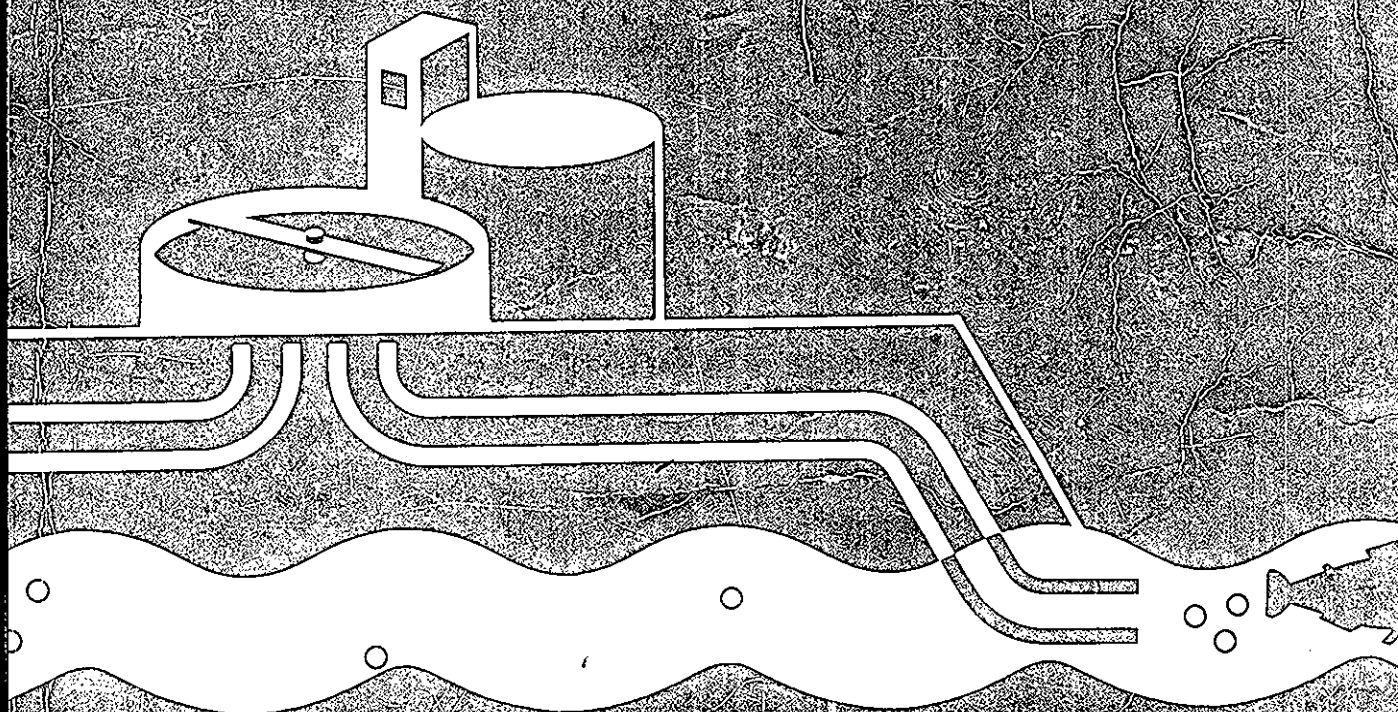


Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

Nr. 36 1992

Lokal afledning af regnvand



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

628.21

330 eks 2

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

Nr. 36 1992

Lokal afledning af regnvand

Ulla Anthonisen,
Inge Faldager,
Jes Hovgaard,
Rørcentret, Dansk Teknologisk Institut

Per Jacobsen,
Peter Steen Mikkelsen,
Laboratoriet for teknisk Hygiejne,
Danmarks Tekniske Højskole

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

RECEIVED
JAN 10 1964
U.S. AIR FORCE
HONOLULU, HAWAII

Indholdsfortegnelse

Forord	side 5
Sammendrag	7
English Summary	9
1. Indledning	11
2. Hovedprincipper i LAR-anlæg	13
3. LAR som alternativ til traditionel afløbsteknik	15
3.1 Eksempler på anvendelse af LAR	15
3.1.1 <i>Parcelhusområder i Växjö, Sverige</i>	15
3.1.2 <i>Forstadsbebyggelse i Tokyo, Japan</i>	17
3.2 Perspektiver ved brug af LAR	18
3.2.1 <i>Hoveddata for de to oplande</i>	19
3.2.2 <i>Reduktion af overløbsmængder</i>	19
3.2.3 <i>Effekten på renseanlæg</i>	21
3.2.4 <i>Den samlede effekt</i>	22
3.2.5 <i>Effekten på grundvandsressourcen</i>	22
4. Forurener LAR-anlæg?	23
4.1 Generelle forhold	23
4.1.1 <i>Forurening af afstrømmet regnvand</i>	23
4.1.2 <i>Miljømæssig påvirkning</i>	24
4.2 Tabelværdier for stofafstrømning	26
4.3 Vurdering af forureningsrisiko	27
4.4 Hvornår kan nedsivning tillades?	29
5. Naturlige forudsætninger for LAR	31
5.1 Indledning	31
5.2 Vegetation	32
5.3 Topografi	32
5.4 Jordartsforhold - geologi	33
5.5 Grundvandsforhold	35
6. Forundersøgelser	37
6.1 Undersøgelser	37
6.2 Planlægning af LAR-anlæg	39

7.	Dimensionering	41
7.1	Indledning	41
7.2	Eksisterende principper for dimensionering	41
7.2.1	<i>Nedbør og afstrømning</i>	41
7.2.2	<i>Nedsivningsanlæg</i>	43
7.2.3	<i>Regnvandsbassiner</i>	45
7.3	Nye dimensioneringsprincipper	46
7.3.1	<i>Tilstrømning til LAR-anlæg</i>	46
7.3.2	<i>Regnvandsbassiner</i>	46
7.3.3	<i>Faskiner</i>	48
7.3.4	<i>Infiltrationsoverflader</i>	49
7.3.5	<i>Fastsættelse af jordparametre</i>	50
7.3.6	<i>Gentagelsesperiode og aflastringsmuligheder</i>	52
7.4	Beregningsniveauer ved dimensionering af nedsivningsanlæg	52
7.4.1	<i>Beregningsniveau 1 : Små anlæg</i>	54
7.4.2	<i>Beregningsniveau 2-3 : Større anlæg</i>	54
7.5	Praktiske beregningseksempler	55
7.5.1	<i>Parcelhusfaskine</i>	55
7.5.2	<i>Regnafledning til nyanlagt græsplæne</i>	56
8.	Anlægstyper	59
8.1	Infiltration fra overfladen	59
8.1.1	<i>Tagvand</i>	61
8.1.2	<i>Vejafvanding</i>	62
8.2	Perkolation	64
8.3	Forsinkelse og udjævning	68
8.4	Små anlæg	69
9.	Udførelse, drift og vedligeholdelse	71
9.1	Udførelse	71
9.2	Drift og vedligeholdelse	71
9.3	Tilsyn	72
9.4	Fejl	73
10.	Symbooliste	75
11.	Litteraturliste	77

Forord

Denne rapport behandler mulighederne for lokal afledning af regnvand. Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen, Københavns Kommune og Nordisk Wavin A/S.

Styregruppe

Til styring af projektet har været nedsat en styregruppe bestående af:

Lis Munk	Miljøstyrelsen
Per Jacobsen	Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DTH
Inge Faldager	Rørcentret, Dansk Teknologisk Institut
H.O. Larsen	Afløbskontoret, Københavns Kommune
Klaus Skotte	Nordisk Wavin A/S
N.B. Johansen	Cowiconsult

Arbejdsgruppe

Rapporten er udarbejdet af en arbejdsgruppe bestående af:

Per Jacobsen	Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DTH
Peter Steen Mikkelsen	Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DTH
Ulla Anthonisen	Rørcentret, DTI
Inge Faldager	Rørcentret, DTI
Jes Hovgaard	Rørcentret, DTI

Baggrundsrapporter

I tilknytning til rapporten er der udarbejdet følgende baggrundsrapporter:

<i>Dimensionering af anlæg til Lokal Afledning af Regnvand</i>	LtH, DTH
<i>Effekten af nedsivning på traditionel regnvandsafledning</i>	LtH, DTH
<i>Eksempler på anlægsudformninger</i>	Rørcentret, DTI

Sammendrag

Baggrundsrapporter

Denne rapport omhandler *Lokal Afledning af Regnvand (LAR)*. Der er udført et litteraturstudie, der dækker den eksisterende skandinaviske litteratur på området samt enkelte referencer fra andre lande. Desuden er der gennemført konsekvensberegninger for to fælleskloakerede områder til belysning af effekten af LAR anvendt i større skala. Arbejdet findes afrapporteret i tre individuelle baggrundsrapporter, der dækker emnerne *dimensionering*, *konsekvensberegninger* og *anlægsudformning*. De væsentligste konklusioner og de overordnede principper gives i denne rapport, der således kan opfattes som en vejledning i LAR uden dog at have officiel status.

Lokal afledning af regnvand

LAR dækker over nogle af de metoder, man kan anvende for at nedsætte eller udjævne belastningen på afløbssystemer under regn. Ved LAR forstås således ethvert tiltag, der har til formål at begrænse eller forsinke regnvandsafstrømningen fra et område.

LAR-teknikker

Ved anvendelse af LAR-teknik suppleres de traditionelle afløbssystemer, der består af lukkede ledninger og brønde, med:

- Nedsivning fra overfladen (infiltration).
- Nedsivning fra faskiner (perkolation).
- Udnyttelse af grøfter og lavninger i terræn til magasinering.
- Dræning for at fjerne overskudsvand fra jorden.
- Forsinkelse i bassiner.

Perspektiver ved anvendelse af LAR

LAR-anlæg kan ses som alternativer og supplementer til traditionel kloakering. De væsentligste perspektiver ved brug af LAR er:

- Økonomisk attraktive løsninger med reduktion af overløbsmængder i fællessystemer til følge.
- Reduceret regnvandsbelastning af renseanlæg (fællessystemer).
- Ekstra tilførsel af vand til grundvandsressourcen.

Konsekvensberegninger ved nedsivning af regnvand via faskiner i jorden er gennemført for oplandet til renseanlægget Lynetten ved København samt et opland omfattende Vejen By i Jylland. Begge oplande er kloakerede efter fællessystemprincippet. Af beregningerne fremgår, at nedsivning er en konkurrencedygtig løsning til reduktion af overløbsmængder sammenlignet med etablering af traditionelle regnvandsbassiner. Ved nedsivning af regnvand i fælleskloakerede områder vil vandet ikke på noget tidspunkt belaste renseanlægget. Ved reduktion af overløbsmængder ved hjælp af forsinkelsesbassiner ledes regnvandet derimod gennem renseanlægget, - blot forsinket. Dette betyder, at mens løsningen med faskiner ikke ændrer væsentligt på udledningen af forurenende stoffer fra renseanlægget, vil løsningen med forsinkelsesbassiner medføre en for-

øget udledning. Betragtes den samlede udledning af organisk stof fra både renseanlæg og overløb, har faskineløsningen en reducerende effekt, mens bassinløsningen ingen nævneværdig effekt har.

Grundvandsforurening

Et af de mulige problemer ved nedsivning af regnvand, der ofte diskuteres, er faren for forurening af grundvandet. Undersøger man det eksisterende datagrundlag, finder man imidlertid, at stofkoncentrationerne i afstrømmet regnvand oftest er så lave, at det ikke er rimeligt at tale om reel fare for grundvandsforurening. Desuden har jorden specielt i rodzonen så god en renseevne, at stofferne bliver effektivt tilbageholdt. Når den miljømæssige påvirkning af nedsivning skal vurderes, bør en række forhold vurderes:

- Forureningsgraden af vandet, der skal nedsives.
- Skal vandet infiltreres gennem en overflade med vegetation, eller skal det perkoleres fra faskiner?
- Forureningsbelastningen bør sættes i relation til den aktuelle udnyttelse af grundvandet og til andre forureningskilder som fx atmosfærisk nedfald, nedsivning via vejgrøfter og udsivning fra fælleskloakker under regn.

Naturlige forudsætninger

For at kunne udnytte LAR i fuldt omfang skal et område helst have bestemte hydrologiske egenskaber. De afgørende faktorer er *vegetationen, topografien, jordartsforholdene og grundvandsforholdene*. De ideelle forhold er ensbetydende med allerede eksisterende vegetation, jordbund med stor hydraulisk ledningsevne (sand) samt passende stor afstand til grundvandsspejlet. Når de ideelle forhold er til stede, vil man kunne bortskaffe hele regnvandsafstrømningen fra et område ved nedsivning. Når de naturlige forudsætninger er mindre gode, skal anlæggene udformes således, at man via fx nødoverløb fra faskiner og bassiner, afvanding af lavninger m.v. sikrer mod overbelastningsskader, men man vil stadig kunne opnå en væsentlig effekt ved nedsivning og forsinkelse af vandet.

Dimensionering

Alle LAR-anlæg består af kombinationer af infiltration fra overflader, magasinering og perkolation fra faskiner samt magasinering og forsinkelse i mere traditionel forstand. Det vises, hvordan disse elementer dimensioneringsmæssigt kan anskues på samme måde, og der er udviklet dimensioneringsdiagrammer, der kan benyttes for alle disse anlægsdele. For nedsivningsanlæg er jordens hydrauliske ledningsevne og overfladers infiltrationskapacitet de grundlæggende parametre for dimensioneringen.

Anlægstyper, udførelse, drift og vedligehold

I alle LAR-anlæg søges naturens egenskaber så vidt muligt udnyttet. Der findes imidlertid mange forskellige og hver især særegne teknikker og anlægstyper. Rapporten giver en række eksempler på forskellige typer af LAR-anlæg, og på hvordan sandfang, olieudskillere etc. bør placeres i anlæggene. Desuden gives anvisninger i de specielle forhold, der skal tages hensyn til ved udførelse, drift og vedligehold.

English summary

Background material

This report deals with Source Control for Stormwater Management (SOCOMA). A literature study covering the existing Scandinavian literature on the subject and some references from other countries have been performed. In addition the consequences by implementing SOCOMA in a larger scale have been evaluated by computer calculations. The detailed work is reported in three individual background reports covering the subjects "dimensioning", "consequences" and "elaboration of facilities". The most important conclusions and principles are given in this report, which can be seen as a guidebook to SOCOMA without having official status.

SOCOMA

SOCOMA stands for some of the techniques that can be used when trying to reduce or attenuate the discharge to sewer systems during rainy periods. SOCOMA covers all possible means of reducing or attenuating stormwater runoff from small urban catchments.

SOCOMA-techniques

By using SOCOMA-techniques the traditional sewer systems consisting of pipes and manholes are supplemented with

- *infiltration through the surface or through soakaways in the ground*
- *utilization of trenches and natural depression storage*
- *use of drainage for removing excess water from the soil*
- *detention in ponds and basins.*

Perspectives

SOCOMA can be seen as alternatives and supplements to traditional sewer systems. The most important perspectives are

- *economical attractive solutions leading to reduced combined sewer overflows*
- *reduced stormwater load on treatment plants (combined systems)*
- *additional groundwater development.*

The consequences by infiltrating stormwater via soakaways in the ground have been evaluated for two Danish catchments with combined sewer systems. One is the large Lynetten catchment in Copenhagen and the other is the smaller Vejen By catchment in Jutland. It has been shown that infiltration is a competitive solution for reducing combined sewer overflows in comparison with traditional detention basins. Moreover the use of infiltration is almost neutral with respect to the pollutional loads on treatment plants, whereas detention basins introduce increased supply of pollutional matter. Considering the total discharge of organic matter from treatment plants and combined sewer overflows, infiltration has a reducing effect while detention basins have no significant effect.

Groundwater pollution

One aspect of stormwater infiltration often discussed is the risk of groundwater pollution. If the existing data are examined however the concentrations of polluttional substances are often so low that speaking of real risk of groundwater pollution is not reasonable. Moreover, the soil in the root zone in particular has such a good cleansing ability that the substances are effectively withheld. When the environmental impact of stormwater infiltration is evaluated one should take the following conditions in consideration

- *The polluttional degree of the water*
- *Does the water infiltrate through a soil surface with vegetation or does it percolate from soakaways?*
- *The polluttional load should be compared to the actual utilization of the groundwater as a freshwater resource and to other sources of pollution such as atmospheric deposition, infiltration through roadside trenches and seepage from combined sewers during rain.*

Natural premises

In order to fully benefit from SOCOMA the catchment area should posses certain hydrological characteristics. The vital factors are the vegetation, the topography and the soil and groundwater characteristics. The ideal situation is a catchment area with existing vegetation, soil with large hydraulic conductivity (sand) and an appropriate large distance to the groundwater table. When the premises are ideal all the stormwater runoff can be discharged to the ground and when they are not, the systems should be equipped with overflow possibilities from soakaways and basins, drainage of depression storages etc. in order to avoid damages from storwater flooding. However a considerable effect will still be attainable by infiltration and attenuation of the water.

Dimensioning

All SOCOMA installations consist of combinations of surface infiltration, detention in and percolation from soakaways and detention and attenuation in a more traditional sense. It is shown how these elements can be treated in the same way, and dimensioning diagrams valid for all types have been worked out. For infiltration systems the hydraulic conductivity of the soil and the soil infiltration capacity are the basic parameters.

Types of works, workmanship, operation and maintenance

In all SOCOMA installations the utilization of natures own properties are met. However, many types of techniques and works are available. In the report a number of type examples of SOCOMA facilities are given and it is explained how sand traps and oil separators should be implemented. In addition, advise on the special considerations one should take into account, concerning workmanship, operation and maintenance are given.

1. Indledning

Traditionel regnafledning Gennem de sidste 30 år har det været *god latin* at lede regnvandet hurtigst muligt til en lukket ledning og derefter til recipient eller renseanlæg. Specielt i fællessystemer kan dette medføre store problemer under regn i form af kælderoversvømmelser, overløb til recipient af urensset spildevand samt overbelastning af renseanlæg.

Håndtering tæt på kilden Den enkleste måde at håndtere regnvand på er at tage fat på det så tæt ved kilden (de flader, det falder på) som muligt, og derefter nedsive det i jorden enten som infiltration fra overfladen eller ved perkolation fra en faskine.

Vegetationen og den umættede zone i jorden skal anvendes enten til at bortskaffe regnvandet (fordampning og/eller nedsivning til grundvandet) eller til at forsinke regnvandsstrømmen, inden den ledes til recipient eller renseanlæg.

Lokal Afledning af Regnvand Ved *Lokal Afledning af Regnvand*, i det efterfølgende kaldet LAR, forstås ethvert tiltag, der har til formål at begrænse eller forsinke regnvandsafstrømningen fra et område og dermed genskabe/øge grundvandsressourcen.

I områder med egnet jordbund kan en stor del af regnvandet nedsives ved anvendelse af LAR-teknik. I områder med dårlige jordbundsforhold kan LAR-teknik også anvendes. Her betyder anvendelsen af teknikken primært, at regnvandsafstrømningen forsinkes og udjævnes, således at ledningsdimensionen i regnvandsledninger bliver mindre end normalt.

LAR-teknikker Ved anvendelse af LAR-teknik skal det traditionelle afløbssystem, der består af lukkede ledninger og brønde, suppleres med:

- Nedsivning fra overfladen (infiltration).
- Nedsivning fra faskiner (perkolation).
- Udnyttelse af grøfter og lavninger i terræn.
- Dræning for at fjerne overskudsvand fra jorden.
- Forsinkelse i bassiner.

Administrative problemer I en artikel i *Stads- og Havneingeniøren* (Ojgaard & Ohlsen 1991) beskrives det, hvordan man i Birkerød Kommune har forsøgt at ændre en gældende spildevandsplan til fordel for påbudt nedsivning af vand fra områder, der i øjeblikket er tilsluttet et eksisterende kloaksystem. Miljøstyrelsen resolverede imidlertid i den pågældende sag, at der i lovgivningen ikke var hjemmel for at fratage en lodsejer en én gang hævdvunden ret til at føre vand fra grunden til offentlig kloak. Tilsvarende er der andre områder i lovgivningen,

der forhindrer eller i bedste fald gør det administrativt vanskeligt at nedsive regnvand.

Ny miljølovgivning

En ny Miljøbeskyttelseslov trådte i kraft d. 1. januar 1992, og afledt af dette er en gennemgribende revidering af de berørte bekendtgørelser og cirkulærer planlagt. Da det ikke på nuværende tidspunkt er afklaret, præcist hvorledes den ny lovgivning bliver formuleret, vil emnet ikke blive berørt yderligere i denne rapport.

2. Hovedprincipper i LAR-anlæg

Definitioner

Den nedbør, der falder på en overflade, kan strømme af (overfladeafstrømning) eller sive ned i jorden. Nedsivning gennem jordoverfladen kaldes *infiltration*. Vandet kan opmagasineres i jorden og derefter strømme gennem den umættede zone ned til grundvandet. Denne strømning kaldes *perkolation*. *Nedsivning* er fællesbetegnelsen for infiltration og perkolation. I figur 2.1 er vist, hvilke hovedprincipper der anvendes i LAR-anlæg.

Kombinationer af tiltag

Lokal afledning af regnvand er ensbetydende med udnyttelse af de lokale aflednings- og forsinkelsesmuligheder i størst muligt omfang. I praksis vil dette medføre utallige kombinationsmuligheder af overfladeinfiltration, forsinkelse på overflader, forsinkelse i og nedsivning fra faskiner, samt forsinkelse i og udsivning fra bassiner. Man skal derfor være meget opmærksom på kombinationsmulighederne og ikke være nervøs for at kombinere tingene på en anden måde end angivet i denne rapport.

Anvendelse af LAR-teknikken har både fordele og ulemper.

Fordele

Fordele ved anvendelse af LAR:

- Mindre forureningsbelastning på recipienter fx fra overløb under regn.
- Sjældnere overbelastninger af renseanlæg under regn.
- Mindre risiko for kælderoversvømmelser.
- Mindre omkostninger til anlæg og drift.
- Øget mulighed for at bibeholde grundvandsniveauet og dermed undgå sætninger.
- Større mulighed for at bibeholde eksisterende vegetation samt at etablere ny.

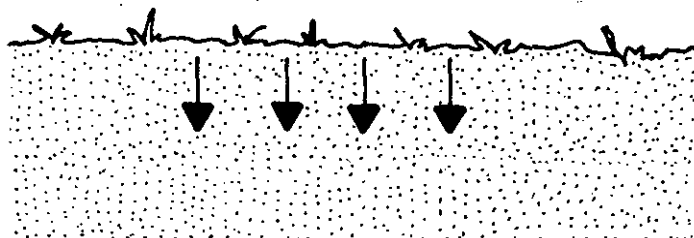
Problemer

Problemer ved anvendelse af LAR:

- Gældende lovgivning tager ikke hensyn til de specielle forhold omkring LAR.
- Nedsivning af forurenet overfladevand kan forurene grundvandet.
- Tilstopning af nedsivningsanordninger kan medføre driftsproblemer. Regelmæssigt tilsyn og vedligehold er derfor nødvendigt.
- Periodisk stort vandindhold i jorden kan medføre *opblødning*, som begrænser arealernes anvendelse.
- Stigning af grundvandsspejlet kan give problemer i lerområder.
- På grund af manglende viden bliver anlæggene ofte udført og drevet forkert.

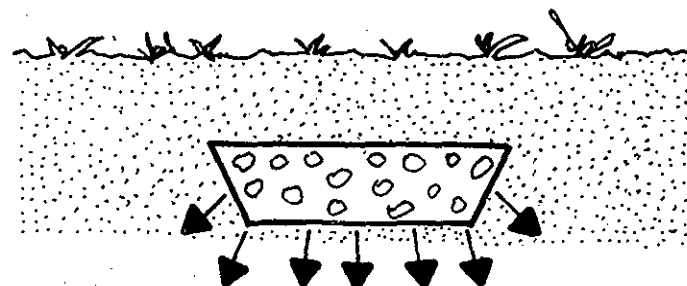
Infiltration fra overfladen

Udledning af regnvandet til en overflade med vegetation (naturlig eller anlagt) eller udledning til en overflade med permeabel belægning.



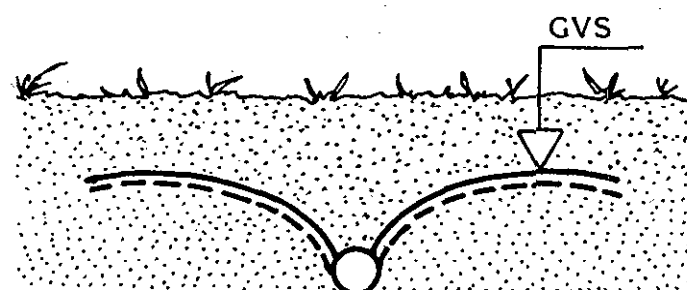
Perkolation fra faskine

Regnvandet ledes til et stenfyldt hulrum i jorden. Herfra perkolerer vandet gennem faskinens bund og sider ud i jorden og ned til grundvandet.



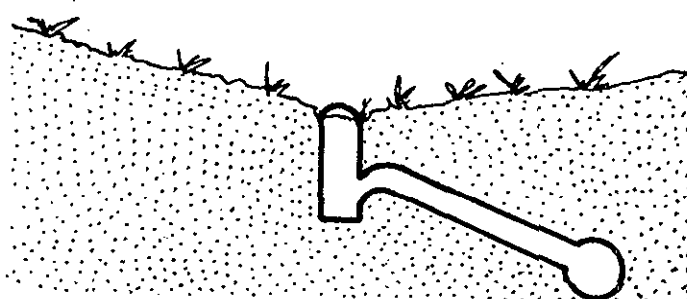
Dræning

For at kunne udnytte jordens umættede zone som forsinkelsesmagasin, samt for at hindre opblødning af jorden, kan det være hensigtsmæssigt at anlægge traditionelle drænsystemer.



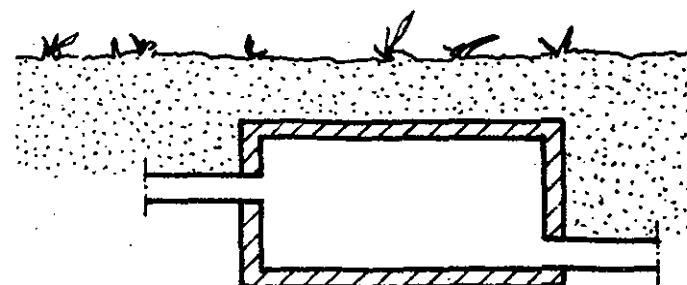
Forsinkelse på overflader

For at forsinke afstrømningen, kan regnvandet ledes hen over overflader og magasineres i lavninger. For at fjerne det overskudsvand, der ikke kan infiltrere gennem overfladen, kan vandet fra lavninger via ledning føres til regnvandssystem eller dræn.



Forsinkelsesbassiner

Regnvandet kan forsinkes i specielt anlagte forsinkelsesbassiner, som fx kan være støbt på stedet eller bygget op af præfabrikerede komponenter, eller i åbne bassiner, hvor naturlige lavninger i terrænet udnyttes.



Figur 2.1

Hovedprincipper i LAR-anlæg

3. LAR som alternativ til traditionel afløbsteknik.

3.1. Eksempler på anvendelse af LAR

3.1.1. Parcelhusområder i Växjö, Sverige

I Växjö i Sverige arbejder man med LAR i alle nye boligområder.

Et af boligområderne blev anlagt for ca. 5 år siden. Alt tagvand og vejvand fra området afledes ved nedsivning.

Vejvand

Fordelingsvejene i området er anlagt uden kantstene, men med hulninger i græsribatten mellem cykelsti og vejbane. Fra hulningerne foregår infiltration, og nedløbsbrønde, som er placeret med jævne mellemrum i ribatten, afleder eventuelt overskudsvand via drænledninger til regnvandsledninger i det overordnede vejssystem.



Figur 3.1.

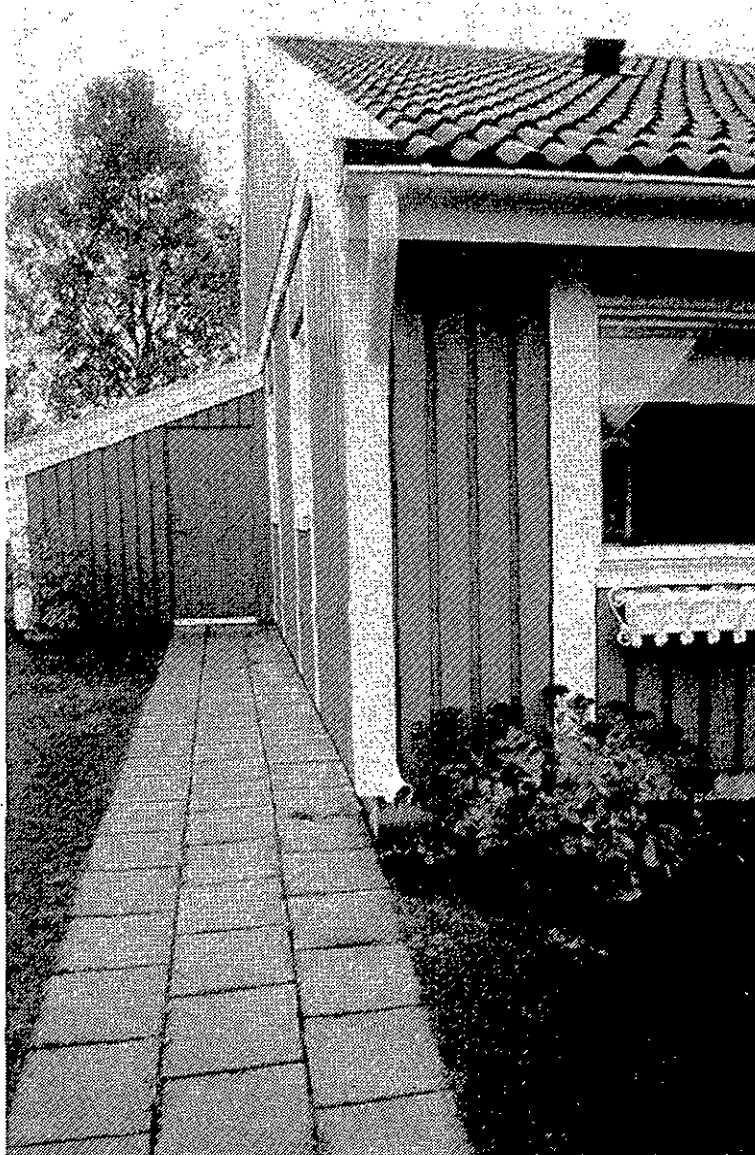
Græsklædt rabat mellem cykelsti og vejbane anvendes til infiltration.

Boligveje og andre befæstede arealer i området er anlagt uden kantbegrænsninger. Overfladevandet løber ud på omkringliggende græsarealer.

På større parkeringsarealer er der sat nogle få nedløbsbrønde, som via drænledninger er forbundet med regnvandsledninger i det overordnede vejsystem.

Tagvand

Tagvand fra beboelsesejendommene samles op i tagrender, føres gennem tagnedløb med udkastere til betonrender, som leder regnvandet ud over de tilstødende græsarealer, mindst 1 m fra huset.



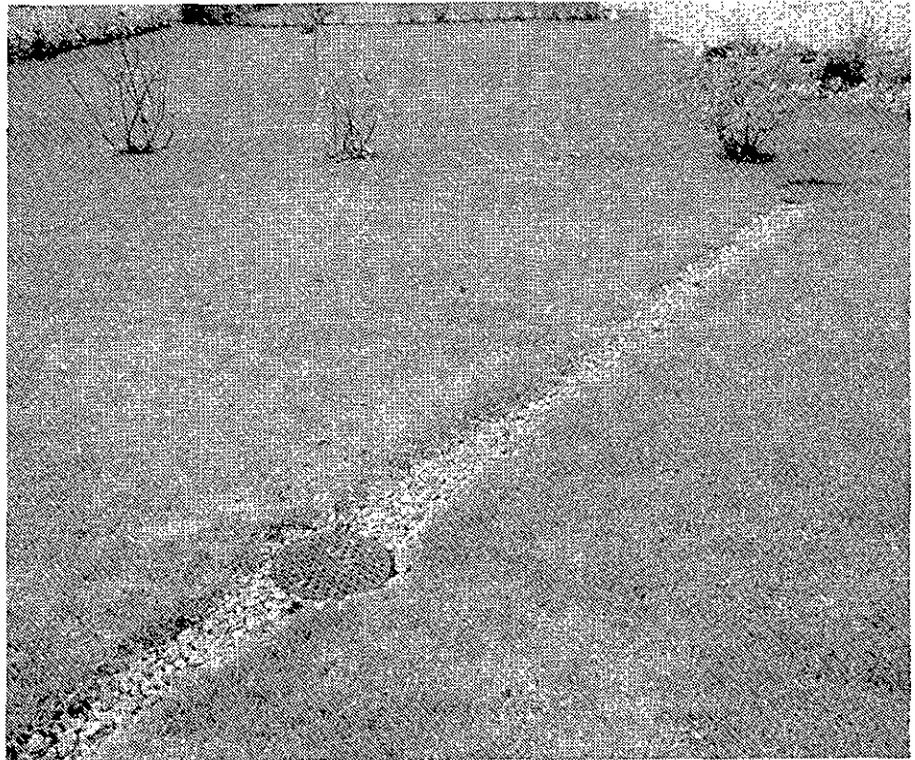
Figur 3.2.

Tagvand afledes via udkaster til en betonrende og derefter ud på græsareal.

For enden af renden er der en lille stenfaskine helt op til terræn.

I de tilfælde, hvor tagrenderne munder ud over asfalterede arealer, løber vandet over asfaltarealet enten til nærliggende græsareal eller til nedløbsbrønde. Herved er opnået en forsinkelse, før regnvandet endeligt infiltreres i jorden.

Græsarealerne mellem husene er anlagt med fald væk fra husene, og derved opstår der lavninger, hvor vandet samles. Enkelte steder, hvor vandet har haft svært ved at infiltrere i lavningerne i græsarealerne, er der anlagt stenfaskiner af singels med nedløbsbrønde sluttet til dræn.



Figur 3.3.

I lavninger mellem husene er der enkelte steder anlagt stenfaskiner med nedløbsbrønde.

Eksemplet fra Växjö er et godt eksempel på, at LAR-systemet kan anvendes i parcelhusområder.

3.1.2. Forstadsbebyggelse i Tokyo, Japan

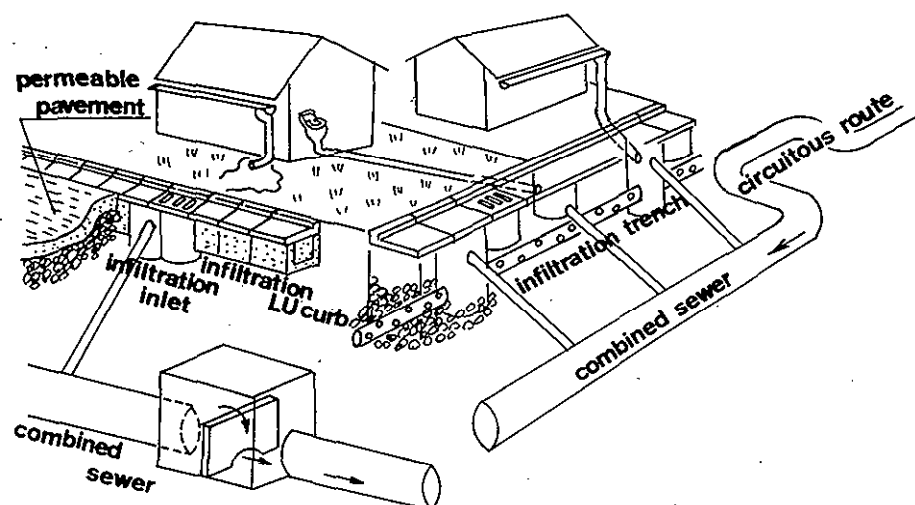
For at illustrere, hvordan de forskellige elementer i LAR kan udnyttes i kombination med et fællessystem, er en principskitse af afløbssystemet i en forstadsbebyggelse i Tokyo, Japan vist i figur 3.4. Regnvand ledes så vidt muligt over græsarealer og vejstrækninger med drænasfalt, hvor det helt eller delvist infiltrerer. Overskudsvand opsamles i brønde i vejkanterne, hvorfra det ledes til siverender af porøs beton eller drænledninger. For at sikre mod oversvømmelse er vejbrøndene forsynet med nødoverløb til fællessystemets kloakledning, der er dimensioneret under hensyntagen til denne belastning. For at forsinke regnvandet i kloakledningen er

*Infiltration, perkolation
og forsinkelse*

der bevidst indlagt *omveje* ved ikke at vælge den mest direkte linieføring, og desuden er der udført forsinkelseskamre med drosselskot, som det kan ses på figuren.

Anlægget fungerer

Alle elementerne i det japanske system er udført af præfabrikerede betondele forsynet med riste, sandfang etc., som sikrer mod tilstopning med grene, blade og finkornet materiale. Det er beregnet, at anlægget kostede 20% mere at bygge end et tilsvarende traditionelt fællessystem, og desuden er øget eftersyn og vedligeholdelse i form af oprensning af riste og sandfang nødvendigt. Til gengæld opnås en væsentlig reduktion og forsinkelse af regnvandsbelastningen med forbedret funktion af renseanlæg til følge. Anlægget blev primært bygget for at minske problemer med oversvømmelse af en flod under regn, og det har fungeret efter hensigten.



Figur 3.4.

Nedsivning og forsinkelse af regnvandet i forbindelse med et fællessystem i en forstadsbebyggelse i Tokyo, Japan. Fra (Fujita & Koyama 1990).

3.2. Perspektiver ved brug af LAR

LAR-anlæg som alternativ

LAR-anlæg skal ses som alternativer og supplementer til den traditionelle kloakering. De væsentligste konsekvenser ved brug af LAR sammenlignet med kloakering efter *fællessystemprincippet* er:

- økonomisk attraktiv løsning for reduktion af overløbsmængder
- reduceret belastning af renseanlæg
- ekstra tilførsel af vand til grundvandsressourcen.

Sammenlignet med *separatsystemet* er konsekvenserne primært:

- økonomisk attraktiv løsning
- ekstra tilførsel af vand til grundvandsressourcen.

Baggrundsrapport

Størrelsesordenen af nogle af disse konsekvenser er vurderet i baggrundsrapporten *Effekten af nedsivning på traditionel regnvandsafledning*, som er udarbejdet i tilknytning til miljøprojektrapporten. I baggrundsrapporten er der taget udgangspunkt i to eksisterende kloakoplande, Lynettens opland i Københavnsområdet samt et opland omfattende Vejen By i Jylland. Hovedresultaterne af undersøgelserne vil kortfattet blive gengivet i det følgende.

Fællessystemer

3.2.1. Hoveddata for de to oplande

Begge oplande er kloakeret efter fællessystemprincippet. Grunden til dette valg for undersøgelserne er, at konsekvenserne af LAR i fællessystemområder ikke på forhånd er lige så indlysende som i separatsystemområder. Desuden er valgt et stort opland med et kompliceret system (Lynettens opland) samt et mindre opland med et relativt simpelt system (Vejen By's opland).

I tabel 3.1 er hovedtallene for de to oplande angivet. For begge oplande er konsekvenserne undersøgt for 3 niveauer af omlægning af regnafledningen: 10%, 20% og 30% af det reducerede areal forudsættes at afvande til faskiner.

Tabel 3.1.

Hovedtal for Lynettens opland og Vejen By opland

Opland	Samlet areal ha	Reduc. areal ha	Befæst. grad %	Spildevand l/s	Magasin volumen m ³	Magasin volumen mm
Lynetten	10.900	5.300	49	3.400	237.000	4,5
Vejen By	186	93	50	66	157	0,2

Forurening fra overløb

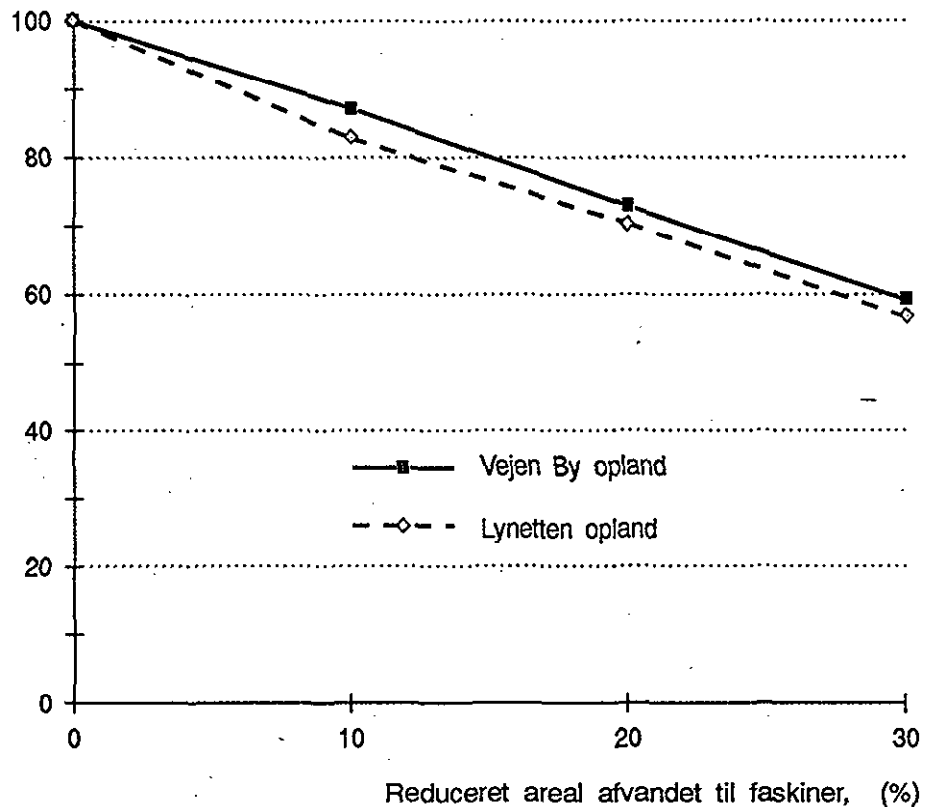
3.2.2. Reduktion af overløbsmængder

Forbedringer af eksisterende fællessystemer går primært i retning af at nedsætte de forureningsmængder, der via overløb føres fra fællessystemet til de omgivende recipienter. Den traditionelle løsning er bygning af forsinkelsesbassiner.

Faskiner

Brug af faskiner til nedsivning af regnvandet er en alternativ løsning og tilmed en økonomisk attraktiv løsning. På figur 3.5 fremgår den relative reduktion i overløbsmængderne, som kan opnås i de to undersøgte oplande. Ændringen i overløbsmængderne er vist som funktion af den procentdel af det reducerede areal, som nedsives.

Årlige overløbsmængder (volumen)
relativt til eksisterende forhold, (%)



Figur 3.5.

Ændring af overløbsmængder som funktion af nedsivningsomfanget.

Den reduktion i overløbsmængderne, som svarer til, at f.eks. 30% af det reducerede areal tilføres faskiner, kan også opnås ved at bygge forsinkelsesbassiner. I tabel 3.2 er angivet de ekstra magasinvolumener, som kræves ved henholdsvis faskine- og forsinkelsesbassinløsningen med samme reduktion i overløbsmængderne. Ved dimensioneringen af faskinevolumenerne er benyttet en gentagelsesperiode $T = 2$ år, hvorved der én gang hvert andet år sker overløb fra faskine til det eksisterende afløbssystem. Der er desuden taget udgangspunkt i de lokale jordartsforhold.

Tabel 3.2.

Nødvendigt ekstra magasinvolumen for en løsning med henholdsvis faskiner og forsinkelsesbassiner. Reduktionen i overløbsmængderne er den samme ved de to løsninger. Faskinernes magasinvolumen er det effektive hulrumsvolumen. Med en porøsitet på 0,35 er bruttovolumenerne 3 gange større end magasinvolumenerne.

Opland	Reduktion i overløb %	Faskiner		Forsinkelsesbassiner	
		Magasinvolumen m ³	mm	Magasinvolumen m ³	mm
Lynetten	43	360.000	6,8	1487.000	26,1
Vejen By	41	1.006	1,1	3.851	4,2

Attraktiv løsning

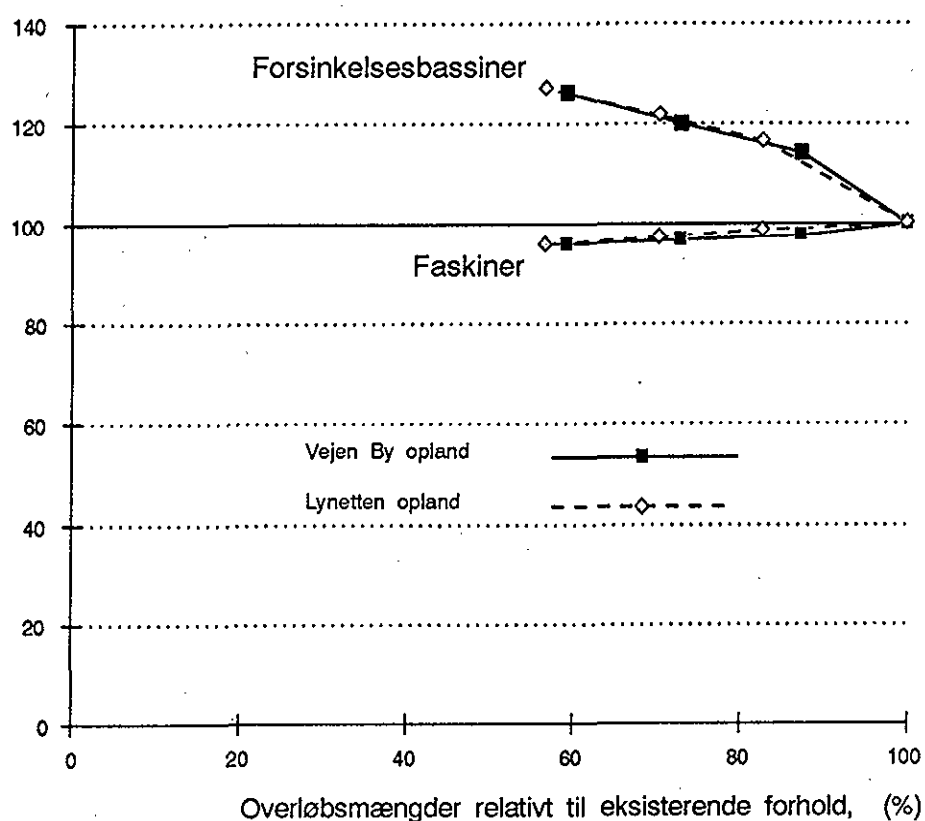
Det fremgår af tabel 3.2, at det nødvendige magasinvolumen ved faskineløsningen er ca. 4 gange mindre end ved den traditionelle løsning med forsinkelsesbassiner. Også selv om faskine bruttovoluminet er 3 gange større end nettovoluminet, er der således en klar økonomisk fordel i denne løsning.

LAR - en positiv løsning for renseanlæg

3.2.3. Effekten på renseanlæg

En af gevinsterne ved nedsivning af regnvand i fællessystemområder er, at vandet ikke på noget tidspunkt belaster renseanlægget. Ved reduktion af overløbsmængder med forsinkelsesbassiner ledes regnvandet derimod gennem renseanlægget, blot forsinket. Dette betyder, at mens løsningen med faskiner ikke ændrer væsentligt på udledningen af forurenende stoffer fra renseanlægget, da tørvejrbelastningen er dominerende, vil løsningen med forsinkelsesbassiner medføre en forøget udledning ved renseanlægget. Dette er vist på figur 3.6 for organisk stof (COD) for de i undersøgelsen to betragtede oplande.

Årlig udledning af COD fra renseanlæg
relativt til eksisterende forhold, (%)



Figur 3.6.

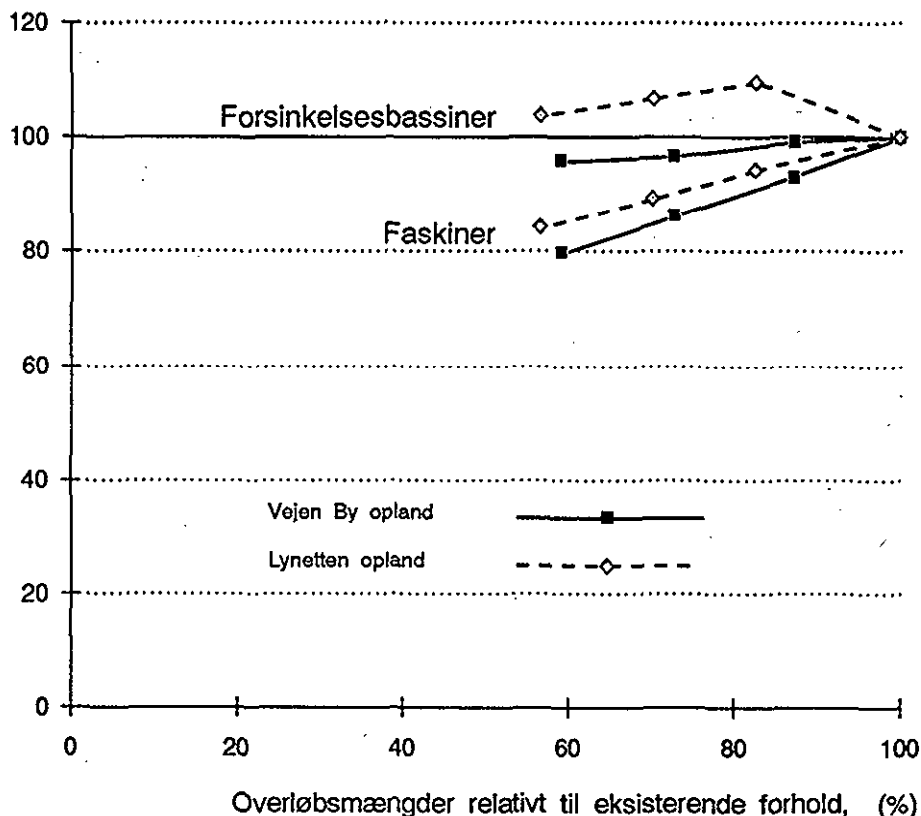
Udledningen af COD fra renseanlæg ved brug af faskiner henholdsvis forsinkelsesbassiner.

Den samlede effekt på forureningsudledningen

3.2.4. Den samlede effekt

Betragtes den samlede udledning af organisk stof fra både renseanlæg og overløb, fremgår det, at faskineløsningen har en reducerende effekt, mens bassinløsningen ingen nævneværdig effekt har, jf. figur 3.7.

Samlet årlig udledning af COD fra renseanlæg og overløbsbygværker relativt til eksisterende forhold, (%)



Figur 3.7.

Den samlede udledning af COD fra renseanlæg og overløbsbygværker ved brug af faskiner henholdsvis forsinkelsesbassiner.

Positiv effekt på grundvandsressourcen

3.2.5. Effekten på grundvandsressourcen

Nedsivning af regnvand har en gunstig effekt på grundvandsdannelsen. Det har ikke ligget inden for rammerne af dette projekt at bestemme effekten i form af en egentlig beregning af den forøgede vandressource tilgængelig for forbrug, men det er klart endnu en positiv effekt af LAR-løsningen sammenlignet med den traditionelle løsning.

4. Forurener LAR-anlæg ?

Påvirkning af jord og grundvand

Der eksisterer et stort udbud af metoder til vurdering af miljømæssige konsekvenser i forbindelse med udledning af afstrømmet regnvand til overfladevandsrecipienter. Det samme gør sig imidlertid ikke gældende m.h.t. den miljømæssige påvirkning fra nedsivningsanlæg, hvorfor indsatsen i dette kapitel koncentrerer herom.

Med dette som udgangspunkt diskuteres først generelt årsagerne til, at man finder forurenende stoffer i jord og grundvand, samt de påvirkninger, stofferne får ved nedsivning i jorden. Dernæst redegøres kort for den eksisterende viden vedr. forureningsgraden af regnvand, og forureningsrisikoen ved nedsivning vurderes. Til sidst opsummeres, hvilke vurderinger, der ud fra et forureningsmæssigt synspunkt bør foretages, når man vejer for og imod nedsivning af regnvand, hvorefter nogle typer af overflader, hvor nedsivning kan gennemføres tilsyneladende uden forureningsrisiko, nævnes.

4.1. Generelle forhold

Typer af spildevand

4.1.1. Forurening af afstrømmet regnvand

Det er vigtigt at gøre sig de to principper for afløbssystemer klart. I fællessystemet løber både husspildevandet og regnafstrømningen, og man finder derfor mange stoffer, som det ikke er hensigtsmæssigt at infiltrere direkte. Omvendt løber der i separatsystemets regnvandsledning kun regnvand, som opsamles hér efter at have strømmet af fra tage, veje og andre befæstede overflader. Den følgende diskussion vil kun komme til at omhandle regnafstrømningen.

Typer af overflade

Afstrømmet regnvand er altid mere eller mindre forurenat. Graden og arten af forureningerne afhænger både af typen og anvendelsen af de overflader, som afvandes. Der vil således ofte kunne ses forskel på forureningsindholdet i f.eks. vand fra tage og vand fra veje.

Forureningens oprindelse

Koncentrationerne af forurenende stoffer i regnafstrømning varierer meget, både fra opland til opland, men også mellem regnskyl og inden for enkeltregnskyl. Mange processer har betydning for den resulterende stofafstrømning, f.eks:

- atmosfærisk afsætning i tørvej
- udvaskning fra atmosfæren under regn
- akkumulering og fjernelse af stof fra overflader p.g.a. vindpåvirkning, rensning af overflader m.m.
- nedbrydningsfænomener
- udveksling af stof mellem partikler og vandfasen på de urbane overflader
- transportmekanismerne, når vand og stof strømmer af de befæstede overflader og i rørsystemerne.

Akkumulerende forurening

Nogle af disse processer er naturlige, mens andre kan være delvist menneskeskabte. Herudover kommer desuden de forureninger, der har direkte forbindelse med menneskelig tilstedeværelse såsom bortskaffelse af olie via kloakken i forbindelse med olieskift i biler. I udlandet, specielt i USA, har man målt meget på urban stofafstrømning, uden at man dog er nået frem til et endegyldigt resultat set ud fra et nedsivningssynspunkt. Dette skyldes til dels problemets omfang, men også at man traditionelt har målt parametre, som primært har betydning ved forurening af overfladevandsrecipienter. Her skelner man sædvanligvis mellem akutte og akkumulerende effekter i miljøet. Ved nedsivning af regnafstrømning er det processerne i nedsivningsanlægget samt i jordens umættede zone, der har betydning for forureningspåvirkningen. Processerne har desuden forskellig vægt afhængigt af jordartens beskaffenhed, men det er altid den *akkumulerende forurening af jord og grundvand*, der vil være kritisk.

Mangel på viden

Der eksisterer i dag ikke et så detaljeret kendskab til regnvandsafstrømningens indhold af forurenende stoffer, at man er i stand til ud fra kendskabet til et opland detaljeret at forudsige forureningsgraden af det afstrømmende regnvand. En sådan viden ville ellers udgøre den optimale baggrund for en beslutning for eller imod nedsivning i en aktuel situation og for opstilling af funktionskrav til nedsivningsanlæg.

Rensprocesser i humuslaget

4.1.2. Miljømæssig påvirkning

Ved infiltration på *grønne* arealer, f.eks. græsarealer, vil det øverste humuslag tjene som et effektivt filter, hvor hovedparten af de forureningskomponenter i det afstrømmede regnvand, som findes på suspenderet form, bliver opfanget. Rensningen opnås ved en fysisk betinget tilbageholdelse af forureningskomponenterne samt ved mikrobiel nedbrydning af organisk stof. Det vand, som trænger længere ned i jorden, kan altså betragtes som relativt rent. Da regnvandet kan indeholde store mængder af suspenderet materiale, må man i disse situationer forvente en vis tilstopning af jordens øverste porer. Den biologiske aktivitet, som netop forekommer i humuslaget, vil dog modvirke tilstopningen.

Rensning under humuslaget

Perkolation via faskiner har også en rensende effekt på det afstrømmede regnvand. M.h.t. organiske stoffer vil den dog ikke være lige så stor som i humuslaget p.g.a. den mindre biologiske aktivitet. Rensningen foregår primært i den jord, som umiddelbart omgiver faskinen. Ved tilsyn i Sverige med faskiner, som er tilført stærkt forurenet vand, har man konstateret, at en hel del af det suspenderede materiale er sedimenteret på bunden af faskinerne. For at undgå tilstopninger bør man derfor altid etablere en form for filter ved indløbet til faskiner.

Rensning i permeable belægninger

De forureningsmæssige konsekvenser af permeable belægninger er ikke særlig velundersøgte. Der er ikke noget humuslag i konstruktionerne, og de må derfor sidestilles med faskiner (perkolation), indtil større erkendelse opnås. Svenske undersøgelser vedr. permea-

bel asfalt viser dog, at *geotekstil* indlagt under vejkonstruktionen har en overordentlig god evne til at tilbageholde forurenende stoffer (Hogland & Wahlman 1989). Man kunne derfor tænke sig geotekstil indlagt i mange andre typer af permeable belægninger.

Påvirkning af beplantet jord

De forureningskomponenter, som kan give anledning til problemer ved infiltration af regnvand på beplantet jord er primært:

- vejsalt
- oliekomponenter
- tungmetaller

Vejsalt

Vejsaltets skadelige effekt på vegetationen (især vejtræer) er veldokumenteret. Natriumionerne i det kogesalt, som normalt anvendes ved saltning, påvirker jordstrukturen og forhindrer væksternes optagelse af såvel vand som mineralnæringsstoffer. Kloridioner i større omfang er desuden skadeligt for væksterne.

Olie

Udover vejsalt vil olie i det afstrømmede vejvand give de største problemer ved infiltration i beplantet jord. Olie har en direkte giftvirkning på væksterne.

Tungmetaller

En stor del af de tungmetaller, som findes i afstrømmet regnvand, er bundet til suspenderet materiale og vil derfor blive frafiltreret ved vandets passage af humuslaget. Udvaskning af de bundne tungmetaller er normalt ganske ubetydelig. Tungmetaller i opløst form kan dog findes i både jord og vækster. Jordens evne til at akkumulere metaller afhænger af dets mineralogiske sammensætning. Risikoen for forgiftning af vækster forårsaget af tungmetaller i afstrømmet regnvand vurderes at være minimal, jf. afsnit 4.3.

Grundvandspåvirkning

Som tidligere omtalt opnår man ved infiltration i grønne områder en naturlig filtrering af regnvandet, inden det når grundvandet. Ved perkolation via faskiner sker der også en vis filtrering, men denne er ikke lige så effektiv som ved infiltrationen. Der er således større risiko for at forurene grundvandet ved brug af faskiner end ved infiltration direkte på jorden.

Hvorvidt tilførslen af forskellige forureningskomponenter til grundvandet er problematisk, afhænger naturligvis af udnyttelsen af grundvandet i det pågældende område. I Danmark, hvor vandindvindingen af grundvand til vandforsyning dækker 98% af drikkevandsbehovet, kan tilførslen af store forureningsmængder med regnvandet tænkes at være kritisk. De forureningskomponenter, som kan tænkes at udgøre en risiko for grundvandet er primært:

- tungmetaller
- oliekomponenter
- organiske miljøgifte
- sygdomsfremkaldende mikroorganismer

En stor del af disse forureningskomponenter er som tidligere nævnt bundet til det suspenderede materiale i regnvandet. Forureningskomponenterne bliver således delvist tilbageholdt, inden de når grundvandet.

4.2. Tabelværdier for stofafstrømning

Udvalgte forureningskomponenter

Den nuværende viden tillader kun opstilling af tabelværdier for afstrømning af nogle forureningskomponenter, mens andre ikke er undersøgt tilstrækkeligt. Endvidere er der ikke grundlag for nogen nuanceret skelnen mellem typer af oplande.

Vand fra separatsystemer og tagvand

På baggrund af et litteraturstudie er i tabel 4.1 opstillet tabelværdier for typiske forureningskomponenter i regnafstrømning fra separatsystemer samt i tagvand. Værdierne er primært baseret på danske måledata fra omkring 1980, gennemgået kritisk og bearbejdet af PH-Consult (1990), og suppleret med tal fra nogle udenlandske undersøgelser. De opstillede værdier er volumenvægtede middelvær-

Tabel 4.1.

Koncentrationsniveauer for forurenende stoffer i regnafstrømning fra separatsystemer og i tagafstrømning (volumenvægtede middelværdier). Andel hidrørende fra stofnedfald og andel bundet til partikulært materiale. Danske drikkevandskvalitetskrav. Kildehenvisning til talværdierne er angivet med små tal.

Stof	Enhed	Regnafstrømning	Tagvand	Stofnedfald (%)	Bundet til part. (%)	Drikkev. Højest till.
SS	mg/l	30-100 ⁽¹⁾	5-50 ⁽²⁾			
COD		40-60 ⁽¹⁾	mindre	19 ⁽²⁾	75 ⁽⁴⁾	
Tot.N		2 ⁽¹⁾	mindre	70 ⁽²⁾		11,3.
Tot.P		0,5 ⁽¹⁾	mindre	23 ⁽²⁾	50 ⁽⁴⁾	0,15
Pb	µg/l	50-150 ⁽¹⁾	10-100 ⁽²⁾	40 ⁽²⁾	100 ⁽³⁾	50
Zn		300-500 ⁽¹⁾	100-1000 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	30 ⁽³⁾	100
Cd		0,5-3 ⁽¹⁾			70 ⁽³⁾	5
Cu		5-40 ⁽¹⁾	10-100 ⁽²⁾	7 ⁽²⁾	50 ⁽³⁾	100
Hg		0,05-0,2 ⁽²⁾				1
pH	-log[H ⁺]	6-7,2 ⁽²⁾	4-7 ⁽⁵⁾			8,5
E.Coli	EC/100 ml	10 ³ -10 ⁴ ⁽¹⁾	-			i.m.
PAH	µg/l	5** ⁽⁶⁾	-			0,2**

(1) PH-Consult 1990

(2) Malmquist 1982

(3) Hvitved-Jacobsen et al. 1987

(4) Johansen 1985

(5) Förster 1990

(6) Bomboi & Hernandez 1991

* Kravværdien er angivet som NO₃-N

** Målt ved referencestofferne Fluoranthen, Benz(k)fluoranthen, Benz(a)pyren, Benz(ghi)perylene og Indeno(1,2,3-cd)pyren

dier og giver således et mål for den akkumulerende effekt i jord og grundvand. Tilsvarende tabelværdier kunne opgives for vejvand, men her er billedet meget uklart, fordi forureningsbelastningen i høj grad er styret af vejmateriale og trafikintensitet. På nuværende tidspunkt er det ikke muligt at skelne sikkert mellem forureningskoncentrationer i vand fra forskellige typer af veje.

Stofnedfald og fraktion på partikulær form

I tabellen er desuden givet typiske værdier for andelen af stofferne, der hidrører fra stofnedfald fra atmosfæren og andelen af stof, der i almindelig urban regnafstrømning er bundet til partikulært materiale. Til sidst er angivet de danske drikkevandskvalitetskrav (højst tilladelige værdier) i overensstemmelse med Miljøministeriets bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, (Miljøministeriet 1988).

4.3. Vurdering af forureningsrisiko

Sammenligning med krav til drikkevandskvalitet

Nedenfor gennemgås oplysningerne i tabel 4.1 oversigtsmæssigt, idet konsekvenserne ved nedsivning af regnafstrømning belyses ved sammenligning med de danske krav til drikkevandskvalitet. Det er væsentligt at pointere, at en stor andel af stof på partikulær form betyder, at stoffet i hvert fald delvist kan opsamles i sandfang o.lign., samt at det vil akkumuleres i slammet på bunden af faskiner og i jorden umiddelbart under faskiner (ved perkolation) eller i de øverste cm muld (ved infiltration). Det fysisk/kemiske fænomen, at et stof bindes til partikulært stof, betegnes *sorption*. Hvorvidt store koncentrationer af det pågældende stof lokalt i jorden er kritisk er ikke vurderet. Andelen af stof hidrørende fra nedfald fra atmosfæren er medtaget i tabellen for at understrege, at almindeligt regnvand, der nedsiver naturligt, også kan være forurennet i større eller mindre grad. Dette forhold er vigtigt at holde in mente, når en forureningspåvirkning skal vurderes.

Suspenderet stof

Det suspenderede stof fordeler sig både på den organiske og den uorganiske fraktion. Almindeligt sedimenterbart materiale vil medføre tilstopning af nedsivningsanlæg og er derfor principielt uønsket. Ved overfladeinfiltration vil planternes rødder imidlertid modvirke denne tilstopning, og ved perkolation kan effekterne mindskes, når blot faskinen udformes, så udsivningen ikke udelukkende foregår gennem bunden (lange, smalle faskiner). Sandfang kan tænkes anvendt ved større nedsivningsanlæg. Ved private tagfaskiner er det største problem blade og nåle fra træer, og det er vigtigt at etablere en anordning, så disse skilles fra regnvandet, inden det nedsives.

Næringssalte

Sammenligner man med kravene til dansk drikkevand ser man, at kvælstof i urban regnafstrømning ikke udgør nogen trussel mod grundvandet. Dette stemmer fint overens med en svensk undersøgelse (Malmquist & Hård 1981), hvor man observerede et fald i grundvandets indhold af kvælstof nedstrøms for et sted, hvor tagvand og vejafstrømning blev nedsivet gennem faskiner. Fosforind-

holdet i regnafstrømning ligger noget over det tilladte for drikkevand, men da fosfor bindes kraftigt til jord og ikke er noget direkte giftigt stof, må det vurderes, at faren for forurening af grundvand er begrænset. I den ovennævnte undersøgelse fandt man da heller ingen væsentligt forøgede koncentrationer af fosfor i grundvandet.

Tungmetaller

Med udgangspunkt i tabellen ser man, at ingen af de nævnte tungmetaller ser ud til at kunne forurene grundvandet. De mest kritiske af metallerne er bly og zink, men bly findes imidlertid langt overvejende bundet til partikulært materiale og er derfor ikke mobilt. Desuden vil indførelsen af den blyfri benzin betyde generelt faldende indhold af bly i det afstrømmede regnvand, set i forhold til værdien i tabel 4.1. Koncentrationen af zink i urban afstrømning ligger noget over drikkevandskravet, men sorption og almindelig fortynding betyder formentlig, at forureningen ikke er kritisk. En stor del af zinkmængden stammer i øvrigt direkte fra zink anvendt i tagdækning og til tagrender (Förster 1990), og det vil derfor være muligt at mindske forureningen ved at undgå dette materiale i fremtiden. Ingen af de viste koncentrationsniveauer for tungmetaller er giftige overfor planter (Helweg 1988).

For nærværende undersøges i Sverige ni nedsivningsanlæg, der alle har været i drift i ca. 10 år, m.h.t. forureningsproblematikken. Undersøgelsen er ikke afsluttet endnu, men foreløbige resultater indikerer, at tungmetaller opkoncentreres i selve anlæggene og således ikke transporteres til grundvandet (Lind 1991).

pH

Det er en kendt sag, at surt vand øger mobiliteten af tungmetaller i jord, og man kunne derfor forestille sig en negativ effekt af sur nedbør. Erfaringen viser imidlertid, at regnvands pH ved kontakt med f.eks. betonrør let øges. Har man derfor specielle problemer med lav pH i nedbøren, kan problemet klares ved hensigtsmæssigt valg af materialer til nedsivningsanlægget. For at undgå problemer med betonkorrosion kan fx en kalkblok lægges i nedløbsbrønden.

Organisk, iltforbrugende stof

Det organiske stof i regnafstrømning har sin oprindelse bl.a. i afvaskede humusstoffer og planterester. Generelt gælder, at COD-indholdet er en faktor ti mindre end indholdet i udløbet fra septiktanke. Da nedsivning af regnvand ikke er en kontinuerlig proces, og vandet altid er iltmættet i starten, er der ringe sandsynlighed for, at anaerobe forhold vil opstå. Det iltforbrugende stof vil derfor forholdsvis let blive nedbrudt, i hvert fald hvis man sørger for en passende afstand til grundvandsspejlet.

Sygdomsfremkaldende mikroorganismer

Indholdet af sygdomsfremkaldende mikroorganismer i regnafstrømning, her målt ved indholdet af indikatororganismen *E. Coli*, stammer formodentlig primært fra hundeeskrementer. Det er et absolut krav, at sådanne organismer ikke findes i drikkevandet. Coliforme bakterier er i forbindelse med nedsivning af husspildevand observeret frafiltreret i de øverste jordlag (Miljøstyrelsen 1979), men de patogene mikroorganismer kan imidlertid ikke udelukkes at være et problem for grundvandskvaliteten.

Indholdet af organiske mikroforureninger i regnafstrømning er særdeles dårligt kendt. Det i tabel 4.1 refererede tal for indholdet af PAH stammer fra en spansk undersøgelse (Bomboi & Hernández 1991), der konkluderer, at indholdet nøje hænger sammen med oliespild og dårlig forbrænding i bilmotorer. I de senere år er der forsket meget i nedbrydningsforholdene for miljøfremmede organiske stoffer i grundvand, og erkendelsen går i retning af, at de fleste organiske stoffer kan nedbrydes, når blot der er ilt tilstede i grundvandet. Det tyder altså på, at forureningsfaren ved nedsivning er begrænset, ihvertfald ved infiltration gennem vegetationsoverflader.

4.4. Hvornår kan nedsivning tillades ?

*Vurderinger, der
bør foretages*

Når den miljømæssige påvirkning af nedsivning af regnvand skal vurderes, bør en række forhold vurderes:

- Forureningsgraden af vandet, der skal nedsives.
- Skal vandet infiltreres gennem en vegetationsoverflade, eller skal det nedsives via faskiner (perkolation)? I det første tilfælde kan en overordentlig god renseevne forventes, mens den er noget mindre i det andet.
- Hvordan påtænkes grundvandet anvendt? I mange byområder er grundvandet opgivet som drikkevandsressource, og muligheden for nedsivning af selv stærkt forurenat regnvand kan derfor komme på tale. Desuden bør forureningsbelastningen sættes i relation til andre forureningskilder som fx atmosfærisk nedfald, nedsivning via vejgrøfter og udsivning fra fælleskloakker under regn.

På baggrund af det foregående kan det konkluderes, at stofferne i den urbane regnafstrømning i mange situationer ikke udgør en direkte fare for grundvandskvaliteten ved nedsivning. Vand fra tage og mindre arealer i forbindelse med bebyggelse indeholder så lidt forurening, at det umiddelbart kan nedsives via faskiner. Omvendt må man ved stærkt forurenat vand (som fx vejvand) udvise større forsigtighed og nedsive overfladisk gennem fx græsklædte grøfter. Man kan endvidere skelne mellem nedsivning i grove jorde, der ikke har så god renseevne, og fine jorde, der tilbageholder forurening bedre. Selv om der savnes direkte dokumentation for den reelle forureningsbelastning og stoffernes skæbne i jord og grundvand, tyder alt på, at et restriktivt syn på nedsivning ikke er rimeligt. Med hensyn til akkumuleret belastning er der stor sandsynlighed for, at selv forureningsindholdet i stærkt forurenat regnvand kan tilbageholdes eller nedbrydes i jorden, når blot nedsivningsanlægget indrettes derefter. Den virkelige forureningsfare ligger snarere i akutte forureningsproblematikker som fx oliespild fra væltede tankbiler, og denne relaterer sig specielt til nedsivning fra offentligt befærdede arealer som veje og større parkeringspladser. Også hér kan man imidlertid forestille sig nedsivning anvendt, når anlæggene udformes hensigtsmæssigt. Der er derfor behov for

lovgivning og tekniske standarder for, hvordan sådanne anlæg skal udformes.

Nedsivning uden forureningsfare

Sammenfattende må man konkludere, at der eksisterer et uudnyttet potentiale for nedsivning af regnafstrømning. Blandt de typer af oplande, hvor vandet kan nedsives direkte uden fare for grundvandsforurening, og hvor specielle hensyn til renseforanstaltninger derfor ikke er nødvendige, kan nævnes:

- tagvand fra beboelsesbygninger
- vand fra små arealer i forbindelse med beboelsesbygninger (terrasser, holdepladser m.m.)

Desuden er der typer af oplande, hvor nedsivning bør kunne gennemføres, når blot man udformer anlæggene hensigtsmæssigt (overfladisk nedsivning og/eller specielle renseforanstaltninger som sandfang og olieudskiller samt forbud mod saltning):

- vand fra fortove og stier samt mindre, private og offentlige veje
- vand fra større veje og parkeringspladser

Ved nedsivning af stærkt forurenede vand fx fra industriområder eller meget trafikerede veje må specielle vurderinger foretages jf. ovenfor.

5. Naturlige forsætninger for LAR

5.1. Indledning

Nødvendige egenskaber

Når man ønsker at bruge et område til lokal afledning af regnvand, skal man sikre sig, at de rigtige egenskaber for området er til stede. En væsentlig ting i denne sammenhæng er, at regnvandet ikke forurener mere, end målsætningen tillader. Det aktuelle område skal desuden have bestemte egenskaber, for at det er egnet til infiltration eller perkolation. Disse egenskaber er bestemt af følgende:

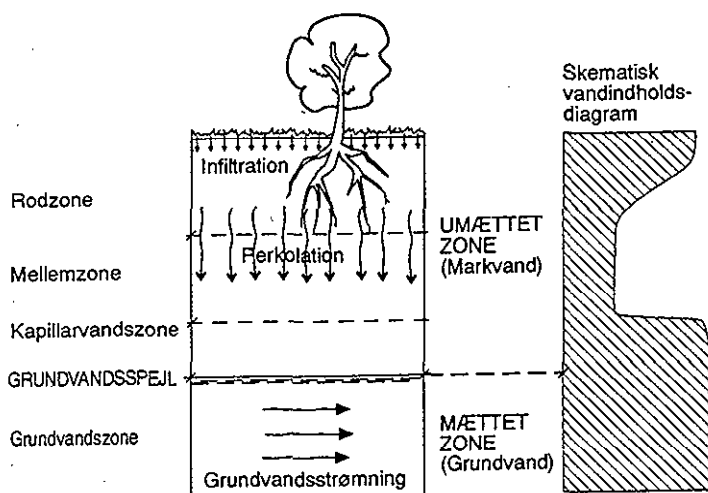
- Vegetationen
- Topografien
- Jordartsforholdene
- Grundvandsforholdene

Vandbevægelse

For at kunne vurdere muligheden for at infiltrere regnvand i et område, er det vigtigt at kende vandets bevægelse i jorden. Det betyder, at de grundlæggende processer for vandets bevægelse gennem jorden fra jordoverfladen til grundvandsspejlet og videre med grundvandet til udstrømning i søer og åer er vigtige faktorer, når man ønsker at infiltrere regnvand.

Zoner

På figur 5.1 ses, hvordan de øverste jordlag opdeles i zoner - rodzonen, mellemzonen, kapillarvandszonen og grundvandszonen. Jordlagene opdeles i to hovedzoner henholdsvis den umættede zone og den mættede zone. Grundvandsspejlet adskiller de to zoner og er det vandspejl, der vil indstille sig i en boring gennem de øverste jordlag og ned i den mættede zone. Den umættede zone er de øverste jordlag. Den umættede zone betyder jordlag, hvor der er en procentdel luft mellem de enkelte korn.



Figur 5.1.

Zoneinddeling under jordoverfladen samt skematisk vandindholdsdiagram straks efter et nedbørstilfælde.

Rodzonen

Rodzonen begrænses opad af jordoverfladen og nedad af planterøddernes dybde. Det betyder, at denne zone kan variere i tykkelse afhængig af jordtype og vegetation. Rodzonen afgiver vand opad som fordampning og nedad som infiltration. Rodzonen kan godt være en del af den mættede zone, hvis grundvandet står højt. Det vil så betyde, at mellemzonen og den øvre kapillarvandzone er en del af rodzonen. Vandindholdet varierer kraftigt over året i denne zone afhængigt af regnpåvirkning og fordampning.

Vand, som infiltrerer ned i mellemzonen, påvirkes af tyngdekrafter og tensionskrafter (undertryk). Tyngdekrafter spiller dog den største rolle for den videre nedtrængen af nedbør.

Kapillarzoner

Kapillarvandzonen strækker sig fra grundvandsspejlet til niveauet for vandets største kapillære stighøjde. I den nedre del er vandindholdet omtrent det samme som i den mættede zone, mens det i den øvre aftager til samme værdi som vandindholdet i mellemzonen, se figur 5.1. Den kapillære stighøjde og udbredelsen af kapillarvandzonen afhænger af jordarten. I ler og silt kan den være flere meter, mens den i sand og grus vil være fra 0 til 0,5 meter.

Grundvandszonen

Grundvandszonen er vandmættet. Grundvandsspejlet er defineret som det niveau, hvor porevandstrykket svarer til atmosfæretrykket.

5.2. Vegetation

Fordampning

Regnvand, som falder på jordoverfladen, vil delvist optages af vegetationen og delvist fordampe til atmosfæren. Mængdemæssigt udgør fordampningen 10 til 50% af nedbøren afhængigt af årstiden (Wilson 1983), dog størst om sommeren.

Sprækkezoner

Vegetationen fungerer som filter og forhindrer, at overfladen slammer til. Målinger har vist, at infiltrationskapaciteten bliver større, jo ældre vegetationen er. Dette skyldes, at rødderne danner sprækkezoner, hvor vandet nemmere trænger igennem. Desuden er der stor biologisk aktivitet i rodzonen i form af mikroorganismer, biller, regnorme m.v., der medvirker til jordens gennemtrængelighed.

Naturområder med stor vegetation kan derfor udnyttes til infiltration af regnvand fra andre områder.

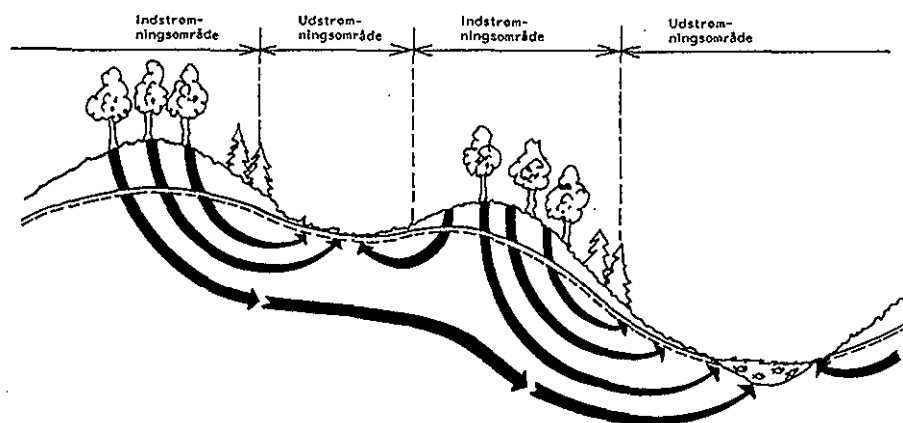
5.3. Topografi

Indstrømnings- og udstømningsområder

Topografien har stor betydning både for overfladeafstrømningen og grundvandsstrømningen i et område. De områder, hvor afstrømningen infiltrerer gennem overfladen ned til grundvandet, kaldes indstrømningsområder. Grundvandet bevæger sig derefter mod

områder, der ligger lavere, og strømmer der ud som overfladevand i vandløb og søer. Sådanne områder kaldes udstrømningsområder.

Grundvandets ind- og udstrømningsforhold er af største betydning for mulighederne for at infiltrere regnvandet, idet LAR-anlæg kun bør anvendes i indstrømningsområder.



Figur 5.2.

Strømningsmønster for grundvandet med ind- og udstrømningsområder.

5.4. Jordartsforhold - geologi

Porøsitet og magasineringssevne

En naturlig jordarts evne til at infiltrere og magasinere vand er afhængig af dens porøsitet, der angiver forholdet mellem porevolumen og totalvolumen af det materiale, jorden består af. Den effektive porøsitet er forholdet mellem det vandvolumen, som drænes ud af en vandmættet jord i løbet af en given tid, og jordartens totale volumen. Den effektive porøsitet beskriver da, hvor stort et volumen i jordskelettet som er tilgængeligt for væsketransport, og den er derfor mindre end porøsiteten, der både inkluderer mobilt og immobilt vand. Den effektive porøsitet for forskellige jordarter kan ses af tabel 5.1.

Vandtransport i jord

Transport af vand i umættet jord afhænger som nævnt af både tensions- og tyngdekræfter. I forbindelse med lokal afledning af regnvand kan man dog normalt antage, at jorden bliver vandmættet under strømmingen, og at strømmingen foregår i lodret plan, kun forårsaget af tyngdekræften. Vandmængden $Q_{\text{perkolation}}$, som ved perkolation transporteres gennem et tværsnitsareal A , afhænger da blot af jordens hydrauliske ledningsevne, K :

$$Q_{\text{perk}} = K \cdot A \quad (5.1)$$

Den hydrauliske ledningsevne er et udtryk for en jordarts evne til at lede vand. I tabel 5.1 er K vist for nogle jordarter, og det ses, at den kan variere meget. Ligning (5.1) kan bruges til at beregne perkolationen fra fx en stenfaskine.

Tabel 5.1

Kornstørrelse, effektiv porøsitet og hydraulisk ledningsevne for forskellige jordarter.

	Kornstørrelse	Effektiv porøsitet	Hydraulisk ledningsevne
Grus	2 - 60 mm	25 - 35	$10^{-3} - 10^{-1}$
Sand	0,05 - 2 mm	25 - 40	$10^{-5} - 10^{-2}$
Silt	2 - 50 μm	0 - 10	$10^{-9} - 10^{-5}$
Ler	0 - 2 μm	0	$< 10^{-9}$
Moræne	-	0 - 30	$10^{-10} - 10^{-6}$

Infiltration

Infiltration gennem en jordoverflade med vegetation afhænger af mange forhold, bl.a. infiltrationskapaciteten, f , som er et mål for en overflades evne til at infiltrere vand. I tør jord er f stor, mens den er mindre i våd jord. Den værdi af infiltrationskapaciteten, der i det følgende anvendes, er værdien for våd jord. Kender man f , kan infiltrationen gennem en overflade med arealet A findes af:

$$Q_{\text{inf}} = f \cdot A \quad (5.2)$$

Infiltrationskapacitet og hydraulisk ledningsevne

I en svensk undersøgelse (Lindblad 1981) blev en lang række målinger af infiltrationskapacitet og hydraulisk ledningsevne samlet og bearbejdet statistisk. Målingerne inddeltes i klasser efter jordtype, og middelværdien af henholdsvis K og f blev udregnet. Det interessante er, at selv om den hydrauliske ledningsevne varierer temmeligt meget, er infiltrationskapaciteten gennem en overflade med vegetation næsten uafhængig af den underliggende jordtype. Dette skyldes, at vegetation og smådyr danner store porer og små sprækker i jorden, så det mere er vegetationens end jordens egenskaber, der er afgørende. I dens svenske undersøgelse fandt man, at infiltrationskapaciteten typisk ligger mellem $5 \cdot 10^{-7}$ m/s og $5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Stedlig variation og måleusikkerheder

Hydraulisk ledningsevne og infiltrationskapacitet kan måles på flere forskellige måder, hvilket omtales senere i kapitel 6. Forskellige målemetoder giver ofte forskellige resultater, og desuden varierer begge parametre som regel meget inden for korte afstande (få meter). Dette betyder, at man ikke vil kunne måle sig til en præcis værdi for K eller f , og man må derfor ofte stille sig tilfreds med at kende til deres størrelsesorden.

Minimumsværdi af K og f

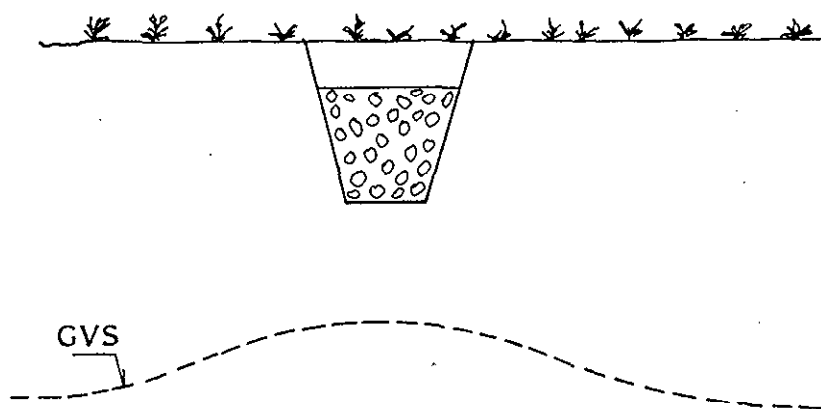
I Norge (Statens Forurensningstilsyn 1982) anbefales det, at jordens hydrauliske ledningsevne K skal være større end 10^{-6} m/s svarende til finsand eller grovere jordarter, hvis nedsivning skal anvendes som eneste afledningsform for regnvand. I Sverige (VAV 1983) anbefales det, at K skal være større end $2 \cdot 10^{-5}$ m/s. Hvorvidt disse grænser gælder for danske forhold, er ikke på nuværende tidspunkt afklaret. Det må derfor fremhæves, at de eneste reelle grænser er de økonomiske, og at økonomiske sammenligninger må foretages, før krav som de ovenstående kan opstilles. Det er muligt at etablere LAR-anlæg i jordtyper med meget lille hydraulisk ledningsevne eller infiltrationskapacitet, når blot der er passende aflastningsmuligheder til rådighed.

5.5. Grundvandsforhold

Grundvandsforholdene i et område er i dag afhængige af en række menneskelige indgreb i den naturlige vandbalance. Af disse indgreb kan fx nævnes grundvandsindvinding, som kan forårsage sætninger af bygninger, veje o.s.v. Det er derfor nødvendigt at analysere grundvandsforholdene nøje for at undgå skader.

Grundvandsspejlets beliggenhed

Grundvandsniveauet i et område varierer kraftigt med årstiderne, højt grundvandsspejl om vinteren og lavt om sommeren. Variationerne er afhængige af lokale forhold såsom jordart, nedbør, terrænforhold og eventuelle grundvandsindvindinger. Ved infiltration af overfladevand bør der være mindst 1 meter til grundvandsspejlet dels af hensyn til nedbrydning af forureninger, dels af hensyn til udbredelsen af kapillærandszonen. Nogle jordarter har så stor kapillær stighøjde, at jorden nemt kan være mættet næsten helt op til jordoverfladen, se figur 5.3. Det er derfor vigtigt at kende grundvandsvariationen over årstiderne.



Figur 5.3.
Grundvandsstigning under regn

*Forureningsmæssige
aspekter*

Forurening af grundvand skal i så høj grad som muligt undgås, da 98% af vandforbruget i Danmark stammer fra grundvand.

Det er derfor nødvendigt med en nøje vurdering af, hvilke forureninger man kan forvente i regnvandet sammenholdt med anvendelsen af de aktuelle grundvandsressourcer.

6. Forundersøgelser

Hvis et område skal afvandes ved hjælp af LAR, bør følgende overvejelser gennemføres for at kunne vælge de bedst egnede LAR-teknikker.

6.1. Undersøgelser

Vegetation - overflader

Den eksisterende og den planlagte vegetation skal kortlægges. Det skal vurderes, hvilke overflader der bidrager til overfladeafstrømning, og hvilke der kan bruges til overfladeinfiltration. Desuden skal det vurderes, hvor stor en del af den eksisterende vegetation, der kan bevares.

Topografi

Naturlige afstrømningsveje kan vurderes ud fra topografiske kort. For at kunne opdele de enkelte oplandsområder bruges højdekurver til fastlæggelse af vandskel. På baggrund af dette fastlægges indstrømnings- og udstrømningsområder for grundvandet. LAR-anlæg må kun placeres i indstrømningsområder.

Jordartsforhold

Jordtyper og jordartsfordeling kan vurderes ud fra geologiske overfladekort og eksisterende boreoplysninger. Det kan være nødvendigt at etablere nye kontrolboringer, ud fra hvilke grundvandsspejlets beliggenhed og de aktuelle jordlagstyper og -tykkelser kan bestemmes. Kortmateriale kan rekvireres hos *Kort og Matrikelstyrelsen* og *Danmarks Geologiske Undersøgelser*. Hvis det er nødvendigt med mere detaljerede oplysninger, findes der forskellige geofysiske målemetoder til bestemmelse af de overfladenære lag.

Grundvandsforhold

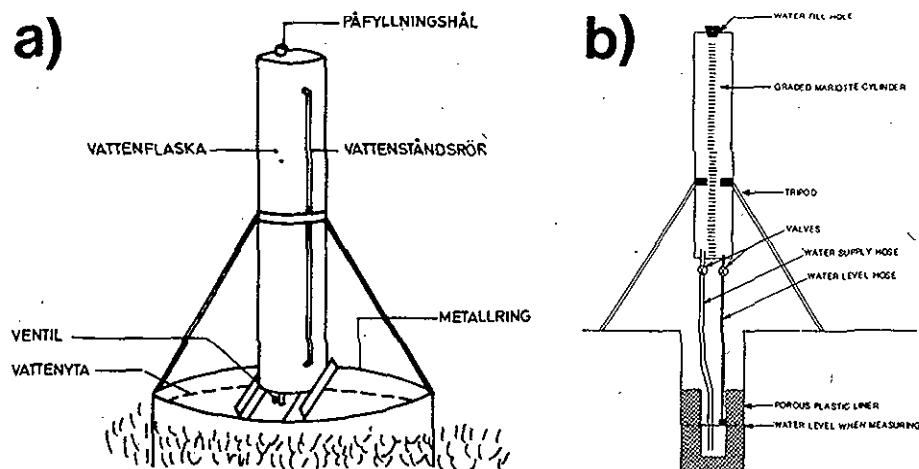
Grundvandsniveauet (potentialebilledet) skal vurderes på baggrund af eksisterende målinger af grundvandsspejlet. Da mange vandspejlsmålinger er forældede, bl.a. på grund af grundvandsindvinding, vil det ofte være nødvendigt med en ny opmåling, samt en måling af vandspejlsvariationen over året. Placering af vandboringer i området registreres, da det ikke er tilladt at nedsive regnvand tæt på indvindingsboringer.

Måling af jordparametre

Måling af infiltrationskapacitet og hydraulisk ledningsevne er et helt kapitel for sig, og her omtales kort 3 metoder, hvor den ene er en laboratoriemetode, mens de andre er feltmetoder.

Slutværdien af målinger

Med begge feltmetoder måler man den vandmængde, der kan nedsive i jorden i et tidsrum. Til at begynde med siver meget vand ned, fordi jorden i starten er umættet, men efterhånden vil ned-sivningsraten (f eller K) blive konstant, svarende til at jorden er vandmættet. Det er denne *slutværdi*, der benyttes ved dimensionering, se kapitel 7.



Figur 6.1.

(a) Måling af infiltrationskapacitet ved hjælp af infiltrometer, (VAV 1983). (b) Måling af hydraulisk ledningsevne i prøvehul forsynet med porøs plastikmembran, (Jenssen 1989).

Infiltrationskapacitet

En overflades infiltrationskapacitet kan måles ved hjælp af et cylinderinfiltrometer, der består af en metalcylinder, som slås ned i jorden, og en mariotteflaske opstillet som vist på figur 6.1(a). Cylinderen har typisk en diameter på 20-40 cm og en højde på 10-20 cm. Cylinderen slås ca. 5 cm ned i jorden, og mariotteflasken sørger for at holde et konstant vandspejl inde i cylinderen, mens infiltrationsforsøget foregår. På flaskens inddeling aflæses vandforbruget under forsøget, indtil det er blevet konstant (normalt efter 3-5 timer), og man kan nu beregne slutværdien af infiltrationskapaciteten.

Analyse af sigtekurver

Med udgangspunkt i en sigtekurve for en aktuel jord kan man empirisk bestemme dens hydrauliske ledningsevne. Den mest anvendte formel er *Hazens formel*:

$$K = 116 \cdot 10^{-4} \cdot d_{10}^2 \quad (6.1)$$

men mange andre kan komme på tale afhængigt af jordens beskaffenhed. d_{10} er kornstørrelsen i mm, defineret som maskevidden af en sigte, der slipper 10 vægtprocent af prøven igennem (materiale med diameter større end 20 mm sorteres fra på forhånd). Ulempen er, at en jordprøve ikke er repræsentativ for et større område, og at sådanne empiriske formler er behæftet med stor usikkerhed.

Måling i prøvehul

Den hydrauliske ledningsevne kan også bestemmes ved måling af perkolationen i et gravet eller boret prøvehul, som vist på figur 6.1(b). Hullet kan evt. forsynes med en porøs plastmembran for at forhindre siderne i at styrte sammen. Opstillingen svarer i princippet til infiltrometeropstillingen, men den teoretiske beregning af K er noget mere kompliceret p.g.a. indflydelse af hullets geometri og det flerdimensionale strømningsmønster. Der findes metoder, der

tager højde for kapillareffekterne i jorden, så forsøget kan slutes, inden en konstant værdi af vandforbruget er nået.

6.2. Planlægning af LAR-anlæg

Planlægning

For at sikre, at de planlagte LAR-anlæg både er velfungerende og har en lang levetid, er det nødvendigt med en ret detaljeret planlægning af anlæggene.

Regnvandet skal infiltreres/forsinkes så tæt ved kilden som muligt. Dette giver den største frihed til lokalisering af egnede muligheder og en mindre belastning på ledningsnettet nedstrøms.

Kendskab til jordbundsforhold, højde- og faldforhold er meget vigtige ved planlægning af LAR-anlæg. Faldforholdene for hver enkelt grund skal være kendt, og man skal være opmærksom på lavninger og lignende, hvor vandet kan samle sig uden mulighed for at slippe væk.

Afstanden til grundvandsspejlet bør være mindst 1 m.

Infiltration fra overfladen

Arealer med eksisterende vegetation fungerer bedst. Infiltrationsevnen er ikke god i nyanlagte muldooverflader. Infiltrationsevnen kan øges ved sandindblanding i mulden. Når væksten kommer godt i gang, øges infiltrationsevnen.

Hvis infiltrationsoverfladen er lille i forhold til den tilførte vandmængde, bør den have fald, så overskudsvandet kan opsamles og bortledes.

Overfladen skal udformes således, at erosion ikke opstår. Erosionsskader kan let opstå i nyanlagte infiltrationsflader med fald. Indtil vegetationen har godt fat, bør der derfor anlægges render, der fordeler vandet til infiltrationsområder eller udlægges græsarmingssten eller grus i overgangen mellem befæstet areal og infiltrationsarealet.

Faskiner

Faskiner skal placeres, så overbelastning via nødoverløb kan aflastes til recipienter eller kloaksystemer, uden at det medfører skader.

Faskiner skal placeres så højt i jorden som muligt, så der er ilt til rådighed for nedbrydningsprocessen. Ledninger skal lægges i frostfri dybde 75 cm under terræn.

Alle installationer i forbindelse med faskinen skal være tilgængelige for inspektion, både sandfang, fordelerbørde, slutbørde og overløb.

7. Dimensionering

7.1. Indledning

Baggrundsrapport

I tilknytning til denne rapport er der udarbejdet en baggrundsrapport om dimensionering af anlæg til lokal afledning af regnvand. Et litteraturstudie, der specielt bygger på svenske kilder, men hvor også norske, engelske, tyske og amerikanske referencer indgår, er gennemført, og på denne baggrund er nogle nye principper til dimensionering opstillet. Et gennemgående træk er, at der for nedsivningsanlæg altid tages udgangspunkt i jordens hydrauliske karakteristika. Der er lagt vægt på, at principperne stemmer med sædvanlige begreber, der anvendes inden for fagområdet i Danmark, og det har derfor været nødvendigt at tilpasse de udenlandske metoder. Med hensyn til detaljer vedr. baggrunden for konklusionerne henvises til specialrapporten.

Elementer i problemstillingen

Dimensionering af afløbssystemer kræver en modelbeskrivelse af naturen. Denne model kan være mere eller mindre tilnærmet, afhængigt af det eksisterende datagrundlag og problemstillingens kompleksitet. Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité (1984) nævner, at der skal foretages valg eller modelbeskrivelse af følgende fire elementer i problemstillingen:

- 1) regndata
- 2) oplandsdata
- 3) anlæggets funktion
- 4) gentagelsesperiode for overskridelse af anlæggets kapacitet

Nye fænomener og modelparametre

For LAR-anlæg vil 1), 2) og 4) være identisk med de sædvanlige konventioner inden for regnafledning, omend forenklinger ofte kan tillades. Da LAR-anlæg, speciel nedsivningsanlæg, adskiller sig fra traditionelle afløbstekniske anlæg i og med, at de i højere grad udnytter naturens egenskaber, introducerer 3) imidlertid nogle nye fænomener og modelparametre.

Niveaudelt dimensionering

Som en konsekvens af, at de ovennævnte valg kan foretages på forskellig vis, opererer man i Danmark med flere beregningsniveauer ved dimensionering af afløbssystemer. Det er forsøgt at følge dette princip ved opstilling af de nye dimensioneringsmetoder.

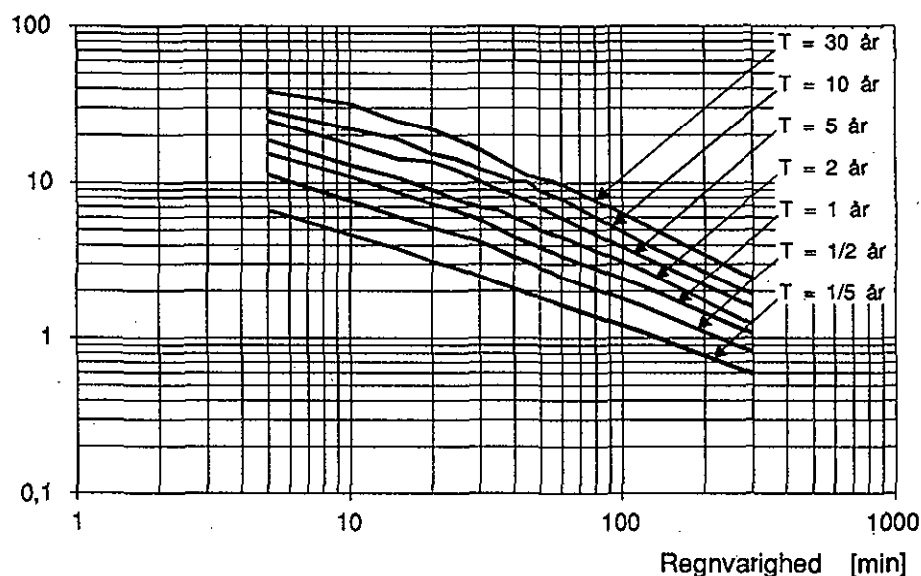
7.2. Eksisterende principper for dimensionering

7.2.1. Nedbør og afstrømning

Regnrækker og regnformler

Der findes i Danmark en lang række nedbørsmålinger, som bearbejdet på forskellig måde har været anvendt og bliver anvendt til dimensionering af systemer til regnafledning. *Regnrækker*, som er

Regnintensitet [$\mu\text{m/s}$]



Figur 7.1.

Regnrækker for Odense-serien (sammenhæng mellem regnhændelsers varighed, middelintensitet og gentagelsesperiode). Optegnet fra data i (DIF, SVK 1984).

den form, nedbørsdata traditionelt er blevet præsenteret og anvendt på, består af samhørende værdier af regnintensitet (eller regndybde) og varighed af statistiske kasseregn, der nås eller overskrides med en bestemt gentagelsesperiode, T . I figur 7.1 er i grafisk afbildning vist regnrækkerne dannet på baggrund af nedbørsmålinger i Odense 1933-80. Tilsvarende findes de danske *landsregnrækker*, der har været anvendt til dimensionering af regnaflledningssystemer i mange år. Undertiden tilnærmes regnrækker med de såkaldte *regnformler*:

$$i = C \cdot t_r^{-\alpha} \quad (7.1)$$

hvor C og α er parametre, der er specifikke for den enkelte regnrække og gentagelsesperiode. Der er udarbejdet regnformler for de danske landsregnrækker, se (DIF, SVK 1974).

Historiske regnserier

Regnrækker etableres på baggrund af målte *historiske regnserier*. I løbet af det seneste årti har anvendelse af EDB ved dimensionering og analyse af afløbssystemer vundet frem, og i takt hermed er det blev muligt direkte at anvende de historiske regnserier til dimensionsformål. Denne udvikling er beskrevet i Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomite's skrifter.

Afløbskoefficienter

Tilstrømning til LAR-anlæg består primært af afstrømmet nedbør. Om vinteren kan der forekomme perioder med snesmeltning, men under danske forhold har dette dog ringe betydning i sammenligning med nedbøren, og den vil derfor blive ladet ude af betragtning. Den simpleste parameter, der beskriver de hydrologiske tab i afløbsprocessen, er den såkaldte *volumenafløbskoefficient*, φ ,

der angiver, hvor stor en del af nedbøren, der i middel strømmer af et givent opland med arealet A. Ved hjælp af afløbskoefficienten beregnes *det reducerede oplandsareal*:

$$A_{\text{red}} = \varphi \cdot A \quad (7.2)$$

som det areal, der effektivt bidrager med afstrømning.

Afløbstid og initialtab

Afløbstiden, t_a , repræsenterer oplandets udjævnende og dæmpende effekt på nedbørsintensiteten og dermed maksimalafstrømningen. Populært sagt er t_a det tidsrum, det tager en vanddråbe, som falder i oplandets fjerneste ende, at strømme til dets nedstrøms ende, tilløbet til LAR-anlægget. *Initialtabet* repræsenterer de mekanismer, der er i stand til at tilbageholde vand på oplandets overflader i starten af regnhændelser. Initialtabet udgør erfaringsmæssigt mellem 0,5 og 5 mm nedbør afhængigt af oplandets beskaffenhed.

Beregning af afstrømning

Afløbstiden er størst for store oplande, mens den er lille for små oplande. I de fleste tilfælde kan der derfor ses bort fra den ved dimensionering af anlæg til lokal afledning af regnvand. Endvidere ses der almindeligvis bort fra initialtabet ved dimensionering, og de to parametre φ og A slås desuden sammen til det reducerede oplandsareal som vist i ligning (7.2). Afstrømningen, Q, fra et opland kan derfor opskrives meget simpelt:

$$Q = i \cdot A_{\text{red}} \quad (7.3)$$

hvor i er nedbørsintensiteten.

7.2.2. Nedsivningsanlæg

Der eksisterer ikke nogen dansk vejledning i dimensionering af overfladiske nedsivningsanlæg. Dimensionering af faskiner er imidlertid omtalt kortfattet i Dansk Ingeniørforenings norm for mindre afløbsanlæg med nedsivning, DS 440 (DIF 1983) og SBI-anvisning 96 om afløbsinstallationer (SBI 1988).

SBI-anvisning 96

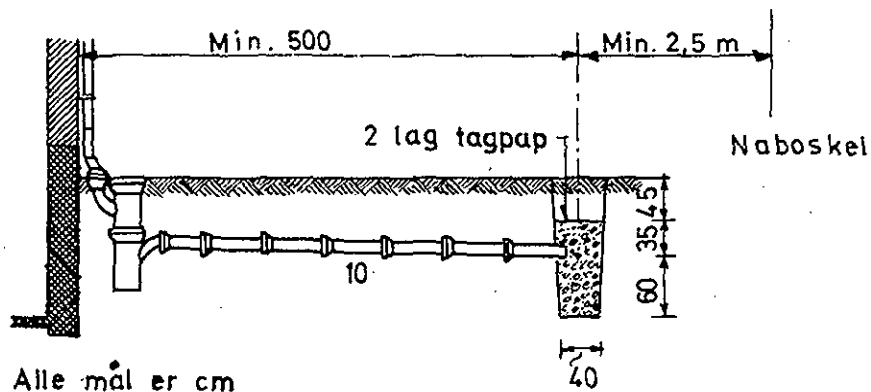
SBI-anvisningens dimensioneringsvejledning er begrænset til oplysningerne vist i figur 7.2. Figuren, der også findes i Dansk Ingeniørforenings ældre *afløbsregulativ* (DIF 1969), er oprindeligt udarbejdet af Lyngby-Taarbæk Kommune, der hører til pionererne inden for nedsivningsanlæg i Danmark, se f.eks. (Larsen 1954). Normen giver følgende vejledning:

DIF's norm, DS 440

Faskinen opbygges af 32/68 mm singels og afdækkes med tæt materiale. I lerjord og under forudsætning af et dimensioneringsregnskyl på $140 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ($14 \mu\text{m s}^{-1}$) i 10 min kan faskinens rumfang sættes til 1 m^3 for hver 30 m^2 overfladeareal med afløbskoefficient 1,0. I sand og grus kan rumfanget evt. formindskes. Til faskinens effektive rumfang kan kun regnes rumfang over grundvandsspejlet og under niveau for evt. omfangsdræn eller lignende.

Dimensioneringsprincip

Den i normen benyttede regn svarer til en høj-intensitets kasseregn med varigheden 10 min fra landsregnrækken med gentagelsesperio-



Figur 7.2.

Tagvandsafløb til faskine. Faskinens længde bør være mindst 0,35 m pr. 5 m² tagareal. (SBI 1988).

den $T = 2$ år, se (DIF 1974). Regndybden (det totale volumen af kasseregnen divideret med det reducerede oplandsareal) er:

$$R = \frac{V_{\text{regn}}}{A_{\text{red}}} = 14 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \cdot 600 \text{ s} = 8,4 \text{ mm} \quad (7.4)$$

Princippet i dimensioneringsvejledningen er, at voluminet af faskinens hulrum skal være tilstrækkeligt stort til at opmagasinere hele den dimensionsgivende kasseregn, da udsivningen i lerjord antages at være uden betydning. I overensstemmelse med dette kan man af nedenstående regnestykke se, at den beregningsmæssige porøsitet (hulrumsprocenten) af faskinens singels er sat til 25%, hvilket er et konservativt skøn.

$$\phi = \frac{V}{V_b} = \frac{R \cdot A_{\text{red}}}{V_b} = \frac{8,4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 30 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^3} \approx 0,25 \quad (7.5)$$

V_b står for *bruttovolumen*, som betyder det totale volumen af faskinen (det effektive udgravningsvolumen).

Dimensionsgivende regnhændelse

Ved gennemregning af størrelsesforholdene i faskinen på figur 7.2 finder man, at dimensioneringsprincippet hér er det samme, idet en såkaldt *10-minutters kasseregn* fra landsregnrækken benyttes som dimensionsgivende regnhændelse. Årsagen til dette valg er formentlig, at der i Danmark er tradition for at dimensionere mange komponenter i afløbssystemer efter denne regn. Regnen er kortvarig og har derfor en forholdsvis stor middelintensitet, men tilsyneladende har man ikke tænkt over, at langvarige regn indeholder mere vand end kortvarige.

Nyt dimensionerings princip nødvendigt

Den anvendte dimensioneringsmetode tager ikke højde for størrelsen af nedsvivningen fra det aktuelle anlæg, og desuden giver hverken normen eller SBI-anvisningen nogen vejledning i, hvor meget mindre faskiner kan dimensioneres i sand og grus. Metoden kan faktisk føre til både under- og overdimensionering afhængigt af jordtypen, og på denne baggrund må dimensioneringsprincippet vurderes at være utilstrækkeligt.

7.2.3. Regnvandsbassiner

Da faskiner har mange fællestræk med traditionelle regnvandsbassiner vil dimensioneringsgrundlaget for bassiner blive omtalt kortfattet i det følgende.

Fysisk model

Et bassin's funktion er kendetegnet ved tilløbsvandføringen, Q , bassinets volumen, V , samt afløbsvandføringen, Q_a , der regnes konstant ved dimensionering, fordi dette indebærer nogle metodemæssige fordele. Tilløbsvandføringen kan forsimplet beregnes efter ligning (7.3), hvor i findes ved hjælp af en regnrække eller en historisk regnserie.

Afløbstal og specifikt magasinivolumen

For at generalisere problemstillingen kan de tre parametre normeres i forhold til det reducerede oplandsareal, og de eneste tilbageblevne parametre i modellen for nedbør, afstrømning og bassin er da:

- Nedbørsintensitet, $i = \frac{Q}{A_{red}}$
- Afløbstal, $a_r = \frac{Q_a}{A_{red}}$
- Specifikt magasinivolumen $V_r = \frac{V}{A_{red}}$

a_r og V_r er særdeles praktiske størrelser, fordi de direkte kan sættes i relation til nedbørsintensitet og regndybde.

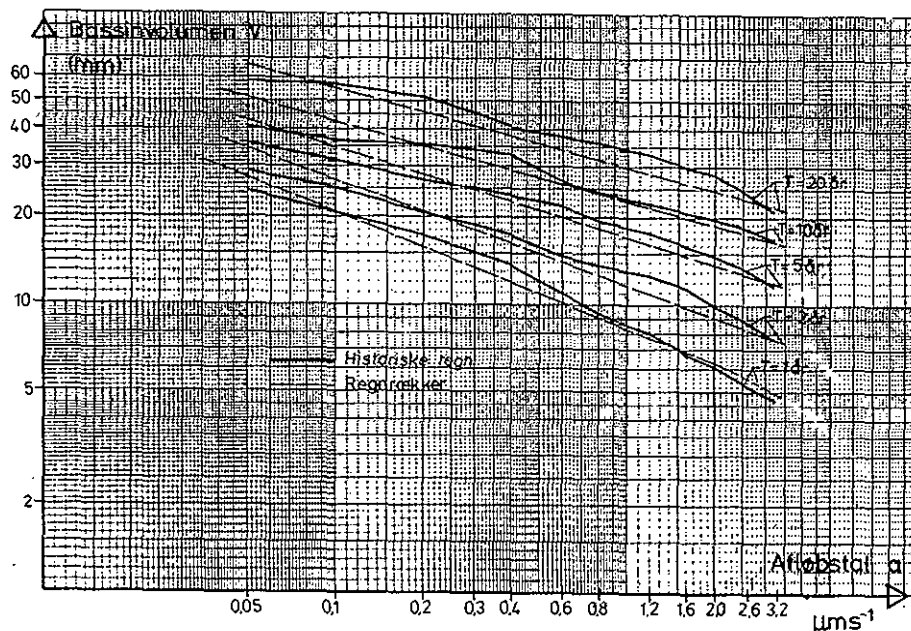
Dimensioneringsdiagram

Traditionelt set er regnvandsbassiner blevet dimensioneret ved hjælp af kasseregn fra regnrækker eller regnformler. De grundlæggende principper skal ikke refereres hér, idet der henvises til lærebøger i afløbsteknik og baggrundsrapporten om dimensionering. Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomite har imidlertid ved hjælp af historiske regnserier og EDB-modeller udarbejdet en række kurver til bassindimensionering, se (DIF, SVK 1984). Fordelen ved disse kurver er, at de er beregnet på baggrund af den virkeligt målte nedbør ved hjælp af en kontinuerlig EDB-model, der tager højde for, at nedbørens intensitet varierer kraftigt med tiden, og at en overbelastning af bassinet kan skyldes mere end én regnhændelse (koblede regn). Kurverne udgør derfor et væsentligt bedre dimensioneringsgrundlag for bassiner end regnrækker og regnformler.

Magasinkarakteristikker

I figur 7.3 er vist to sæt kurver, hvor de rette linier svarer til dimensionering på baggrund af regnformler, og de krumme linier er baserede på historiske regn og EDB-beregninger. Kurverne angiver sammenhængen mellem et bassins specifikke magasinivolumen og dets afløbstal, og det er derfor nærliggende at benævne dem *magasinkarakteristikker*.

Magasinkarakteristikkerne i figuren er beregnet for et opland med afløbstiden $t_a = 5$ min, og de gælder derfor kun for de forholdsvis små oplande, der er typiske ved lokal afledning af regnvand. Som



Figur 7.3.

Magasinkarakteristikker, sammenligning af specifikke magasinvolu-
mener beregnet ved hjælp af landsregnrækkernes regnformler og
ved hjælp af Odense-regnseriens 33 helårs målinger af nedbør og en
EDB-model. (DIF, SVK 1984).

det fremgår af næste afsnit har sådanne dimensioneringskurver
generel værdi ved dimensionering af LAR-anlæg. Kurver for andre
værdier af t_d kan findes i (DIF, SVK 1984).

7.3. Nye dimensioneringsprincipper

I dette afsnit gennemgås de metoder, man kan benytte sig af ved
dimensionering af LAR-anlæg, og der redegøres for de overvejelser
man bør gøre sig m.h.t. valg af datagrundlag.

7.3.1. Tilstrømning til LAR-anlæg

Tilstrømning til anlæg for lokal afledning af regnvand, hvad enten
det drejer sig om regnvandsbassiner, faskiner eller infiltrations-
overflader, beregnes altid efter de to ligninger (7.3) og (7.2). Der
regnes af princip ikke med udjævning af nedbøren (afløbstid) og
initialtab, hvilket tjener som sikkerhed ved dimensioneringen. Al
videre dimensionering er baseret på størrelsen af et oplands *redu-
cerede areal*, A_{red} .

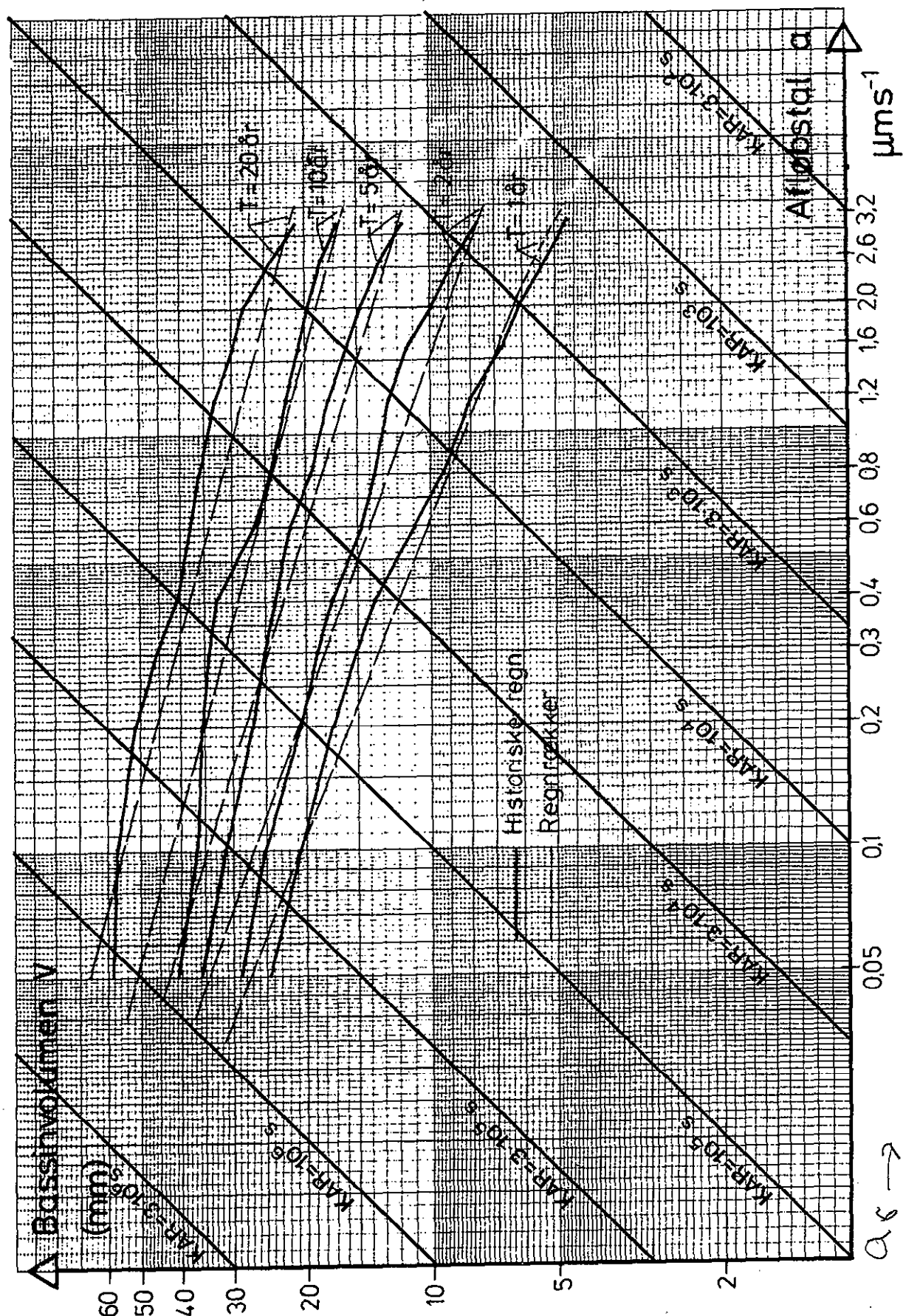
7.3.2. Regnvandsbassiner

Regnvandsbassiner dimensioneres ved hjælp af magasinkaraktəri-
stikkerne på figur 7.3. Kurverne er gengivet i større format på
figur 7.4, der kan benyttes til aflæsning.

Princippet ved anvendelse af kurverne er, at man først beregner det
ønskede afløbstal for bassinet. Dernæst vælger man en kurve, som

*Simpel beregning ved
hjælp af afløbskoefficient*

*Dimensionering ved
aflæsning af diagrammer*



Figur 7.4.

Dimensioneringsdiagram til regnvandsbassiner, faskiner og andre LAR-anlæg, der indeholder magasineringsvolumen. De to kurveskarer er h.h.v. *magasinkarakteristikker* og *geometrikarakteristikker*.

gælder for den ønskede gentagelsesperiode for overbelastning, og aflæser det nødvendige specifikke magasinvolumen. Det reelle basinvolumen kan nu beregnes af:

$$V = V_r \cdot A_{\text{red}} \quad (7.6)$$

Vær opmærksom på, at afbildningen er dobbeltlogaritmisk, samt at enheden for V_r er mm, mens a_r aflæses i $\mu\text{m/s}$ (10^{-6} m/s).

7.3.3. Faskiner

Ligesom regnvandsbassiner er faskiners funktion karakteriseret ved tilløbsvandføringen, Q , magasinvolumenet, V , og afløbsvandføringen, der her kaldes perkolationen, Q_{perk} . Det skulle derfor være klart, at faskiner kan dimensioneres nøjagtigt som regnvandsbassiner, når blot man kender størrelsen af perkolationen.

Analogi til regnvandsbassiner

Lange smalle faskiner: Rendefaskiner

Da der er overvejende sandsynlighed for, at bunden i en faskine hurtigt stopper til med fint materiale, må man ved dimensionering antage, at bunden er tæt, og vandet derfor kun siver ud af siderne. For at gøre sidearealet så stort som muligt, kan det altså betale sig at lave lange, smalle faskiner, *rendefaskiner*.

Beregning af perkolationens størrelse

Perkolationen fra en rendefaskine afhænger af den omgivende jords hydrauliske ledningsevne, K , og det effektive perkolationsareal, A_{perk} :

$$Q_{\text{perk}} = K \cdot A_{\text{perk}} \quad (7.7)$$

Antages faskiner under den dimensionsgivende regn, hvor volumen fyldes helt op, i middel at være halvt fyldt med vand, fastsættes det effektive perkolationsareal til halvdelen af sidearealet. Da arealet af endefladerne er forsvindende i denne sammenhæng, ses der bort fra dette, og man har:

$$A_{\text{perk}} = \frac{1}{2} \cdot A_{\text{side}} \approx \ell \cdot h \quad (7.8)$$

hvorefter perkolationen fra rendefaskiner beregnes som:

$$Q_{\text{perk}} = K \cdot \ell \cdot h \quad (7.9)$$

Afløbstal og specifikt magasinvolumen

Ligesom for regnvandsbassiner kan de indgående størrelser normeres m.h.t. det reducerede oplandsareal, hvilket giver følgende udtryk for h.h.v. afløbstallet og det specifikke magasinvolumen.

$$a_r = \frac{Q_{\text{perk}}}{A_{\text{red}}} = \frac{K \cdot \ell \cdot h}{A_{\text{red}}} \quad (7.10)$$

$$V_r = \frac{V}{A_{\text{red}}} = \frac{\ell \cdot b \cdot h \cdot \phi}{A_{\text{red}}} \quad (7.11)$$

Karakteristik for faskinens geometri

Som det ses, afhænger afløbstallet af faskinens geometri og dermed af dens volumen. Den matematiske sammenhæng mellem de to parametre kan udtrykkes ved:

$$V_r = KAR \cdot a_r ; \quad KAR = \frac{b \cdot \phi}{K} \quad (7.12)$$

Ligning (7.12) danner optegnet i dobbeltlogaritmisk afbildning rette linier som det ses i figur 7.4. Ligningen karakteriserer faskinens geometri, og det er derfor naturligt at benævne disse linier *geometrikarakteristikker*. Hver linie i figuren svarer til en værdi af KAR.

Karakteristikmetode

I figur 7.4 er optegnet to kurveskarer, der skærer hinanden. Den ene består af *magasinkarakteristikker*, mens den anden udgøres af *geometrikarakteristikker*, og begge kurvetyper angiver en sammenhæng mellem faskiners specifikke magasinvolumen og afløbstal. Hvis begge kurvetyper kunne udtrykkes matematisk så simpelt som ligning (7.12), kunne dimensionering af faskiner foretages ved at løse to ligninger med to ubekendte. Da dette imidlertid ikke er tilfældet for de EDB-beregnete *magasinkarakteristikker*, må problemet løses grafisk ved at finde skæringspunktet mellem to karakteristikker.

Anvendelse af dimensioneringsdiagram

En faskine kan dimensioneres ved først at vælge en *magasinkarakteristik* i figur 7.4 svarende til den ønskede gentagelsesperiode for overbelastning. Dernæst vælges et passende tværsnit af rendefaskinen (b og h), og på baggrund af jordens hydrauliske ledningsevne og fyldmaterialets effektive porøsitet, beregnes størrelsen KAR i ligning (7.12). En *faskinekararakteristik* svarende til den beregnede værdi af KAR optegnes dernæst i figur 7.4, hvorefter a_r og V_r aflæses i skæringspunktet mellem kurverne. Til sidst beregnes den nødvendige længde af rendefaskinen ved hjælp af enten ligning (7.10) eller (7.11) som:

$$\ell = \frac{A_{red}}{K \cdot h} \cdot a_r = \frac{A_{red}}{b \cdot h \cdot \phi} \cdot V_r \quad (7.13)$$

Karakteristikker for andre faskinetyper

Ved hjælp af nøjagtigt de samme principper, som der her er redegjort for, kan karakteristikker som ligning (7.12) udledes for andre typer af faskiner, f.eks. kvadratiske eller cylindriske faskiner, og desuden faskiner, der er forsynet med afløbsrør i bunden.

7.3.4. Infiltrationsoverflader

Tilstrømning og infiltration

Ved beregning af tilstrømningen skal man huske at medregne arealet af selve infiltrationsoverfladen til oplandet:

$$Q = i \cdot A_{red} = i \cdot (A_i + A_p) \quad (7.14)$$

hvor A_p er arealet af den permeable overflade, og A_i er det reducerede areal af den impermeable overflade, der skal afvandes. Infiltrationen fra overfladen afhænger af infiltrationskapaciteten og af det permeable areal:

$$Q_{inf} = f \cdot A_p \quad (7.15)$$

Afløbstal for infiltrationsoverflader

Afløbstallet for en infiltrationsoverflade bliver da:

$$a_r = \frac{Q_{\text{inf}}}{A_{\text{red}}} = f \cdot \frac{A_p}{A_i + A_p} \quad (7.16)$$

Tilstrækkelig størrelse af det impermeable areal

Det grundlæggende princip for dimensionering af en infiltrationsoverflade er, at den skal kunne klare en bestemt dimensionsgivende regnintensitet, i_{dim} , uden at der står vand på overfladen. Princippet kan udtrykkes ved et krav til afløbstallet for overfladen:

$$a_r \geq i_{\text{dim}} \quad (7.17)$$

Har man et bestemt impermeabelt areal, der skal afvandes til en infiltrationsoverflade, kan dette krav omformuleres til et krav til størrelsen af det permeable areal ved at indsætte ligning (7.16):

$$f \cdot \frac{A_p}{A_i + A_p} \geq i_{\text{dim}} \Leftrightarrow A_p \geq A_i \cdot \frac{i_{\text{dim}}}{f - i_{\text{dim}}} \quad (7.18)$$

og det ses, at et absolut krav er, at infiltrationskapaciteten er større end den dimensionsgivende regnintensitet.

Valg af dimensionsgivende regnintensitet

Man kan overveje, hvilken dimensionsgivende regnintensitet, man skal vælge. Den mest hensigtsmæssige måde er at skønne afløbstiden for hele oplandet bestående af h.h.v. impermeabel og permeabel overflade. På baggrund af denne og en ønsket gentagelsesperiode for overbelastning kan den dimensionsgivende regnintensitet svarende til den ønskede gentagelsesperiode findes ved hjælp af regnrækkerne vist i figur 7.1.

Nødvendigt magasinvolumen

Når der af forskellige grunde ikke er mulighed for at overholde kravet i ligning (7.18), må man sørge for, at der på overfladen midlertidigt er plads til at opmagasinere det vand, der ikke infiltrerer med det samme. På baggrund af overfladens afløbstal kan det nødvendige magasineringsvolumen, $V_{r,\text{nodv}}$, aflæses af figur 7.4 (kun magasinkarakteristikkerne anvendes), og man må så evt. ved at udnytte faldforholdene sørge for plads til vandmængden:

$$V_{\text{nodv}} = V_{r,\text{nodv}} \cdot A_r = V_{r,\text{nodv}} \cdot (A_i + A_p) \quad (7.19)$$

og desuden skal der sørges for, at denne vandmængde kan infiltrere eller løbe bort inden for en rimelig tid.

Målinger hvis muligt

7.3.5. Fastsættelse af jordparametre

Dimensionering af nedsivningsanlæg tager altid udgangspunkt i *slutværdien* af h.h.v. jordens infiltrationskapacitet eller hydrauliske ledningsevne, hvilket svarer til vandmættede forhold i jorden. Af denne grund er det vigtigt at have et så godt mål som muligt for jordparametrene, og det er derfor en fordel at udføre målinger på den aktuelle lokalitet for at få et overblik over jordparametrenes størrelse og den lokale variation.

Statistisk fordeling af jordparametre

Det er almindeligt accepteret, at jords infiltrationskapacitet og hydrauliske ledningsevne varierer meget selv inden for korte afstande, og at man bedst kan beskrive denne variation med en logaritmisk normalfordeling. Vælger man at dimensionere efter middelværdien af måleværdier, skal man dog være klar over den statistiske usikkerhed, dette involverer. Middelværdien svarer til, at der er en sandsynlighed på 50% for, at den pågældende jordparameter er mindre end dette tal, og at anlægget derfor ikke vil fungere efter hensigten (gentagelsesperioden for overbelastning vil være mindre). Vælger man at dimensionere efter en mindre værdi, opnår man tilsvarende en større sandsynlighed for, at anlægget vil fungere. I Sverige har man vedtaget, at dimensionere efter jordparametre svarende til 80%-fraktilen i en statistisk fordeling, hvilket svarer til 80% sandsynlighed for, at anlægget fungerer efter hensigten.

Overlagsmæssig bedømmelse af jordparametre

Måleværdierne fra den i afsnit 5.4 omtalte sammenstilling af infiltrationskapacitet og hydraulisk ledningsevne, målt på forskellige lokaliteter i Sverige, er blevet statistisk bearbejdet (Ericsson 1982), og resultaterne for infiltrationskapacitet kan ses i tabel 7.1. De oprindelige målinger er alle foretaget i Sydsverige, og de svarer derfor formentlig meget godt til danske forhold. Tabellen kan benyttes til at skønne infiltrationskapaciteten for overflade, når direkte måling ikke er mulig. Bearbejdning af måleværdier af hydraulisk ledningsevne gav ikke et så klart resultat, at tilsvarende tabelværdier kunne opstilles.

Valg af dimensionsgivende jordparameter

I tabel 7.2 er anført, hvordan valget af dimensionsgivende jordparameter kan foretages på baggrund af forskellig detaljeringsgrad af datagrundlag. Tabellen svarer til anbefalingerne i den svenske LAR-anvisning (VAV 1983), og princippet om 80%-fraktilen i en statistisk fordeling som dimensionsgivende jordparameter er forsøgt fulgt.

Tabel 7.1.

Overlagsmæssig bedømmelse af infiltrationskapacitetens størrelse. Resultater fra (Lindblad 1981), bearbejdet af Ericsson (1982).

Jordart	Type	Infiltrationskap. f ($\mu\text{m/s}$)	
		$p = 0,5$	$p = 0,8$
Sand	Oprindelig	13,1	5,6
Silt	Oprindelig	18,9	8,9
Ler	Anlagt	7,5	2,2
Moræne	Anlagt	1,1	0,3
Muldjord (> 10 cm)	Anl. + opr.	6,9	2,2

Med *anlagt* menes en jord, som er bearbejdet og forandret af mennesker, f.eks. græsplæner.

Tabel 7.2.

Fastsættelse af dimensionsgivende jordparametre for nedsivningsanlæg ved forskellig detaljeringsgrad af datagrundlag. Anbefalinger i (VAV 1983).

Tilgængelige data	Infiltrationskapacitet	Hydraulisk ledningsevne
Ingen (overslagsber.)	Skøn ud fra tabel 7.1 eller geologiske basisdatakort 80%-fraktil eller $f_{skøn} / 3$	Skøn ud fra tabel 5.1 eller geologiske basisdatakort $K_{skøn} / 3$
En måling	$f_{målt} / 3$	Prøvehul: $K_{målt} / 2$ Sigtekurve: $K_{målt} / 3$
Flere målinger	80%-fraktil	80%-fraktil

Gældende praksis

7.3.6. Gentagelsesperiode og aflastningsmuligheder

De traditionelle gentagelsesperioder for dimensionering af afløbssystemer er h.h.v. to år (fællessystemer) og ét år (separatsystemer). Som tidligere omtalt svarer den nuværende dimensioneringsregel for stenfaskiner ved parcelhuse til gentagelsesperioden 2 år, og det er derfor nærliggende også at anvende denne værdi, indtil bedre grundlag er etableret.

Sammenhæng med aflastningsmuligheder

Til sammenligning kan nævnes, at i England anbefales faskiner dimensioneret for gentagelsesperioden 10 år med begrundelsen, at der typisk ikke er andre aflastningsmuligheder end husets egen kælder, (BRE 1991). Der er imidlertid mange muligheder at udforme LAR-anlæg på i samspil med de naturlige forudsætninger, og afhængigt af lokaliteten er der mange muligheder for bortskaffelse af vandet i overbelastningstilfælde.

Vurdering i det enkelte tilfælde

Er en faskine f.eks. forsynet med nødoverløb til et eksisterende afløbssystem med tilstrækkelig kapacitet, kan den dimensioneres for en ganske lille gentagelsesperiode, og i andre tilfælde kan man tænke sig en tilsvarende lav gentagelsesperiode, hvis overløbsvand kan ledes til naturlige lavninger i terænet, hvor det ikke gør væsentlig skade. Omvendt må man anvende en stor gentagelsesperiode, hvis overbelastninger har katastrofale konsekvenser. Det er vigtigt i hvert enkelt tilfælde at vurdere de lokale forhold m.h.t. fastsættelse af gentagelsesperioden for overbelastning af anlæg til lokal afledning af regnvand.

7.4. Beregningsniveauer ved dimensionering af nedsivningsanlæg

Som nævnt afhænger dimensionering af nedsivningsanlæg stærkt af de dimensionsgivende jordparametre. I nogle tilfælde kan disse undersøges via feltmålinger, mens der i andre ikke er økonomisk mulighed herfor. Af denne grund kan dimensioneringen inddeles i et

antal beregningsniveauer, der kan anvendes afhængigt af det foreliggende datagrundlag, anlæggets størrelse og projektets økonomi. I tabel 7.3 er angivet 3 beregningsniveauer, der i det følgende kommenteres.

Tabel 7.3.

Beregningsniveauer ved dimensionering af nedsivningsanlæg.

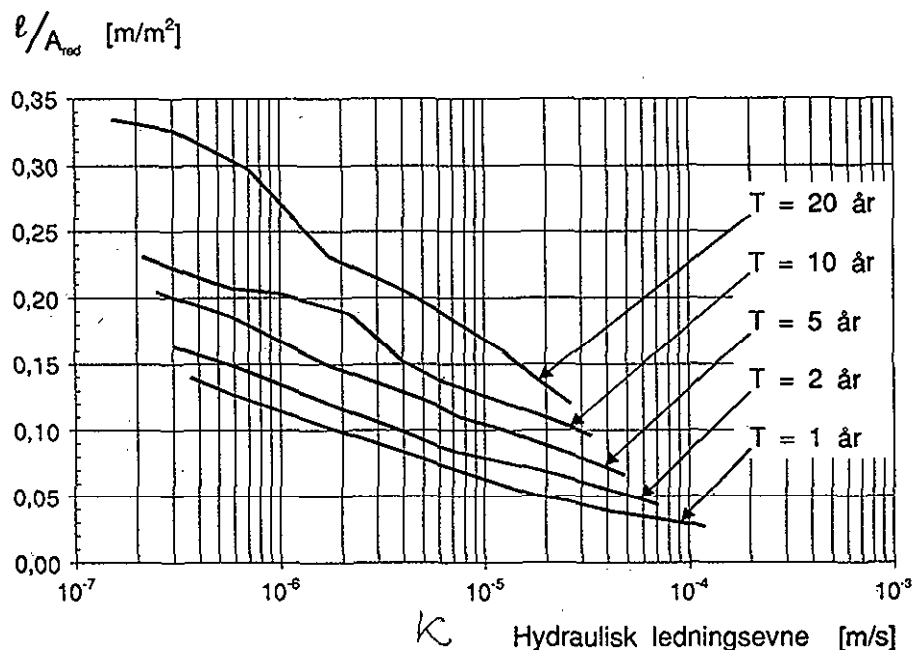
Niveau 1	Små anlæg i forbindelse med parcelhuse og mindre bebyggelse
Niveau 2	Dimensionering af større anlæg på baggrund af skønnede eller målte jordparametre
Niveau 3	Måling af jordparametre og udførelse af pilot-anlæg. Anvendelse af EDB-modeller

Tabel 7.4.

Pointsætning af dimensionsgivende faktorer ved overslagsmæssig bedømmelse af mulighederne for at infiltrere regnvand på vegetationsoverflader. Efter (Alm et al. 1982) og (VAV 1983).

1) Forholdet mellem impermeabelt og permeabelt areal:	
$A_p > 2 A_i$	20 p
$A_i < A_p < 2 A_i$	10 p
$0,5 A_i < A_p < A_i$	5 p
2) Humusjordens art:	
Basis af moræne eller sand	7 p
Basis af moræne eller grovsilt, måleligt humusindhold	5 p
Basis af ler eller finsilt, højt humusindhold	0 p
3) Underliggende mineraljord:	
Grus og sand eller grusede og sandede moræner	7 p
Siltrige moræner eller grovsilt	5 p
Moræneler, finsilt eller ler	0 p
4) Overfladens hældning:	
$I \leq 7\%$	5 p
$7\% < I < 20\%$	3 p
$I \geq 20\%$	0 p
5) Typen af vegetation:	
Naturlig beplantning, skov eller eng	5 p
Anlagt græsplæne	3 p
Anlagt græsplæne, nyanlagt	0 p
6) Overfladens anvendelse:	
Ubetydelig slitage	5 p
Middel slitage	3 p
Hård slitage	0 p
Mere end 30-35 p:	Overfladen kan bortlede alt det tilladte vand
Mere end 25 p:	Gode forudsætninger for infiltration
15-25 p:	Mindre gode forudsætninger for infiltration
Mindre end 15 p:	Overfladen er i praksis tæt

Bedømmelse efter tabellen forudsætter, at højeste grundvandsniveau ligger mindst 0,5 m under jordoverfladen. (Svenske forhold).



Figur 7.5.

Dimensioneringsdiagram for rendefaskiner i forbindelse med mindre bebyggelse (beregningsniveau 1). Gælder for $h = 1,0$ m, $b = 0,5$ m og $\phi = 0,35$.

Simple metoder påkrævet

7.4.1. Beregningsniveau 1: Små anlæg

Langt de fleste nedslivningsanlæg er små anlæg i tilknytning til parcelhuse eller anden mindre bebyggelse. Til sådanne anlæg er omfattende måleprogrammer og beregninger urealistiske, hvorfor forsimplerede metoder er udarbejdet.

Infiltrationsoverflader

I skemaet gengivet i tabel 7.4 pointsættes en række faktorer, der har betydning for, om en overflade kan anvendes til infiltration af regnvand. Skemaet kan benyttes til at vurdere mulighederne for infiltration af vand gennem vegetationsoverflader. Hvis mere end 30-35 points opnås, kan overfladen bortlede alt vand, men hvis vurderingen ikke er tilfredsstillende, må et højere beregningsniveau benyttes, eller alternativet med faskiner i jorden må overvejes.

Faskiner

På baggrund af dimensioneringsdiagrammet i figur 7.4 er udarbejdet et forsimpleret standarddiagram for faskiner, se figur 7.5. Diagrammet er udarbejdet for rendefaskiner, der er 1 m dybe, 0,5 m brede, og hvor fyldmaterialet har en porøsitet på 35%. Jordens hydrauliske ledningsevne må skønnes, og på baggrund af en valgt gentagelsesperiode for overbelastning, kan forholdet mellem faskinens længde og det reducerede oplandsareal aflæses af diagrammet.

Niveau 2: Overslagsberegninger

7.4.2. Beregningsniveau 2-3: Større anlæg

Overslagsberegninger på baggrund af skønnede jordparametre kan være nødvendige som indledende vurdering af forskellige alternativer til regnafledning. Infiltrationsoverflader med vegetation bør først vurderes ud fra tabel 7.4. Overslagsberegninger udføres med

diagrammer svarende til figur 7.1 og 7.4 på baggrund af skønnede jordparametre, og der udføres evt. sensitivitetsanalyse.

Niveau 2:
Målte jordparametre

Den eneste forskel fra overslagsberegninger er, at detaillimensionering udføres på baggrund af målte jordparametre. Hvor mange målinger, der i det enkelte tilfælde kræves, afhænger helt af, hvor kompleks og varieret den lokale geologi er.

**Niveau 3: Pilotanlæg
& EDB-modellering**

En mere præcis dimensionering kan gennemføres ved først at gennemføre detaillimensionering på baggrund af målte jordparametre. Herpå udføres en del af anlægget (f.eks. en faskinestrækning) som et pilotanlæg, og det kontrolleres, om anlægget overholder funktionskravene f.eks. ved et praktisk forsøg kombineret med EDB-modellering. Der henvises til baggrundsrapporten om dimensionering for detaljer vedr. dette.

7.5. Praktiske beregningseksempler

Problemstilling

7.5.1. Parcelhusfaskine

Tagvandet fra et parcelhus skal afvandes til en faskine i haven. Tagfladen udgør i alt 70 m^2 , fyldmaterialets porøsitet er 32%, og jordens består af fint sand med $K = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (svarende til 80%-fraktilen jf. tabel 7.2). Gentagelsesperioden for overbelastning sættes til $T = 2$ år.

Beregningsniveau 1

Faskinen kan mest enkelt dimensioneres ved hjælp af figur 7.5, der gælder for rendefaskiner med et tværsnitsareal på $b \cdot h = 0,5 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m}$ og $\phi = 0,35$. Aflæsning giver:

$$\frac{\ell}{A_{\text{red}}} = 0,055 \text{ m/m}^2 \Rightarrow \ell = 70 \text{ m}^2 \cdot 0,055 \text{ m/m}^2 = 3,85 \text{ m}$$

og faskinens bruttovolumen er:

$$V_b = 3,85 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \approx 1,92 \text{ m}^3$$

SBI-anvisning 96

Dimensioneres faskinen i stedet som angivet på figur 7.2, d.v.s. som en rendefaskine med et tværsnitsareal på $b \cdot h = 0,4 \text{ m} \cdot 0,95 \text{ m}$, fås:

$$\ell = \frac{0,35 \text{ m}}{5 \text{ m}^2} \cdot 70 \text{ m}^2 = 4,90 \text{ m}$$

$$V_b = 4,90 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 0,95 \text{ m} \approx 1,86 \text{ m}^3$$

Volumenet af faskinen er altså omtrent det samme i begge tilfælde, hvilket imidlertid kun skyldes den givne værdi af K .

Beregningsniveau 2

Faskinen kan også dimensioneres ved hjælp af de i afsnit 7.4.2 angivne principper. Med et faskinetværsnit som i figur 7.2 og $\phi = 0,32$ bliver størrelsen af konstanten i ligning (7.12):

$$KAR = \frac{b \cdot \phi}{K} = \frac{0,4 \text{ m} \cdot 0,32}{4,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}} \approx 3 \cdot 10^3 \text{ s}$$

Ved aflæsning af skæringspunktet mellem denne geometrikarakteristik og magasinkarakteristikken for $T = 2$ år i figur 7.4 fås $a_r = 2,8 \mu\text{m/s}$ og $V_r = 8,4 \text{ mm}$, hvilket giver (se lign. 7.13):

$$\ell = \frac{A_{\text{red}}}{K \cdot h} a_r = \frac{70 \text{ m}^2}{4,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \cdot 0,95 \text{ m}} 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \approx 4,9 \text{ m}$$

$$\ell = \frac{A_{\text{red}}}{b \cdot h \cdot \phi} V_r = \frac{70 \text{ m}^2}{0,40 \text{ m} \cdot 0,95 \text{ m} \cdot 0,32} 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 4,8 \text{ m}$$

I dette tilfælde fås altså præcist det samme resultat som dimensionering efter SBI-anvisning 96 giver, hvilket selvfølgelig igen skyldes den givne værdi af K ($4,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$).

Afhængighed af K

Faskinevoluminets afhængighed af den dimensionsgivende hydrauliske ledningsevne kan ses direkte af figur 7.5. Havde K fx været 10 gange mindre ($4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$), var resultatet blevet:

$$\frac{\ell}{A_{\text{red}}} = 0,096 \text{ m/m}^2 \Rightarrow \ell = 70 \text{ m}^2 \cdot 0,096 \text{ m/m}^2 = 6,72 \text{ m}$$

$$V_b = 6,72 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} = 3,36 \text{ m}^3$$

D.v.s faskinens bruttovolumen havde været $(3,36-1,92) \cdot 100/1,92 = 75\%$ større. Det må på denne baggrund konkluderes, at størrelsen af jordens hydrauliske ledningsevne er af afgørende betydning ved dimensionering af faskiner.

Problemstilling

7.5.2. Regnafledning til nyanlagt græsplæne

Tagvandet fra et 200 m^2 stort kontorhus ønskes udledt og nedsivet på en 350 m^2 græsplæne, der tænkes anlagt foran huset og ikke skal benyttes til rekreative formål. Huset ligger på en skråning, og grunden, der er temmelig ujævn med mange små lavninger og bakketoppe, hælder gennemsnitligt 10% . Jorden består af moræneler, og muldlaget iblandes sand for at øge græsplænenes infiltrationskapacitet, specielt i de første år efter etableringen. Da bygherren blev gjort bekendt med, at regnvandet skulle nedsives, krævede han, at der aldrig må stå vand på grunden i længere tid.

Beregningsniveau 2: Overslagsberegninger

Først vurderes græsplænen ud fra tabel 7.4. Pointene for hver kategori er som angivet i tabel 7.5, og der opnås i alt 25 points, hvilket betyder, at der er rimelige forudsætninger for infiltration, men at man ikke kan være sikker på, at alt regnvand kan infiltrere umiddelbart.

Dimensionsgivende infiltrationskapacitet

Iflg. tabel 7.1 er infiltrationskapaciteten for en anlagt græsplæne $0,3 \mu\text{m/s}$ (80%-fraktilen).

Tabel 7.5.

Vurdering af græsplænen i afsnit 7.5.2 som infiltrationsoverflade på baggrund af skemaet i tabel 7.4.

Kategori	Overfladens egenskaber	Points
1) Arealforhold	$A_i < A_p < 2 \cdot A_i$	10 p
2) Humuslag	Sandet muldjord	7 p
3) Mineraljord	Moræneler	0 p
4) Hældning	$I = 10\%$	3 p
5) Vegetation	Nyanlagt græsplæne	0 p
6) Anvendelse	Ubetydelig slitage	5 p
		25 p

*Magasineringsvolumen
er nødvendigt*

Afløbstiden for hele oplandet bestående af tag plus græsplæne er formentlig ikke stor (5-10 min). På grund af bygherrens krav til vand på grunden vælges $T = 10$ år, og figur 7.1 giver da $i_{dim} = 22-29 \mu\text{m/s}$. Afløbstallet for græsplænen er:

$$a_r = f \frac{A_p}{A_i + A_p} = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \frac{350 \text{ m}^2}{200 \text{ m}^2 + 350 \text{ m}^2} \approx 0,19 \mu\text{m/s}$$

Da $a_r \ll i_{dim}$ kan denne kraftige nedbørsintensitet ikke infiltrere umiddelbart, og der må sørges for et magasineringsvolumen til opbevaring af regnvandet, inden det infiltrerer.

Af figur 7.4 aflæses $V_r = 21 \text{ mm}$ for $(a_r, T) = (0,19 \mu\text{m/s}, 10 \text{ år})$, d.v.s. der skal skaffes plads til vandmængden:

$$V = V_r \cdot A_{red} = 0,021 \text{ m} \cdot 550 \text{ m}^2 = 11,55 \text{ m}^3$$

En mulighed er at udnytte lavningerne i græsarealet, og sørge for at de er i stand til at opmagasinere denne vandmængde. Evt. skal der suppleres med dræn, så de tømmes rimeligt hurtigt. En anden mulighed kunne være at etablere en kunstig sø med ekstra magasin-volumen på grunden.

*Beregningsniveau 3:
Måling af infiltrations-
kapacitet*

For at kontrollere dimensioneringen kunne udføres et antal infiltrationsmålinger på græsplænen, efter den er anlagt. Disse målinger vil repræsentere minimumsværdier af plæns infiltrationskapacitet, da jorden i starten er komprimeret p.g.a. bearbejdning under anlæggelse og evt. i forbindelse med byggeriet. I løbet af nogle år vil smådyr og græsrødder imidlertid øge infiltrationskapaciteten.

8. Anlægstyper

Formål med LAR-anlæg

Formålet med LAR-anlæg er at begrænse eller forsinke regnvandsafstrømningen fra et område mest muligt. Ved planlægning og projektering af LAR-anlæg bør følgende grundregler benyttes:

1. Udnyt først mulighederne for infiltration fra overfladen
2. Udnyt derefter jordens evne til at magasinere og bortlede vandet fra faskiner
3. Når andet ikke er muligt, forsinkes og udjævnes afstrømningen så meget som muligt - både på overfladen, i faskiner og i bassiner - og føres derefter til ledningsnet.

8.1. Infiltration fra overfladen

Græsarealer

Den enkleste form for regnvandsafledning er at lede vandet ud på en bevokset eller græsklædt overflade og lade det sive ned.

I tørre perioder vil en stor del af nedbøren tilbageholdes i de øverste jordlag, og en del fordamper. Resten strømmer gennem jorden ned mod grundvandet.

Når regnvandet ledes ud over bevoksede arealer, skal man sikre sig, at bevoksningen ikke eroderes bort under kraftige regnskyl. Faren er størst ved nyanlagte græsarealer, hvor væksten først rigtig har fat efter 1-2 år.

Beskyttelse kan fx bestå i:

- at sprede regnvandsudledningen mest muligt
- at lægge en semipermeabel belægning mellem græsset og de impermeable arealer
- at sprede vandet bedre ved hjælp af render.

Infiltrationsoverflader bør anlægges med fald. Små fald ($< 7 \text{ ‰}$) bør kun vælges, hvor jordbunden består af materialer med god permeabilitet. Jo mindre faldet på overfladen er, jo bedre er fladen til at forsinke og opmagasinere vandet. Hvis jordbunden ikke er tilstrækkelig permeabel, opstår der fare for opblødning af jorden. Derfor bør infiltrationsflader over fx lerjord anlægges med større fald ($7 - 20 \text{ ‰}$). Fald over 20 ‰ bør dog ikke forekomme.

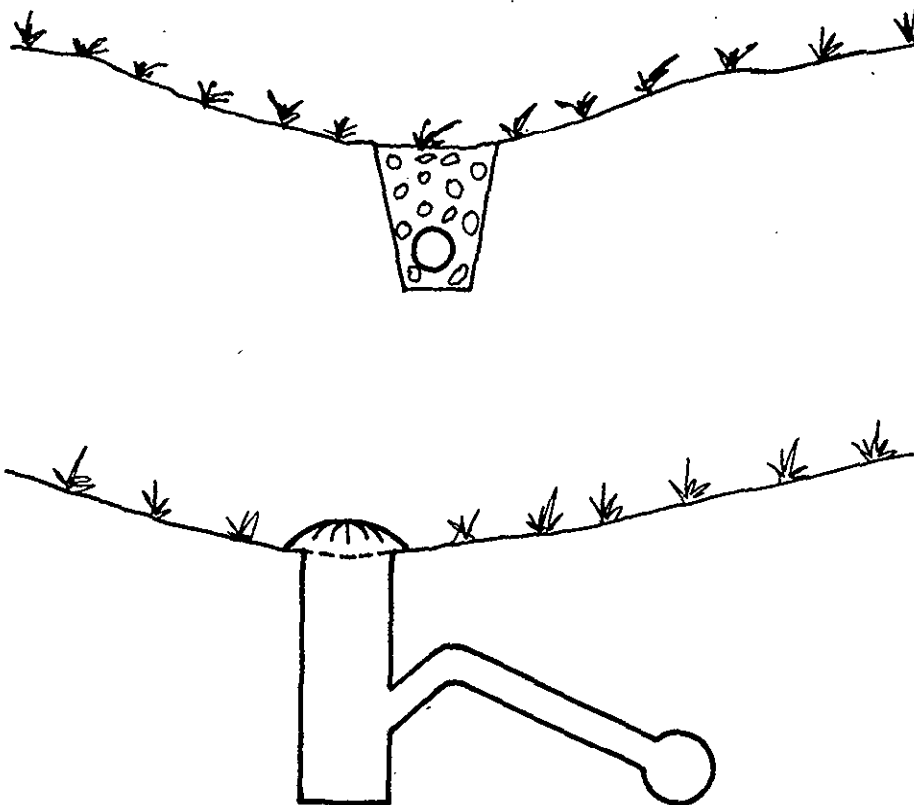
Overskudsvandet, som ikke umiddelbart kan infiltrere fra overfladen, vil samle sig i lavninger i terrænet. Hvis det kan accepteres, at

der i perioder står vand over terræn, kan man fx i disse lavninger plante træer med stort vandforbrug fx pil eller poppel.



Figur 8.1.
Overskudsvand forsinkes i lavninger i terræn.

Hvis det ikke kan accepteres, at der med mellemrum står vand over terræn, må dette vand fjernes. Dette kan enten ske ved, at lavninger afdrænes med stenkister med eller uden dræn, eller også kan man sætte nedløbsbrønde med tilslutning til afløbs- eller drænledning.



Figur 8.2.

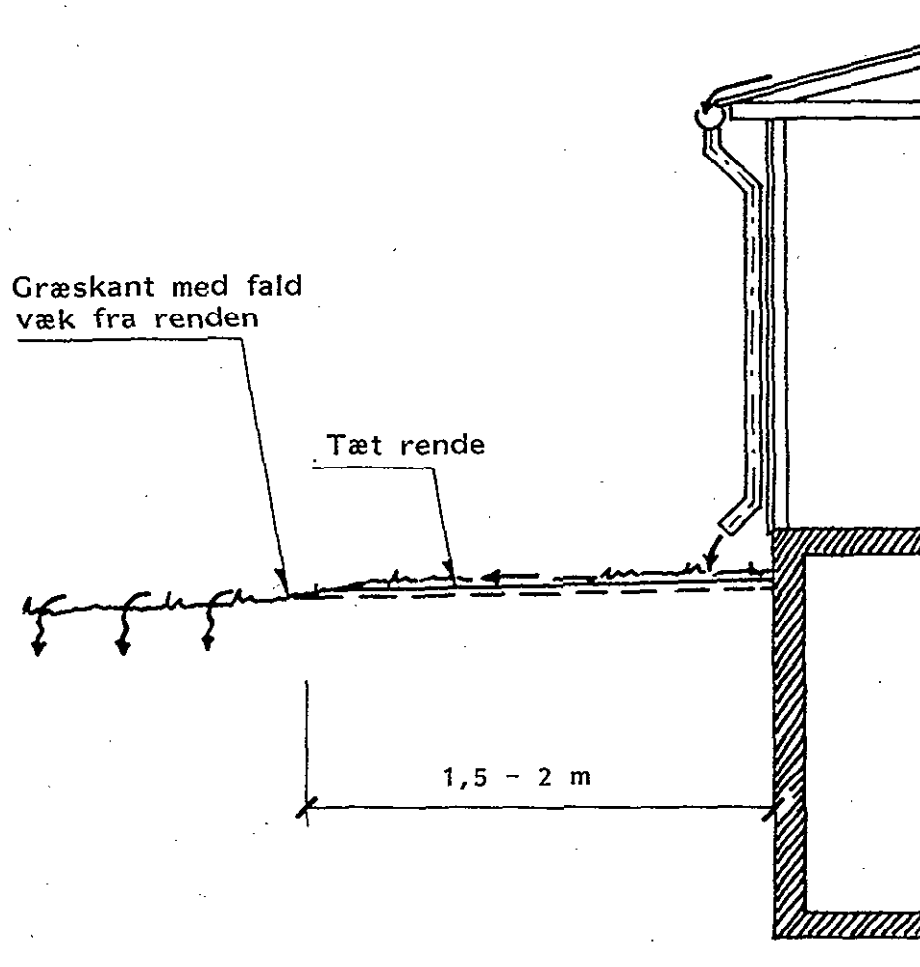
Lavninger kan afvandes enten gennem dræn eller direkte til afløbs-system.

8.1.1 Tagvand

Udkastere

Tagvand kan afledes gennem udkastere og ledes til bevoksede arealer, der ligger mindst 2 meter væk fra bygningen.

Arealerne rundt om huse skal have fald bort fra huset for at forhindre vandindtrængen i kældere eller fundamenter



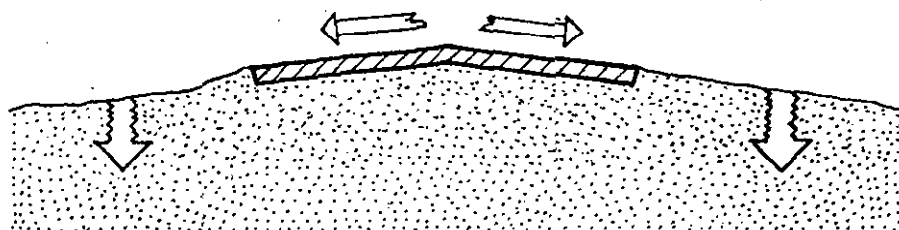
Figur 8.3

Tagvand udledes via udkastere til en tæt rende og derefter til et græsareal.

Rabatter

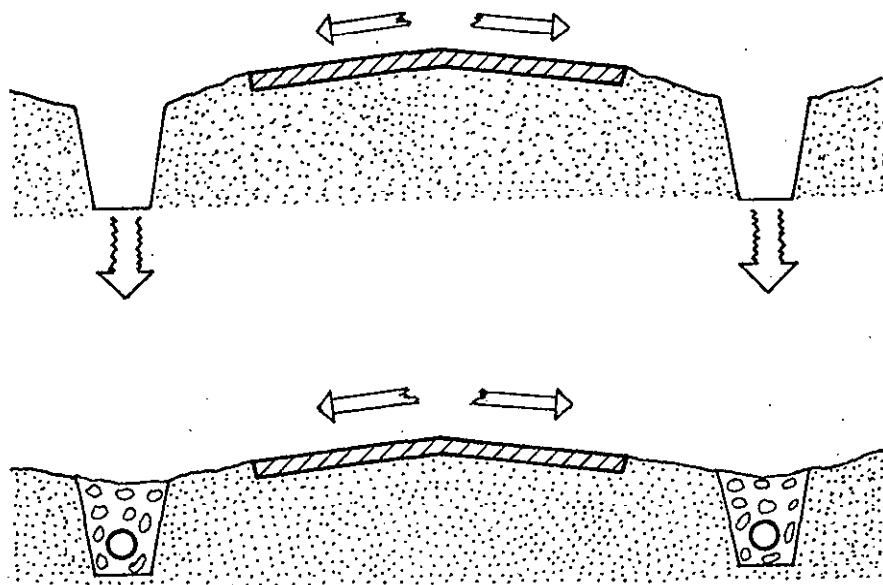
8.1.2. Vejafvanding

Afstrømning fra veje og pladser kan ledes til grønne rabatter, hvor det kan sive ned. De befæstede arealer skal have fald ud mod det omliggende terræn, og de må ikke afgrænses af kantsten og lignende, som vil tilbageholde vandet på arealerne.



Figur 8.4.

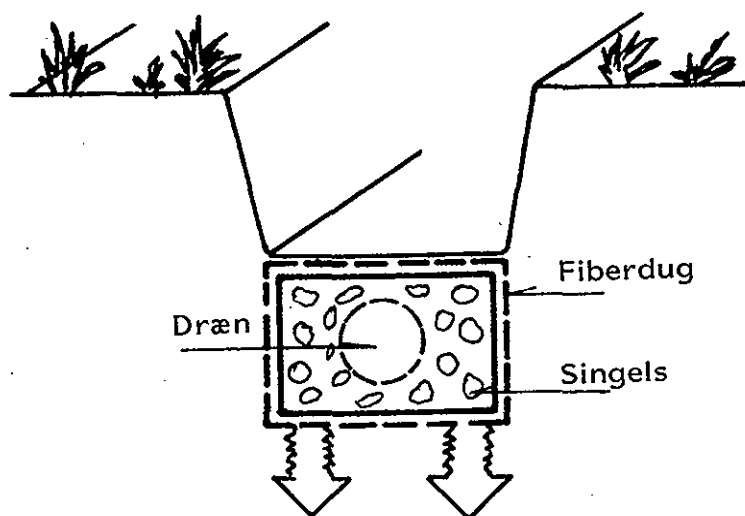
Afvanding af veje til rabatter.



Figur 8.5.
Afvanding af veje til grøfter

Grøfter

Hvis der er tale om store arealer, der skal afvandes til mindre rabatter, kan man anlægge grøfter i rabatterne. Bortledningen fra grøfterne sker ved nedsivning og fordampning, og eventuelt overskudsvand ledes til en nærliggende recipient.



Figur 8.6.
Grøft med drænledning i bunden.

Dræn

Grøfter kan også forsynes med stenkister eller drænledninger i bunden, så vandet forsinkes. Stenkister og dræn skal beskyttes mod indtrængning af jordpartikler ved hjælp af fiberdug.

Drænasfalt

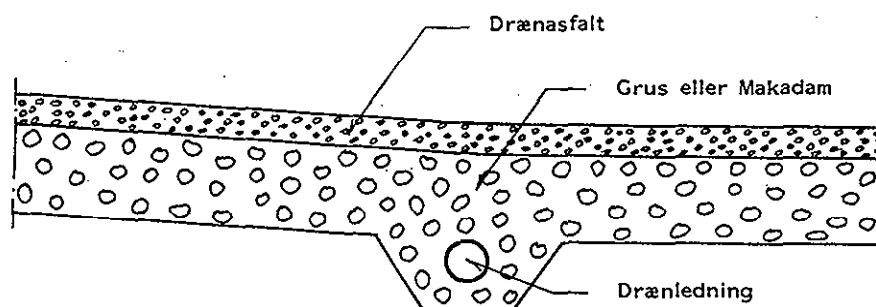
I forbindelse med veje og parkeringspladser findes der en anden mulighed for at forsinke afstrømningen, nemlig anvendelse af dræn-

asfalt. Drænasfalt er en asfalt med porøsitet på 15 - 25%. Ved drænasfalt siver vandet hurtigt væk fra overfladen og opmagasineres midlertidigt i selve belægningen og i bærelaget under asfalten.

Drænasfalt er en god løsning på parkeringspladser, hvor belastningen ikke er så stor. Drænasfalts bæreevne ved tunge belastede veje er endnu ikke tilstrækkeligt belyst.

Som ved traditionel vejbygning skal man sørge for at få vandet væk fra råjordens overside så hurtigt som muligt, fordi vand i bløde morænejorde kan give sætninger.

Hvis man vil anvende drænasfalt, kan man overveje en anden vejopbygning end den traditionelle. Fx kan man under drænasfalten anlægge en *ekstra* faskine opbygget af de stenfraktioner, der normalt bliver i overskud i grusgrave, der leverer råmateriale til fx betonproduktion m.v. Bæreevnen af denne ekstra vejunderbygning skal naturligvis være i orden. Under denne ekstra faskine skal der sørges for en ordentlig afdræning, hvis jordbunden ikke kan tåle nedsivning.



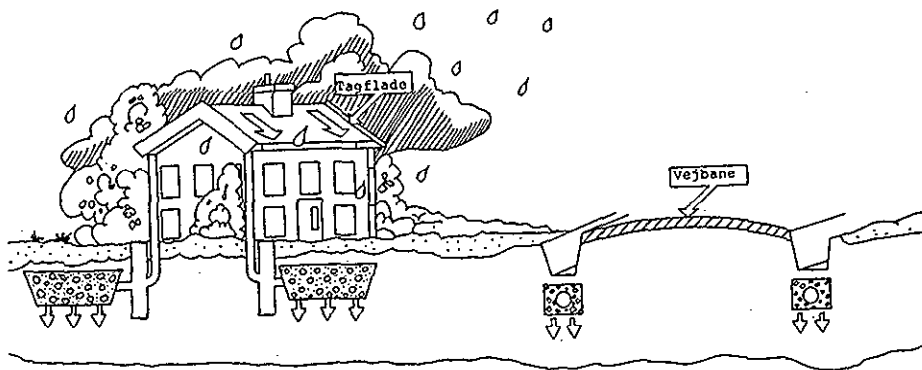
Figur 8.7.

Drænasfalt, hvor vandet opmagasineres, siver langsomt ned og ledes til de underliggende dræn.

8.2. Perkolation

Overfladevand fra store, sammenhængende tætte flader, fx tagflader på industribygninger, store parkeringspladser og vejarealer kan være vanskelige at aflede ved infiltration. I tæt bebyggede områder udnyttes de grønne områder ofte intensivt til rekreative formål, og derfor er det vanskeligt at inddrage disse områder til infiltration.

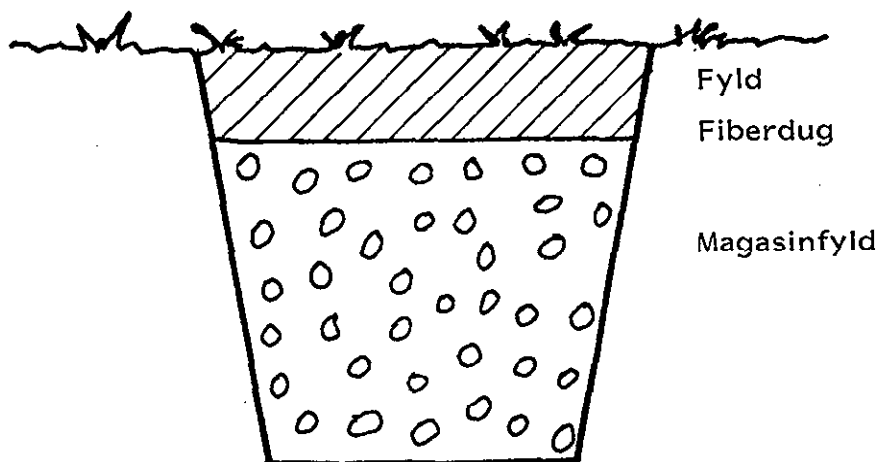
anlæg, *faskiner*, hvorfra der sker perkolation. En forudsætning for denne anlægstype er, at jordlagene er egnede til nedsivning, og at grundvandsstanden ligger mindst 1 meter under bunden af faskinen.



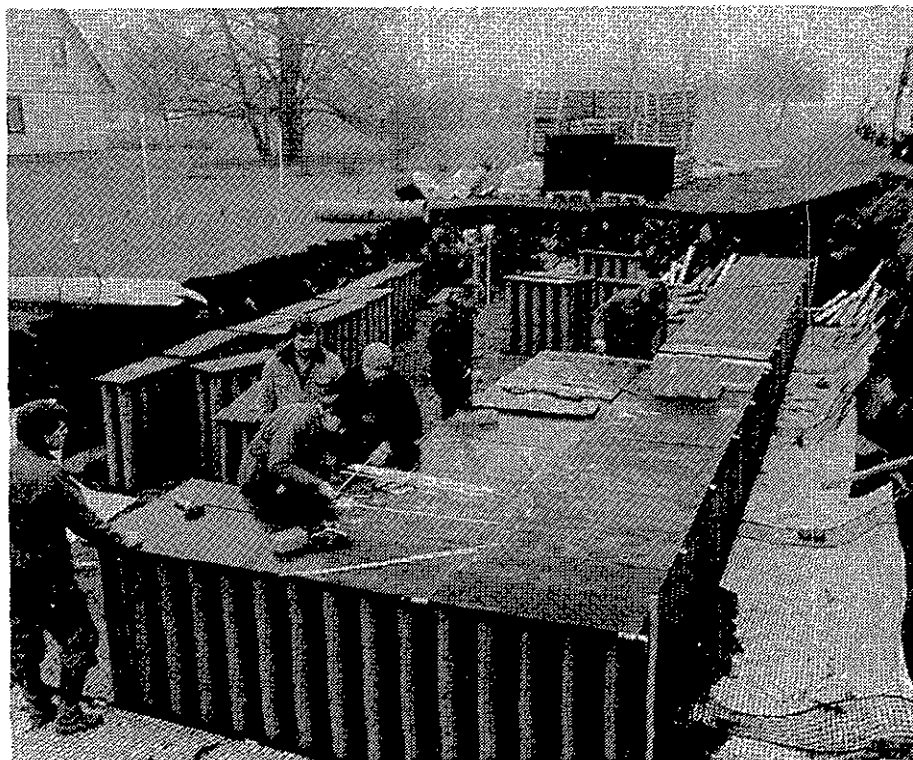
Figur 8.8.
Perkolation af regnvand fra faskiner.

Før vandet ledes til faskine skal det passere et sandfang, der så vidt muligt fjerner både sand og suspenderet stof. Hvis vandet kan være forurenet med olie, skal dette også fjernes, inden vandet ledes til faskinen.

En faskine er et hul i jorden, der fyldes med et materiale med så stor en hulrumsprocent som muligt. Sædvanligvis anvender man singels. Singels har kun en lille hulrumsprocent og dermed kun et lille magasineringsvolumen. Et alternativ kan være, at nedsivningsanlægget opbygges af kassetter bestående af lodretstående perforerede plastrør, som holdes sammen med *låg* og *bund*. Anlægget indpakkes i fiberdug, som sikrer mod indtrængen af jord.



Figur 8.9.
Principopbygning af en faskine.



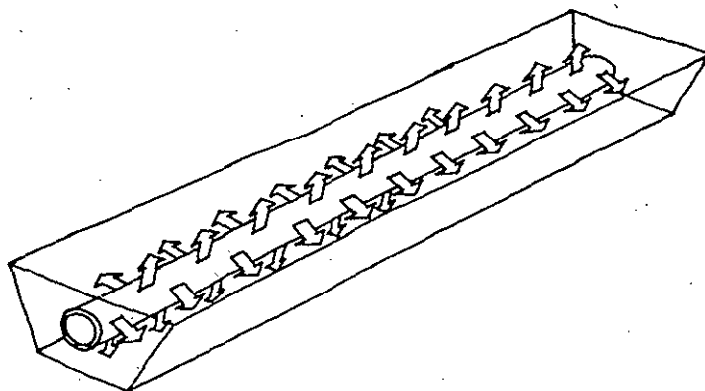
Figur 8.10
Faskine opbygget af kassetter.

Faskinens form

Det er vanskeligt via sandfang af fjerne alt suspenderet stof fra regnvandet. Faskinens bund vil derfor stoppe til efter nogen tid. Faskiner skal derfor udformes, så sidefladerne, hvor udsivningen sker, er så store i forhold til faskinens volumen som muligt. Dette medfører, at lange smalle faskiner er bedre end rektangulære.

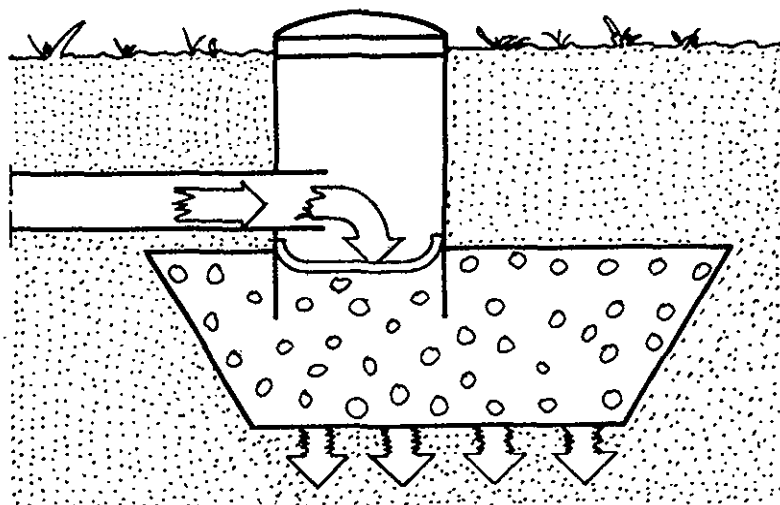
Fordeling af vand

For at udnytte faskinens magasineringsvolumen så godt som muligt, skal vandet hurtigt fordeles ud over hele faskinen. Dette medfører, at langstrakte faskiner skal forsynes med fordelerrør.

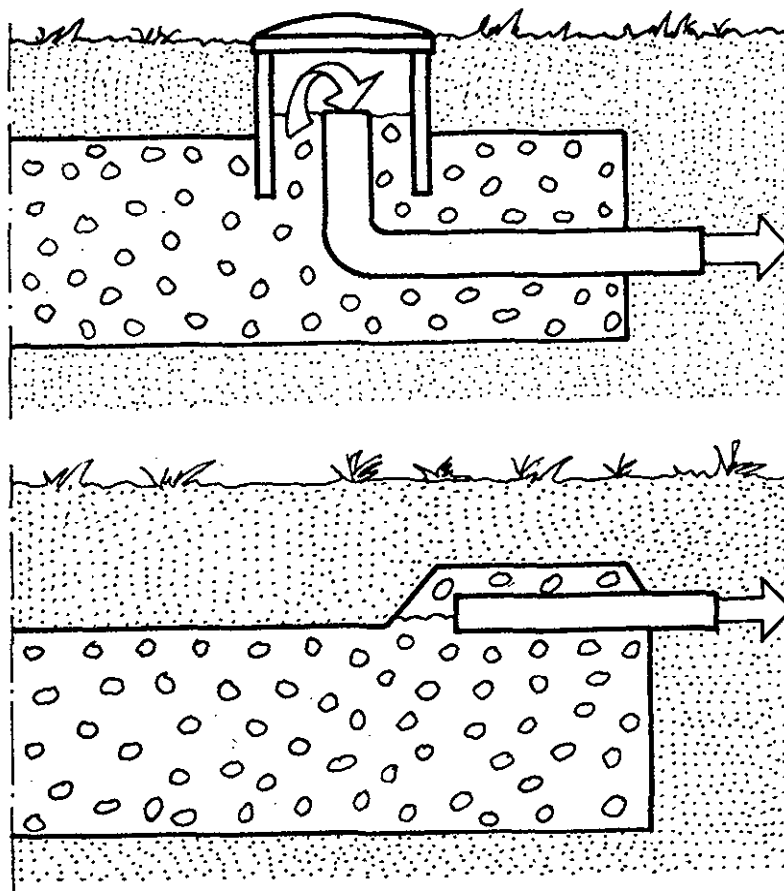


Figur 8.11.
Vandet skal fordeles over hele faskinens areal.

Fordelingen kan også ske ved, at en tilløbsbrønd uden bund placeres midt i faskinen. Vandet fordeles ud i faskinen gennem brønbunden.



Figur 8.12.
Fordeling gennem brønd midt i faskinen.



Figur 8.13.
Faskiner forsynet med nødoverløb.

Overløb

Hvis jordbunden ikke er helt velegnet til nedsivning af regnvand, bør faskinen forsynes med et nødoverløb. På denne måde sikrer man sig mod uhensigtsmæssige skader ved overbelastning af faskinen. Aflastning kan ske til eksisterende kloaksystem, til grøfter eller bare til omgivende terræn, hvor dette er muligt.

8.3. Forsinkelse og udjævning

I områder, hvor terræn- eller jordbundsforhold gør nedsivning vanskelig, skal LAR-anlæg udformes, så regnvandsafstrømningen i så vid udstrækning som muligt forsinkes og udjævnes.

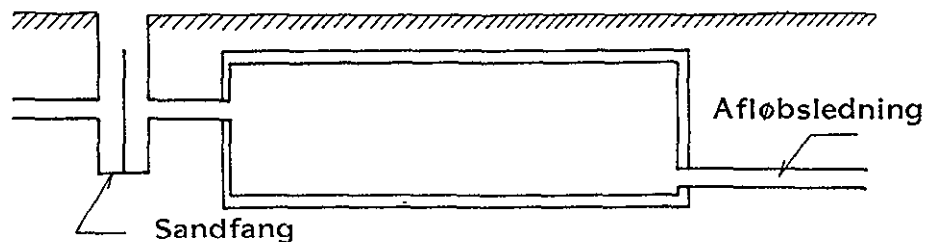
Bassiner

Overfladevandet kan ledes til åbne bassiner eller lukkede underjordiske bassinanlæg. Et åbent bassin kan være et naturligt vandhul eller et anlagt bassin. Et lukket bassin kan være støbt på stedet i beton eller bygget op af rør og brønde. For at undgå forurening og bundfældning i bassinet anbringes sandfang og eventuel olieudskiller på tilløbsledningen.



Figur 8.14.

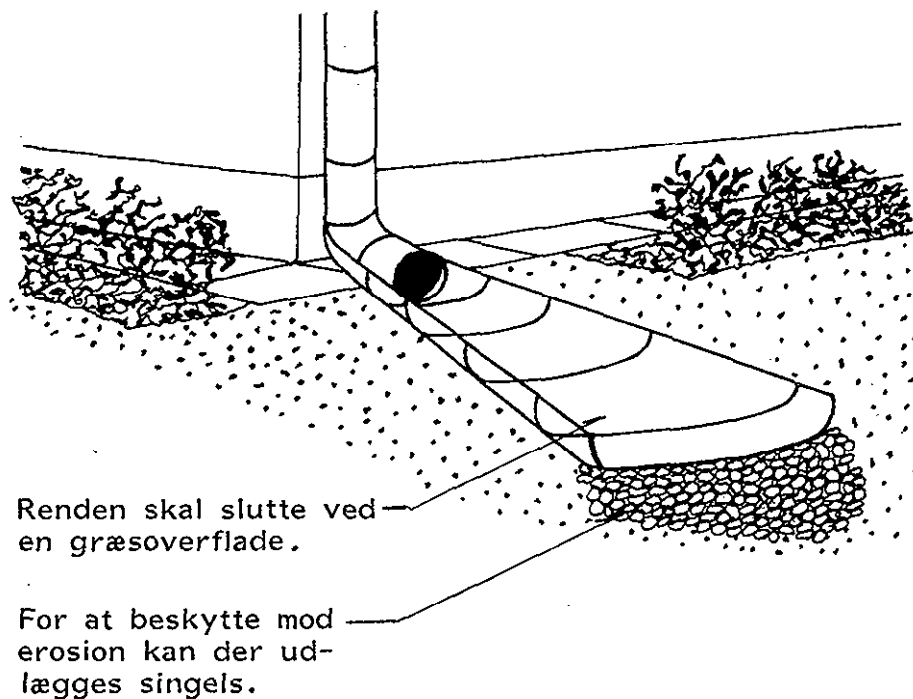
Anvendelse af naturligt vandhul til forsinkelse af afstrømningen.



Figur 8.15.
Forsinkelse af afstrømningen i lukket bassin.

8.4. Små anlæg

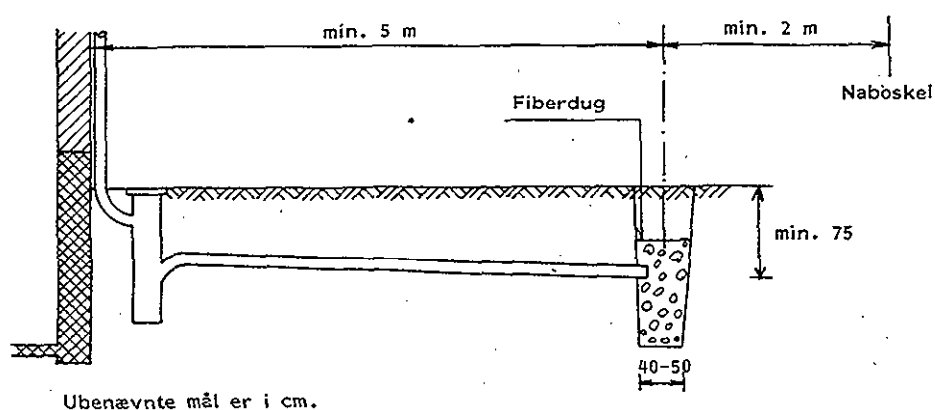
Størstedelen af de LAR-anlæg, der vil blive bygget i fremtiden, er formentlig små anlæg, der etableres ved parcelhuse. Her skal tagvandet afledes enten ved infiltration gennem græsplænen eller via perkolation fra en faskine.



Figur 8.16.
Tagvand afledes gennem en udkaster til en tæt rende og infiltreres derefter i græsplænen.

I figur 8.17 er vist, hvorledes en faskine i forbindelse med et parcelhus kan se ud. På figuren er desuden vist nogle vejledende afstandskrav.

Yderligere detaljer omkring anlægsudformning både for store og små LAR-anlæg findes i rapporten *Eksempler på anlægsudformninger*, der er udgivet af Rørcentret, DTI.



Figur 8.17.
Parcelhusfaskine.

9. Udførelse, drift og vedligeholdelse

9.1. Udførelse

Påpasselig byggeplads- trafik

I LAR-anlæg udnytter man jordens naturlige evne til at infiltrere og magasinere vandet. Det er derfor vigtigt, at arbejdet tilrettelægges og udføres med den største omhu, således at jordstrukturen ikke ødelægges.

Overflader, der senere skal anvendes til infiltration, bør så vidt muligt friholdes fra færdsel i byggeperioden. Ligeledes bør der ikke køre maskiner i bunden af udgravninger til faskiner. Da faskiner og ledningsanlæg anlægges før resten af byggeriet, skal man være yderst påpasselig med byggeplads-trafikken i resten af anlægsfasen. Brønde, dræn og faskiner bliver meget let beskadiget, hvis der køres oven på dem.

Infiltrationsoverflader

Arealer med eksisterende vegetation fungerer bedst. Infiltrationsevnen er ikke god i nyanlagte muldoverflader. Infiltrationsevnen kan øges ved sandindblanding i mulden. Når væksten kommer godt i gang, øges infiltrationsevnen.

Faskiner

Jorden i bunden af faskiner må aldrig komprimeres. Singels og makadam, der anvendes som fyld i faskiner, skal være vasket. Der ved er de fine partikler, der kan give tilstopning i udsivningsfladerne, fjernet.

Ledninger og brønde skal være udført således, at rensning er mulig. Indvendigt glatte rør er nemmere at rense end korrugerede rør. Alle dræn, fordelerledninger og brønde skal spules, og slammet fjernes, inden anlægget tages i brug.

9.2. Drift og vedligeholdelse

Et korrekt projekteret og udført LAR-anlæg kræver ikke megen drift og vedligehold.

For at sikre den nødvendige vedligeholdelse skal der til alle LAR-anlæg foreligge en driftsinstruktion. Instruktionen skal indeholde:

- kort over anlægget.
- beskrivelse af anlæggets funktion.
- anvisning på, hvorledes anlægget skal vedligeholdes

I det følgende angives, hvorledes større LAR-anlæg skal vedligeholdes.

Infiltrationsoverflader

Infiltrationsoverflader skal være så frodige som muligt, og bør derfor ikke udsættes for for stor belastning eller slid. Græsflader bør slås 2 - 3 gang pr. sæson.

Hvis man observerer opblødning af jorden i områder, hvor dette ikke er acceptabelt, bør der anlægges dræn.

Græsarmeringssten

Mos og fine partikler skal regelmæssigt fjernes fra overfladen, så infiltrationsevnen ikke nedsættes.

Faskiner

For at sikre en lang levetid for faskiner bør følgende vedligeholdelse gennemføres:

- Jævnlig renholdelse af befæstede arealer, der har afløb til faskinen.
- Sandfang renses og tømmes 1 gang/år.
- Dræn og brønde spules og slamsuges 1 gang/5 år.
- Jævnlig rensning og udskiftning af eventuelle filtre.

Faskinens funktion bør med mellemrum kontrolleres. Kontrollen består i at tilføre faskinen en bestemt vandmængde. Derefter måles det, hvor hurtigt vandet synker i faskinen. Ud fra disse målinger kan *udsvivningsraten* (den dimensionsgivende hydrauliske ledningsevne) bestemmes og sammenlignes med dimensioneringsgrundlaget og de foregående kontroller.

9.3. Tilsyn

Tilsyn 2 gange pr. år

Et normalt fungerende anlæg bør tilses ca. 2 gange pr. år. Om foråret, når træer og buske smider blomsterstande (og pollen) samt om efteråret ved løvfald. Anlæggene skal gennemgås, og sandfang eventuelt renses.

Dæksler må ikke være fastlåste, så driftspersonalet hindres i at komme til at inspicere systemet.

Tilsynet bør omfatte:

- Tilsyn med alle brønde, det vil sige sandfang, fordelerbrønde, rensebrønde m.v.
- Aflejringer eller begyndende forstoppelser fjernes.

Efter hvert tilsyn bør der udfyldes en driftsjournal.

9.4. Fejl

De mest almindelige fejl i LAR-anlæg er:

- Tilstopning af fordelerdræn i anlæggene.
- Tilstopning af sandfangsbrønde.
- Rødder i fordelerledninger og faskiner.
- Tilstopning af bund og sider i faskiner på grund af dårligt fungerende eller manglende sandfang.
- Beskadigelse af vegetation på grund af megen saltning i vinterperioden.

10. Symbolliste

A	Areal	L^2
A_i	Areal af impermeabel overflade	L^2
A_p	Areal af permeabel overflade	L^2
A_{perk}	Effektivt perkolationsareal	L^2
A_{red}	Reduceret oplandsareal	L^2
$a_r = \frac{Q_a}{A_{red}}$	Afløbstal	$L T^{-1}$
b	Bredde	L
f	Infiltrationskapacitet	$L T^{-1}$
h	Højde	L
i	Regnintensitet	$L T^{-1}$
i_{dim}	Dimensionsgivende regnintensitet	$L T^{-1}$
K	Hydraulisk ledningsevne	$L T^{-1}$
KAR	Konstant, der angiver forholdet mellem V_r og a_r for <i>geometrikarakteristikker</i>	T
ℓ	Længde	L
Q	Vandføring. Afstrømning. Tilløb	$L^3 T^{-1}$
Q_a	Afløbsvandføring	$L^3 T^{-1}$
Q_{inf}	Infiltration (vandføring)	$L^3 T^{-1}$
Q_{perk}	Perkolation (vandføring)	$L^3 T^{-1}$
R	Regndybde	L
T	Gentagelsesperiode	år
t_a	Afløbstid	T
t_r	Regnvarighed	T
V	Magasinvolumen. Bassinvolumen. Nedbørsvolumen	L^3

V_b	Bruttovolumen	L^3
$V_r = \frac{V}{A_{red}}$	Specifikt magasinvolumen	L
V_{regn}	Volumen af regn, der falder på et reduceret oplandsareal	L^3
C, α	Konstanter i regnformler	-
ϕ	Effektiv porøsitet	dimensionsløs
φ	Afløbskoefficient. Volumenafløbskoefficient	dimensionsløs

11. Litteraturliste

Alm, K.; Johansson, S.; Lundgren, G.; Albing, P. (1982): Det våras för avloppet. Kompendium i LOD-teknik. VBB Backö. Sverige.

Bomboi, M.T.; Hernandez, A. (1991): Hydrocarbons in Urban Runoff: Their Contribution to the Wastewaters. *Water Res.*, 25, (5), 557-565.

Building Research Establishment (1991): Soakaway design. *BRE Digest*, (365). Building Research Establishment. Garston, Watford, England.

Byggeforskserien, NBI, A514, 115 (1983). *Lokal overvannshåndtering*.

Byggeforskningsrådet (1982): *Vattenbalans. Dagvattenhåndtering anpassad til naturen*.

Dansk Ingeniørforening (1969): Forskrifter vedrørende afløb fra ejendomme - Afløbsregulativ, 1-4. Dansk Ingeniørforening. København.

Dansk Ingeniørforening (1983): Norm for mindre afløbsanlæg for nedsivning. Dansk Standard DS 440, 2. udgave september 1983. *Normstyrelsens publikationer NP-164-N*. Teknisk Forlag.

DIF Spildevandskomiteen (1974): Bestemmelse af regnrækker. *Skrift nr. 16*. Teknisk Forlag A/S. København.

DIF Spildevandskomiteen (1984): Maksimalafstrømninger og bassinvoluminer fra historiske regnserier. *Skrift nr. 18*, 1+2. Tekst og Tryk A/S.

Ericsson, L.O. (1982): Lokalt omhändertagande av dagvatten. *Intern teknisk information TS:82:10*. VIAK, Sverige.

Förster, J. (1990): Roof Runoff: A Source of Pollutants in Urban Storm Drainage Systems? In: Iwasa, Y.; Sueshi, T. (ed.): Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Suita, Osaka, Japan, July 23-27, 1990, 2, (469-474).

Fujita, S.; Koyama, T. (1990): Pollution Abatement in the Experimental Sewer System. In: Iwasa, Y.; Sueishi, T. (ed.): Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Suita, Osaka, Japan, July 23-27, 1990, 2, 799-804.

Helweg, A. (ed.) (1988): Kemiske stoffer i landjords miljøer. Teknisk Forlag A/S.

Hogland, W.; Wahlman, T. (1989): Enhetsöverbyggnad - hydrologiska och vägtekkniska egenskaper. *Bulletin 1, Rapport nr 3116*. Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Trafikteknik Avd Vägbyggnad / Institutionen för Teknisk Vattenresurslära. Lund.

Hvitved-Jacobsen, T.; Keiding, K.; Yousef, Y.A. (1987): Urban Runoff Pollutant Removal in Wet Detention Ponds. In: Gujer, W.; Krejci, V. (ed.): Urban Storm Water Quality, Planning and Management. Proceedings of the 4th International Conference on Urban Storm Drainage, Lausanne, Switzerland, Aug. 31 - Sept. 4, 1987, 137-142.

Jenssen, P.D. (1989): The Constant Head Percolation Test - Improved Equipment and Possibilities of Assessing the Saturated Hydraulic Conductivity. In: Morel-Seytoux, H.J. (ed.): Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling, Theory and Practice, 481-488. Kluwer Academic Publishers.

Johansen, N.B. (1985): Discharge to receiving waters from sewer systems during rain. *Ph.D. Thesis*. Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark.

Larsen, E. (1954): Erfaringer vedrørende filtrationssystemet. *Stads- og Havneingeniøren*, (3).

Lind, B. (1991): LOD - det lokala alternativet. *VAV-nytt*, (3).

Lindblad, A. (1981): Infiltrationsmätningar utförda vid Geologiska Institutionen CTH/GU 1972-1980. Sammanställning och statistisk bearbetning. *Geohydrologiska Forskningsgruppen, Meddelande nr 60*. Chalmers tekniska Högskola. Göteborg, Sverige.

Lindvall, P.; Hogland, W. (1981): Driftsaspekter på dagvatteninfiltration.

Malmquist, P.-A.; Hård, S. (1981): Groundwater Quality Changes caused by Stormwater Infiltration. Second International Conference on Urban Storm Drainage, Urbana, Illinois, USA, june 14-19, 1981.

Malmquist, P.-A. (1982): Lathund för beräkning av dagvattnets föroreningar. *Geohydrologiska Forskningsgruppen, Meddelande nr 66*. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg, Sverige.

Miljøministeriet (1988): Bekendtgørelse om kvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. *Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 515 af 29. august 1988*.

Miljøstyrelsen (1979): Jord som recipient for spildevand. Statusrapport vedrørende anvendelse af jord som recipient for spildevand. Miljøstyrelsen.

Naturvårdsverket, Byggeforskningen (1979): Infiltrera Dagvatten, planering och metoder.

Ojgaard, K.; Ohlsen, B. (1991): Valg af kloakeringsprincip ved renovering. *Stads- og Havneingeniøren*, (11), 22-23.

PH-Consult (1990): Bearbejdning af danske måledata af regn og afstrømning. *Miljøprojekt nr. 136*. Miljøstyrelsen.

Statens Byggeforskningsinstitut (1988): Afløbsinstallationer. *SBI-anvisning 96*. Statens Byggeforskningsinstitut.

Statens Forurensningstilsyn (1982): Veiledning ved infiltrasjon av overvann - metoder og tekniske løsninger. *TA-568*.

VAV, Svenska vatten- och avloppsverksforeningen (1983): Lokalt omhändertagande av dagvatten - LOD. *Publikation VAV P46*. Svenska vatten och avloppsforeningen.

Wilson, E.M. (1983): Engineering Hydrology. Macmillan Publishers Ltd. Hong Kong.

REGISTRERINGSBLAD

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K

Serietitel, nr.: Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, 36

Udgivelsesår: 1992

Titel:

Lokal afledning af regnvand

Undertitel:

Forfatter(e):

Jacobsen, Per; Mikkelsen, Peter Steen; Anthonisen, Ulla;
Faldager, Inge; Hovgaard, Jes

Udførende institution(er):

Vandrensningsrådet (spons); Danmarks Tekniske Højskole.
Laboratoriet for Teknisk Hygiejne; Dansk Teknologisk Institut.
Rørcentret; Københavns Kommune (spons); Nordisk Wavin A/S
(spons)

Resumé:

Rapporten beskriver et litteraturstudie og konsekvensberegninger for 2 fælleskloakerede områder til belysning af effekten af lokal afledning af regnvand anvendt i større skala. Lokal afledning af regnvand dækker over nogle af de metoder, der kan anvendes for at nedsætte eller udjævne belastningen på afløbssystemer under regn.

Emneord:

regnvand; afløb; dimensionering; LAR-anlæg

ISBN: 87-503-9711-7

ISSN:

Pris (inkl. moms): 80 kr.

Format: A4

Sideantal: 80

Md./år for redaktionens afslutning: februar 1992

Oplag: 300

Andre oplysninger:

Tryk: Scantryk, København

Trykt på 100% genbrugspapir Cyclus

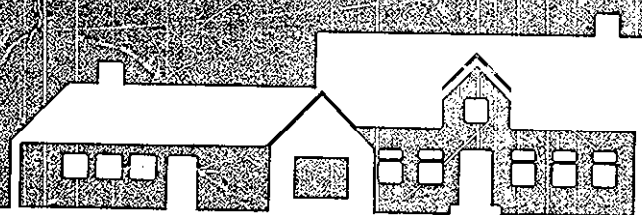
Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

- Nr. 1: Proces- og funktionsgarantier samt rådgiveransvar
- Nr. 2: Fagligt indhold af renseanlæggets driftsdatabase
- Nr. 3: Datagrundlag for dimensionering af renseanlæg
- Nr. 4: Bestemmelse af belastningen fra regnvandsbetingede udløb
- Nr. 5: Lavteknologisk spildevandsrensning i danske landsbyer
- Nr. 6: Kvalitetsstyring af afløbsprojekter
- Nr. 7: Rodzoneforsøgsanlæg
- Nr. 8: Spildevandsrensning i rodzoneanlæg
- Nr. 9: Kompostering af spildevandsslam med andet organisk affald
- Nr. 10: Fjernelse af tungmetaller fra spildevandsslam
- Nr. 11: Udledning af industrispildevand til renseanlæg
- Nr. 12: Effektivisering af olieudskillere
- Nr. 13: Udarbejdelse af fornyelsesplaner for afløbssystemer
- Nr. 14: Energi til renseanlæg
- Nr. 15: Økonomi ved rensning af industrispildevand i renseanlæg
- Nr. 16: Septiktanke
- Nr. 17: Fjernelse af kvælstof fra rejektvand
- Nr. 18: Integreret styring af afløbssystem og renseanlæg i Tårnby
- Nr. 19: Optimering af slamafvanding på kommunale renseanlæg
- Nr. 20: Spildevandskontrol i Europa
- Nr. 21: Hygiejnisk kvalitet af spildevand fra renseanlæg
- Nr. 22: Renovering af afløbssystemer
- Nr. 23: Håndtering af septisk slam samt industrislam
- Nr. 24: Overdækkede bassinanlæg i fællessystemer
- Nr. 25: Reduktion af farve i industrispildevand
- Nr. 26: Forbedret rensning af tungmetalholdigt spildevand
- Nr. 27: Optimering af kontaktfiltrering
- Nr. 28: Slam og halmaske til gødning
- Nr. 29: Biologiske sandfiltre
- Nr. 30: EDB-program for rensningsanlæg
- Nr. 31: Fældningskemikalier af jernindustriens affaldsprodukter
- Nr. 32: Afskæring af infiltrationsvand fra utætte kloakledninger
- Nr. 33: Fornyelse af afløbssystemer
- Nr. 34: Kalkbehandling af slam
- Nr. 35: Bundfældningsegenskaber for aktiv slam
- Nr. 36: Lokal afledning af regnvand

Lokal afledning af regnvand

Rapporten beskriver et literaturstudie og konsekvensberegninger for 2 fælleskloakerede områder til belysning af effekten af lokal afledning af regnvand anvendt i større skala.

Lokal afledning af regnvand dækker over nogle af de metoder, der kan anvendes for at nedsætte eller udjævne belastningen på afløbssystemer under regn.



Pris kr. 80,- inkl. 25% moms

ISBN nr. 87-503-9711-7

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29 · 1401 København K · Tlf. 31 57 83 10