

Dimensionering af LAR-anlæg

Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark

Indhold

Indhold	1
Baggrund	1
DEL 1: DIMENSIONERING AF LAR-ANLÆG VED HJÆLP AF REGNEARK.....	2
LAR – afløbstechnik eller bydesign.....	2
Brugervejledning til regnearket	2
Vejledning i brug	2
Inputdata.....	3
Taleksempel.....	3
DEL 2: INDPASNING AF LAR I OMRÅDER MED AFLØBSSYSTEMER.....	4
Eksempler på indpasning af LAR-anlæg med nedsivning	4
Hændelsen den 2. juli 2011 i København	4
Dimensionering når både LAR-anlæg og kloaksystemer anvendes i samme opland	5
Appendix 1: Udformning af særligt store LAR-anlæg.....	9
Appendix 2. Notatets tilblivelse.....	9

Baggrund

På baggrund af den store interesse for etablering af anlæg til Lokal Afledning af Regnvand (LAR) har Spildevandskomiteen udarbejdet et regneark til dimensionering af fire typiske typer af LAR-anlæg. Regnearket findes på Spildevandskomiteens hjemmeside (www.ida.dk/svk) og beskrives i nedenstående notat.

Spildevandskomiteens rekommandation er, at dette regneark benyttes i stedet for de kurver, der er angivet i Skrift 25. Såfremt LAR anlæg anlægges som supplement til, eller erstatning for, afløbssystemer, anbefales at vælge en dimensionsgivende gentagelsesperiode på mindst 10 år. Såfremt mindre gentagelsesperioder anvendes, skal det godtgøres, at overbelastning ikke medfører skader pga. oversvømmelser i lavereliggende områder. Det skal bemærkes, at værktøjet stilles frit til rådighed for alle "som beset" og at hverken Spildevandskomiteen eller andre er eller kan gøres ansvarlig for nogen form for tab af fortjeneste, indtægter eller nogen form for indirekte skader, som opstår på grund af eller i forbindelse med notat eller regneark.

Der er også et andet formål med dette notat, nemlig at diskutere hvordan LAR-anlæg kan bidrage til at løse hydrauliske problemer i afløbssystemer.

Formålet med afløbssystemer er at sikre byens borgere mod sygdom, beskytte værdier mod oversvømmelse og nærrecipienter mod miljøpåvirkning. Afløbssystemer fungerer ved at lede vandet bort fra områder med mennesker. LAR fungerer derimod ved at forsinke vandet i bassiner på eller under jordoverfladen. LAR er udelukkende beregnet til at håndtere regnvand, fordi der er stor hygiejnisk risiko ved at håndtere sanitært spildevand lokalt.

DEL 1: DIMENSIONERING AF LAR-ANLÆG VED HJÆLP AF REGNEARK

LAR – afløbsteknik eller bydesign

Begrebet LAR dækker i det følgende over nedsivning af regnvand, men omfatter principielt alle typer af forsinkelse af regnvand, såsom grønne tage.

LAR-anlæg i form af nyanlagte grønne områder i veje eller bebyggelse kan etableres til gavn for byen og mennesker. Hvis LAR anlæg skal bruges på den måde, kan selv ret små anlæg være meget gavnlige. Men hvis de er tænkt som hel eller delvis erstatning for kloakker, skal de også kunne sikre mod oversvømmelser, hvilket medfører store anlæg. I det følgende forudsættes, at LAR-anlægget anlægges for helt at erstatte et afløbssystem til regnvand eller mindske problemer i et eksisterende afløbssystem. I Tabel 1 er angivet typiske størrelser på infiltrationsanlæg, der er store nok til helt at give samme service i forbindelse med oversvømmelse som et typisk afløbssystem. Såfremt man ønsker mere præcise dimensioneringer, skal der gennemføres forsøg til bestemmelse af jordens hydrauliske ledningsevne (K), og regnearket skal anvendes til beregning af anlæggets størrelse. Det er en forudsætning for alle typer af anlæg, at underkanten af anlægget ligger mindst 1 - 2 m over højeste grundvandspejl.

Tabel 1. Sammenhæng mellem hydraulisk ledningsevne, K , og gentagelsesperiode for en traditionel faskine. K angiver vandets hastighed vinkelret væk fra faskinen. Det faktiske volumen bestemmes ved at gange antal mm med det tilknyttede tagareal, hvorved der fremkommer et netto-volumen, der er angivet. Ofte sælges faskiner i 2 kassetter med et samlet volumen på $0,25 \text{ m}^3$, hvorfor det også er angivet, hvor meget tagareal der kan tilknyttes det volumen. For en sammenhæng mellem K og jordtype henvises til regnearket.

K	T = 10 år	
10^{-3} m/s	10 mm	($0,25 \text{ m}^3$ pr 25 m^2 tag)
10^{-5} m/s	40 mm	($0,25 \text{ m}^3$ pr $6,3 \text{ m}^2$ tag)
10^{-7} m/s	>150 mm	($0,25 \text{ m}^3$ pr $1,3 \text{ m}^2$ tag)

Brugervejledning til regnearket

Den hydrologiske metode, som regnearket benytter, er den samme som i Spildevandskomiteens skrift 25 om LAR (Mikkelsen *et al*, 1995), men der er i regnearket inddraget såvel nye dimensioneringsprincipper (Skrift 27, Harremoës *et al*, 2005) som nye regndata (Skrift 28, Arnbjerg-Nielsen *et al*, 2009).

Regnearket bruger en statistisk regnrække som beregningsgrundlag, og ikke en virkelig regnserie. Programmet er baseret på Spildevandskomiteens regneark udarbejdet på baggrund af Skrift 28.

De anlæg, der kan dimensioneres ved hjælp af regnearket, er faskine, regnbed, grøft og permeabel belægning.

Vejledning i brug

Ved åbning af regnearket skal man trykke "Med markroer", hvis man bliver spurgt.

I regnearket anvendes kun fanen "Input og resultater", og der skrives kun i søjle B.

Her angives grunddata som hydraulisk ledningsevne og årsnedbør (blå skrift) og data som længde og bredde for det anlæg, der skal dimensioneres (rød skrift).

For at starte beregning trykkes herefter på knappen "Bereg".

Resultaterne (længde af faskine, areal af regnbed osv.) fremgår herefter af søjle B.

Bemærk, at resultaterne kun gælder, når celle F7, F8, F9 eller F10 er grøn – forbliver cellen rød, kan programmet ikke nå et gyldigt resultat. I det tilfælde kommer programmet med en advarsel. I Appendix 1 er angivet et regneeksempel.

Inputdata

Grunddata - blå tal

Årsmiddelnedbør: Den aktuelle lokale årsmiddelnedbør i mm (ofte 650 – 800 mm i Danmark). Se nedbørskort nederst i regnearket.

Region: Øst eller vest for Storebælt (der er forskel i regnintensitet).

Gentagelsesperiode: Antal år mellem, at anlægget flyder over, statistisk – normalt ikke under 5 år.

Sikkerhedsfaktor: Består af flere faktorer, der ganges sammen, fx:
Klimafaktor: 1,1 (regnen forventes 30% kraftigere inden for 100 år, med en levetid på 30 år giver det 10% forøgelse i levetiden).
Modelusikkerhed: 1,0 (hvis K skønnes lavt som anbefalet nedenfor).
Øget befæstelsesgrad: 1,0 (hvis befæstelsen forøges, vil der skulle bygges et nyt LAR-anlæg).
Sikkerhedsfaktor er dermed normalt 1,1, idet den resterende usikkerhed håndteres ved at vælge en lav hydraulisk ledningsevne.

Befæstet areal: Tag-, vej- og andet befæstet areal tilsluttet LAR-installationen (m^2).

K : Jordens hydrauliske ledningsevne, K , angiver i m/s, hvor hurtigt vandet siver ned i den aktuelle jord. K varierer meget og bør derfor bestemmes for det område, hvor nedsivningen skal foregå, gerne i form af flere målesteder. Note: Størrelsen af K har meget stor betydning for anlæggets dimension. Det er derfor vigtigt, at den ikke skønnes/måles for høj. Sammenpresning af jorden, f.eks. traktose, kan reducere K meget, så ovenstående vejledende værdier ikke passer.

Taleksempel.

Faskine

Her angives de røde tal, højde, bredde, hulrumsandel og udsivning gennem bund. Udsivning gennem bund bør være 0=Nej, idet bunden ofte stopper til med fine partikler i løbet af nogle år.

Programmet udregner herefter længden af faskinen.

Faskinen bør dimensioneres som en lang og smal rende-faskine, frem for at samle faskine-elementerne i en samlet "klump", det mindsker det samlede nødvendige volumen.

Eksempel:

Årsmiddelnedbør: 650 mm; Region: 2 (øst); T: 10 år; Sikkerhedsfaktor:1,1; Tagareal: 250 m^2 , Jord: 5×10^{-6} m/s (meget sandet ler)
Faskinens dimension: Bredde: 1 m, Højde: 1,3 m; Hulrum: 0,95; Udsivning gennem bund: nej
Resultat: 9,9 m lang faskine

Regnbed

Regnbedet er en fordybning i terrænet, hvor regnvandet ledes til. Dybden af bedet angives i celle B24 (rød). Planlægges en varierende dybde i bedet, kan gennemsnitsdybden anvendes som tilnærmelse. Planlægges en stor variation i dybden, fx en lav og en dyb del, bør regnbedet regnes som fx to bede, hvor hver del udregnes på grundlag af hver deres del af oplandet.

Eksempel:

Blå data som ovenstående, dybde: 0,5 m

Resultat: 22,8 m²

Grøft

Der planlægges en ½ meter dyb grøft, 2 meter i kronekant, samme grunddata som for faskine-eksemplet.

Resultat: 24,2 meter længde grøft

Permeable belægninger

Der planlægges en parkeringsplads på 400 m² med permeabel belægning. Pladsen tilføres vand fra yderligere 600 m² asfalteret areal.. Ellers samme grunddata som faskine.

Resultat: 55 l/m² - svarende til at 53 mm vand skal kunne opstaves i vejkaassen under hver m² parkeringsplads.

DEL 2: INDPASNING AF LAR I OMRÅDER MED AFLØBSSYSTEMER

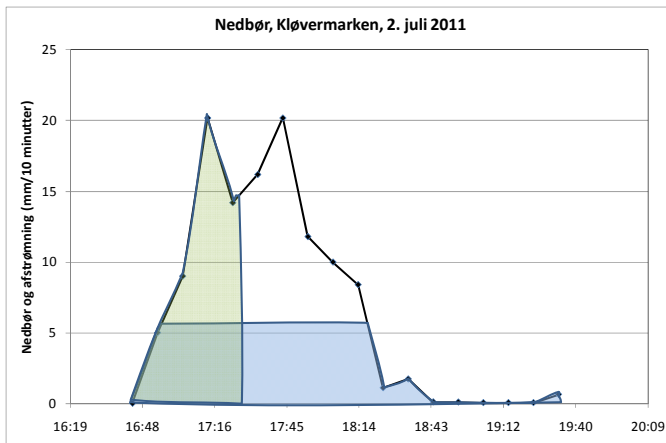
LAR-anlæg med nedsivning kan etableres som eneste afledning af regnvand. Dette er f.eks. tilfældet i mange nybyggede parcelhusområder, hvor der er krav om, at tagvand nedsives, og at der ikke må kobles afløb eller overløb af regnvand til kloakken. Sådanne anlæg er hidtil blevet dimensioneret til en gentagelsesperiode på to eller fem år. Det giver en dårlig sikring mod oversvømmelser under ekstrem regn, da nedsivningsanlægget hurtigt bliver fyldt op. Anlæggene bør derfor enten være større, eller også skal det sikres, at vandet fra ekstremhændelser ikke giver skader i laveliggende områder. Spildevandskomiteens rekommandation vedrørende nyanlæg af afløbssystemer er, at de mindst skal kunne håndtere en 5 års hændelse. Der anvendes endvidere en række sikkerhedsfaktorer, der gør, at afløbssystemer i praksis i gennemsnit kan håndtere hændelser med en gentagelsesperiode på 30-100 år uden overbelastninger. LAR-anlæg bør give samme sikring mod oversvømmelse, og derfor anbefales det, at anvende en gentagelsesperiode på mindst 10 år ved dimensionering af nye faskiner.

LAR-anlæg med nedsivning kan også etableres som et supplement til det eksisterende kloaksystem i områder, hvor kloakkens kapacitet er blevet for lille som følge af en forøgelse af nedbørens intensitet og af størrelsen af det befæstede areal, der er sluttet til kloakken. Dette kan f.eks. ske ved at afskære tagnedløb fra kloakken og lede dem til LAR-anlæg med nedsivning. I dette tilfælde vil LAR-anlægget også blive fyldt op under ekstrem regn, og et overløb vil herefter belaste kloakken. Da kloakken ikke er beregnet til at modtage dette vand mere, er der en forøget risiko for oversvømmelse. Mens LAR-anlæg vil have en positiv effekt på vandmiljøet i recipienterne uanset størrelse, vil de kun kunne mindske risikoen for oversvømmelse, såfremt de dimensioneres, som om der slet ikke var et kloaksystem i området.

Eksempler på indpasning af LAR-anlæg med nedsivning

Hændelsen den 2. juli 2011 i København

Først et eksempel for at vise, at LAR-anlæg og kloakker fungerer helt forskelligt. Vi tager udgangspunkt i hændelsen i København den 2. juli 2011, som blev målt på bl.a. regnmåleren på Kløvermarksvej. På figur 1 er vist, hvor kraftig nedbøren var, målt som mm regn per 10 minutter.



Figur 1. Kloakker håndterer de blå vandmængder ved at sende dem videre til renseanlæg, vandløb og havet, mens LAR-anlæg håndterer de grønne vandmængder ved at holde dem tilbage i lokalområderne. Linjerne er angivet for hhv. et LAR-anlæg med lille nedslivningskapacitet og for et kloaksystem for et meget stort opland.

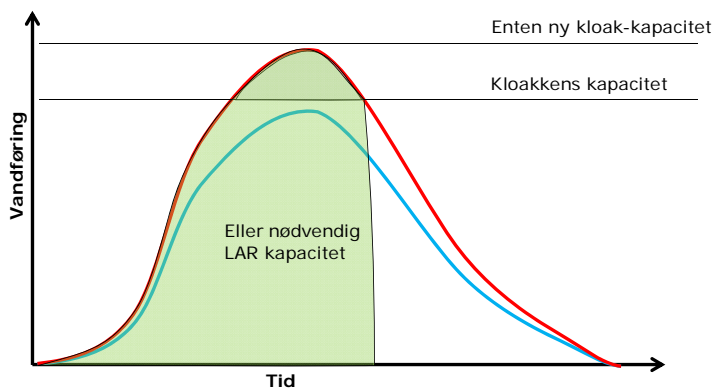
På figuren er også vist, hvordan et ideelt LAR-anlæg og et ideelt kloaksystem opfører sig. Det blå område (kloakken) er begrænset af en øvre intensitet, som er konstant hele hændelsen, mens det grønne område (LAR anlæg) er begrænset af et volumen. Indtil LAR-anlægget er fyldt, kan selv meget intense regnvejr indeholdes i anlægget; derefter virker anlægget overhovedet ikke. Begge systemer er alt for små til den voldsomme hændelse, hvilket siger mere om hændelsens størrelse end om de tekniske systemer.

Dimensionering når både LAR-anlæg og kloaksystemer anvendes i samme opland

Som det er vist i figur 1, virker LAR-anlæg og kloakker vidt forskelligt. Derfor er det heller ikke let altid at forudsige, hvad der sker, når man kombinerer de to typer af anlæg. I praksis vil de nogle gange supplere hinanden, mens de i andre tilfælde ikke hjælper hinanden, fordi det vand, LAR-anlægget holder tilbage, ellers for længst ville have forladt området, der måske oversvømmes.

Figur 2 viser det principielle problem. Baseret på datidens oplysninger om befæstede oplande og nedbør har man bestemt en dimensionsgivende hændelse for afstrømmet nedbør, vist som den blå kurve. På grund af byudvikling, flere befæstede arealer og kraftigere nedbør kommer der nu mere vand, sådan at den dimensionsgivende afstrømning nu følger den røde kurve. Kloakken er blevet for lille. Man kan derfor f.eks. vælge at udvide kloakkens kapacitet eller etablere LAR-anlæg. Det vigtige er, at hvis man etablerer LAR-anlæg, skal de kunne indeholde alt det vand der ellers ville afstrømme til kloakken indtil kloakkens kapacitet er stor nok til at indeholde resten af hændelsen; ellers er LAR anlægget ikke til gavn. Det samme gælder naturligvis kloakken. Det kræver avancerede modeller at finde præcist dette volumen; det er derfor det anbefales at dimensionere LAR-anlæg, som om der slet ikke er noget afløbssystem. Det giver et lidt større LAR-anlæg end de avancerede modeller vil give mulighed for, men ikke væsentligt større.

Fordi nedbør er så varierende, kan det være svært at finde ud af, hvornår kloakken er "stor nok igen" til at indeholde resten af vandet. Derfor et lidt mere realistisk, men også sværere eksempel, baseret på en konkret villavej og tre regnhændelser, der alle er store, men hver på deres måde. Oplandet og de tre hændelser er vist i figur 3.

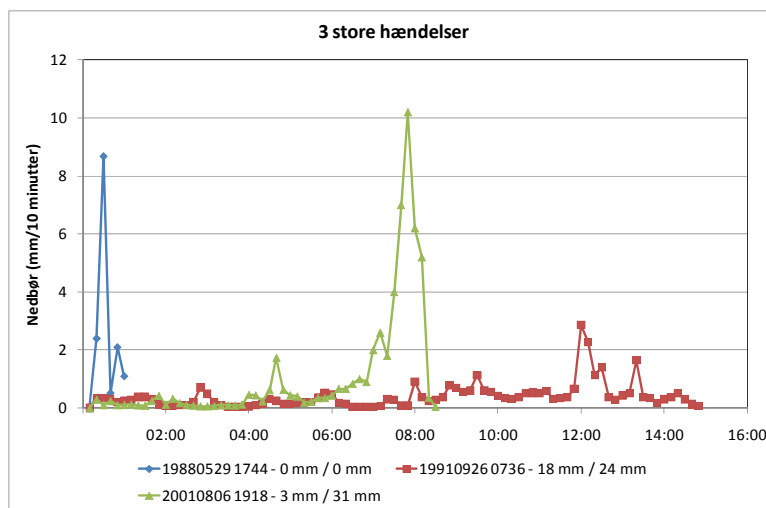


Figur 2. Princip for, hvad der sker når kloakkerne er blevet for små som følge af byudvikling eller ændret nedbør.

Husene, vejen og kloakken blev anlagt omkring 1975, så kloakken burde være velfungerende. Men ud- og tilbygninger på husene og flere belægninger har gjort, at kloakken nu er for lille. I alt er der et befæstet areal, der er 17 % større end oprindeligt. For nemheds skyld antages det, at kloakken er anlagt, så den lige præcist kan føre den oprindeligt dimensionsgivende regnmængde. Befæstelsesgraden er lav, og undergrunden består af sandet ler ($K = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s). For at vise vigtigheden af LAR-anlæggets størrelse anvendes 3 dimensioneringsprincipper:

- Faskine 1: En producentanbefaling på 2 kassetter ($0,25 \text{ m}^3$ pr 29 m^2 tag)
- Faskine 2: Et krav om tilbageholdelse af 95% af årsmiddelnedbøren
- Faskine 3: Et krav om en gentagelsesperiode på 10 år incl. anbefalede sikkerhedsfaktorer

40 m	9 m	40 m			
Hus 1	vej incl fortov, pilen angiver strømningens retning	Hus 2	400 m		
Hus 3		Hus 4			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
..		..			
Hus 39				Hus 40	



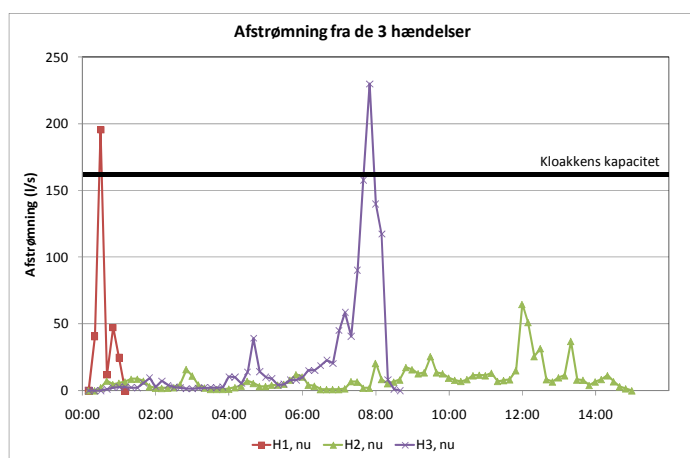
Figur 3. Oplandet der regnes på er en lidt forsimplet villavej med 40 huse, se figuren til venstre. Til højre vises tre typiske ekstreme regn, en kort sommerbyge (H1, 29/5-1988), en lang lavintens efterårsregn (H2, 26/9-1991) og en noget større sommerbyge (H3, 6/8-2001). Hændelserne er målt på Kløvermarkens regnmåler. De angivne mm for hver hændelse angiver hvor meget nedbør der er registreret hhv. det foregående døgn og de sidste 5 døgn.

Tabel 2. Beregningsmæssige forudsætninger vedrørende befæstelsesgrad.

	Pr hus	Samlet for oplandet
Befæstet areal, vej	90 m ²	0,36 ha
Befæstet areal, boliger, ved anlæg	200 m ²	0,80 ha
Befæstet areal, boliger, nu	250 m ²	1,00 ha
Samlet areal	890 m ²	3,56 ha
Befæstelsesgrad, ved anlæg	0,33	0,33
Befæstelsesgrad, nu	0,38	0,38

På figur 4 er vist afstrømningen fra hver af hændelserne. Som det fremgår af figuren, er der masser af kapacitet i kloakken til vandet ved hændelse H3. Såfremt der ikke er plads i LAR-anlægget, vil vandet blot løbe på overfladen, indtil det finder vej ind i kloakken længere nede ad vejen. Der er således ikke fare for oversvømmelse fra hændelse H3.

Både hændelse H1 og H2 medfører overbelastning af kloakken. For disse to hændelser undersøges derfor påvirkningen af at nedsive via faskiner med størrelser som angivet ovenfor. Det skal bemærkes, at der i dag anbefales at bygge større kloakker end tidligere. Kloakkens kapacitet ville ved brug af Spildevandskomiteens skrifter i dag kunne føre mindst 230 l/s, vel at mærke baseret på befæstelsesgraderne ved udstykningen i 1975. Dermed ville afløbssystemet kunne håndtere alle tre regnhændelser uden at blive overbelastet.



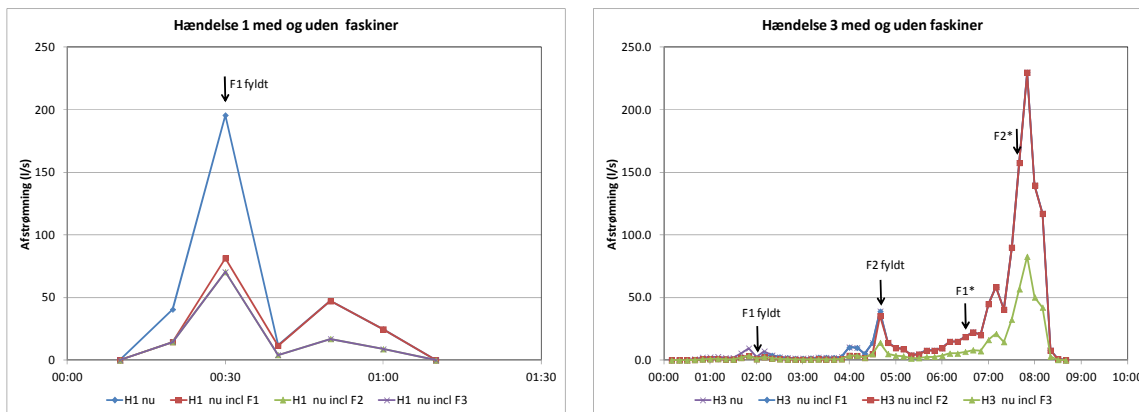
Figur 4. Afstrømningen fra hver af de tre hændelser.

De to hændelser er forskellige på den måde, at H1 er en kort hændelse, der kommer efter en lang tørvejrperiode, mens H3 kommer efter en regnfuld periode, hvor der falder i alt 31 mm nedbør i dagene op til den kraftige hændelse.

På figur 5 er afstrømningen angivet for de to hændelser for hhv. statussituationen samt med de tre strategier for at etablere faskiner. Som det fremgår, vil faskinerne i nogle tilfælde blive fyldt, hvorefter afstrømningen vil foregå, som om der ikke er etableret faskiner.

For hændelse 1 har der været en lang tørvejrperiode, som gør, at alle tre faskiner er tørre inden hændelsen starter. Det er kun faskintype 1, der bliver fyldt og derfor holder op med at holde vand tilbage. Det sker på et tidspunkt, hvor spidsen af afstrømningen er overstået. Dermed virker alle tre faskintyper efter hensigten, dvs. at de dæmper afstrømningen, så kloaksystemet ikke bliver overbelastet mere.

For hændelse 3 er både faskinetype 1 og 2 derimod fyldte længe inden den maksimale afstrømning, og de virker derfor ikke dæmpende på afstrømningen. Den hurtige fyldning skyldes delvist, at det har regnet i dagene op til hændelse 3, og faskinerne derfor er delvist fyldte. Det er med stjerne markeret, hvornår faskinerne ville være fyldte, hvis faskinerne havde været tomme fra start (hhv. F1* og F2*). For hændelse 3 er det dermed kun faskinetype 3, der virker dæmpende på den maksimale afstrømning.



Figur 5. Afstrømning med og uden de tre typer af faskiner. I nogle situationer fyldes faskinerne, hvorefter de mister deres funktion, og vandet fra parcellerne tilledes det almindelige kloaksystem via overfaldene eller nødoverløb. Det er på figurerne angivet, hvornår de enkelte faskiner fyldes..

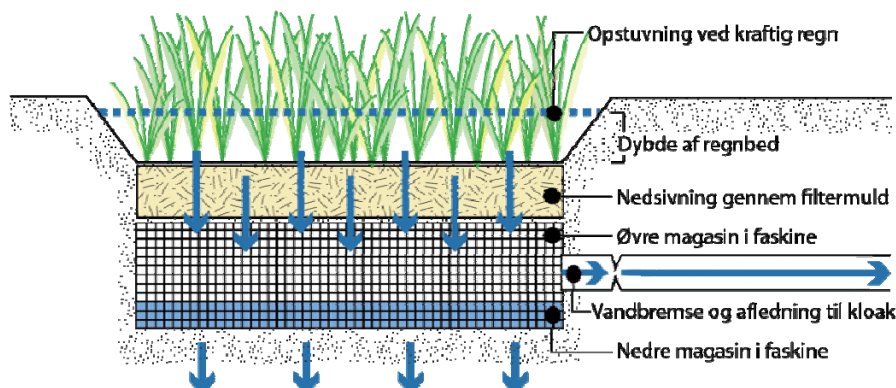
De tre hændelser er typiske "kraftige" hændelser, der vil overbelaste LAR-anlæg og/eller afløbssystemer. I praksis kræver det en gennemregning med en lang historisk regnserie, hvor alle typer af regnhændelser forekommer i "rette hyppigheder" at finde det optimale samspil mellem faskinerne og kloakkerne og dermed bestemme, hvor store LAR-anlæggene skal være.

I ovenstående eksempel tages udgangspunkt i, at afløbssystemet oprindeligt var dimensioneret til at håndtere alt regnvand og blot er blevet for lille, fordi der er sket en fortætning af oplandet. Hvis kloaksystemet fra starten kun er dimensioneret til at håndtere vejvand (eller hvis også vejvandet nedsives), er der en langt større sårbarhed overfor LAR-anlæggenes størrelse. Da vil alle tre hændelsestyper kunne medføre oversvømmelse, såfremt LAR-anlæggene ikke dimensioneres til at beskytte mod oversvømmelse.

Specielt for hændelse 3 er det meget tydeligt, at der er alvorlige konsekvenser af at lave LAR-anlægget for lille.

Appendix 1: Udformning af særligt store LAR-anlæg

I områder med eksisterende kloak er det muligt at udforme og dimensionere LAR-anlæg, så de i samspil med kloakken kan håndtere ekstreme regnhændelser, f.eks. op til en gentagelsesperiode på 100 år. Det kan ske ved at udføre LAR-anlægget som en kombination af et nedsivningsanlæg til normalregn og et forsinkel-sesbassin til ekstrem regn. Sådanne løsninger kan ikke umiddelbart dimensioneres ved hjælp af regnearket, men princippet skitseres nedenfor.



Figur 6. LAR-anlæg med kombineret nedsivning, afledning og forsinkelse. Normalnedbør opsamles i faskinens nedre magasin og nedsives. Kraftigere regn afledes til kloak med en forsinkelse, der sikrer, at kloakkens kapacitet bliver fuldt udnyttet, mens ekstreme regnhændelser opstaves i faskinens øvre magasin.

I praksis udformes anlægget, så den nederste del af faskinen afvandes ved nedsivning. Den øverste del af faskinen tjener som forsinkelsesbassin med afledning til kloak. For at kunne håndtere ekstreme regnhændelser dimensioneres afløbet fra forsinkelsesvolumenet, så det svarer til kloakkens mindste afstrømningskapacitet i oplandet, typisk 80 - 110 liter pr. sekund pr. ha. Forsinkelsesvolumenet vil derfor stå tomt, indtil den ekstreme hændelse indtræffer, så denne kan magasineres.

Appendix 2. Notatets tilblivelse

Notatet er udarbejdet af Thomas Aabling, Søren Gabriel og Karsten Arnbjerg-Nielsen på baggrund af en opgavebeskrivelse fra Spildevandskomiteen. Notatet er efterfølgende blevet kommenteret af Regnudvalget og Udvalget vedrørende det separate regnvand, hvorefter det er godkendt af Spildevandskomiteens forretningsudvalg.