger, som øger den gentagelsesperiode, som de udsættes for. Eksemplet på et sådant valg af privatøkonomisk løsning er etablering af pumpebrønde for afledning af spildevand fra en række opstuvningstruede huse, hvor det vil være billigere og bedre at søge problemet løst ved denne lokale løsning, frem for gennemførelse af store kloakfornyelser i oplandet. De få lokale brugeres interesse er tilgodeset og funktionskravet rigeligt opfyldt til en omkostning, som kan være lavere end den optimale løsning baseret på kloakfornyelse inden for den offentlige forvaltnings råderum. Dette kan eventuelt fremmes ved frivillige ordninger.

4.8 Eksempler

I det følgende vises to eksempler på optimeringsberegninger for to oplande, der topografisk er meget forskellige. Beregningerne er gennemført med beregningsmodeller, der er opbygget i forbindelse med aktuelle opgaver for de involverede kommuner. I dette afsnit gengives kun resultater. For beregninger se kapitel 5.



Figur 4.8.1: Optimeringsberegning, opland A. Optimum ligger på 1-2 år.



Figur 4.8.2: Optimeringsberegning, opland B. Optimum ligger på 8-10 år, eller derover.

4.8.1 Sammenfatning af eksempler

De to eksempler illustrerer, at der er meget store forskelle fra et opland til et andet. Oplandets topografi er helt afgørende for antallet af udsatte ejendomme, som vil opleve oversvømmelse. I et opland med få udsatte ejendomme kan det være økonomisk urimeligt at benytte et ufravigeligt højt minimumskrav. I et opland med mange udsatte ejendomme kan det økonomiske optimale ligge højere end et minimumskrav.

Man skal imidlertid være opmærksom på, at der skal fastsættes et ensartet serviceniveau for hele kommunen, og at optimering skal betragtes som set samlet.

Optimeringsberegninger kan vise, at det kan være en samfundsøkonomisk fordel at dimensionere for en højere gentagelsesperiode, men der stilles ikke krav om en sådan analyse.

4.8.2 Privatøkonomisk afvejning

De to eksempler har som forudsætning, at der kan regnes med en skade svarende til landsgennemsnittet over hele skalaen af gentagelsesperiode. Dette er urealistisk for de små gentagelsesperioder. En bruger, som oplever en gentagelsesperiode på én oversvømmelse om året med en skade på af størrelsesorden 10.000 kr. pr. gang vil ikke blive accepteret som kunde hos forsikringsselskaberne. En sådan kunde må derfor acceptere oversvømmelserne og indrette sig derefter, hvilket i en samfundsøkonomisk opstilling vil svare til en mistet service af en størrelse, som er vanskelig at bestemme. Som alternativ kan brugeren vælge at investere i egne foranstaltninger til forebyggelse af oversvømmelse. Ud fra en samfundsøkonomisk betragtning kan dette valg opfattes som brugerens betalingsvillighed for den service at undgå oversvømmelse.

Lokal højvandsbeskyttelse består i praksis af to muligheder:

- Højvandslukke: Disse koster af størrelsesorden 5.000-10.000 kr. i investering. Denne foranstaltning giver en vis sikkerhed, men det kræver, at højvandslukket er grundigt vedligeholdt til enhver tid, hvilket de færreste brugere gør sig klart. Selv ved god vedligeholdelse kan et højvandslukke svigte, fordi genstande kan sætte sig i klemme.
- Pumpebrønd: En sådan brønd koster i størrelsesorden 20.000-50.000 kr. i investering. En pumpebrønd giver meget stor sikkerhed mod oversvømmelse.

Et højvandslukke skønnes at koste i størrelsesorden 500 kr./år i samlet årlig udgift. Det svarer til en skade på 10.000 pr. år med en gentagelsesperiode på 20 år. Det kan således betale sig for brugeren at investere i et højvandslukke, såfremt gentagelsesperioden for opstuvning fra det offentlige afløbssystem er mindre end 20 år.

En pumpebrønd skønnes at koste i størrelsesorden 2500 kr./år i samlet årlig udgift. Det svarer til en skade på 10.000 pr. år med en gentagelsesperiode på 4 år. Det kan således betale sig for brugeren at investere i en pumpebrønd, såfremt gentagelsesperioden for opstuvning fra det offentlige afløbssystem er mindre end 4 år.

På dette grundlag er det således et privatøkonomisk anliggende mellem den mest udsatte bruger og dennes forsikringsselskab, om brugeren kan forsikres, såfremt der sker skader med en hyppighed svarende til laveste gentagelsesperiode, eller om der bør investeres i en sikker pumpebrønd eller et knapt så sikkert højvandslukke.

Ovenstående er opstillet som rent økonomiske afvejninger. Det er desuden op til den enkelte bruger, om gentagelsesperioden for oversvømmelse kan accepteres ud fra mange andre hensyn end økonomi. Som påvist i IDA's Spildevandskomitéens skrift nr. 23 er der mange andre hensyn end de rent økonomiske, som kan motivere brugeren til at sikre sig med en større gentagelsesperiode end det laveste minimumskrav.

Kapitel 5. Beregninger

5.1. Beregningernes funktion

Borgerens ret er at få skader fra opstigende vand fra kloakken begrænset til et acceptabelt niveau. Denne ret udtrykkes som gentagelsesperioden for en skade hidrørende fra opstigende regnvand og spildevand.

Funktionskravet er formuleret med udgangspunkt i den virkelige verden. Hvad sker der når det regner? Hvor tit får den enkelte borger rent faktisk en skade, der skyldes regn. Det er borgeren uvedkommende, hvordan de projekterende ingeniører har fundet frem til den aktuelle udformning af afløbssystemet.

Beregninger er udelukkende et hjælpeværktøj for teknikeren til at skabe sig et overblik over de eksisterende systemers funktion og derudfra projektere ændringer, fornyelse eller udvidelser af systemet, således at det tilfredsstiller de opstillede funktionskrav.

Formålet med udførelse af 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 bygger altid på teorier for, hvordan den virkelige verden fungerer, og hvordan man i matematikkens verden kan efterligne den.

Det er anerkendt, at den matematiske efterligning kun er meget primitiv. Uanset hvor avanceret beregningsmetoderne må forekomme, er de tilsvarende processer i den virkelige verden langt mere komplekse.

Det er derfor ved anvendelse af beregning væsentligt at gøre sig klart, at den kun er en tilnærmelse, som man forholder sig til. Følgende skal iagttages ved enhver beregning med henblik på at skabe en acceptabel tilnærmelse til virkeligheden og forholde sig til den opstillede sammenhæng:

- Udvis stor omhu med opbygning af beregningssystemet. Et acceptabelt teoretisk udgangspunkt. Foretag kvalitetssikring af data på alle niveauer.
- Opsøg forbindelsen til virkeligheden. Opsøg og tilpas med måledata – kalibrering. Se afsnit 5.4
- Vurdér usikkerhed. Se kapitel 6.
- Fastsæt sikkerhedstillæg i relation til den vurderede usikkerhed, herunder hensyn til graden af kalibrering.

5.1.1 Målsætning

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

- analysere den hydrauliske funktion af et afløbssystem under regn udtrykt ved niveau for opstigning af vand som funktion af gentagelsesperiode.
- analysere for den fremtidige funktion efter en planlagt ændring, fornyelse eller udbygning af systemet.

5.1.2 Minimumskrav

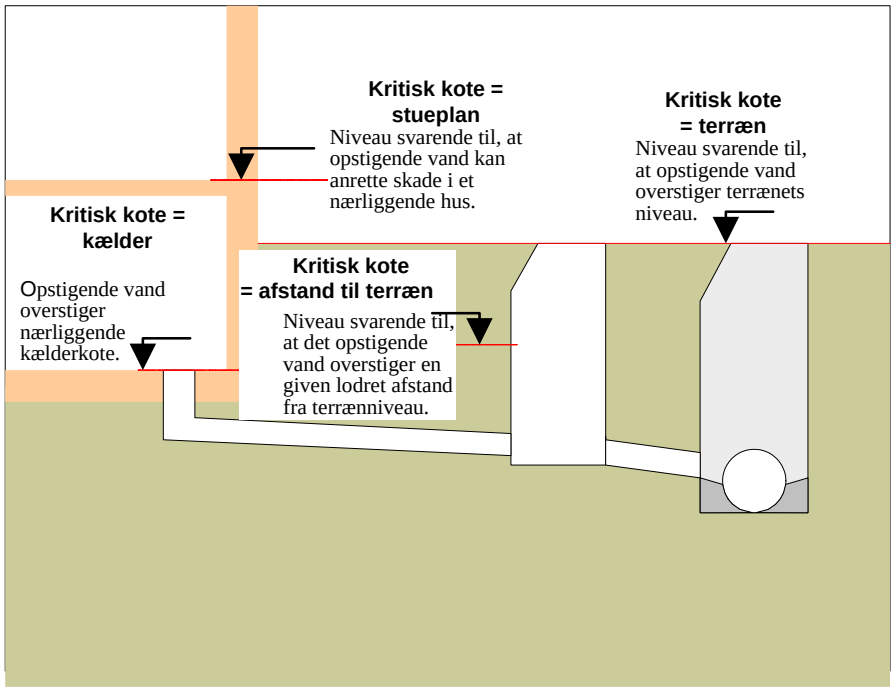
Den konkrete formulering af *minimumskravet* er en mindste gentagelsesperiode for opstigning af vand til terræn.

Før minimumskravet kan beregnes, skal der altså defineres en *terrænkote* for hvert enkelt punkt i afløbssystemet.

Denne kote betegner for den enkelte brønd grænsen for en skadevoldende begivenhed.

5.1.3 Skærpede krav

Ved opstilling af skærpede krav skal det godtgøres, at kravene overalt i systemet giver et højere serviceniveau end de fastsatte minimumskrav. Figur 5.1.1. viser eksempler på koter i systemet der kan anvendes ved opstilling af skærpede krav.



Figur 5.1.1 Eksempel på definition af kritiske koter.

Når beregningssystemet er sat op og beregningerne gennemført, kan den fastsatte kritiske kote for hvert enkelt punkt sammenlignes med den beregnede, og det kan derved fastslås, hvad status er i forhold til de opstillede funktionskrav.

Hvis funktionskravet ikke er overholdt, tilrettelægges ændringer i systemet, og nye beregninger tester de simulerede ændringer.

5.1.4 Optimering

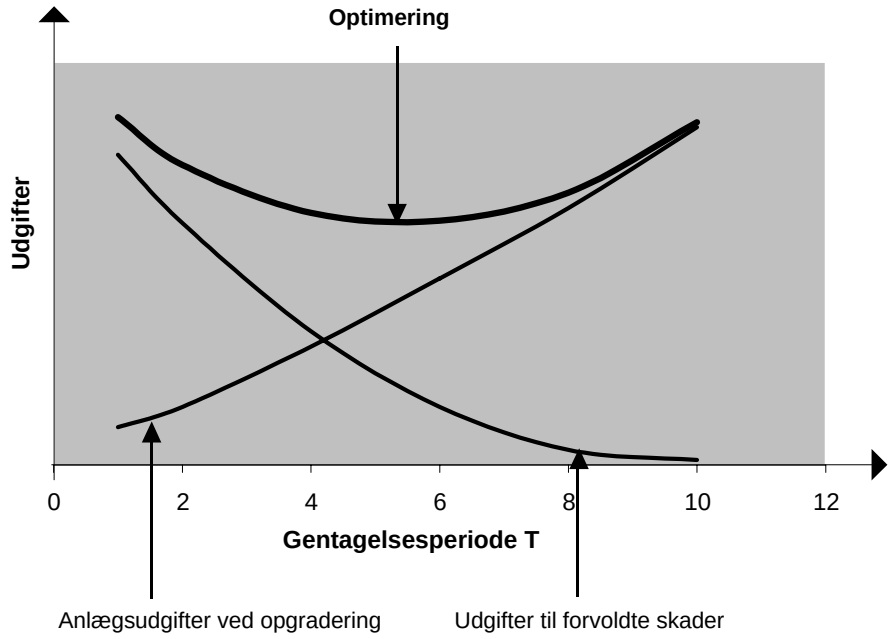
Af formuleringen af *funktionskrav* fremgår det, at skærpede krav kan baseres på optimering.

Optimeringen er den rene økonomiske afvejning, der består i at sætte udgifter til udvidelse af anlæggets hydrauliske kapacitet over for udgifter til de skader der opstår.

Beregning af optimering består grundlæggende i at fremstille to kurver. Kurverne består af en række punkter, der for en given gentagelsesperiode viser:

- Anlægsomkostninger og forøgede driftsomkostninger ved at opgradere det aktuelle afløbssystem til at overholde minimumskravene for gentagelsesperioden.
- Udgifter til skader forvoldt af opstigende vand for det afløbssystem der overholder minimumskravene for gentagelsesperioden.

Summeres disse kurver fås et udtryk for den samlede omkostning, og minimum angiver det økonomisk optimale system. Hvis dette er højere end minimumskravet, kan det betale sig at opgradere systemet til et højere niveau af gentagelsesperiode og derved et bedre serviceniveau for færre penge. Hvis det er mindre end minimumskravet, skal dette opfyldes. Se figur 5.1.2



Figur 5.1.2: Illustration af princip for optimering.

5.1.5 Beregninger - præsentation

I det følgende præsenteres 3 koncepter – her kaldet beregningsniveauer - der foreslås benyttet ved dimensionering og analyse af afløbssystemer. Disse beregningsniveauer er alle opstillet med henblik på opfyldelse af den opstillede målsætning for beregninger, og giver forslag til at løse en given opgave på en måde, som er tilpasset den aktuelle problemstilling.

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

Det enkelte beregningsniveau må nødvendigvis bestå af 3 sammenhængende elementer: beregningsmetoden, brug af regndata og kriterier for opfyldelse af de opstillede funktionskrav.

- *Beregningsmetoden*.
  I de valgte beregningsniveauer benyttes:
  - *Den rationelle metode.*
    Dette er en gammel, velkendt metode. Metoden bygger på en simpel antagelse om forholdet mellem afstrømningstid og dimensionsgivende vandføring udtrykt ved en regnrække, der repræsenterer den besluttede gentagelsesperiode. Metoden er en dimensioneringsmetode og kan ikke håndtere opstuvning. Der findes umiddelbart ikke offentligt tilgængelige computerprogrammer, der håndterer den rationelle metode, men det er en oplagt mulighed at benytte computerprogram eller regneark til at håndtere denne simple metode.
  - *Dynamisk model* - computermodel på hydrodynamisk niveau.
    I Danmark er beregningsmodellen MOUSE meget udbredt, og stort set den eneste, der her i landet er erfaring med indtil nu. Det er derfor en uomgængelig reference, men i princippet er disse beregninger uafhængige af det enkelte it-produkt.

- *Regndata*
  Der benyttes konsekvent regndata med henvisning til Spildevandskomiteens skrift nr. 26:
  - regnrækker,
  - syntetisk regn: CDS-regn.
  - historiske regnserier

- *Kriterium for opfyldelse af de stillede krav*
  Som kriterium anvendes 2 typer:
  - Flowkriterium, hvor der defineres en gentagelsesperiode for overskridelse af beregningsmæssigt maksimalt flow for en given gentagelsesperiode. Dette kriterium benyttes ved dimensioneringsmetode.

  - Niveaukriterium, hvor der opstilles kriterium for gentagelsesperiode for opstigning af vand til en kritisk kote. Dette kriterium benyttes ved analyse med model.

Beregningsniveau 1

Dette niveau svarer til forhistorien og kan beregnes i hånden ved hjælp af regneark eller et meget enkelt computerprogram.

- Metode: Den rationelle metode
- Regndata: Regnrækker
- Kriterium: Gentagelsesperiode for overskridelse af den beregningsmæssige ledningskapacitet.

Dette niveau er udelukkende et dimensioneringskoncept og kan kun anvendes, hvor der med rimelighed kan etableres en relation mellem det Q_{max}, der kan beregnes med metoden og det opsatte *Minimumskrav*. Dette niveau benyttes primært til dimensionering af mindre og regelrette systemer.

Beregningsniveau 2
Dette beregningsniveau svarer til en meget udbredt praksis, hvor der anvendes syntetiske CDS-regn, der har vist sig meget anvendelige, men hvor statistikken fortsat er lagt på regndata.

- Metode: Anvendelse af dynamisk model
- Regndata: CDS-regn
- Kriterium: Opstuvning til kritisk kote.

Dette niveau er en analysemetode, der benyttes for afløbssystemer, hvor der er en forholdsvis veldefineret sammenhæng mellem statistikken på regnen og statistikken på effekten af regnen, dvs. i relativt ukomplicerede systemer.

Beregningsniveau 3
Dette niveau svarer til den generelle anvendelse af modeller og regndata.

- Metode: Anvendelse af dynamisk model
- Regndata: Historiske regnserier.
- Kriterium: Opstuvning til kritisk kote.

Dette niveau er en analysemetode, der er generelt anvendelig på vilkårlige systemer, men som er kompliceret at anvende. Derfor bør den kun anvendes ved relativt komplicerede systemer, hvor betingelserne for anvendelse af beregningsniveau 1 og beregningsniveau 2 ikke er opfyldt.

5.1.6 Princip for valg af beregningsniveau

Det grundlæggende princip for valg af beregningsniveau i en given situation er, at ethvert problem løses på det lavest mulige niveau, således at indsatsen kommer til at modsvare problemets størrelse.

Der kan ikke opstilles færdige formler for, hvorledes man skal benytte et eller flere beregningsniveauer, men der kan opstilles retningslinier. Det er ud fra disse retningslinier op til den enkelte projekterende ingeniør at vurdere det relevante beregningsniveaus anvendelighed i den konkrete sag.

5.2 De 3 beregningsniveauer

5.2.1 Beregningsniveau 1

- Metode: Den rationelle metode.
- Regndata: Regnrække.
- Kriterium: Gentagelsesperiode T for fuldtløbende ledninger.

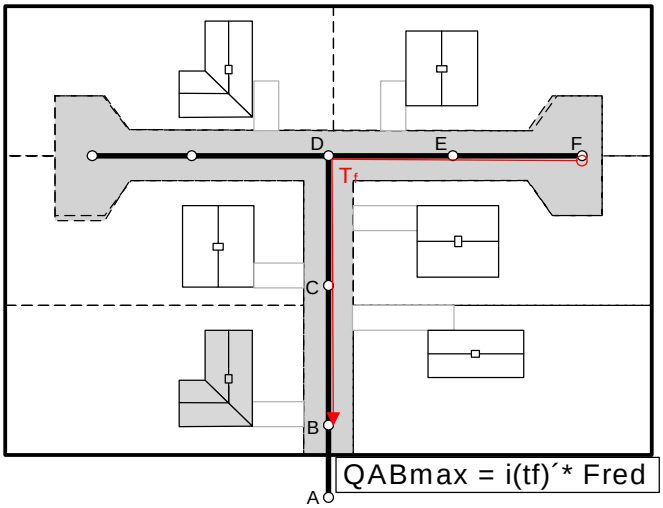
5.2.1.1 Metoden – Den rationelle metode
Metoden bygger på den antagelse, at det maksimale flow i enhver ledning kan beskrives som multiplum af det ovenfor liggende *bidragydende areal* og en entydigt defineret *kritisk regnintensitet*.

Det bidragydende areal er kombination af geometri og hydrologi. Enkeltarealernes bidragydende del fås som multiplikation af det opmålte, befæstede areal og en hydrologisk reduktionsfaktor, der karakteriserer arealet hydrologisk. I data opsøges de del-oplande, der ligger ovenfor i systemet, og det bidragydende areal frem til den betragtede ledning summeres.

Koncentrationstiden findes som den tid vandet er om at løbe fra det opstrøms fjernest liggende punkt frem til den betragtede ledning. Den fuldtløbende hastighed i det enkelte rør frem mod punktet benyttes til denne beregning.

For den enkelte ledningstrækning dimensioneres ledningen således, at kriteriet er overholdt, dvs. at den beregnede maksimale vandføring kan føres i ledningen. Ledningens nødvendige kapacitet beregnes med Manningformlen

Regnestykket giver altså for et givent afløbssystem og med en valgt given gentagelsesperiode en maksimal afstrømning for den enkelte ledning og en dertil svarende dimension.

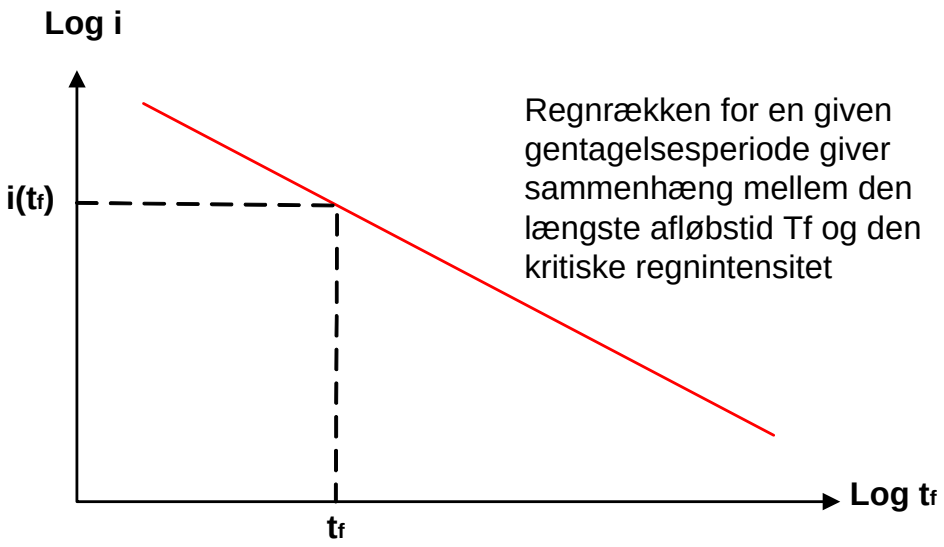


Figur 5.2.1: Illustration af den rationelle metode

5.2.1.2 Regndata – Regnrækker.
Som regndata benyttes regnrækker. Den relevante regnrække findes i Spildevandskomiteens skrift nr. 26 og vælges, så den repræsenterer den søgte gentagelsesperiode.

I dette skrift er regnrækken *for en given gentagelsesperiode* karakteriseret med 3 parametre Alfa, Theta og Nu. Sammenhængen mellem *den kritiske regnintensitet* og afløbstiden karakteriseres herefter således:

$I = alfa*(t+Theta)^{-Nu}$, I = intensitet i μms^{-1}, t = afløbstid i minutter. Se figur 5.2.2.



Figur 5.2.2: Regnrækker og kritisk regnintensitet

5.2.1.3 Kriterium
På niveau 1 er kun ét kriterium muligt, nemlig gentagelsesperioden for udnyttelse af den beregningsmæssige fuldtløbende kapacitet.

Sammenhæng mellem udnyttelse af fuldtløbende ledningskapacitet med denne metode og opstuvning til kritisk kote kan ikke beregnes.

5.2.1.4 Afgrænsning

- Metoden kan kun benyttes til at finde maksimal vandføring og sammenligne med formel ledningskapacitet. Det er ikke muligt at håndtere stuvning med denne metode.

- Metoden kan kun benyttes i en ren træstruktur, og i et system, der ikke har indbygget nogen form for begrænsning som f.eks. vandbremse, overløb m.v. og ikke indeholder volumen i punkter.

5.2.1.5 Diskussion af anvendelse af den rationelle metode.
Den rationelle metode er brugt gennem mange år, og det er en del af den fælles bevidsthed hos afløbsteknikere, at den som dimensioneringsmetode er rummelig og

konservativ. Dimensionering med denne metode vil efter de flestes opfattelse give en stor sikkerhed mod opstuvning.

En gentagelsesperiode på traditionelt T = 2 år har gennem tiden givet afløbssystemer, der for det meste ikke har givet hydrauliske problemer, selvom man skulle tro at ledningsfyldning hvert andet år, ville give opstuvninger af og til. Selv ældre systemer, hvis sikkerhed må formodes at være presset af fortætning, fungerer tilsyneladende godt, selvom de nominelt blev dimensioneret for T = 2 år.

Imidlertid bygger denne opfattelse på forudsætninger, der svarer til den traditionelle anvendelse af den rationelle metode.

Følgende parametre skal i denne sammenhæng fremhæves *i forhold til den traditionelle* anvendelse; parametre, der i sig selv er konservative.

- **Overfladeafstrømning**. Der regnes ikke med forsinkelse på overfladeafstrømningen. Dette giver for den enkelte ledning større beregningsmæssig kritisk intensitet og dermed en større ledningsdimension.
- **Afløbskoefficient**. Der regnes med begrebet afløbskoefficient, hvilket i praksis svarer til, at der ikke indregnes hydrologisk reduktionsfaktor. Dette giver større vandmængde, end vi forudsætter med hydrologisk reduktionsfaktor (sættes som regel til 0,80 - 0,90) og dermed større ledningsdimension.
- **Oprunding til handelsdimension**. Resultatet af en beregning vil altid være et skævt beregningsmæssigt tal. Det bliver naturligvis oprundet til dimensioner, der kan købes, og traditionelt er der ofte oprundet yderligere én dimension.

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

Den rationelle metode er derfor benyttet med og uden forsinkelse, med og uden den hydrologiske tabsfaktor indregnet.

Der er derfor grund til at gøre opmærksom på, at metoden er meget følsomt over for valg af ovenstående, og at den sikkerhed mod opstuvning metoden i sig selv giver, er stærkt afhængig af, hvordan metoden benyttes. Specielt har fastsættelse af forsinkelse på overfladeafstrømningen stor betydning.

5.2.2 Beregningsniveau 2

- Metode: Dynamisk model.
- Regndata: Syntetisk CDS-regn
- Kriterium: Gentagelsesperiode for opstuvning til kritisk kote.

5.2.2.1 Metoden – Dynamisk beregning
Metoden bygger på anvendelse af tilgængelig model for beregning af afstrømningsforløb under regn. I Danmark har vi modelkomplekset MOUSE, der er meget udbredt og anvendt.

Det samlede afstrømningsforløb håndteres af to modeller:

- **Overflademodel**:
  Den grundliggende funktion af overflademodellen er at omsætte regndata til afstrømning på overfladerne og at levere data til beregning af strømningen i afløbssystemet.

  Inddata til modellen består af:
  - Geometriske data, der knytter et oplandsareal til et knudepunkt. Data for overfladearealet er informationer om overfladearealets størrelse, form og tæthed og data om antallet af personækvivalenter, der er tilsluttet knudepunktet.

  - Hydrologiske data, der generelt eller specifikt tilknyttes de enkelte overflader.

  På basis af data om overfladerne beregnes indløbshydrografer for de enkelte knudepunkter, og resultatet af beregningerne bringes på en læsbar form.

  Overfladehydrografer kan beregnes på mange modelniveauer. I MOUSE er der mange niveauer med en simpel tid-areal-metode, som den mest anvendte.

- **Rørmodel**:
  Den grundliggende funktion af modellen er at simulere afstrømningen i et vilkårligt afløbssystem med de brønde, bygværker, ledninger, pumper, overløb vandbremser, styring m.v., det indeholder og levere resultatdata i form af flow, stuvningsniveauer overløb m.v.

  Inddata til modellen består af:

  - Geometriske data, dvs. data om brønde, ledninger og bygværker på en form, der placerer dem i planen og i niveau, samt angiver dimensioner, form og materiale om elementerne.
  - Hydrauliske data, der generelt eller specifikt tilknyttes de enkelte ledninger.
  - Data om funktioner såsom overløb, pumper, regulering,

  Modellen arbejder med løsning af St. Venants ligninger for et vilkårligt ledningsnetværk og med et kort tidsskridt. Kombineret med funktionelle beskrivelser af elementer indbygget i knuderne i netværket simuleres den komplette afstrømning i et afløbssystem.

  Det opsatte regningssystem kan som belastning påtrykkes ydre betingelser:

  - Overfladeafstrømning for regn.
  - Rande, f.eks. ind- og udpumpede vandmængder, eksterne hydrografer fra tilløb, m.v.
  - Udløb med recipientkoter, der muligvis kan udvirke en tilbagestuvning.
  - Spildevandsafstrømning.

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

Modelberegningerne afvikles som enkelthændelsesberegninger, hvor de valgte regndata udgør den grundliggende forudsætning for beregningsniveau 2: *at beregningsresultaterne svarer til effekten af regnen for den gentagelsesperiode, der er valgt for regnen.*

Der henvises i øvrigt til manualer for de relevante modeller.

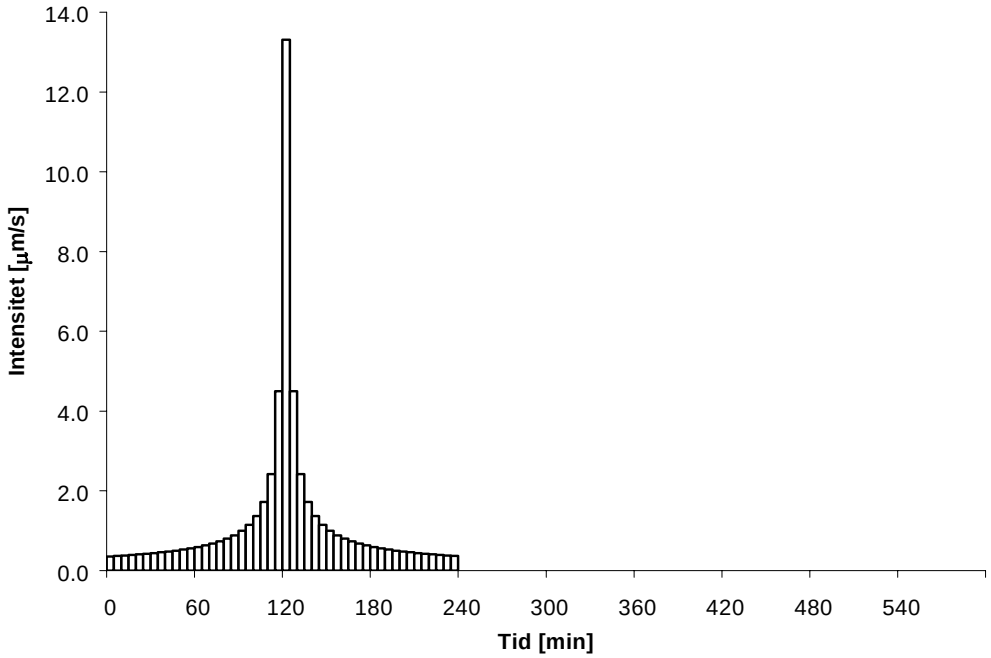
5.2.2.2 Regndata – CDS regn
CDS-regn – Chicago Design Storm - er udviklet i 1960'erne på universitetet i Illinois og er specifikt udviklet til kinematiske modeller, dvs. til et modelniveau, der er lavere end den modellering, der sker på beregningsniveau 2. Kinematiske modeller kan ikke indregne opstuvningsfænomer.

En CDS-regn er en syntese af en regnrække – der benyttes på beregningsniveau 1 – som er en funktion, der for en given valgt gentagelsesperiode giver sammenhængen mellem regnvarighed og intensitet. Ideen med CDS-regn er at tage hensyn til volumenet. Det gøres ved at kombinere volumenet for regnen med maksimalintensiterne.

I Skrift nr. 26 er CDS-regn fyldigt behandlet. Her er præsenteret et regneark, der genererer en CDS-regn, som kan overføres til brug i model.

På figur 5.2.3 er vist en CDS-regn, der er genereret ud fra skrift 26 med følgende parametre:

Årsnedbør	580 mm
Gentagelsesperiode	2 år.
Tidsskridt	5 min.
Region	0
Sikkerhedsfaktor på regn	0
Varighed	240 min.



Figur 5.2.3: CDS regn generet fra skrift 26

5.2.2.3 Kriterium
Ved anvendelse af modeller er både flowkriterium og niveaukriterium mulige at anvende. Formuleringen af de opstillede funktionskrav er direkte forbundet med maksimal opstuvning for en valgt gentagelsesperiode. Derfor benyttes niveaukriteriet på beregningsniveau 2.

5.2.2.4 Afgrænsning
Beregningsmetoden i sig selv giver ikke nogen afgrænsning. Beregningssystemet kan håndtere alle de sammenstillinger af knuder, ledninger og funktioner, der optræder i afløbssystemer, også selv om afstrømningsbilledet i nogle tilfælde er meget kompliceret.

Afgrænsning af niveau 2 ligger i anvendelse af CDS-regn. Ved brug af CDS-regn ligger statistikken på udvælgelsen af regn. Det betyder, at der sættes lighedstegn mellem statistikken på regn og statistikken på effekten af regnen på afløbssystemet.

Ved anvendelse af beregningsniveau 2 skal der være overensstemmelse mellem statistik på regn og statistik på effekt af regn, og denne overensstemmelse er i praksis bedst, når afløbssystemets funktion ikke er påvirket af opbremsning, tilbagestuvning og store volumener. Dette skal vurderes fra gang til gang.

5.2.3 Beregningsniveau 3

- Metode: Dynamisk model.
- Regndata: Historiske regnserier.
- Kriterium: Gentagelsesperiode for opstuvning til kritisk kote.

5.2.3.1 Metoden – Dynamisk beregning – langtidssimulering
Beregningsmodellens opsætning er den samme som beregningsniveau 2. Der opsættes en model, som beskrevet i afsnit 5.2.2.1

Kun regndata og afvikling af beregningerne afviger. Modelberegningerne afvikles som langtidssimulering. I forhold til enkelthændelsesberegninger er dette meget tidskrævende.

Der er flere parametre, der skal vurderes, og der er mange muligheder for at spare tid ved at skabe sig et bedre overblik over beregningerne. Den store indsats ved beregning med modeller er opbygning, kvalitetssikring og evt. kalibrering af modellen, og det er ens for beregningsniveau 2 og beregningsniveau 3.

Resultaterne af beregningerne afgør gentagelsesperioden. Hvor der på de øvrige beregningsniveauer er en fast gentagelsesperiode på alle resultaterne, udviser langtidssimuleringen resultater fra flere gentagelsesperioder. Hver enkelt resultatserie – f.eks. et antal maksimale stuvningsniveauer i en given brønd – rangordnes, således at den statistiske gentagelsesperiode fastsættes for serien, og dermed giver en sammenhæng mellem gentagelsesperioden og det maksimale niveau i brønden.

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

5.2.3.2 Regndata – Historiske regn
En helt afgørende forudsætning for at benytte beregningsniveau 3 er, at der foreligger lange historiske serier af regnintensiteter med en høj tidsopløsning.

Det har vi i Danmark. Regndata for 41 regnmålere med en tidsopløsning på 1 minut i perioden fra 1979 er tilgængelige for danske brugere. Data er behandlet i Spildevandskomiteens skrift nr. 26 svarende til perioden fra 1979 til 1996, og der foreligger hér anbefaling af, hvorledes regnserier udvælges i konkrete situationer. Der kan altså med anvendelse af disse data opnås en største beregningsmæssig gentagelsesperiode på 17 år, men usikkerheden vil være stor på de største gentagelsesperioder.

5.2.3.3 Kriterium – Maksimal stuvning
I lighed med niveau 2 er både flowkriterium og niveaukriterium mulige at anvende, men også hér benyttes kun niveaukriterium, da det direkte kan sammenlignes med de opstillede funktionskrav.

5.2.3.4 Afgrænsning
Der er i princippet ingen beregningsmæssige begrænsninger ved niveau 3.

Beregningsmæssigt er det den ideelle situation, at de virkelige effekter beregnes med den virkelige regn, og at der beregnes statistik på disse effekter.

Imidlertid vil denne ideelle situation forudsætte en meget lang regnserie, og vi har kun op til 24 år til rådighed. Faktisk er observationsperioderne i databearbejdningen i skrift 26 maksimalt på ca. 17 år.

I forhold til den søgte gentagelsesperiode på effekten af regnen, nemlig oversvømmelsen, giver en observationsperiode på 15 -17 år problemer for de høje gentagelsesperioder.

Ved f.eks. beregning af effekten for en gentagelsesperiode på 10 år er det udelukkende effekten fra den kraftigste og den næstkraftigste regn i serien, der indgår i beregningerne.

Dette vil give en stor usikkerhed på resultatet. Dette skal overvejes ved brug af beregningsniveau 3.

5.2.4 Diskussion.

Den rationelle metode og lignende metoder er i årtier blevet benyttet til at dimensionere de afløbssystemer, der nu skal fornys i stort omfang, og de metoder har fastlagt serviceniveauet for opstuvning.

Beregningsniveau 2 og 3 er indført i de sidste to årtier og anvendes i dag med største selvfølgelighed.

Der gives i det følgende to eksempler på, hvorledes sammenhængen mellem metoder kan beskrives, og specielt hvor stor en betydning valget af parametre har ved anvendelse af den rationelle metode.

Den rationelle metode og tilsvarende koncepter er udelukkende dimensioneringsmetoder. Derfor er de to eksempler bygget op således, at et opland dimensioneres med forskellige parametre og efterfølgende analyseres med metode 2 og 3.

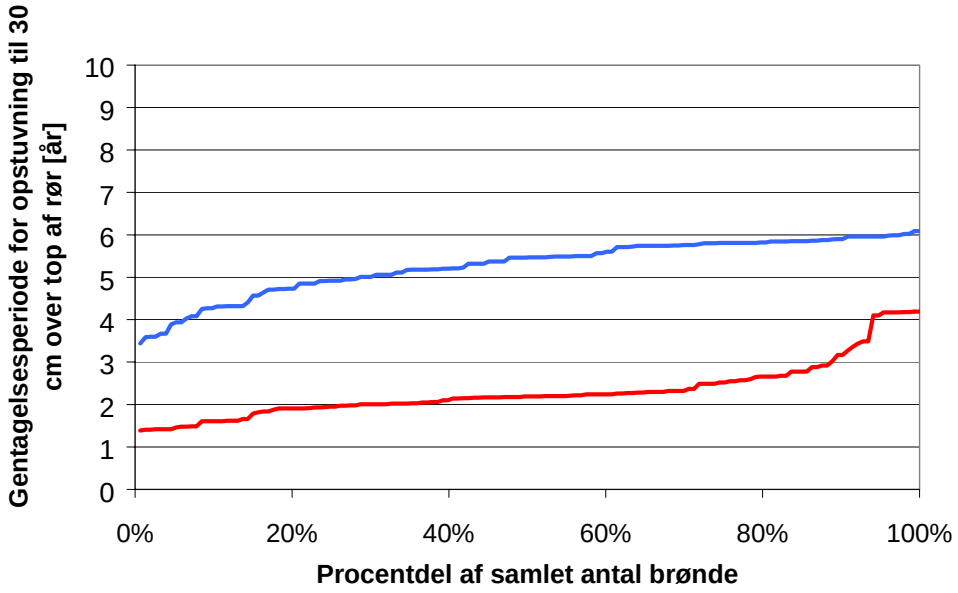
Resultatet gives som *fordelingskurver*, der viser fordelingen af gentagelsesperioden for opstuvning til veldefineret kritisk kote. Denne afbildningstype giver et overblik over et givent systems ”hydrauliske tilstand” og er beskrevet i afsnit 5.5.1.3.

5.2.4.1 Eksempel 1

Et simpelt symmetrisk opbygget opland er dimensioneret med den rationelle metode i to versioner af beregningerne, 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 beregning A er der ikke regnet med forsinkelse på overfladerne, i beregning B er der regnet med 5 min.

Efter dimensionering gennemregnes de to forskelligt dimensionerede oplandsversioner med model på beregningsniveau 2, se afsnit 5.2.2, og der beregnes en gentagelsesperiode for opstuvning til den kritiske kote i hver enkelt brønd. Den kritiske kote er sat til højeste rørtop. På figur 5.2.4 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 mindst en faktor 2 på gentagelsesperioden. Faktisk svarer forskellen i dimensioneringen stort set til en handelsdimension.



Figur 5.2.4: Fordelingskurve for opstuvning til højeste ledningstop. Blå kurve: Beregning A - uden forsinkelse på overflader. Rød kurve: Beregning B - med 5 min. forsinkelse på overflader.

5.2.4.2 Eksempel 2

Et lidt mere komplekst opland gennemregnes med to forskellige beregninger af den rationelle metode. I dette til fælde regnes konsekvens med den oprindelige og en opdateret beregning af den rationelle metode.

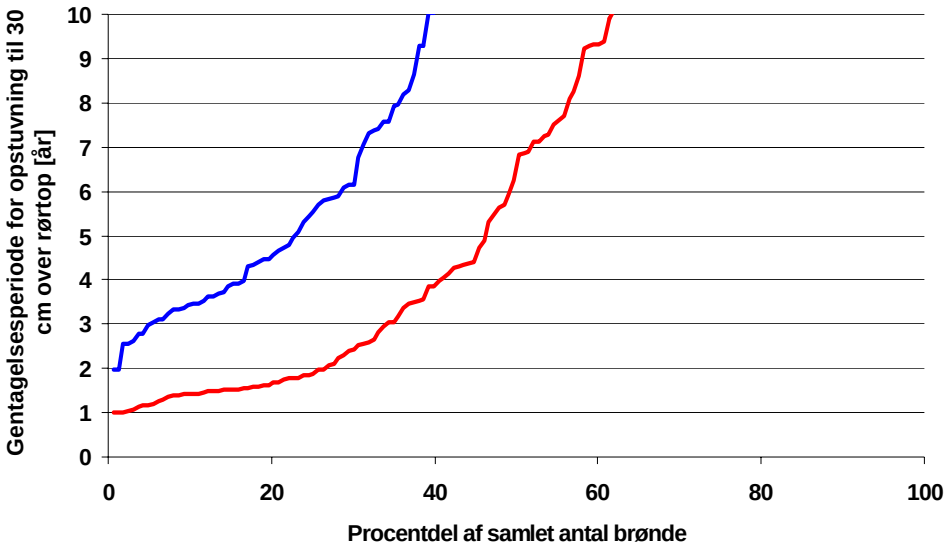
Tabel 5.2.1 viser forskellen i parametrene for dimensioneringsmetoden.

´Tabel 5.2.1: Forskel i parametre for dimensioneringsmetode.

	Beregning 1 - den oprindelige	**Beregning 2 - den opdaterede**
Forsinkelse på overflader	0	7 min.
Hydrologisk tabsfaktor	1.00	0,86
Manningtal,*)	72	60

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

På figur 5.2.5 ses resultatet svarende til afbildning i figur 5.2.4.



Figur 5.2.5: Fordelingskurve for opstuvning til højeste ledningstop. Blå kurve: Beregning 1 - den oprindelige metode. Rød kurve: beregning 2 - 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 højeste rørtop.

5.2.4.3 Sammenfatning
Eksemplerne viser, at den rationelle metode skal bruges med omhu. De indgående parametre har stor betydning og kan, som eksemplerne viser, flytte en del.

Det anbefales at benytte den rationelle metode med parametre svarende til de andre beregningsniveauer, *med* forsinkelse, *med* hydrologisk tabsfaktor, *med* kom-

pensation for manningtal og en sikkerhedsfaktor på vandmængden svarende til det valgte sikkerhedstillæg, som beskrevet i kapitel 6.

5.3. Anvendelse af beregningsniveauer

De tre foreslåede beregningsniveauer har hver deres funktion og virkeområde. I de fleste beregningstilfælde vil man snarere foretrække at benytte dem sammen, end at skulle vælge det ”korrekte” beregningsniveau.

I det følgende gives en kort omtale af de enkelte beregningsniveauers anvendelsesområde og en diskussion af forholdet mellem dem.

5.3.1 Anvendelsesområder

5.3.1.1 Beregningsniveau 1

Niveau 1 er udelukkende en dimensioneringsmetode, som kun er egnet til beregninger, der for den enkelte ledning sammenknytter gentagelsesperioden og den nødvendige formelle ledningskapacitet.

En del af minimumskravet angiver en gentagelsesperiode for udnyttelse af den maksimale kapacitet for den enkelte ledning, og beregningsniveau 1 passer til denne anskuelse.

Dette skønnes at kunne ske med rimelighed, hvis følgende betingelser er overholdt:

- Der optræder ikke stuvning hidrørende fra nedstrøms forhold (recipientstuvning) i den betragtede del af systemet.
- Ledningsnettet er en ren træstruktur. Der er aldrig mere end én udgående ledning fra en brønd.
- Ledningsnettet er uden nogen form for bygværk, overløb, pumpe eller regulering (som f.eks. vandbremse).
- Der er ingen ledninger med ekstremt store eller ekstremt små fald.

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

5.3.1.2 Beregningsniveau 2

Niveau 2 er en analysemetode, der alene verificerer, om det eksisterende eller foreslåede ledningssystem med tilhørende oplande overholder det opstillede kriterium for det enkelte knudepunkt.

Der er egentlig ikke nogen begrænsninger i størrelsen af det betragtede område, men følgende punkter skal overholdes for at benytte beregningsniveau 2:

- Der er ingen store ledninger med ringe fald. Store ledninger er i den sammenhæng ledninger, der virker mere som magasineringsvolumen end som transportledninger.

- Der er ikke bassiner, der i dominerende grad bestemmer afstrømningen.
- Der er ingen vandbremser.
- Der er ikke automatisk styring.
- Der er ikke ledningsstrækninger, der er permanent vandfyldte.

I praksis er det alle ”normale” systemer; systemer der er ukomplicerede, og hvor afstrømningsbilledet er forholdsvis enkelt.

Se afsnit 5.2.2.4

5.3.1.3 Beregningsniveau 3
Beregningsniveau 3 er som niveau 2 en analysemetode, og beregningerne er præcis de samme. Forskellen er, at regninput er en serie, og at statistikken relateres direkte til den beregnede effekt af regnen på de enkelte resultatparametre.

Derfor er der ingen begrænsning på anvendelse af niveau 3. Dog skal det ved høje gentagelsesperioder overvejes, at de giver en voksende usikkerhed på resultatet.

Dette er diskuteret i afsnit 5.2.3.4

5.3.1.4 Diskussion
I afsnit 5.2 er forholdet mellem beregningsniveau 1 og beregningsniveau 2 og 3 behandlet. Det er meget markant, at anvendelsen af parametre giver så store forskelle i resultaterne ved anvendelse af den rationelle metode.

Det kan anbefales at benytte den rationelle metode på mindre systemer og specielt ved dimensionering af nye anlæg, vil den være effektiv. 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 at beregne på et enkelt system med beregningsniveau 2, er simpel og en omhyggelig registrering og gennemgang af systemet – hvad enten det er eksisterende eller fremtidigt – bør under alle omstændigheder være gennemført forud for enhver beregning.

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

Med de regnserier, der foreligger i skrift nr. 26, kan det ikke anbefales at tolke resultaterne for højere gentagelsesperioder end 5 år på beregningsniveau 3.

5.4. Kalibrering

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

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

Kalibrering hænger sammen med fastsættelsen af den bevidst valgte sikkerhed. En god kalibrering vil argumentere for en lavere sikkerhedsfaktor på den samlede vandmængde i beregningerne.

5.4.1 Det grundliggende princip

- 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. Glemte muligheder for udnyttelse eller forbedring af data og datasammenhænge er en lige så stor mulig kilde til usikkerhed og fejl som mangel på præcision i behandling af kendte data.

- 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 skal løbende vurderes og indgå i den samlede usikkerhedsvurdering.

- Ideelt set bør målingerne udføres med henblik på kalibreringen. Målingerne vil derfor på forhånd være målrettet 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. Det er velkendt, at vandmængden er meget styrende for afstrømningsforløbet.

5.4.2 Målinger

Der foreligger ofte mange forskellige målinger fra afløbssystemer. Mange data bliver registreret i forbindelse med drift af afløbssystemer, og mange data bliver registreret som målekampagner med vidt forskellige formål.

Data har ofte en stærkt svingende kvalitet set ud fra det synspunkt, at de skal anvendes til kalibrering. Det er derfor en absolut forudsætning for anvendelse af data til kalibreringsformål, at datas oprindelse er velkendt, og at det er muligt at evaluere og vurdere usikkerheder.

Som eksempelvis *afledede* målinger: Her er måleproceduren, at en måling – oftest niveau – ved hjælp af en forudsætning om de hydrauliske forudsætninger omsættes til en anden parameter: oftest vandføring. I dette tilfælde er de hydrauliske forud-

sætninger for målestedet og den fastsatte omsætning en lige så vigtig faktor for det endelige resultat som selve måleproceduren. Oftest gemmes kun det endelige resultat, mens forudsætningerne for resultaterne er forsvundet i processen. Det er utilstrækkeligt grundlag for kalibrering.

Følgende målinger kan nævnes som de oftest forekommende ved kalibrering:

- **Regnmåling** er en nødvendig forudsætning for at kalibrere. Hvis der ikke er regnmåling, er sammenligning ikke mulig. Regnmålingen skal helst være distribueret, dvs. én måler er for lidt. Faren for, at den målte regn er meget lidt repræsentativ for den skete hændelse, er stor.
- **Flowmåling.** Direkte målt. Hvor der forekommer direkte målte flow er det som regel en god måling. Permanente, præcise flowmålere er som regel dyre og kræver god indbygning, og mobile flowmålere til målekampagner kræver ofte megen opmærksomhed.
- **Flow, afledte målinger.** Flow kan afledes i mange sammenhænge, men det kræver som nævnt meget omhyggelig vurdering af de hydrauliske forudsætninger, og dokumentation af den beregningsmæssige omsætning, der foregår. De oprindelige data – oftest niveau – skal gemmes på linie med de afledede måledata. Eksempler på afledede målinger kan være:
    - Niveau i overløbsbygværk omsat til overløbsvandføring.
    - Niveau i pumpebrønd i kombination med pumpeinformationer omsat til tilløbsflow for pumpebrønden
- **Niveaumåling**. Benyttes direkte.
- **Pumper**. Pumpeydelsen er i sig selv en flowmåling, hvis den kan omsættes med en passende lille usikkerhed.
- **Niveaukontakt** er en meget simpel og robust måling, der kan give information om passage af vigtige tærskelværdier og derved hjælpe med en simpel effektiv løbende justering af målinger.
- **Subjektive observationer** eller direkte forespørgsler kan ofte benyttes til at be- eller afkræfte hændelser, f.eks. oversvømmelse, og derved give information, der kan bekræfte forholdet mellem beregning og virkelig hændelse.

5.4.3 Udførelse af kalibrering.

Som nævnt bør en kalibrering være planlagt før den udføres, og ideelt være tilrettelagt før målinger.

Hvis der udføres målinger specielt med henblik på kalibrering af model, *skal* disse målingers formål være tilrettelagt før de udføres. Andet vil medføre en stor risiko for at spilde ressourcer og/eller for at få et dårligere resultat.

Der kan ikke gives en opskrift på tilrettelæggelse af et kalibreringsforløb med angivelse af hvilke målinger, der er behov for, men følgende bør iagttages som hovedprincip:

- *Trin 1: Udvælgelse af regn.* Det er meget vigtigt at have de rigtige regnhændelser som basisforudsætning for at sammenligne virkeligheden med modelsimuleringen. Ideelt bør der måles med flere regnmålere. Regnen skal til kalibreringsformål have en vis homogenitet og udbredelse, ellers må den kasseres. Hvis der ikke, når kalibrering går i gang, foreligger et vist antal regn, hvor beregninger og

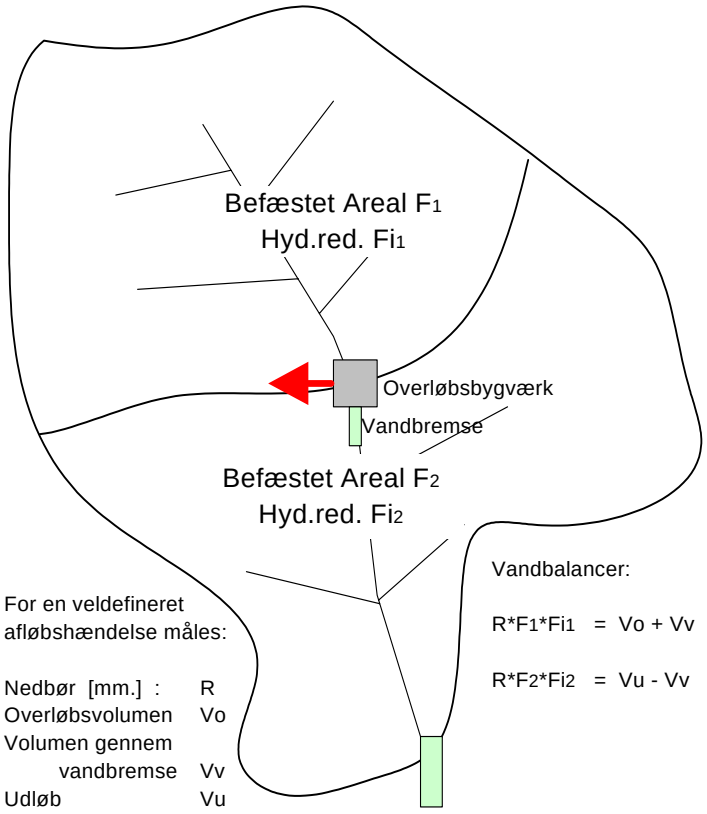
målinger kan sammenlignes, må kalibreringen udsættes til de foreligger. Kompromis i forhold til dette vil føre til stor risiko for fejlagtig kalibrering.

- *Trin 2: Vandbalance.* Det første skridt og den højeste prioritet skal være en vandbalance, der kalibrerer hydrologien. Jo finere en opdeling af vandbalancen i det betragtede område desto bedre. Den parameter der reguleres i modellen, vil typisk være den hydrologiske reduktionsfaktor, men afhængig af størrelsesordenen kan revision af det befæstede areal komme på tale.

  På figur 5.4.1 er skematisk vist opstilling af en vandbalance. I dette tilfælde kan den opstilles for to afstrømningsområder, der herefter kalibreres hydrologisk hver for sig.

  Ved et tilstrækkeligt antal hændelser kan opstilling og plot af regn-afstrømningsforholdet benyttes til at give estimat af initialtabet.

  Før der fortsættes justeres modellen således, at de beregnede vandføringer stemmer bedst muligt overens for et antal målte/beregnede hændelser.



Figur 5.4.1 Illustration af vandbalance

- *Trin 3. Check af Niveauer.* Systematisk sammenligning af de målte niveauer med de tilsvarende beregnede værdier. Denne sammenligning foretages under den faste forudsætning af, at vandmængden stemmer, og årsagen til afvigelser skal findes i hydrauliske parametre som ruhed og brøndtab. De tidsmæssige sammenhænge i afstrømningsforløbet kan også aflæses af niveaumålinger.

- *Trin 4. Tilpasning*. Alle øvrige datagrupper benyttes til at sammenligne målte og beregnede hændelser direkte og be- eller afkræfte tilpasningen. Denne fase er meget subjektiv, men kan benyttes til at revurdere de øvrige faser.

5.5 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 data: Geometriske, hydrologiske og hydrauliske. Det er udenfor denne rapports formål at diskutere opbygning og håndtering af disse data, men det er et meget stort og vigtigt emne og en absolut bærende forudsætning.
- Bearbejdning og kvalitetssikring af data. Usikkerhedsvurdering.
- Opsøgning af relevante regndata. Skrift nr. 26
- Opbygning af beregningsmodel, inkl. kvalitetssikring af netværkssammenhænge. Usikkerhedsvurdering på model.
- Opsøgning af måledata – behandling, systematisering. Usikkerhedsvurdering.
- Kalibrering af model med måledata. Usikkerhedsvurdering på kalibrering.
- Samlet usikkerhedsvurdering.
- Fastsættelse og implementering af sikkerhedsfaktorer.

Herefter foretages beregningerne.

5.5.1 Opfyldelse af minimumskrav

Minimumskravet formuleres som overholdelse af tilladelige gentagelsesperioder for konsekvenser af en regnhændelse. Beregningernes funktion er at hjælpe brugeren til at udforme eller forny systemer, der som minimum overholder minimumskravet.

5.5.1.1 Overholdelse af krav om opstuvning til kritisk kote.
Minimumskravet vedrørende opstuvning svarer til beregningsniveau 2 og 3. Dette kan kun ske ved analyse og har generel anvendelighed. Det kan benyttes ved såvel ny anlæg som ved fornyelse af eksisterende anlæg.

Minimumskravet angiver, at der for den enkelte brønd skal være en minimal gentagelsesperiode for den hændelse, at vand fra afløbssystemet stiger op og forårsager vand på terræn med deraf følgende mulighed for skader.

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

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.

Figur 5.5.1 viser et eksempel på plan afbildninger, hvor brønde der overskrider minimumskravet er markeret. Minimumskravet er hér fastsat til opstuvning til terræn hvert 10. år

Figur 5.5.1: Eksempel på resultat af beregning. Brønde hvor "opstuvning til terræn" overskrides oftere end hvert 10. år er markeret.

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

5.5.1.2 Overholdelse af anbefalet værdi af rørkapacitet

Ved opstilling af minimumskrav anføres anbefalede værdier af gentagelsesperioder for udnyttelse af fuldtløbende rørkapacitet, der skønnes at svare til overholdelse af opstuvningskravet. Disse er specielt beregnet til at benytte til dimensioneringsformål ved anvendelse beregningsniveau 1. Metoden er dimensionering med den rationelle metode, der giver en dimension for de enkelte ledningsstrækninger.

Metoden er anvendelig ved nydimensionering af et simpelt system. Ledningsdimensionen bør ikke reduceres i strømretningen, selvom beregningerne angiver det.

Ved anvendelse af kombinationen rørkapacitet / beregningsniveau 1 skal det tilses at forudsætningerne for anvendelse af beregningsniveau 1 overholdes, se afsnit 5.2.1. Hvis der er tvivl om dette, skal der checkes med overholdelse af de øvrige minimumskrav ved hjælp af beregningsniveau 2 og/eller 3.

5.5.1.3 Fordeling af gentagelsesperiode

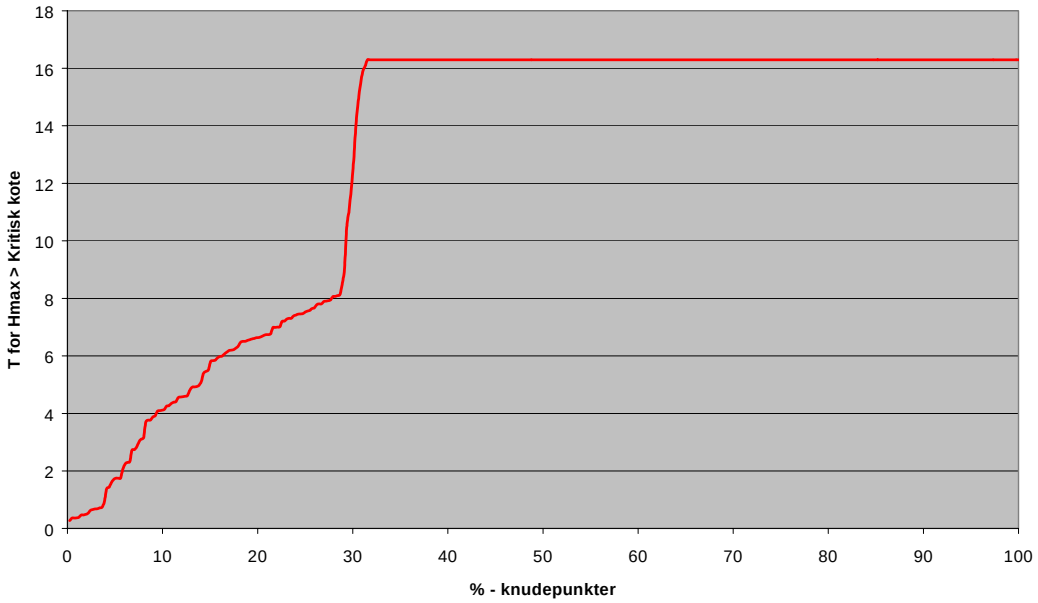
Overholdelse af minimumskravet betyder ikke, at der for det samlede område optræder opstuvning over den kritiske kote for alle huse i et område på én gang – det

betyder snarere, at de *mest udsatte huse oplever opstuvning til kritisk kote med en gentagelsesperiode svarende til minimumskravet*.

For at beskrive dette optegnes en *fordelingskurve* på basis af de gennemførte beregninger. Kurven viser fordelingen af gentagelsesperioder for opstuvning til kritisk kote for alle punkter. Gentagelsesperioderne rangordnes for alle punkter og optegnes som kurve. Laveste punkt på kurven repræsenterer således den brønd i systemet, der er mest udsat for opstuvning, (laveste gentagelsesperiode).

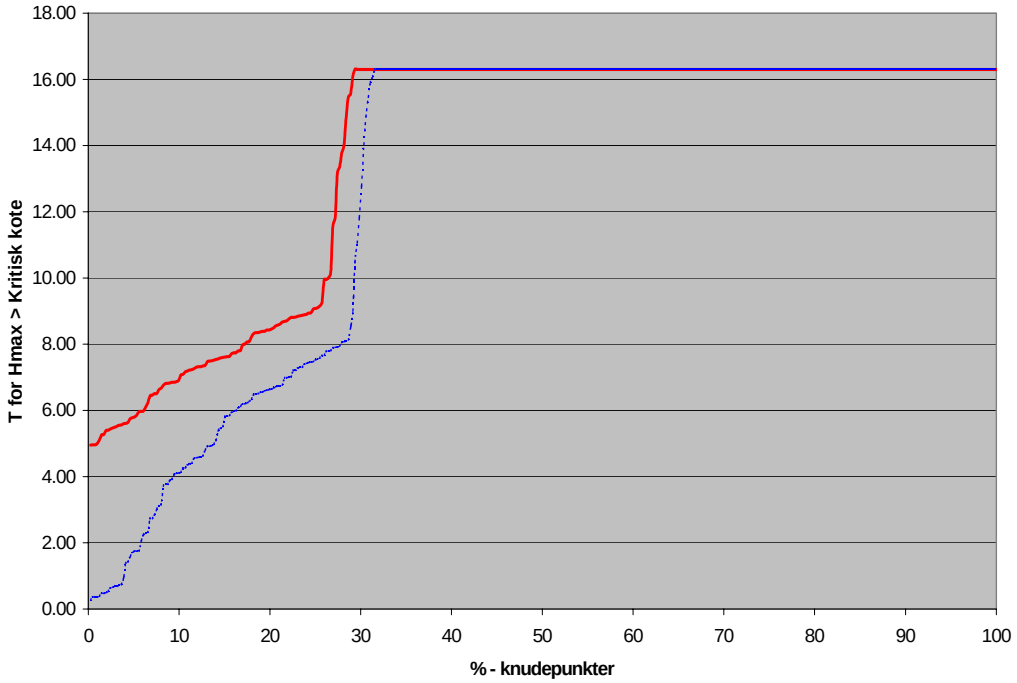
Dette svarer til, at et punkt på kurven viser, hvor stor en procentdel af knuderne i oplandet der har den tilsvarende gentagelsesperiode *eller lavere*.

Kurven kan bruges til at danne sig et billede af oplandets samlede tilstand i forhold til opstuvning. Figur 5.5.2 viser et eksempel på en fordelingskurve, der svarer til opstuvning til kritisk kote hér sat til et niveau 1.5 m. under terræn. Det ses, at 6 % af knuderne har en gentagelsesperiode for opstuvning til kritisk kote på under 2 år, 15 % under 5 år og 30 % under 10 år.



Figur 5.5.2: Eksempel på en fordelingskurve for status. Alle punkter på kurven repræsenterer en beregnet gentagelsesperiode for en given brønd

På figur 5.5.3 ses den tilsvarende kurve for det planlagte fremtidige opland. Der er her regnet med et minimumskrav på 5 år til kritiske koter 1,5 m. under terræn. På figuren er indtegnet den tilsvarende fra status (fig.5.5.2).



Figur 5.5.3: Fordelingskurve efter implementering af fornyelsesplan. Den blå kurve svarer til status (fig. 5.5.2).

5.5.2 Beregninger i forbindelse med optimering

Den samlede formulering af funktionskrav lægger op til, at optimeringsberegninger kan benyttes som grundlag for at beslutte indførelse af skærpede krav.

Der er derfor behov for i et konkret tilfælde at kunne fortage en beregning af denne optimering. Det skal her understreges, at beregningsapparatet er det samme, blot skal der i forudsætningerne tilføjes information om:

- Pris på de tiltag, der tænkes udført. Anlæg og eventuelt forøget drift (eller formindsket).
- 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 refereret til 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 minimumskravene. Oplandet dimensioneres 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.

5.5.2.1 Udgifter til anlæg og ekstra 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.

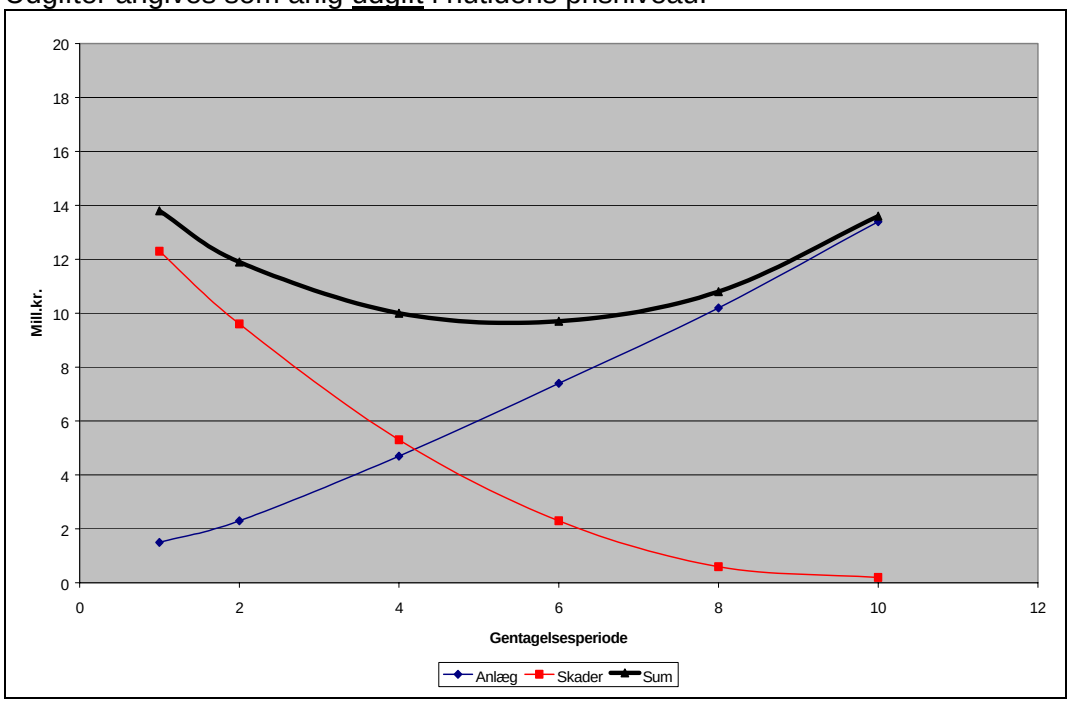
Eventuelle forskelle i driftsudgifter som nyanlæg giver anledning til fastslås som en årlig udgift i nutidens prisniveau. *Den årlige udgift* fastslås for det enkelte forslag som sum af årlig udgift til anlæg og årlig udgift til ekstra drift (+/-).

De årlige udgifter for de besluttede gentagelsesperioder danner en kurve se figur 5.5.4.

5.5.2.2 Udgifter til erstatninger
Der opsøges enhedspriser for skade forvoldt ved opstigning over den definerede kritiske kote.

For det enkelte hus der rammes 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 5.5.4 Illustration af optimeringsberegning.

5.5.2.3 Eksempler

I det følgende gennemgås to eksempler på optimeringsberegninger for to oplande, der topografisk er meget forskellige. Beregningerne er gennemført med beregningsmodeller, der er opbygget i forbindelse med aktuelle opgaver for de involverede kommuner.

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 opland 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.

For oplandet er der registreret kritiske koter ved systematisk at gennemgå BBR-registret og samkøre dette med brøndregistrering. Dette giver mulighed for at fastsætte de kritiske koter i forhold til det registrerede terræn for de brønde, hvortil de aktuelle huse tilknyttes. Denne metode giver naturligvis en større usikkerhed på fastsættelse af den kritiske kote end ved direkte måling.

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. Dette 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 benyttes en levetid på 80 år og en realren på 5 %. Denne fremgangsmåde er beskrevet i Spildevandskomitéens skrift nr. 23.

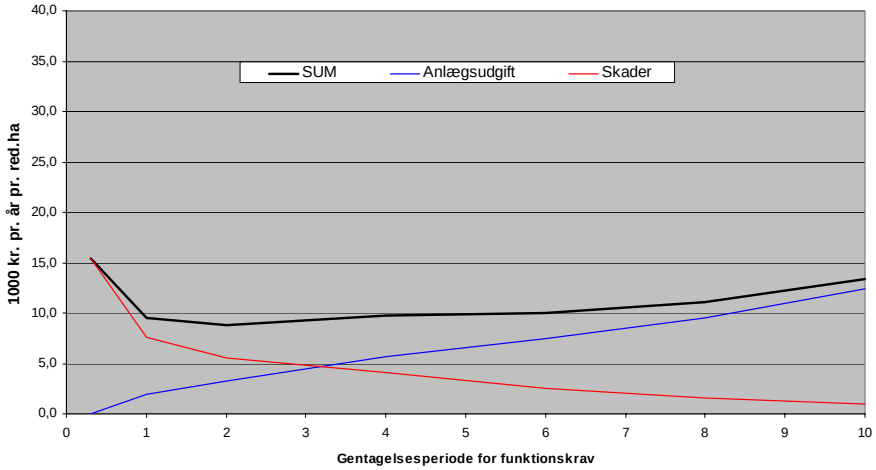
- For statussituationen og hver af de opstillede opdimensioneringer opsummeres antal skader, således at hvert skadessted i princippet får tildelt en gentagelsesperiode. Således kan antallet af årlige skader for hvert niveau af opdimensionering fastsættes. Hver skade sættes til 10.000 kr. svarende til oplysninger fra forsikringsselskaber, se kapitel 6, og den årlige udgift kan herefter beregnes. Denne fremgangsmåde er beskrevet i Spildevandskomitéens skrift nr. 23.

Der er herefter fastsat 7 talsæt for sammenhørende værdier af:

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

Disse afbildes på en figur, der svarer til figur 5.5.4. Se figur 5.5.5.

Figur 5.5.5. viser, at der for opland A på de givne forudsætninger er et optimum ved 2 år.



Figur 5.5.5: Optimeringsberegning af opland A. På denne kurve ligger optimum på 1-2 år.

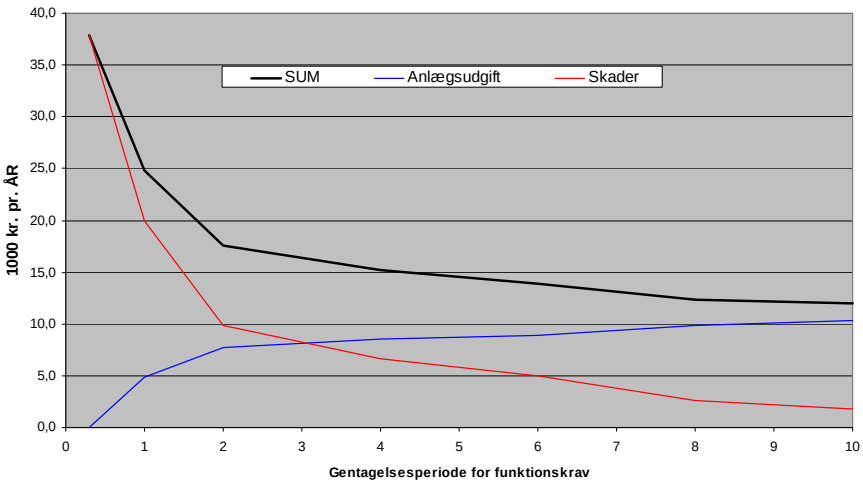
Optimeringsberegning opland B

Dette opland er på ca. 120 ledningsstrækninger og dækker et bruttoareal på 54 ha med en gennemsnitlig befæstelsesgrad, der svarer til et reduceret opland 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, der er bygget i en tidsperiode med mange kældre.

For oplandet er der fastsat kritiske koter ved systematisk at fastsætte dem som en afstand på 1,5 m fra terræn, dog aldrig under 30 cm over top af ledning.

Optimeringberegningen gennemføres på samme måde som beskrevet under opland A og den tilsvarende kurve vises på figur 5.5.6.



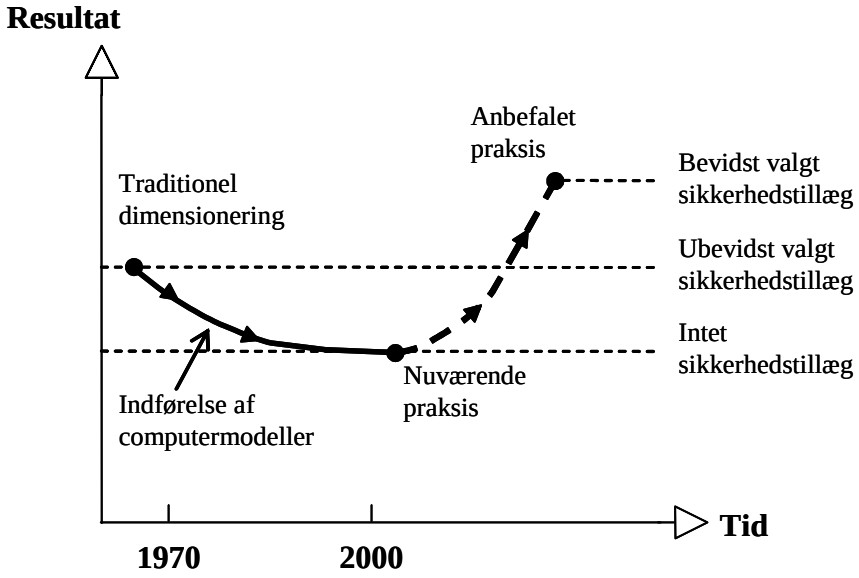
Figur 5.5.6. Optimeringsberegning af opland B. På denne kurve ligger optimum på 8-10 år eller mere.

Figur 5.5.6 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.

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 computermodeller 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 væsentligt hovedelement i tilknytning til hhv. funktionskrav og beregninger.

Princippet er illustreret i figur 6. Traditionel dimensionering ved hjælp af den rationelle metode omkring 1970 indebar et ubevidst valgt sikkerhedstillæg, som forsvandt ved indførelsen af computermodeller 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 6, 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 6 viser konceptuelt 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 computermodeller 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 inden for 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 for den pågældende beregningsmetode at gøre. 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 deres forudsætninger. 3 typer af usikkerhed er interessante i denne forbindelse:

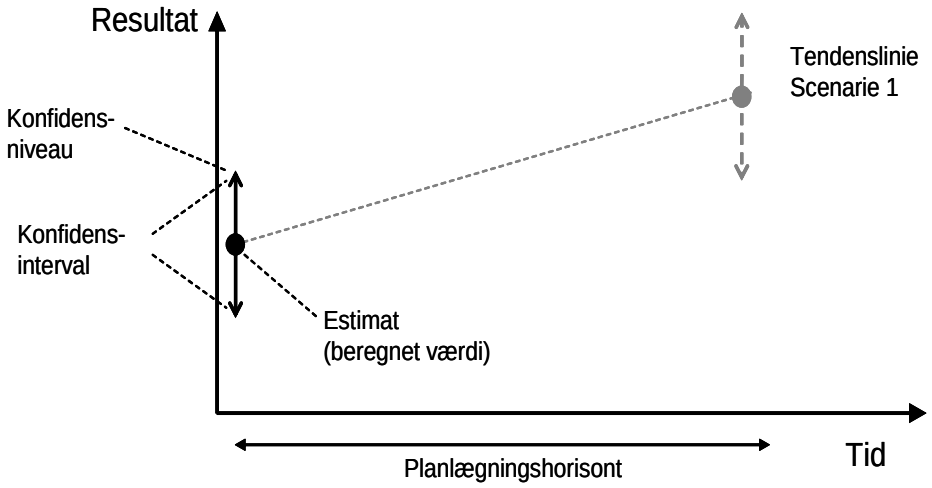
- *Statistisk usikkerhed*. Denne kategori karakteriserer den situation, at der er tilstrækkelig information til at kunne angive usikkerheden som en statistisk variation omkring en central størrelse eller som en systematisk afvigelse herfra.
- *Scenarie-usikkerhed*. Dette omfatter den situation, hvor 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 scenarium - 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 6.1.1 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 er 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 6.1.1 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 6.1.1. Illustration af nogle væsentlige begreber vedr. statistisk usikkerhed og scenarium 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 kaldt *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 scenarium 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 inden for 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), $y = g(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, middelværdien af y fremkommer ved at indsætte middelværdien af alle de indgående komponenter, $\mu_y = g(\mu_{x1}, \mu_{x2}, \ldots, \mu_{xn})$, 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.:

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

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 på denne måde sikkerhedsfaktoren i forbindelse med beregning af regionale regnkurver og CDS-regn i Spildevandskomitéens skrift nr. 26 er defineret.

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

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

Det bemærkes i denne forbindelse, at y_{DIM} inden for 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 scenarieusikkerhed, 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.

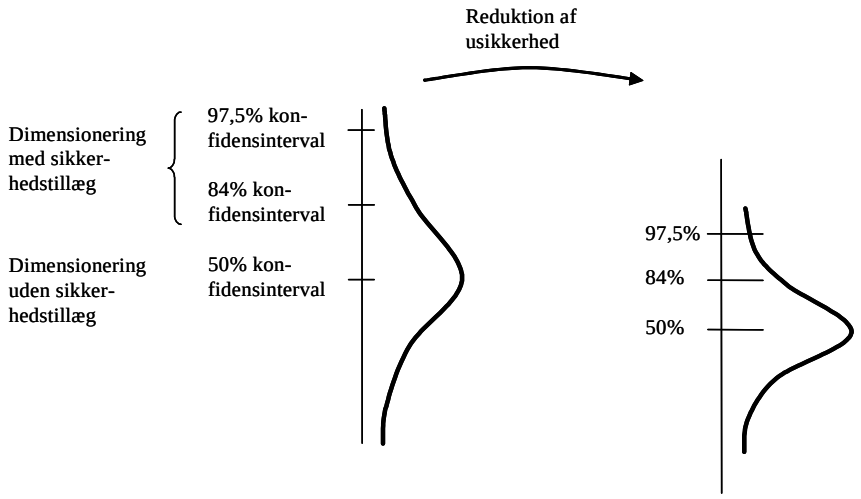
6.2.4 Reduktion af usikkerhed

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 givent opland gennemfører samhørende målinger af regn og afstrømning, som kan danne grundlag for bestemmelse af karakteristiske egenskaber ved oplandet. Se i øvrigt afsnit 5.4.

- 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 6.2.1 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_y, 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 6.2.1. 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.

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:

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

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 formlen findes følgende udtryk for beregning af ledningsdiameteren:

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

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*:

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

hvor CV'erne er variationskoefficienter for de indgående komponenter.

Hvis (α γ β *A 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

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

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:

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

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 i forbindelse med 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 Spildevandskomitéen skrift nr. 26 ved et udtryk af formen (6.1). Der tages i eksemplet udgangspunkt i en udvalgt lokalitet på Sjælland med en årsmiddelnedbør på 580 mm, hvor regnintensiteten 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 % afhængig 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 fordelingens 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 den resulterende usikkerhed på afløbskoefficienten, 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 6.3.1. Det svarer til, at sikkerhedsfaktoren bliver

s=1,29 for *f*=1 (én gange 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 6.3.1. Statistisk usikkerhedsanalyse for den rationelle metode.

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

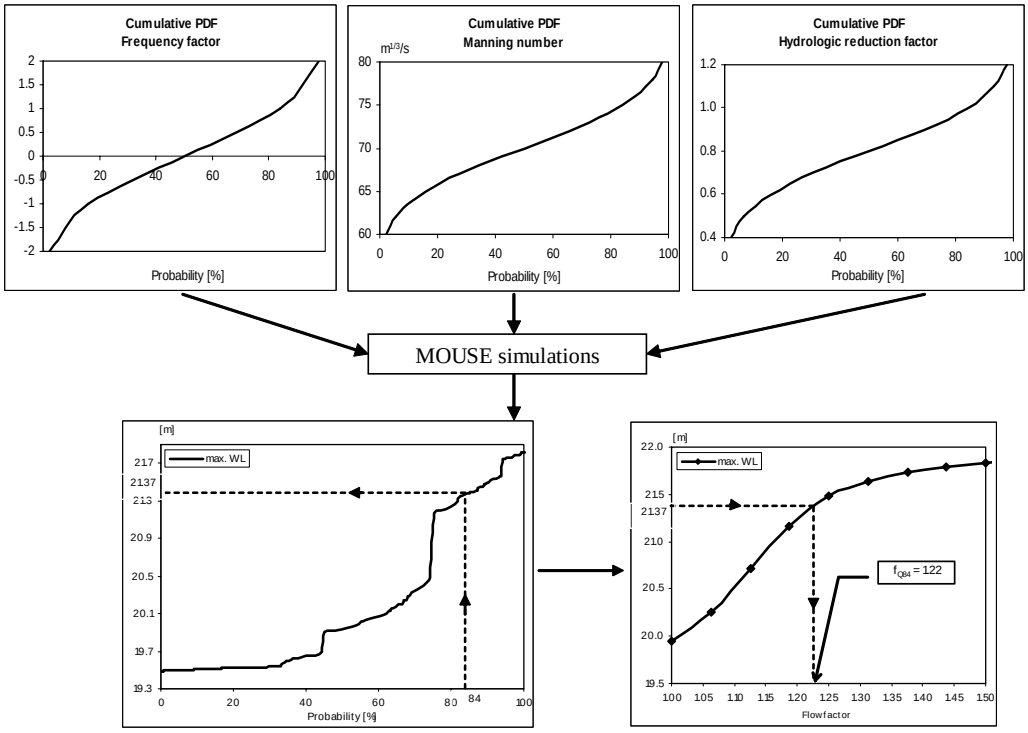
6.4 Usikkerhedsanalyse for beregningsniveau 2

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 skitsemæssigt, 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.

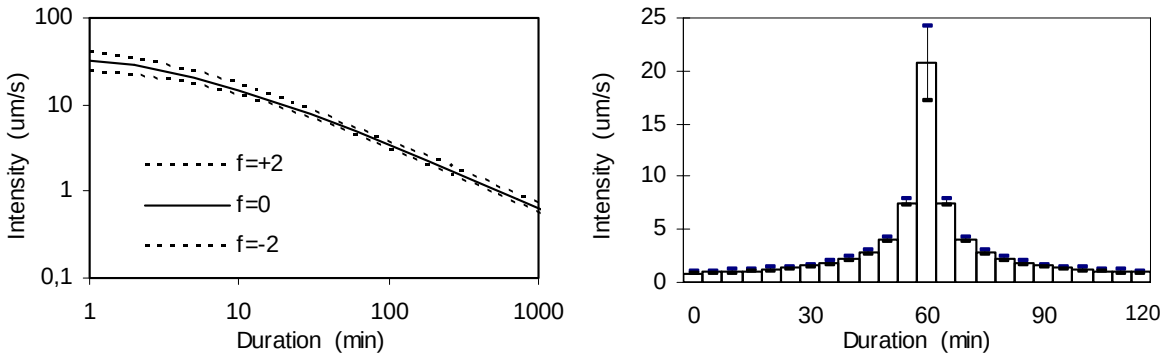
En række yderligere modelsimuleringer gennemføres derefter for at bestemme sikkerhedsfaktoren, *s*. Til dette formål benyttes middelværdier for alle inddata og parametre på nær den hydrologiske reduktionsfaktor, α, der erstattes af en korrigeret hydrologisk reduktionsfaktor, $\alpha^*=\alpha \cdot s$, som varieres for at etablere en relation mellem *s* og den maksimale stuvningskote for hver brønd. Princippet er illustreret nederst på figur 6.4.1.



Figur 6.4.1. 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 Manningtallet 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, der håndterer dette automatisk. Figur 6.4.2 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 6.4.2. 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 vægtet i forhold til deres teoretiske hyppighed, hvorefter fordelingsfunktioner for simulerede vandstande blev optegnet i udvalgte brønde.

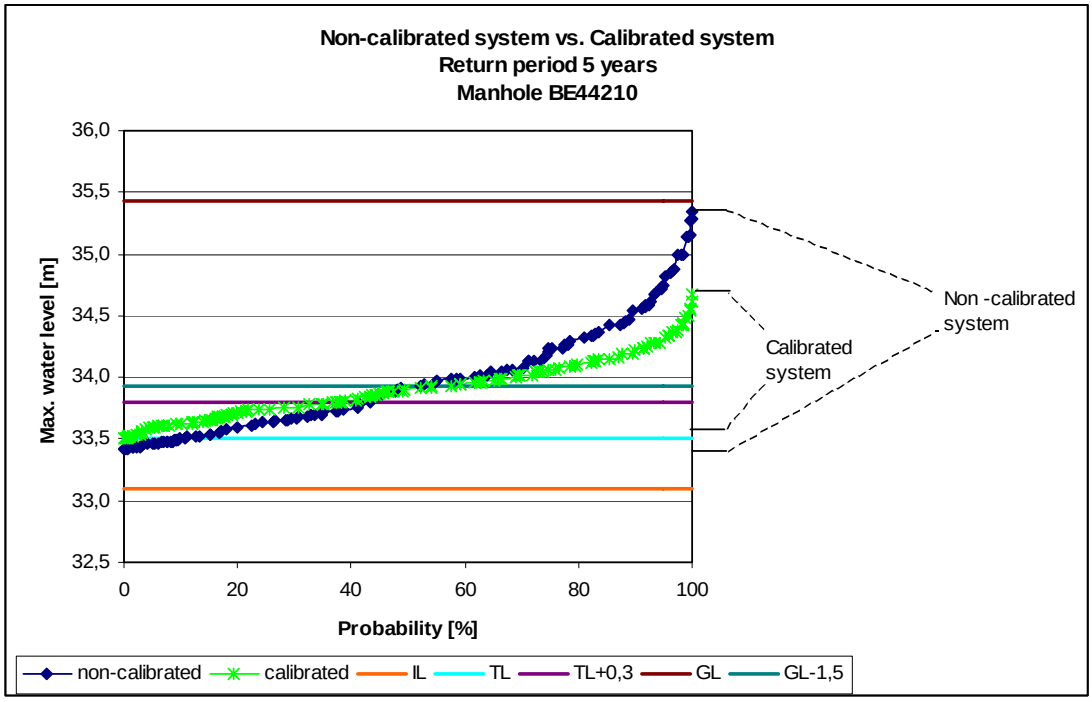
Efterfølgende blev simuleringerne gentaget med reducerede usikkerheder for hhv. den hydrologiske reduktionsfaktor (0,6-1,0) og Manningtallet (65-75 $m^{1/3}/s$). Dette blev gjort for at "simulere" effekten af en kalibrering, som netop vil have en reducerende effekt herpå, uden dog at gennemføre en kalibrering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

Tabel 6.4.1. 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*=±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 6.4.3 illustrerer resultaterne for en udvalgt brønd af beregningerne for hhv. situationen beskrevet i Tabel 6.4.1 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 6.4.3. Effekten af kalibrering for fordelingsfunktionen for vandstand (fra Hansen & Liu, 2004).

Figur 6.4.1 illustrerer (nederst), 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 6.4.2. 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).

Tabel 6.4.2. Beregnede sikkerhedskoefficienter for udvalgte brønde i oplandet. Fra (Hansen & Lieu 2004).

Brønd	20160	22120	22350	32560	32610	32760	40290	44000	44210	50460	54820	54920
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 studium 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.

Kapitel 7. Kommunal administrativ praksis

7.1 Planlægning og udførelse af kommunale afløbssystemer

De følgende afsnit er baseret på en juridisk redegørelse, udarbejdet af Søren Stenderup Jensen fra advokatfirmaet Plesner, Svane og Grønborg, en dialog med Miljøstyrelsen samt Lov om betalingsregler for spildevandsanlæg mv., Miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 og Spildevandsbekendtgørelsen.

7.1.1 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.

Planloven anvender rammestyringsprincippet, hvilket indebærer en rangordning af planlægningen. Samtidig må de enkelte planer ikke være i modstrid med hinanden.

Planhierarkiet vil blive ændret pr. 1. januar 2007 som følge af den kommunalreform, der blev vedtaget i 2004 med ikrafttrædelse januar 2007. Kommunalreformen medfører, at amterne nedlægges, og at der etableres 5 regioner.

Hierarkiet inden for offentlig planlægning er følgende:

Landsplaner. Udarbejdes af Miljøministeriet. Behandler spørgsmålet om, hvordan landets areal- og naturressourcer skal anvendes. Efter 2007 vil der ske en styrket landsplanlægning.

Regionplaner. Regionplanen er den sammenfattende, oversigtlige plan for arealanvendelsen i en amtskommune. Regionplanen fastlægger målsætningen for vandkvaliteten. Amterne kan desuden i regionplanen udpege de såkaldte forureningsfølsomme områder i det åbne land, hvor kommunerne skal sikre en forbedret spildevandsrensning. Af regionplanen fremgår også regionale områder med særlige drikkevandsinteresser. Bortskaffelsen af spildevand i kommunen, herunder planlagte renseforanstaltninger i det åbne land skal tage hensyn til, om der for disse områder er fastlagt begrænsninger for udsprøjtning af spildevand på jord eller afledning via nedsivningsanlæg.

Efter 2007 erstattes regionplanerne af kommuneplaner. Der skal udarbejdes regionale udviklingsplaner af regionsrådet for hver region. Den regionale udviklingsplan skal på grundlag af en helhedsvurdering beskrive en ønskelig fremtidig udvikling for regionens byer, landdistrikter og udkantsområder.

Kommuneplaner. Udarbejdes af kommunalbestyrelserne. Kommuneplanen kan anvendes både som en plan for arealanvendelse og bebyggelsesforhold og som en handlingsplan for kommunens samlede udvikling. Kommuneplanen fastlægger ligeledes rammerne for lokalplanernes indhold.

Efter 2007 overføres størstedelen af indholdet i regionplanerne til kommuneplanerne. Kommuneplanerne skal fortsat efter 2007 udarbejdes af kommunalbestyrelsen.

Lokalplaner. Udarbejdes af kommunalbestyrelserne. En lokalplan indeholder bindende retningslinjer i form af tekst og kortbilag, formålsbestemmelse og oplysninger om planens retsvirkninger. I lokalplanen er der typisk fastsat begrænsninger i bebyggelsens karakter samt udstrækning.

7.1.2 Spildevandsplanen og sammenhæng med øvrige planer

Spildevandsplaner, skal i henhold til Miljøbeskyttelsesloven, § 32, udarbejdes af kommunalbestyrelsen. Spildevandsplanen er en plan for bortskaffelse af spildevand, som skal give en samlet oversigt over den eksisterende og planlagte spildevandshåndtering i kommunen. Planen skal belyse de miljømæssige konsekvenser af spildevandshåndteringen og de økonomiske konsekvenser for kloakforsyningen. Spildevandsplanen udgør det retslige grundlag for tilslutning af eksisterende og nye ejendomme til offentlig kloak.

Planen skal ifølge Miljøbeskyttelsesloven indeholde oplysninger om:

- Eksisterende og planlagte kloakeringsområder og renseforanstaltninger.
- Områder, hvor kommunalbestyrelsen er indstillet på at ophæve tilslutningsretten og -pligten helt eller delvis.
- Den eksisterende tilstand af kloakanlæg samt planlagte fornyelser af disse.
- Eksisterende områder uden for kloakeringsområder, hvor der sker nedsivning, og planlagte områder uden for kloakeringsområder, hvor der skal ske afledning til nedsivningsanlæg.
- Eksisterende områder uden for kloakeringsområder, hvor der sker rensning svarende til et bestemt renseniveau, og planlagte områder uden for kloakeringsområder, hvor der skal ske rensning svarende til et bestemt renseniveau.
- Hvilke anlæg der etableres på kommunal, og hvilke der etableres på privat foranstaltning.
- Efter hvilken tidsfølge projekterne forudsættes at være udarbejdet og anlæggene udført.

Af spildevandsbekendtgørelsen, § 5, stk. 1, nr. 1 fremgår, at spildevandsplanen skal være i overensstemmelse med al øvrig planlægning, både lokalt og regionalt.

Spildevandsudledninger omfattet af spildevandsplanen må ikke være til hinder for, at de opstillede målsætninger for vandområderne kan opfyldes.
Målsætningerne for vandområdernes kvalitet vil fremover, dvs. efter kommunalreformen og som følge af implementeringen af EU's Vandrammedirektiv (2000/60/EF, en fælles Europæisk ramme for forvaltning af vandområder) fremgå af de vandplaner, som skal udarbejdes for alle vanddistrikter af vanddistriktsmyndigheden.

Kommuneplanen, hvor den overordnede disponering af arealerne i kommunen er angivet, udstikker rammerne for lokalplanernes indhold. Det skal sikres, at spildevandsplanen er i overensstemmelse med lokalplanen og særligt med de bestemmelser, der vedrører spildevandsafledningen. I lokalplanerne er der typisk fastsat begrænsninger i bebyggelsernes karakter – og dermed spildevandsafledning – og

befæstelse, og kommunen skal sikre, at der er overensstemmelse med de oplandsbelastninger, der er fastsat i spildevandsplanen. Det skal således også sikres, at der er overensstemmelse mellem f.eks. byggemodning og etablering af spildevandsanlæg og ved vedtagelse af nye lokalplaner må enten spildevandsplanen revideres, eller lokalplanen tilrettes i overensstemmelse hermed.

I spildevandsplanlægningen sondres mellem eksisterende og planlagte kloakeringsområder (status og plan). Planen skal indeholde en tidsplan for kloakeringernes gennemførelse. Det udløser derfor ikke en revision eller opdatering af planen, hverken når de planlagte kloakeringer er gennemført, eller når ejendommene tilsluttes, med mindre der er ændringer i forhold til planlagte kloakeringsforanstaltninger, herunder tidsplanen som fremgår af den vedtagne spildevandsplan. Kommunen vil dog typisk i sin forvaltning ajourføre kortbilag mv. i takt med, at kloakeringerne gennemføres, hvilket dog ikke er ensbetydende med at offentliggøre et nyt udkast til spildevandsplanen.

7.1.3 Krav til offentliggørelse

Kommunalbestyrelsens forslag til spildevandsplan skal gennem en offentlighedsfase på mindst 8 uger. I denne periode skal offentligheden have mulighed for at kommentere forslaget.

Efter offentlighedsfasen kan kommunalbestyrelsen vedtage spildevandsplanen under hensyntagen til eventuelle indsigelser. Når spildevandsplanen er vedtaget, danner den det fremtidige retlige grundlag for at gennemføre de planlagte tiltag.

Hvis en kommune ønsker at udskyde vedtagne tiltag eller ønsker at ændre den vedtagne plan i øvrigt – herunder ændring af kloakoplandenes inddeling eller afledningsforholdene inden for et opland – må kommunalbestyrelsen foretage en revision af spildevandsplanen.

En spildevandsplan forpligter ikke kommunens borgere til alene på baggrund af planen at gennemføre konkrete tiltag. For kommunens borgere er spildevandsplanen blot en forhåndsorientering om, at kommunen inden for kortere tid vil tage initiativ til en ændret spildevandsafledning inden for en række oplande. Hvis borgeren skal foretage ændringer af spildevandshåndteringen på egen grund, meddeles det via et påbud til denne.

7.2 Krav til afløbssystemet

Lov om betalingsregler for spildevandsanlæg mv. danner sammen med miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 og spildevandsbekendtgørelsen den overordnede ramme for regulering af spildevand i Danmark.

Spildevand fra husholdninger reguleres af betalingsvedtægtsloven med tilhørende vejledning. Loven regulerer, hvordan kommunalbestyrelserne skal udforme betalingsregler for opkrævning af bidrag til etablering, drift og vedligeholdelse af spildevandsanlæg. Loven bygger på et princip om, at kloakforsyningen fuldt ud finansieres af brugerne. Økonomien i den kommunale kloakforsyning skal hvile i sig selv. Vandafledningsbidraget for ensartede grupper af tilsluttede brugere er de samme, uanset geografisk beliggenhed inden for kommunen.

7.2.1 Borgerens tilslutningspligt/ret

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, jf. Miljøbeskyttelsesloven § 28, stk. 4.

Inden for det, i spildevandsplanen fastlagte kloakopland, er det den kommunale kloakforsyning, der står for etablering, drift og vedligeholdelse af ledninger mv. frem til grundgrænsen, mens grundejeren er forpligtet til for egen regning at bekoste udførelse og vedligeholdelse af ledninger mv. på egen grund. Ejeren af ejendommen er således forpligtet til for egen regning at tilslutte spildevandet til kloakken.

7.2.2 Afledning af spildevand

Ifølge vejledning for betalingsregler for spildevandsanlæg mv., pkt. 1.6, s. 14, er det en del af kloakforsyningens forsyningspligt, 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, trykanordninger, elinstallationer mv. etableres som et offentligt anlæg og betragtes som en del af den offentlige kloakering, og bekostes derfor også af kloakforsyningen. Ledningsnettet, brønde mv. på ejendommen etableres og finansieres af ejeren af ejendommen.

Når der anvendes afledning til hovedledning ved hjælp af gravitation, vil der være forskel på lægningsdybde for de enkelte ejendomme. I et plant opland med en offentlig gravitationsledning vil de øverst tilsluttede ejendomme have lavest lægningsdybde og de længst nedstrøms tilsluttede have den største lægningsdybde. Selv om ledningsnettet dimensioneres for, at alle skal kunne gravitere fra stueplan, vil en del ejendomme derfor reelt kunne gravitere afledning fra kælder. Dette bør dog iflg. Miljøstyrelsen ikke føre til, at alle kan kræve at kunne gravitere spildevand fra kældre. For at sikre, at grundejerne er opmærksomme på dette punkt, kan det indskrives i lokalplanen, at det ikke skal påregnes, at der kan ske afledning ved gravitation fra kælder.

Hvis en kommune imidlertid for et område har valgt at anlægge ledningsnettet, så der kan graviteres fra kælder, bør alle ejendomme i oplandet almindeligvis kunne gravitere fra kælder. Miljøstyrelsen erkender ligeledes, at det ud fra lighedsbetragtninger kan anføres, at pligten bør omfatte kælderplan, f.eks. i tilfælde, hvor kommuneplaner og lokalplaner tillader bebyggelse med kælder.

Det bør sikres, at der er sammenhæng mellem spildevandsplan, kommuneplan og lokalplan således, at der i spildevandsplanen tydeligt orienteres om, hvorvidt afløbssystemet er anlagt således, at ejendomme kan aflede spildevand ved gravitation fra kælderplan.

7.2.3 Regulering af tilstrømningen til kloak

Spildevandsplanen indeholder oplysninger om, hvilket vandområde spildevandet fra de enkelte oplande udledes eller ønskes udledt til, udløbenes placering og de forventede mængder af spildevand samt renseforanstaltninger. Ligeledes fremgår hvilke ejendomme, der er tilsluttet den offentlige kloakforsyning. Det vil som hovedregel være spildevandsplanen og de kapaciteter, der er afsat til virksomheder, bolig/erhvervsdeloplande, der udgør grundlaget for de krav, der fastsættes i en tilslutningstilladelse. Kommunen kan således f.eks. have afsat kapacitet til planlagte udvidelser af kloakoplandet og med den begrundelse afvise en udvidelse både i det tilfælde, hvor renseanlæggets kapacitet overskrides, men også selvom udvidelsen ikke medfører en overskridelse af renseanlæggets kapacitet.

7.2.4 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 af f.eks. beboelsesområder. 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 bl.a. folks kældre.

I nærværende vejledning angives en anbefaling til et minimumskrav for, hvor hyppigt oversvømmelser i spildevandssystemer kan tillades. Tabel 7.2.1 angiver de minimumskrav, som skal overholdes i dansk praksis for projektering af afløbssystemer, og specificerer den tilladelige gentagelsesperiode for opstuvning for et givent areal.

Tabel 7.2.1: Minimumskrav angivet ved tilladelig gentagelsesperiode

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**

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 bevirke uacceptabel opstuvning. Man bør her lave en beregning i forhold til det gældende kriterium for boligområdet.

Den enkelte kommune kan udover minimumskravet (som angivet i tabel 7.2.1) vælge at opstille en skærpet målsætning afhængig af, hvilket serviceniveau, der tilstræbes i den pågældende kommune. Dette vil være en politisk beslutning. En økonomisk optimeringsberegning kan benyttes som begrundelse for at øge serviceniveauet i forhold til minimumskravet. Udarbejdelsen af en økonomisk analyse, hvor der foretages en afvejning af investeringsomkostninger til udbygning af afløbssystemet i forhold til skadeomkostninger som følge af oversvømmelse, beskrives i kapitel 5 og opstilling af et skærpet funktionskrav er eksemplificeret i kapitel 8 ved X-købing Kommune.

Hvis det vælges at fastsætte skærpede krav, skal disse som udgangspunkt gælde overalt i kommunen, idet alle borgere på lige vilkår bidrager til etablering af kommunens afløbssystemer.

Det gældende funktionskrav skal fremgå af kommunens spildevandsplan, og såfremt der opstilles skærpede krav, skal dette beskrives.

7.2.5 Erstatningsansvar ved oversvømmelse[1]

Der findes hverken love eller vejledninger af lovmæssig karakter, der definerer på hvilken måde og efter hvilke retningslinier kommunale kloakanlæg skal dimensioneres. Det modsatte gør sig imidlertid gældende hvad angår afløbsinstallationer til bortledning af spildevand, regnvand og drænvand mv. fra bygninger til hovedafløbsledninger. Afløbsinstallationer fra private ejendomme er reguleret af bestemmelserne i bygningsreglementet af 1. april 1995, som udspringer af byggeloven.

DS/EN 752, standard for afløbssystemer uden for bygninger har ligesom andre EU-standarder ikke lovmæssig karakter og er således ikke en del af EU's regelgrundlag. Retningsgivende, når en domstol skal afgøre, om der er handlet forsvarligt, vil således være, om der er handlet, som det med rimelighed kunne forventes. I den forbindelse vurderes i et juridisk notat[2] for DANVA, at en fælles europæisk standard 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.

Uden specifikke regler af lovmæssig karakter er det dansk rets almindelige regler om erstatning uden for kontrakt, dvs. om erstatning i forholdet mellem to eller flere parter, der ikke har indgået nogen konkret aftale med hinanden, der vil blive lagt til

[1] For en mere uddybende beskrivelse og eksempler på domme henvises til Søren Stenderup Jensen "*Redegørelse om ansvar for dimensionering af afløbsledninger II*" oktober 2002
[2] Søren Stenderup "*Redegørelse om ansvar for dimensionering af afløbsledninger II*" oktober 2002

grund, når der skal foretages en vurdering af oversvømmelsesskader som følge af, at kloakanlæg ikke er i stand til på tilstrækkelig effektiv vis at bortlede vand.

Der er nogle almindelige betingelser, der skal være opfyldt for, at der kan pålægges erstatningsansvar udenfor kontrakt. Disse betingelser er:

1. at skadelidte har lidt et økonomisk tab,
2. at der er årsagsforbindelse mellem den påståede skadeforvoldende "fejl" og selve den opståede skade, og
3. at skaden er en mere eller mindre påregnelig følge af den skadeforvoldende "fejl".

Vurdering af påregneligheden af indtrådte skader som følge af oversvømmelser på grund af forkert dimensionerede afløbsledninger vil ofte være ret kompliceret. Usædvanligt store nedbørsmængder vil dog altid forekomme med en vis statistisk sandsynlighed, således at skader som følge af overbelastede afløbsledninger i almindelighed må anses for påregnelige.

Østre Landsret tilkendegav i april 1992: "Indledningsvist bemærkes, at en kommune som udgangspunkt må være ansvarlig for, at et kommunalt afløbssystem er konstrueret og fungerer forsvarligt, således at det ikke kan give anledning til oversvømmelse af beboelsesområder. Det kan ikke kræves, at et afløbssystem er dimensioneret således, at oversvømmelser er udelukket under alle tænkelige forhold. Men et afløbssystem må dog være dimensioneret efter sædvanlig praksis, dvs. i overensstemmelse med de normer, der er almindeligt anerkendt efter en samfundsøkonomisk afvejning af anlægsomkostningerne på den ene side og risikoen for overbelastning af afløbssystemet på den anden side. Indtræffer en oversvømmelse, der alene kan tilskrives, at et sædvanligt dimensioneret afløbssystem som helhed ikke har været tilstrækkeligt rummeligt til at aflede vandet fra et kraftigt regnskyl, er kommunen ikke ansvarlig herfor (UfR 1987, s. 258)".

Et sædvanligt dimensioneret afløbssystem vil i forhold til nærværende vejledning være et afløbssystem, som lever op til minimumskravet.

Det er op til den enkelte kommune at informere borgerne om den statistiske sandsynlighed for oversvømmelse. Mange husejere ved, at der kan ske oversvømmelser ved store regnskyl, og det er husejerens eget ansvar at sikre sig mod oversvømmelser ved egne foranstaltninger og dække udgifterne hertil. Vælger husejeren at spare på de forebyggende udgifter, må husejeren også selv bære de økonomiske konsekvenser. Omvendt kan denne betragtning også gøres gældende mod kommunen. Hvis en kommune ved dimensionering af afløbssystemet f.eks. ikke tager hensyn til sædvanlig praksis, dvs. lever op til det, i vejledningens anbefalede minimumskrav, må den også senere acceptere at skulle betale erstatning til dem, der lider skade som følge af denne prioritering.

7.3 Kommunens forpligtelse

Kommunen er først og fremmest forpligtet til at levere det serviceniveau, som er fastsat af kommunalbestyrelsen ved overholdelse af det gældende funktionskrav. Dernæst har kommunen en forpligtelse til at holde brugerne af afløbssystemet orien-

teret om det gældende serviceniveau. Dette gælder både i forhold til den enkelte husstand, men også i forhold til offentlige arealer, dvs. veje, bycentre osv.

Uanset hvilket serviceniveau, der er valgt, er det vigtigt, at den enkelte borger kender kommunens målsætning. Borgerens oplevelse af serviceniveau vil afhænge af omfang og hyppighed af skadevoldende begivenhed som f.eks. oversvømmelse af kælder, men også af den information og dialog, der pågår med kloakforsyningen. Det er derfor væsentligt, at kloakforsyningen formidler det aktuelle serviceniveau gennem dialog og oplysning til borgerne med beskrivelse af henholdsvis kommunens og borgerens forpligtelser.

Først og fremmest er det vigtigt, at serviceniveauet, i dette tilfælde formuleret som funktionskravet, og baggrunden for det valgte niveau fremgår af spildevandsplanen. I forbindelse med den høringsfase, som ligger forud for spildevandsplanens vedtagelse, kan borgernes opmærksomhed henledes på emnet i forbindelse med borgermøder eller informationsmateriale, så kommunens teknikere og politikere kan komme i dialog med borgerne på dette punkt.

På baggrund af de valg, der er foretaget i spildevandsplanen, bør kommunen sikre at borgerne informeres om det serviceniveau for funktion af kloaksystemet, som er fastlagt i kommunen. Informationen bør indeholde angivelse af kritisk kote og konsekvenserne heraf for anvendelse af givne arealer, f.eks. anvendelse af kældre til beboelse. Informationen kan formidles bredt til alle kommunens borgere gennem annoncer, breve og brochurer, fremlagt på kommunens kontorer og biblioteker, men det vil også være en god ide for kommunen at vælge en mere målrettet information til f.eks. grundejere, der har ejendomme med kælder eller til ejere af ejendomme, hvor der tidligere har været registreret opstuvningsproblemer. Ved orientering om serviceniveauet i forbindelse med opstuvning af veje, bycentre mm. vil det være tilstrækkeligt med tydelig annoncering af høringer og fremlæggelse af brochurer på kommunens kontorer og biblioteker, som orienterer om gentagelsesperiode for oversvømmelse af udpegede offentlige arealer i kommunen.

I informationsmaterialet kan der redegøres for de konsekvenser, den vedtagne funktionspraksis, der er angivet i spildevandsplanen, vil få for kommunens grundejere. Herved kan grundejerne vurdere, om de ønsker at foretage en yderligere sikring af deres ejendom i forhold til det kommunale serviceniveau.

En informationsbrochure vedrørende forpligtelser, ansvarsforhold og forebyggende tiltag i forbindelse med vand i kælder kunne for eksempel opbygges efter følgende indholdsfortegnelse:

Boks 7.3.1: Eksempel på indholdsfortegnelse for informationsbrochure

INFORMATIONSBROCHURE

Indholdsfortegnelse

- Beskrivelse af baggrund for informationen
- Beskrivelse af grundejerens ansvar
- Hvad gør kloakforsyningen
- Hvad kan grundejeren gøre
  - pumpe eller højvandslukke
- Andre årsager til vand i kælderen
  - defekte eller for små kloakrør
  - utæt kældervæg, høj grundvandsstand, skrånende terræn eller utætte installationer
  - forstoppelse i kloakledningen
  - forstoppelse i rendestensrist
- Hjælp til selvhjælp
- Andre gode råd
- Yderligere oplysninger

Den information, som er tilgængelig for borgerne, bør også indeholde dokumentation af, om den gældende funktionspraksis er opfyldt. Det skal sikres i forbindelse med projektering af nyanlæg eller ved fornyelse af eksisterende systemer, at det er muligt at dokumentere, om den gældende funktionspraksis er opfyldt eller ej, hvis borgeren har været udsat for opstuvning af vand i kælder, stueplan eller terræn. Der vil blive redegjort nærmere for dette i afsnit 7.6: ”Kommunens dokumentation af en ekstrem hændelse”.

Kommunens forpligtelser er illustreret i boks 7.3.2:

Boks 7.3.2

Kommunen skal / bør

- 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.
- Overholde minimumsfunktionskravet.
- 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 over for kommunen.
- Sikre oplysning til grundejerne via brochurer el. lignende om gældende funktionskrav og eventuelle konsekvenser heraf (Dette er ikke et krav til kommunen men vil oftest være en god ide).

7.4 Grundejerens forpligtelse

Grundejeren bør først og fremmest holde sig orienteret om det gældende serviceniveau i kommunen. Dette er ikke en egentlig forpligtelse, men grundejeren kan ikke senere frasige sig et eventuelt ansvar på baggrund af, at han ikke var bekendt med de for kommunen gældende krav. Såfremt grundejeren ønsker en sikkerhed ud over det aktuelle funktionskrav, påhviler det den enkelte grundejer at sikre sig mod opstuvning i kælder ved for egen regning at foretage de nødvendige foranstaltninger. Grundejerens forpligtelser er illustreret i boks 7.3.3.

Boks 7.3.3

Grundejeren skal / bør

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

7.5 Tjeklisten

Tjeklisten er en ”huskeliste” i forhold til en række punkter, som ingeniøren i kloakforsyningen bør tage stilling til ved dimensionering af kloaksystemet. Listen skal ikke betragtes som en ”facitliste” men som inspiration og supplement til den *sunde ingeniørmæssige fornuft*.

1. **Kloakforsyningens økonomi**
   Kloakforsyningen kan anlægge en synsvinkel på økonomien i forbindelse med dimensionering af kloaksystemet, hvor der udelukkende ses på egen økonomi. Der ses udelukkende på kloakforsyningens omkostninger ved planlægning, projektering, udførelse og drift. Skader som følge af overskridelse af dimensioneringskriterierne henvises til de privates forsikringsselskaber, og der udbetales kun erstatning, hvis det påvises, at kloakforsyningen ikke har levet op til kravene. Hvis kommunen anlægger dette synspunkt, er minimumskravene egnet som grundlag for fastlæggelse af gentagelsesperioder.

2. **Samfundets økonomi**
   Kloakforsyningen kan anlægge en samfundsøkonomisk betragtning ved analyse af økonomi i forbindelse med indgreb i kloaknettet. De totale omkostninger ved oversvømmelse som funktion af, at dimensioneringskriteriet overskrides, kan opgøres. De økonomiske: de privates, forsikringsselskabernes, kloakforsyningens, andre offentlige instanser som vejmyndigheder, tog- og busdrift m.m. Desuden kan ”bløde” parametre som trafikale, sociale, hygiejniske og psykiske gener i forbindelse med oversvømmelser søges opgjort. Hvis kommunen anlægger dette synspunkt, er økonomisk optimum egnet som grundlag for fastlæggelse af gentagelsesperioder.

3. **Fremtidssikring**
   Når kommunen skal dimensionere dele af sit kloaknet, bør kommunen sørge for, at kloaksystemet anlægges bedst muligt for fremtiden. Det anbefales derfor, at kloakforsyningen tager hensyn til parametre som:

   - fortætning i oplande
   - klimaændringer (regnens udvikling og ændringer af vandstande i recipienter)
   - befæstelsesgrader angivet i lokalplaner
   - opstilling af krav om højvandspumper/-lukker i forbindelse med byggesagsbehandling
   - kritiske koter – oplysninger fra byggesagsafdelingen og krav om overholdelse for (kommende) bygherrer
   - der udarbejdes dokumentation for oplandenes dimensioneringsforudsætninger, der til hver en tid er tilgængelig, så eventuelle ændrede dimensioneringsforudsætninger kan indarbejdes i efterfølgende projekter. Dette gælder især de parametre, der indgår i beregningerne af sikkerhedsfaktorer (som vil kunne justeres løbende) samt beregning af økonomisk optimum – hvis sidstnævnte er kommunens politik ved dimensionering.

- For at sikre at grundejerne ikke kan kræve, at de kan gravitere afledning fra kælder, bør det indskrives i lokalplanen, at det ikke skal påregnes, at der kan ske afledning ved gravitation fra kælder.

4. **Oversvømmelsernes omfang**
   Når dimensioneringskriterierne overskrides, vil der ske oversvømmelser af større eller mindre omfang, afhængigt af bl.a. oplandstype og størrelse af overskridelse af kriterier. 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 det begrænses/kontrolleres?

5. **Information til borgerne**
   Kommunikationen mellem kloakforsyningen og kommunens borgere skal være bedst mulig. Kloakforsyningen kan via spildevandsplanen informere om borgernes rettigheder og pligter ved udsendelse af informationsmateriale i form af brochurer, lokalavisannoncer og -artikler med mere. Her kan der også henvises til spildevandsplanen, hvor dimensioneringsforudsætninger og befæstelsesgrader angives. Der henvises i øvrigt i denne forbindelse til DANVA's kommunikationsguide "Kommunen kommunikerer kloak" – et redskab til effektiv kommunikation som kan læses på DANVA's hjemmeside.

7.6 Kommunens dokumentation af en ekstrem hændelse

Det er kloakforsyningens opgave at orientere borgerne om de tekniske forhold, som er af betydning for borgernes oplevelse af det serviceniveau, som gælder i kommunen. En af opgaverne i denne henseende er at skulle forklare de borgere, som har været udsat for en oversvømmelse, om de forhold ved den givne hændelse, som ligger til grund for oversvømmelsen.

Det afgørende i denne situation er, at forvaltningen skal kunne sandsynliggøre, hvorvidt der var tale om en regnhændelse, som er i overensstemmelse med et accepteret serviceniveau i form af en, for ejendommen godkendt gentagelsesperiode.

Følgende tabel illustrerer en procedure til kortlægning af ansvarsforholdet:

Tabel 7.6.1: Kortlægning af ansvarsforhold

<table>
<tr><td colspan="3">a. Såfremt regnhændelsen forårsager en oversvømmelse, som repræsenterer en gentagelsesperiode større end den fastsatte gentagelsesperiode for en sådan oversvømmelse, kan kommunen ikke lægges oversvømmelsen til last. Det er da op til borgeren at vælge sine foranstaltninger, herunder at søge erstatning fra sit forsikringsselskab.</td></tr>
<tr><td colspan="3">b. Såfremt regnhændelsen forårsager en oversvømmelse, som repræsenterer en gentagelsesperiode mindre end den fastsatte gentagelsesperiode for en sådan oversvømmelse, må kommunen foretage en nærmere undersøgelse for at finde årsagen til den manglende efterlevelse af det fastsatte serviceniveau.</td></tr>
<tr><td colspan="3">c. En undersøgelse bør iværksættes for at identificere årsagen til en oversvømmelse, som efter det fastsatte niveau ikke skulle finde sted.</td></tr>
<tr><td>c.1 Såfremt dette afslører, at årsagen kan tilskrives forhold på grundejerens ejendom, da er det op til grundejeren at træffe de nødvendige foranstaltninger, herunder at søge erstatning fra sit forsikringsselskab.</td><td colspan="2">c.2 Såfremt dette afslører, at årsagen kan tilskrives forhold i kommunens afløbssystem, må dette undersøges nærmere og kommunen må træffe de nødvendige foranstaltninger.</td></tr>
<tr><td></td><td>c.2.1 Årsagen kan tilskrives utilstrækkeligt vedligehold.</td><td>c.2.2 Årsagen kan tilskrives et utilstrækkeligt dimensioneret afløbssytem.</td></tr>
</table>

I tilfælde b: kraftigere regn end svarende til den godkendte gentagelsesperiode er det et spørgsmål om grundejerens personlige forhold eller forholdet til grundejerens forsikring. I princippet kan forsikringsselskabet søge regres over for kommunen. Dette sker dog meget sjældent, men kommunen kan blive anmodet om, at dokumentere sin påstand om at regnhændelsen er kraftigere regn end svarende til den godkendte gentagelsesperiode.

I tilfælde c.2 kan der blive tale om et retsforhold mellem kommunen og grundejeren på grund af manglende efterlevelse af et godkendt serviceniveau.

I begge tilfælde er det formålstjenligt at foretage en analyse af regnhændelsen og af afstrømningsforløbet, således at der skaffes dokumentation for, hvorvidt oversvømmelsen er sket med en gentagelsesperiode, som er større eller mindre end den godkendte gentagelsesperiode.

7.6.1 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.

I faglitteraturen vedrørende statistisk hydrologi findes der beskrivelser af metoder til at gennemføre sådanne analyser (jf. 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 vejrsituation, og eventuelt
- at søge oplysninger fra vejrradarobservationer

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 et regndiagram, 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.

7.6.2 Analyse af afstrømningshændelsen

I tvivlstilfælde kan det være nødvendigt at foretage en analyse af afstrømningen i systemet på grundlag af den regnhændelse, 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, må der være en forskel, som trænger til forklaring. Det kan 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 afstrømnings-forløb.
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 radar-observationer 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, eventuelt suppleret med målinger for det tilfælde, at dokumentationen skal anvendes til at afgøre et retsforhold til borgeren eller til dennes forsikringsselskab.

7.7 Sammenfatning af kommunens administrative praksis

For at sikre en sammenhængende og konsekvent administration af kommunens funktionspraksis skal der arbejdes på flere forskellige niveauer. De ovenfor beskrevne forhold kan således resumeres:

Fastlæggelse af arealanvendelse via lokalplaner: Det fastlægges, hvilken type arealanvendelse, der skal ske i lokalplanområdet f.eks. erhverv eller åben-lav bebyggelse. Der kan også anføres, om grundejerne udelukkende kan afvande ved gravitation fra stueplan eller om kloaksystemet er udlagt således, at der kan afvandes ved gravitation fra kælder.

Overensstemmelse mellem lokalplan og spildevandsplan: I spildevandsplanen sammenkobles lokalplanens fastlæggelse af arealanvendelse med en tilladelig tilledning fra de forskellige former for arealanvendelse. I spildevandsplanen anbefales det, at kommunens funktionspraksis fastlægges, så borgerne er bekendte med det aktuelle serviceniveau i kommunen, og således at det tydeligt fremgår, hvilke krav borgeren kan gøre gældende over for kommunen.

Information til borgere: Gennem brochurer, breve eller lignende kan kommunen informere borgerne om deres rettigheder og pligter i forbindelse med kloaksystemet. Informationen kan være rettet specifikt mod grundejere eller endnu mere målrettet: mod grundejere med kælder eller grundejere med kendte opstuvningsproblemer.

Dokumentation af ekstrem hændelse
Kommunen/kloakforsyningen skal kunne forklare de borgere, som har været udsat for en oversvømmelse, om de forhold i den givne hændelse, som ligger til grund for oversvømmelsen. Kloakforsyningen skal herunder kunne sandsynliggøre, hvorvidt

der var tale om en regnhændelse, som er i overensstemmelse med et accepteret serviceniveau i form af en for ejendommen godkendt gentagelsesperiode.

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 her 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 afløbssystem

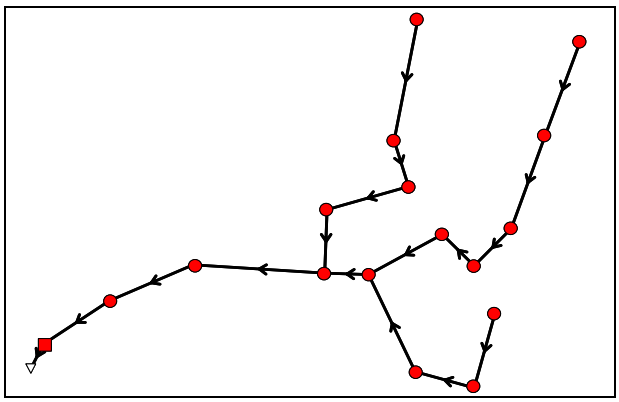
8.1.1 Nuværende funktionspraksis

X-købings afløbssystem 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 tilgængelige 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 PE. 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 8.1.1 viser en plan af ledningerne i området.



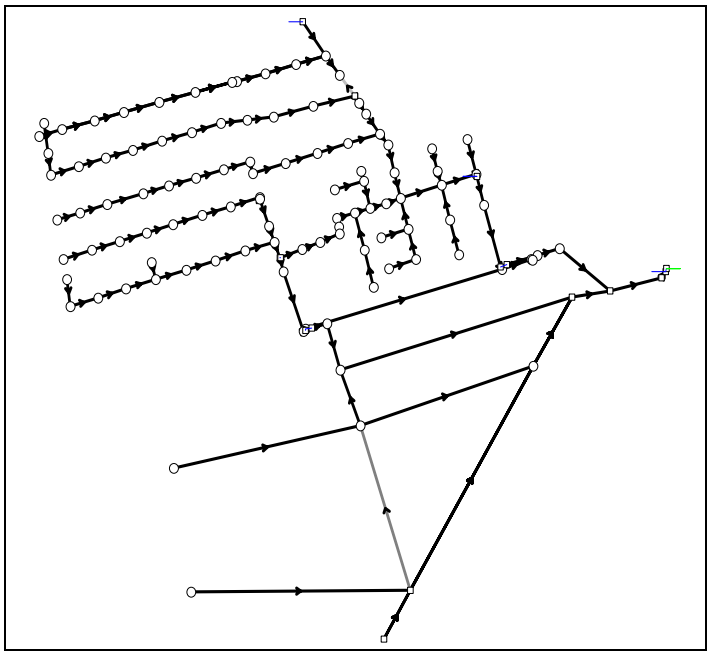
Figur 8.1.1. Ledninger i opland 1.

Det er skønnet, at tilslutning med en Ø200 mm. vil give den ønskede maksimale tilledning på 30 l/s. Overløbsvand løber 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 $^{o}/_{oo}$ til 3 $^{o}/_{oo}$, 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 overløbsvand 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 8.1.2 viser en plan af ledningerne i området.

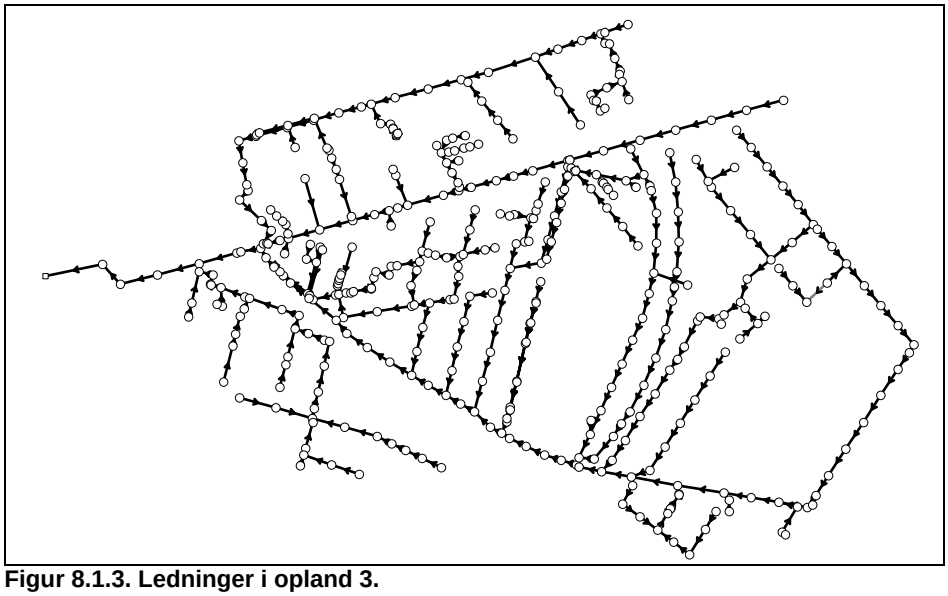


Figur 8.1.2: Ledninger i opland 2

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 8.1.3 viser en plan af ledningerne i området.



Figur 8.1.3. 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 punktvise 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 at undersøge 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 afløbssystemets 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 gøres 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 anlægsudgiften ved 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 8.2.1. 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 8.2.1 viser, at anlægsprisen for at dimensionere for T = 5 år frem for T = 2 år er i størrelsesordenen 5 % højere.

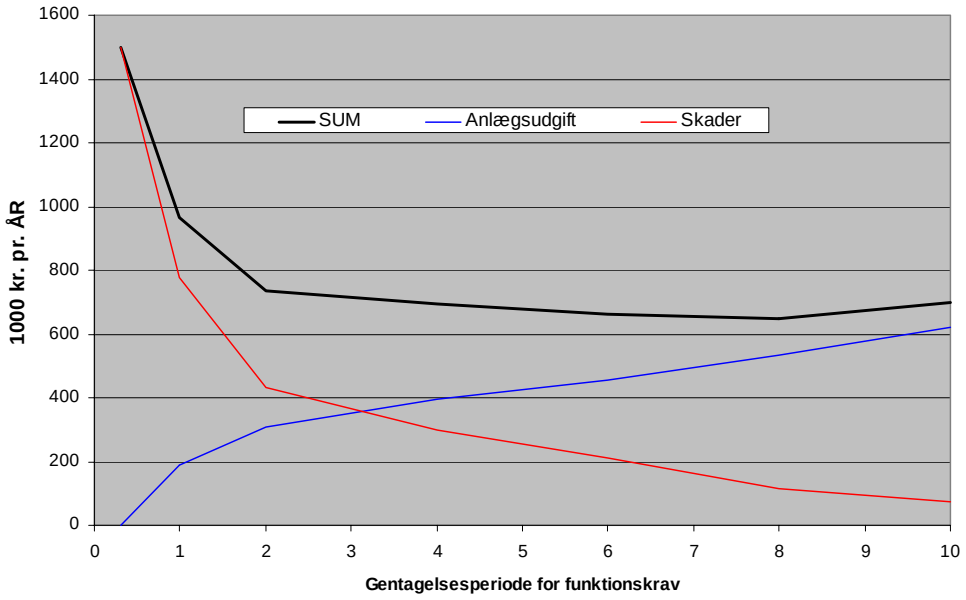
Opland 2 og 3.
For oplandene 2 og 3 er det relevant at opstille optimeringsberegninger. Der er forskel på topografien i de to oplande, og kommunens erfaring er da også, at der er flest problemer i opland 2. For den samme ekstremregn er der således flere skader samtidigt i det flade opland 2 end i det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

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

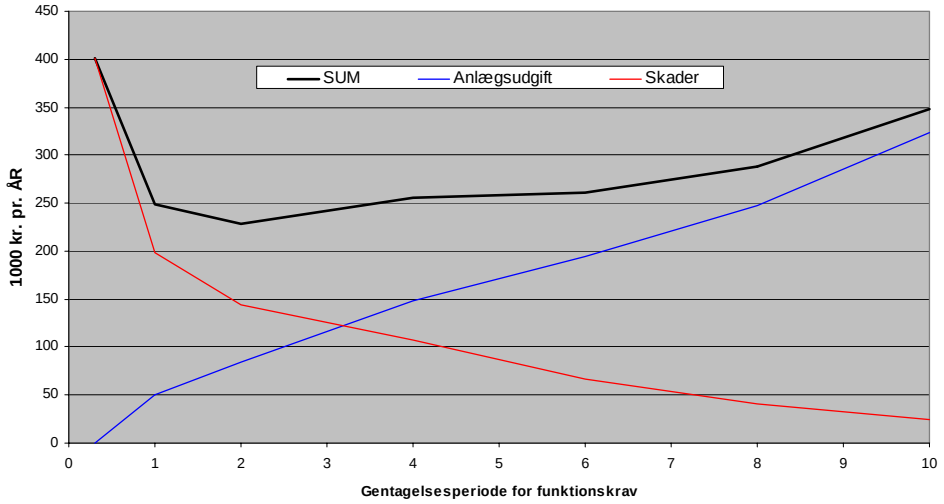
- Der benyttes beregningsniveau 2.
- Kritisk kote er sat til: 1,50 m under terræn
- Alle løsninger er sket med udskiftning af ledninger.
- Der regnes med priser på ledninger som i tabel 8.2.1.
- Der regnes med udgift til skadeomkostninger = 10.000 pr. skade.
  Dette svarer til samfundsøkonomisk optimering
- Der regnes med afskrivning på 80 år
- Der regnes med en realrente på 5 %

På figur 8.2.1 og figur 8.2.2 ses resultaterne af optimeringsberegningerne. Forskellen på oplandene er tydeligt. Ved opland 2 er der en jævnt stigende nødvendig investering for at sætte gentagelsesperioden op. I opland 3 stiger kurven meget op til 2 år, hvorefter den flader ud. Derfor opnås et betydeligt højere serviceniveau for relativt få mer-investeringer.

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.

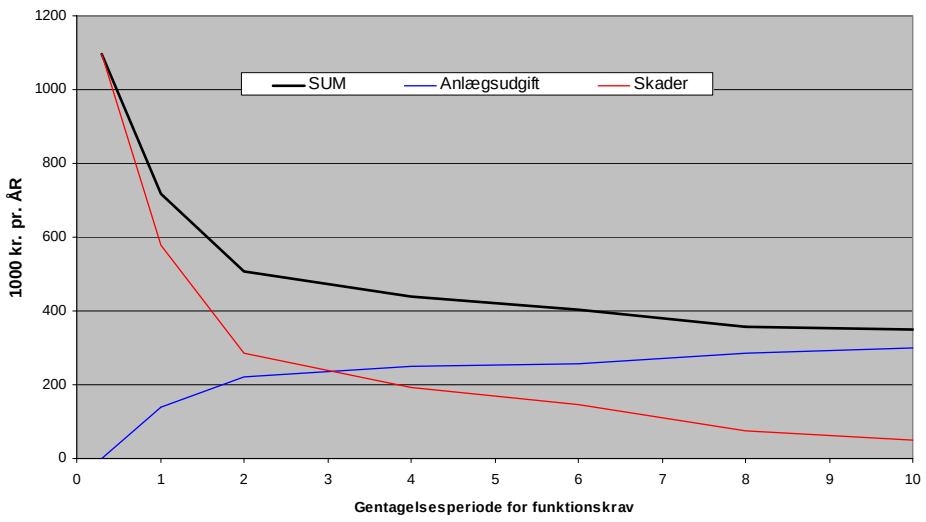


Figur 8.2.1. Resultat af optimeringsberegning for opland 2.



Figur 8.2.2. 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 8.2.3



Figur 8.2.3: 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 nyudstykninger 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 8.2.2 svarer til kombination af minimumskrav og de valgte skærpede krav.

Tabel 8.2.2: 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 levetiden.
- *Fortætning*
  Til trods for at X-købing har et glimrende samarbejde mellem kloakforsyningen og byggesagsmyndigheden, kan udviklingen i beregningsforudsætningerne for et givent 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.
- *Vandstandsstigning 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 af-

løbssystemet. 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 m kan påvirke opstuvning i området ved kraftig regn. Det vurderes, at vandstandsstigning maksimalt vil andrage 0,50 m inden for planlægningsperioden. Vandstandsvariationerne i recipienten ved X-købing er ikke store og det vurderes, at sandsynligheden for sammenfald af ekstremt 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 8.2.3.

Tabel 8.2.3: Anvendelse af sikkerhedsfaktor for respektive oplande.

Sikkerhedsfaktorer	**Opland 1**	**Opland 2**	**Opland 3**
Statistisk usikkerhed	1,30	1,25	1,20
Statistisk usikkerhed i alt	**1,30**	**1,25**	**1,20**
Forøget regnintensitet	1,2	1,2	1,2
Fortætning	1,1	1,1	1,1
Scenarieusikkerhed i alt	**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 (Scenarieusikkerhed).

8.2.5 Økonomisk konsekvens ved 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 denne regn – uden sikkerhedsfaktor.
   For hver gennemregning, der følger stigende gentagelsesperiode, foretages udskiftning af ledninger, indtil kriteriet om opstigning til kritisk kote om – her 1,5 m under terræn – beregningsmæssigt tilfredsstilles 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 8.2.4. 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 mio. kr. I tabellen angives også stigning i vandafledningsbidraget beregnet på grundlag af et vandforbrug på 120 l/d/PE

Tabel 8.2.4. 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				Anlæg	Pris pr. år	Stigning i Vandafledningsbidrag
1,0	**1,2**	**1,4**	**1,6**	**[mill.]**	**[1000 kr.]**	**[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.

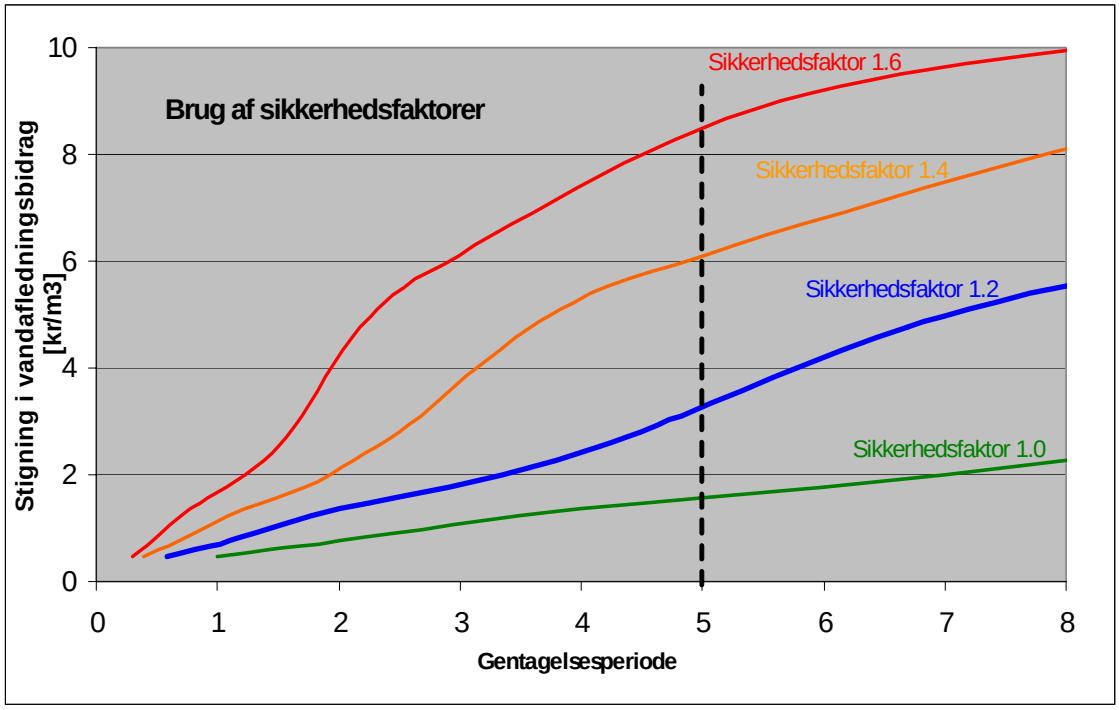
Tabel 8.2.5. Værdier for T = 5 år fundet ved interpolering i tabel 11.

Sikkerhedsfaktor	Anlæg	Pris pr. år	Stigning i Vandafledningsbidrag
	[mill.]	**[1000 kr.]**	**[kr./m3]**
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 8.2.4 viser stigning i vandafledningsbidraget baseret på tabel 8.2.4. Figuren giver en oversigt over sammenhængen mellem gentagelsesperiode, sikkerhedsfaktor og pris.

Det skal bemærkes, at de viste data i tabel 8.2.4 og figur 8.2.4 er udtryk for en konservativ beregning, der alene medtager hydrauliske krav. Hvis den endelige pris på fornyelse af oplandet er kombineret med tiltag, der er bestemt af renovering af ledninger, vil forholdet mellem kurverne være anderledes. Sådanne data kan ikke generaliseres, men er kun et eksempel fra netop dette opland.

Kurverne skal læses med udgangspunkt i den blå. Denne udtrykker det nødvendige niveau, nemlig at den statiske usikkerhed er medregnet. Dette vil også svare nogenlunde til det niveau der bør holdes i forhold til den oprindelige dimensionering.



Figur 8.2.4. Sammenhængen mellem gentagelsesperiode, sikkerhedsfaktor og pris som forøgelse af vandafledningsbidrag. 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 8.3.1.

Tabel 8.3.1: Beregningsskema

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:

- Nyudstykninger opdimensioneres svarende til høj sikkerhedsfaktor, idet der tages hensyn til skønnet fremtidig effekt af klimaforandringer.
- Ledninger, der er udpeget på grund af den fysiske tilstand, opdimensioneres 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 fornyede 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.

Referencer

Bekendtgørelse af lov om betalingsregler for spildevandsanlæg m.v. (LBK nr. 716 af 23/06/2001)

Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 (BEK nr. 501 af 21/06/1999)

Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse (LBK nr. 753 af 25/08/2001)

Dansk Ingeniør forening (1968). Kloakering, Teknisk Forlag fra 1968.

Dansk Ingeniørforening (1944). Moderne Kloakteknik : Foredrag og diskussioner fra kursus i Dansk Ingeniørforening 8-11 november 1943. Dansk Ingeniørforening, København, 1944. 314 s.

Dansk Ingeniørforening (1944). Moderne Kloakteknik : Foredrag og diskussioner fra kursus i Dansk Ingeniørforening 8-11 november 1943. Dansk Ingeniørforening, København, 1944. 314 s.

Dansk Ingeniørforening (1950): Kloakteknik. Teknisk Forlag, København, 1950. 392 s.

Dansk Ingeniørforening (1950): Kloakteknik. Teknisk Forlag, København, 1950. 392 s.

Dansk Standard (1999): Afløbssystemer uden for bygninger. Del 4: Hydraulisk design og miljøaspekter. DS/EN 752-4: 1999 (på engelsk).

Hansen A.C. & Liu L. Risk based design of Drainage Systems. Uncertainty Analysis, Pre-project to Master thesis, E&R,DTU, 2004.

Hvidovre Kommune (2003): Revision af målsætningen for spildevandsområdet. Hvidovre kommune, Teknisk Forvaltning 2003.

Jens Jørgen Linde et al. (1974). Afløbsteknik 2 rev. Udgave. Polyteknisk forlag 2002.

Jens Jørgen Linde et al. (2002). Afløbsteknik 4 rev. Udgave. Polyteknisk forlag 2002.

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.
Svensk Vatten (2003b). Svensk Vatten 3. 2003.

Svensk Vattten (2003a). Svensk anvisning P90. ”Dimensionering af avloppsledninger. Slutversion 7 aug. 2003. Svensk Vatten 2003.

SVK (1982): Undersøgelse af dimensioneringspraksis for små afløbssystemer. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 20. Teknisk forlag.

SVK (1984a): Maksimalafstrømninger og bassinvolumener fra historiske regnserier. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 18, 1+2. Tekst og Tryk.

SVK (1984b): Recipientbelastning fra overløbsbygværker. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 21, 1+2. Tekst og Tryk.

SVK (1985): Tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 23, 1+2. Tekst og Tryk.

SVK (1999): Regional variation af ekstremregn i Danmark. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 26, 1+2. Tekst og Tryk.

Sørensen, S. (2002): Dimensioneringspraksis i Københavns kommune, EVA, årgang 15, nr. 3, side 15 – 17

United States Department of Agriculture (2000): National Ressources Conservation Service, National Engineering Handbook, part 630 Hydrology, chapter 18 Selected Statistical Methods. 210-VI-NEH, September 2000.

Walker et al..(1993). Walker W.E. Harremoës P., Rotmans J., van der Sluijs J.P., van Asselt M.B.A., Janssen P. and Krayer von Krauss M.P., Defining uncertainty. A conceptual basis for uncertainly management in modelbased decision support, integrated assessment. 2003.

Aalborg kommune (1998). Notat: ”Dimensionering af offentlige kloakanlæg i Aalborg kommune. Alborg kommune 23.09.1998 revideret 09.10.1998.