

Skrift nr. 25

Nedsivning af regnvand - dimensionering

1994

IDA Spildevandskomitéen

Nedsivning af regnvand -dimensionering

Indholdsfortegnelse

Rekommandation fra Spildevandskomitéen, IDA, vedrørende dimensionering af nedsivningsanlæg for regnvand	4
Forord	6
English summary	7
1. Indledning	9
2. Nedsivning af regnvand	10
2.1 Faskiner	10
2.2 Infiltration gennem overfladen	10
2.3 Perspektiver	11
2.4 Forurening fra nedsivningsanlæg	14
3. Forudsætninger og forenklinger	17
3.1 Faskiner	18
3.2 Infiltration gennem overflader	18
4. Dimensioneringsprincipper	20
4.1 Faskiner	20
4.2 Infiltrationsanlæg	24
4.3 Jordparametre	26
4.4 Valg af gentagelsesperiode	27
5. Effekt af nedsivning på funktion af afløbssystemer	28
5.1 Aflastning fra overløbsbygværker	28
5.2 Kapacitets- og oversvømmelsesproblemer i afløbssystemet	30
5.3 Overløb fra nedsivningsanlæg til afløbssystem	31
6. Eksempler	33
6.1 Dimensionering af faskine	33
6.2 Dimensionering af infiltrationsanlæg	33
6.3 Reduktion af årlig aflastning fra overløbsbygværk	34
6.4 Centralt nedsivningsanlæg for vejvand	38
Symbolliste	39
Ordforklaring	40
Referencer	43
Bilag 1: Diagram til dimensionering af nedsivningsanlæg for regnvand	45

Rekommandation fra Spildevandskomitéen, IDA, vedrørende dimensionering af nedsivningsanlæg for regnvand

Nedsivning af regnvand kan principielt foregå via et underjordisk anlæg (*perkolation*), f.eks. via en faskine, direkte fra en permeabel overflade (*infiltration*), f.eks. fra en græsplæne, eller via kombinationer af disse.

Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 310 af 25. april 1994 fastlægger retningslinier for den kvalitet af regnvand, som må nedsives. Disse retningslinier har primært til formål at beskytte grundvandet mod forurening.

Det foreliggende skrift fra Spildevandskomitéen fokuserer på dimensioneringen af nedsivningsanlæg og arbejdet med skriftet har resulteret i følgende anbefalinger:

Anbefaling vedr. dimensioneringsmetoder

Skriftet anbefaler diagrammer og formler, som er udviklet på et forenklet grundlag. Forenklingen har baggrund i de store usikkerheder, som generelt knytter sig til de dimensionsgivende parametre (gentagelsesperiode og jordparameter). Det afgørende har været at få udviklet dimensioneringsmetoder, som tager udgangspunkt i jordens karakteristika, hvilket ikke har været tilfældet ved tidligere dimensioneringsmetoder.

Anbefaling vedr. dimensionsgivende gentagelsesperiode

Den dimensionsgivende gentagelsesperiode for et nedsivningsanlæg udtrykker den gentagelsesperiode, hvormed det accepteres at anlægget overbelastes. Ved perkolation fra et underjordisk anlæg er overbelastningen udtrykt ved fyldning og overskridelse af anlæggets magasineringsvolumen, mens overbelastningen ved infiltration fra overfladen kan være udtrykt ved en begyndende magasinering af vand på overfladen.

Perkolutionsanlæg

Den dimensionsgivende gentagelsesperiode for overbelastning af anlægget og dermed udledning af overskydende vand, skal vælges ud fra en vurdering af hvilken skade denne udledning kan forvolde, bl.a. afhængig af hvortil udledningen sker. Sker udledningen til overfladiske arealer, er de lokale forhold omkring disse afgørende for valget af gentagelsesperiode. Hvis der er mulighed for at lede det overskydende vand til afløbssystem eller recipient kan gentagelsesperioden nedsættes betydeligt.

Infiltrationsanlæg

Den dimensionsgivende gentagelsesperiode for magasinering af vand på en infiltrationsoverflade afhænger af overfladens anvendelse. De lokale forhold er således afgørende for valget af gentagelsesperiode, og det bør vurderes i hvilket omfang man kan tillade magasinering af vand på overfladen, f.eks. i naturlige lavninger eller lignende.

Anbefaling vedr. dimensionsgivende jordparameter

Jords evne til at nedsive vand afhænger primært af jordens hydrauliske ledningsevne (ved perkolation) eller af infiltrationskapaciteten (ved infiltration fra en overflade). I de anbefalede, forenkede dimensioneringsmetoder indgår den mættede hydrauliske ledningsevne (vandmættet jord), og den mættede infiltrationskapacitet, som de dimensionsgivende jordparametre.

En vurdering af jordparameterens størrelse er ofte behæftet med stor usikkerhed, hvilket berettiger forenklingerne i de anbefalede dimensioneringsmetoder. Parametervurderingen kan dog forbedres via forskellige hydrogeologiske målinger og observationer på den jord, som vandet skal sive ned igennem. De lokale forhold samt nedsivningsanlæggets størrelse og afløbstekniske betydning er afgørende for den nøjagtighed, hvormed den dimensionsgivende jordparameter fastlægges.

Anbefaling vedr. valg af anlægstype

Nedsivning af eksempelvis vejvand kan betyde, at der over en årrække sker en koncentration af f.eks. tungmetaller i nedsivningsanlægget. I jorden omkring en faskine er det næppe kritisk, men ved infiltration gennem overfladen kan det være kritisk hvis overfladen f.eks. bruges til legeplads, eller hvis jorden senere bliver brugt til dyrkningsformål. Det anbefales, at man gør sig problemstillingen klart og ikke kun skeler til muligheden for eventuel grundvandsforurening.

Forord

Nedsivning af regnvand i bymæssige områder har været genstand for en del opmærksomhed de seneste år. Denne interesse blev yderligere skærpet i 1992 med udgivelsen af rapporten: "Lokal afledning af regnvand - LAR", rapport nr. 36 i Miljøstyrelsens serie om Spildevands-forskning. Rapporten peger bl.a. på de klare fordele, der er forbundet med nedsivning af regnvand som alternativ til den traditionelle kloakering.

For at fremme anvendelsen af regnvandsnedsivning igangsatte Spildevandskomitéens udvalg vedrørende regnafledning i byer et projekt til udarbejdelse af et skrift omhandlende metoder til dimensionering af anlæg til nedsivning af regnvand. Målet har været et skrift, der via lettilgængelige diagrammer og formler giver brugerne den nødvendige forståelse og det nødvendige grundlag for at kunne dimensionere nedsivningsanlæg.

Skriftet er udarbejdet af arbejdsgruppen:

Carsten Rosted Petersen, I. Krüger AS
Per Jacobsen, Institut for Miljøteknologi, DTU
Peter Steen Mikkelsen, Institut for Miljøteknologi, DTU

Gruppens arbejde har været fulgt og kommenteret af:

Niels Bent Johansen, COWIconsult
Inge Faldager, Rørcentret, DTI

Skriftet har været forelagt Spildevandskomitéen, som har bidraget med ændringer og godkendt den udarbejdede rekommandation.

Poul Harremoës
Professor
Formand for Spildevandskomitéen

Per Jacobsen
Lektor
Formand for arbejdsgruppen

English summary

In principle, infiltration of stormwater can take place as sub-surface infiltration in underground constructions (*percolation* via soakaways), directly as infiltration through permeable surfaces (*infiltration* through e.g. grass lawns), or by any combination hereof.

The work in the present report has focused on the designs of stormwater infiltration structures and has lead to the following recommendations:

Recommendation concerning design methods

It is recommended to use design diagrams and formulas which are developed on a simplified basis. The simplifications are justified by the large uncertainties that generally characterize the design parameters (the design return period and soil parameter). As the vital point, the recommended design methods are based on soil characteristics in contrast to earlier design methods.

Recommendation concerning the design return period

The design return period for an infiltration system is the acceptable average recurrence interval between overloadings of the capacity of the system. By definition, overloading of a sub-surface soakaway occurs when it is filled and its capacity is exceeded whereas overloading of an infiltration surface may be defined by an excess of water present on the surface.

Sub-surface percolation structures

The design return period for a soakaway must be selected by assessing the possible damage connected with overloading of the structure. The damage depends on the magnitude of the discharge and on the location of the outlet. The local conditions are decisive for the design return period when discharging to nearby surface areas. The design return period can be reduced considerably when excess water can be diverted to a sewage system or a recipient.

Surface infiltration structures

The return period for storage of water on an infiltration surface depends on the surface type. The local conditions are decisive for the choice of design return period and it should be evaluated whether storage of water on the surface is acceptable, for example in natural hollows etc.

Recommendation concerning the design soil parameter

The capability of a soil to absorb water primarily depends on the hydraulic conductivity (by subsurface percolation) or the infiltration capacity (by surface infiltration). In the recommended simplified design methods, the saturated hydraulic conductivity and the saturated infiltration capacity are used as design soil parameters.

An evaluation of the design soil parameters is often subject to great uncertainty. The evaluation can, however, be improved by including various hydrogeological observation and measurements on the soil at the specific site. The local conditions and sewerage engineering importance and the size of an infiltration system is decisive for the accuracy by which the design soil parameter should be determined.

Recommendation concerning the type of infiltration structure

Departmental order No. 310 from the Danish Environmental Protection Agency, dated 25th April 1994, gives guidelines for the quality of stormwater that may be infiltrated. These guidelines are primarily made to protect groundwater from pollution.

Infiltration of, for example, runoff from traffic areas may lead to a build-up of pollutants, e.g. heavy metals, in the infiltration structure. This is hardly critical to the soil around a sub-surface soakaway. It may, however, be critical to the soil of an infiltration surface if the surface is used as playground, or if the soil is later used for cultivation. It is recommended that these issues are considered in addition to the potential for groundwater contamination.

1. Indledning

Gennem de sidste 30 år har det været *god latin* at lede regnvandet hurtigst muligt til en lukket ledning og videre til recipient eller renseanlæg. Specielt i fællessystemer kan der opstå problemer under regn i form af overløb til recipient, overbelastning af renseanlæg og kælderoversvømmelser. Den direkte udledning af regnvand til recipient fra de separate regnvandssystemer kan især i mindre vandløb give problemer ved, at vegetation og mikroorganismer bliver skyllet væk.

Nedsivning af regnvand skal ses som et alternativ til den traditionelle afledning af regnvand. Et alternativ der kan være fordelagtigt både miljømæssigt og økonomisk. Nedsivning af regnvand vil i forhold til afledning via afløbssystemer være en løsning, som ligger tæt på det naturlige vandkredsløb.

Anlæg til nedsivning af regnvand kan have mange forskellige virkemåder og opbygninger. Fælles er, at de placeres lokalt i eller omkring bebyggede områder og at de hver for sig er af begrænset størrelse. Det typiske vil være, at vandet nedsives direkte i jorden og derved ikke kommer i kontakt med afløbssystemet. Kombinationer af nedsivning, dræning og afledning til afløbssystemer kan også komme på tale.

Blandt de mest almindelige anlæg til nedsivning af regnvand er stenfaskiner i jorden, der udnytter en kombination af nedsivning og midlertidig magasinering. Infiltration gennem permeable belægninger, fortove og veje samt vegetationsområder, hvor vandet kan nedsive umiddelbart, hører også blandt de almindelige former for nedsivning.

Dette skrift er begrænset til kun at beskrive dimensioneringsmetoder til nedsivningsanlæg af typen: faskiner og infiltrationsoverflader med- og uden magasinering på overfladen. Principperne er generelle!

2. Nedsivning af regnvand

2.1 Faskiner

En faskine er i princippet et hul i jorden, som er fyldt op med fyldmateriale (sten eller lignende). Regnvandet ledes til faskinen, hvor det midlertidigt opmagasineres, og perkolerer ud i den omkringliggende jord. Forudsætningerne for at have et velfungerende faskineanlæg er, at jordlagene er egnede til nedsivning (perkolation), samt at grundvandsspejlet ligger under faskinens bund.

Det er vanskeligt at fjerne alt suspenderet stof (fra regnvandet) inden det løber til faskinen, og der er derfor erfaring for at faskinens bund med tiden vil stoppe til. Faskiner udformes derfor mest hensigtsmæssigt med sidefladerne så store som muligt i forhold til faskinens volumen. Lange smalle faskiner er altså bedre end kvadratiske.

For at udnytte faskinens infiltrationsoverflade er det væsentligt at regnvandet fordeles så hurtigt som muligt over hele faskinen. Langstrakte faskiner bør derfor forsynes med et fordelerrør.

Den praktiske udformning af faskiner og infiltrationsanlæg er nærmere beskrevet i /10/ og /12/.

2.2 Infiltration gennem overfladen

Den simpleste form for afledning af regnvand er at lede regnvandet ud på en bevokset overflade og lade det sive ned gennem jorden. En del af regnvandet vil blive tilbageholdt i de øverste jordlag og en del vil fordampe. Resten vil sive ned gennem jorden og ende som grundvand eller strømme videre til vandløb og søer.

Hvor vandet ledes ud på et bevokset areal bør man sikre at bevoksningen ikke eroderes bort i forbindelse med kraftig regnafstrømning. Dette kan gøres f.eks. ved at sprede udledningen på overfladen vha. render eller lignende.

Infiltrationsoverflader bør anlægges med små fald (7 - 10 ‰) for at forsinke og opmagasinere regnvandet. Infiltrationsoverfladen kan eventuelt udføres med lavninger, som kan stå under vand når der kommer mere vand til, end der kan nedsive. Hvis der ikke må stå vand på terræn, kan overskudsvandet f.eks. afledes til afløbs- eller drænsystem.

2.2.1 Tagvand

Tagvand kan via udkastere og render afledes til en infiltrationsoverflade. Arealerne omkring bygningen skal have fald bort fra bygningen, så der ikke forekommer indsivning af vand i fundament eller kælder.

2.2.2 Vejafvanding

Afstrømning fra veje og pladser kan ledes til en rabat, hvor det kan sive ned i jorden. Vejbelægningen skal have fald ud mod rabatten og må ikke afgrænses af kantsten eller lignende. Hvis der afvandes til mindre rabatter kan der anlægges grøfter i rabatterne, hvor regnvandet nedsiver eller fordamper, og hvor eventuelt overskudsvand kan ledes til nærliggende recipient.

Vej- og parkeringsarealer kan også udføres i permeabel belægning, så regnvandet kan infiltrere direkte ned i jorden.

2.2.3 Kombinerede anlæg

Regnvandet kan udnyttes i lokalmiljøet til at skabe rekreative områder som f.eks. miniparker med grøfte- og mosesystemer eller små sø-systemer. Regnafstrømningen kan via grøftesystemer ledes til lavninger eller kunstige søer, hvor det kan magasineres til det siver ned gennem jorden. Der kan eventuelt indbygges overløb til afløbs- eller drænsystem.

2.3 Perspektiver

Nedsivningsanlæg skal ses som alternativer og supplementer til den traditionelle kloakering. Der kan være følgende fordele ved nedsivning sammenlignet med traditionel kloakering:

- økonomisk attraktiv løsning for reduktion af overløbsmængder i fællessystemer
- reduceret belastning af renseanlæg
- forbedringer i lokalmiljøet - mere vand i vandløb, søer m.v.

Størrelsesordenen af nogle af disse fordele er vurderet i rapporten "*Effekten af nedsivning på traditionel regnvandsafledning*" /9/, som er udarbejdet i tilknytning til Miljøstyrelsens redegørelse "*Lokal afledning af regnvand*" /10/. Tilsvarende undersøgelser er udført i Holland, /11/.

2.3.1 Reduktion af overløbsmængder i fællessystemer

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.

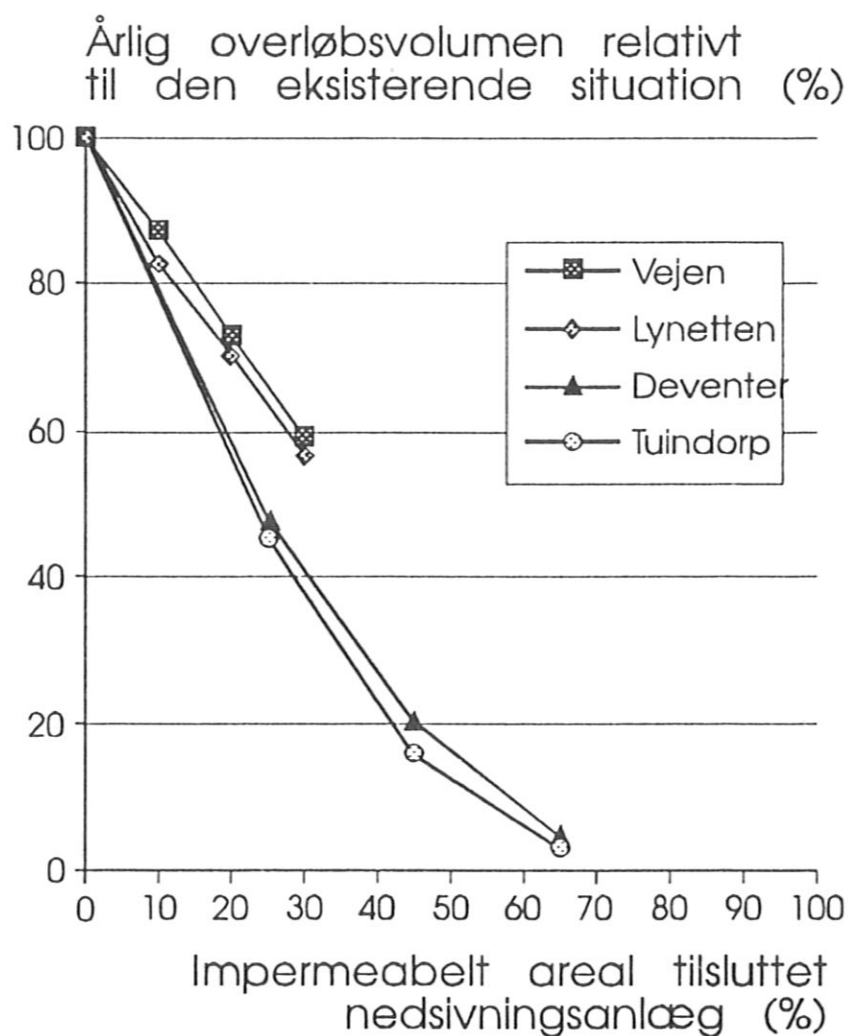
Brug af faskiner til nedsivning af regnvandet er en alternativ løsning, der tilmed kan være økonomisk attraktiv. Figur 2.1 viser den relative ændring (reduktion) i de årlige overløbsmængder, som kan opnås. De viste data stammer fra fire undersøgte oplande, to i Danmark og to i Holland /11/. Ændringen i overløbsmængderne er vist som funktion af den procentdel af det impermeable areal, som nedsives.

En reduktion i overløbsmængderne svarende til 60-70% af de eksisterende overløbsmængder kan opnås ved f.eks. at tilføre 20% af det impermeable areal til faskiner. Dette kan også opnås ved at bygge forsinkelsesbassiner, men det fremgår imidlertid af undersøgelserne at det nødvendige magasineringsvolumen ved faskineløsningen er væsentligt mindre end ved den traditionelle løsning med forsinkelsesbassiner. Det er desuden interessant at notere at brug af faskiner reducerer størrelsen af ekstremhændelserne og dermed den akutte forureningsfare væsentligt, mens antallet af overløbshændelser er næsten upåvirket ved brug af faskiner. Det omvendte gør sig gældende ved brug af bassiner.

2.3.2 Effekten på renseanlæg

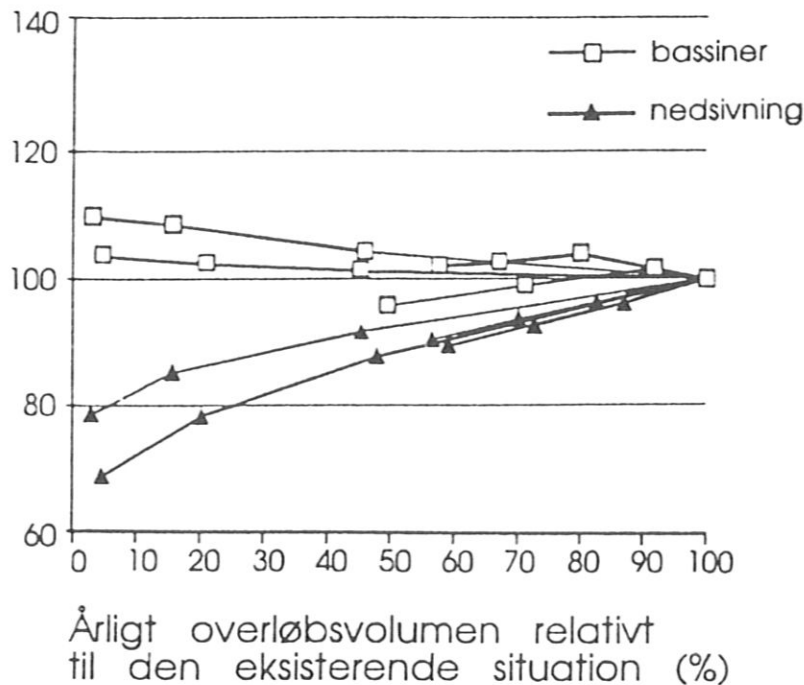
En af gevinsterne ved nedsivning af regnvand i fællessystemområder er, at det nedsivede vand ikke på noget tidspunkt belaster renseanlægget. Ved reduktion af overløbsmængder med forsinkelsesbassiner ledes regnvandet derimod gennem renseanlægget, blot forsinket. Dette betyder, at mens løsningen med faskiner ikke ændrer væsentligt på udledningen af forurenende stoffer fra renseanlægget, da tørvejrbelastningen er dominerende, vil løsningen med forsinkelsesbassiner medføre en forøget udledning gennem renseanlægget.

Betragtes den samlede udledning af fosfor (TOT-P) fra både renseanlæg og overløb, fremgår det af Figur 2.2, at faskineløsningen har en reducerende effekt for de i undersøgelsen fire betragtede oplande, mens bassinløsningen ingen nævneværdig effekt har.



Figur 2.1 Ændring af overløbsmængder som funktion af nedsivningsomfanget, /11/.

Samlet årlig udledning af TOT-P fra
rensningsanlæg og overløb relativt
til den eksisterende situation (%)



Figur 2.2 Udledningen af fosfor fra renseanlæg og overløbsbygværker ved brug af faskiner henholdsvis forsinkelsesbassiner, /11/.

2.3.3 Forbedringer i lokalmiljøet

Nedsivning af regnvand kan i lokalmiljøet have en gunstig virkning på grundvandet og dets tilstrømning til lokale rekreative vådområder. Derimod må det generelle bidrag til grundvandsdannelsen fra de urbane områder anses for at være af mindre betydning.

2.4 Forurening fra nedsivningsanlæg

Regnvand, der strømmer af befæstede flader, er forurenet og kan derfor ved nedsivning forurene jord og grundvand. Koncentrationen af forurenende stoffer i regnafstrømning varierer meget afhængigt af hvilken type befæstet overflade, det kommer fra, og f.eks. kan regnafstrømning fra stærkt trafikerede veje indeholde væsentlige mængder forurenende stoffer. Afstrømning fra tagarealer er derimod normalt forholdsvis rent, når der ses bort fra forureningsstoffer, der indgår direkte i tagmaterialet, som f.eks. tungmetallet zink, der er almindeligt anvendt til tagrender og nedløbsrør.

Som følge af den meget store variabilitet er det imidlertid ikke muligt at udtale sig præcist om regnafstrømnings sammensætning og om koncentrationsniveauer for indholdet af forurenende stoffer, ligesom der ikke eksisterer et tilstrækkeligt videngrundlag til præcist at forudsige stoffernes skæbne i jord og grundvand, /19/.

Tabel 2.1 indeholder en opgørelse over nogle typiske koncentrationsniveauer i regnafstrømning fra forskellige typer af overflader i Danmark. Værdierne er baseret på danske, svenske og amerikanske undersøgelser og er delvist justeret til danske forhold. Der er anført værdier for suspenderet stof, iltforbrug, kvælstof og fosfor samt udvalgte tungmetaller, men mangel på data forhindrer en opgørelse af typiske koncentrationer af organiske miljøgifte og andre forureningskomponenter. Tabellen indeholder desuden de danske grænseværdier for de berørte stoffer i drikkevand.

		Regnafstrømning fra:			/6/ Drikke- vand, højest till.
		Blandede overflader /7/	Veje /18/	Tagover- flader /3/	
Suspenderet stof	mg/l	30-100	30-60	5-50	
COD	mg/l	40-60	25-60	<	
Total N	mg/l	2	1-2	<	11,3
Total P	mg/l	0,5	0,2-0,5	<	0,15
Pb	µg/l	50-150	50-125	10-100	50
Zn	µg/l	300-500	125-400	100-1000	100
Cd	µg/l	0,5-3			5
Cu	µg/l	5-40	5-25	10-100	100

Note: < : Værdierne er mindre end for veje og blandede overflader.

Tabel 2.1. Karakteristiske koncentrationer af forurenende stoffer i forskellige typer af regnafstrømning. Desuden de danske drikkevandskrav jf. Miljøstyrelsens bekendtgørelse.

En potentiel fare for grundvandsforurening kan vurderes ved at sammenligne de typiske koncentrationsniveauer i regnafstrømning med drikkevandskvalitetskravet. Kvælstof må p.g.a. de lave koncentrationsniveauer siges at være uden betydning, og det samme gælder for fosfor, der bindes kraftigt i jord og desuden ikke er et direkte giftigt stof.

Drikkevandskvalitetskravet til fosfor skal ses i sammenhæng med, at fosfor opfattes som indikatorparameter for forurening med spildevand. Koncentrationerne af tungmetaller kan ligge noget over kravværdierne for drikkevand, men tungmetaller akkumuleres i jord, hvorfor en reel fare for grundvandsforurening er særdeles lille.

Der er internationalt gennemført nogle få undersøgelser af jord i eksisterende nedsivningsanlæg, der har fungeret en periode, og af grundvandet derunder. Ved ingen af disse undersøgelser har man kunnet konstatere signifikant hævede koncentrationer af tungmetaller og udvalgte organiske miljøgifte i grundvand, og kun i forbindelse ved nedsivning af vand fra stærkt trafikerede veje har man kunnet iagttage jordforurening. Dette peger i retning af, at forureningsfaren i forbindelse med nedsivning er særdeles begrænset.

Den begrænsede forureningsfare afspejles i Miljøministeriets Bekendtgørelse om spildevandstilladelser /20/. Når specifikke afstandskrav til drikkevandsboringer og recipienter er overholdt, samt når der kun er tale om sædvanlig regnafstrømning upåvirket af særlige forureningskilder, kan en kommunalbestyrelse uden krav om forrensning af nogen art eller om minimumsafstand til grundvandsspejlet, meddele tilladelse til nedsivning af

- tagvand,
- vand fra private veje,
- vand fra parkeringspladser for mindre end 20 biler, samt
- vand fra andre typer af befæstede arealer, der ikke er offentlig vej.

Derudover kan et Amtsråd meddele tilladelse til nedsivning af vand fra offentlig vej, når det kan godtgøres, at nedsivningen ikke vil være til gene for grundvandsressourcer, der er anvendelige til vandforsyningsformål.

3. Forudsætninger og forenklinger

Dimensioneringsprincipperne beskrevet i afsnit 4 er udarbejdet på grundlag af en forenklet beskrivelse af de fysiske fænomener/forhold forbundet med nedsivning af regnvand. Forenklingerne er illustreret i Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Forenkling af fysiske fænomener i forbindelse med nedsivning

Emne	Fænomener	Forenklinger
Regn	Nedbør er forskellig afhængig af landsdel, højde over havet, bebyggelse, vindforhold m.v.	Dimensioneringsdiagrammerne baseres på regndata målt i Odense 1933-80 samt i Måløv 1979-92.
Overflade	Initialtab afhænger af overfladetype, temperatur, fugtighed m.v. Det reducerede areal afhænger af nedbørens varighed, intensitet, overfladetype m.v. Koncentrationstiden afhænger af arealstørrelse og form, overfladetype m.v.	Initialtab = 0,6 mm Reduceret areal = konstant Koncentrationstid = 5 min.
Nedsivning	Infiltration og perkolation foregår først som umættet- og senere som mættet strømning i jord. Nedsivningshastigheden afhænge af hvilke jordtyper der er tale om. Perkolation ud af en faskine afhænger af fyldningsgraden. Infiltrationen varierer indenfor den enkelte infiltrationsoverflade.	Nedsivningskapaciteten beskrives som en konstant - Mættet hydraulisk ledningsevne K ved perkolation. - Mættet infiltrationskapacitet f ved infiltration. Jorden, der nedsives i, antages homogen og isotrop. Faskiner - antages i gennemsnit at være halvt fyldt. Infiltration gennem overflader - nedsivningen antages at være jævnt fordelt over hele nedsivningsfladen.
Anlægstype	Nedsivningsanlæg kan udformes på mange forskellige måder - som en kombination af faskiner og infiltrationsanlæg, magasinering i grøfter og på overflader eller i kombination med små "bassin-søer" osv.	Faskiner. Infiltrationsoverflader.

Siden slutningen af 1980'erne har nedbørsdata målt med Spildevandskomitéens regnmålersystem været genstand for nogen debat /1/, /13/, /14/, /15/. Der kan således optræde længerevarende udfaldsperioder, og beregninger gennemført med forskellige regnserier kan lede til væsentligt forskellige resultater. Det har vist sig, at den ved afløbstekniske beregninger traditionelt anvendte Odense-regnserie /5/ for ekstreme volumen-beregninger giver usædvanligt små resultater sammenlignet med landsgennemsnittet, mens den for ekstreme intensitetsberegninger giver resultater over landsgennemsnittet. Måløv-regnserien fra Spildevandskomitéens regnmålersystem udmærker sig ved at have meget få og korte udfaldsperioder og giver samtidig for volumen-beregninger resultater på den sikre side sammenlignet med landsgennemsnittet.

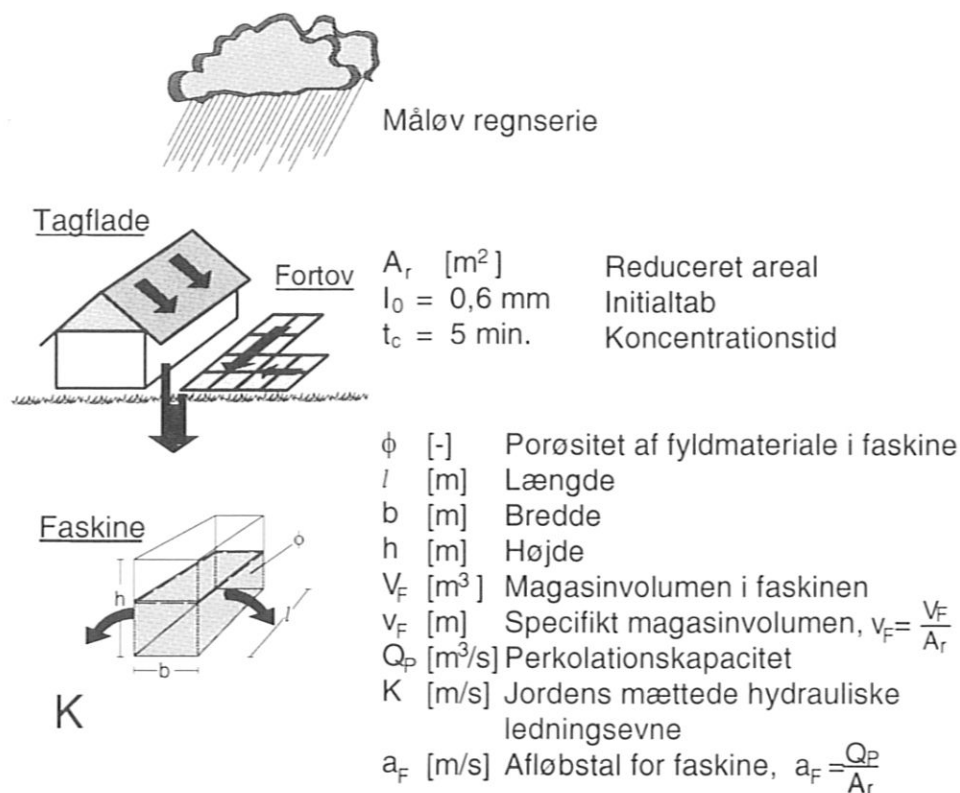
I det følgende er dimensioneringsdiagrammer, der relaterer sig til regn-volumen derfor baseret på regndata fra Måløv (1979-92), mens dimensioneringsdiagrammer, der relaterer sig til regn-intensitet er baseret på regndata fra Odense (1933-80).

3.1 Faskiner

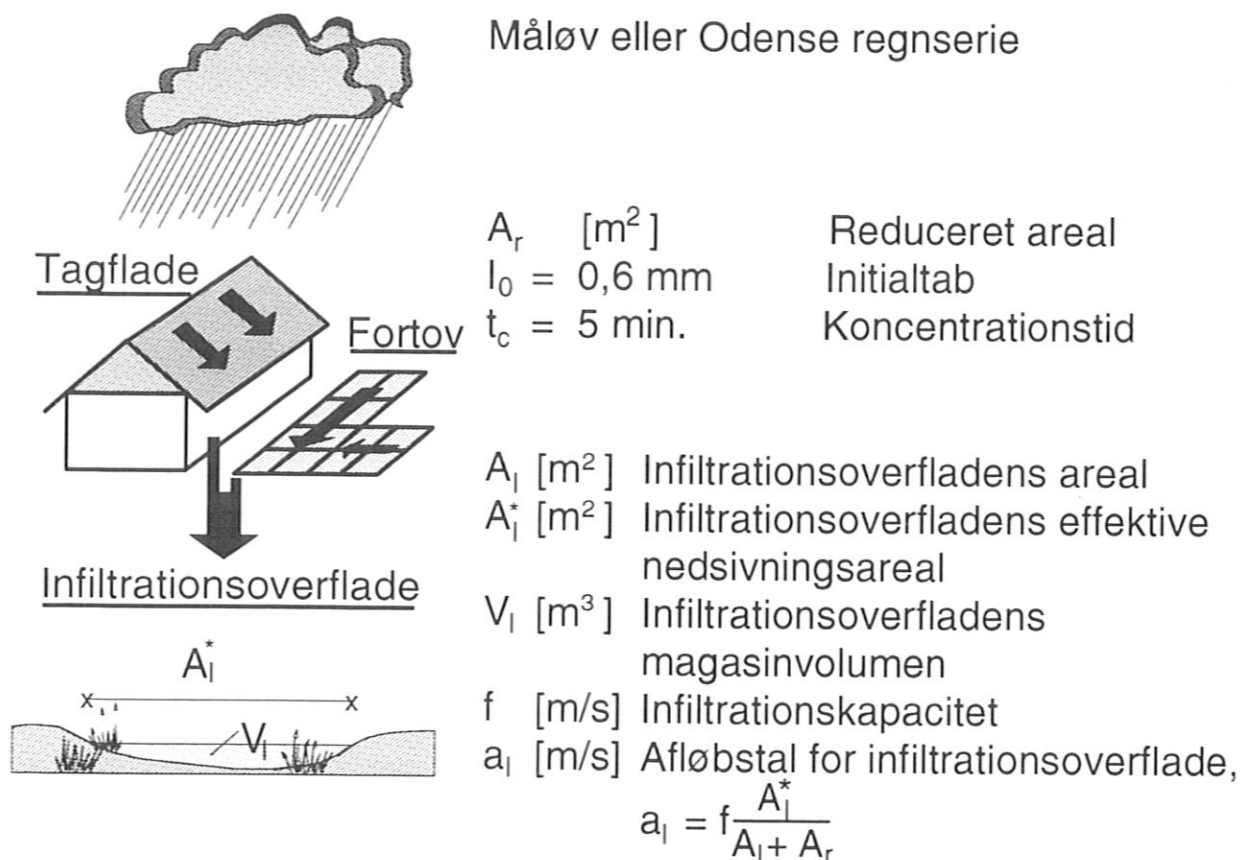
Dimensioneringsprincippet for faskiner er baseret på en forenklet beskrivelse som illustreret på Figur 3.1. De parametre som indgår i dimensionsberegningen er angivet på figuren.

3.2 Infiltration gennem overflader

Dimensioneringsprincippet for anlæg til infiltration gennem overflader er baseret på en forenklet beskrivelse som illustreret på Figur 3.2. De parametre som indgår i dimensioneringen er angivet på figuren.



Figur 3.1 Forenkling af fysiske fænomener/forhold samt parametre til dimensionering af faskiner.



Figur 3.2 Forenkling af fysiske fænomener/forhold samt parametre til dimensionering af infiltrationsanlæg.

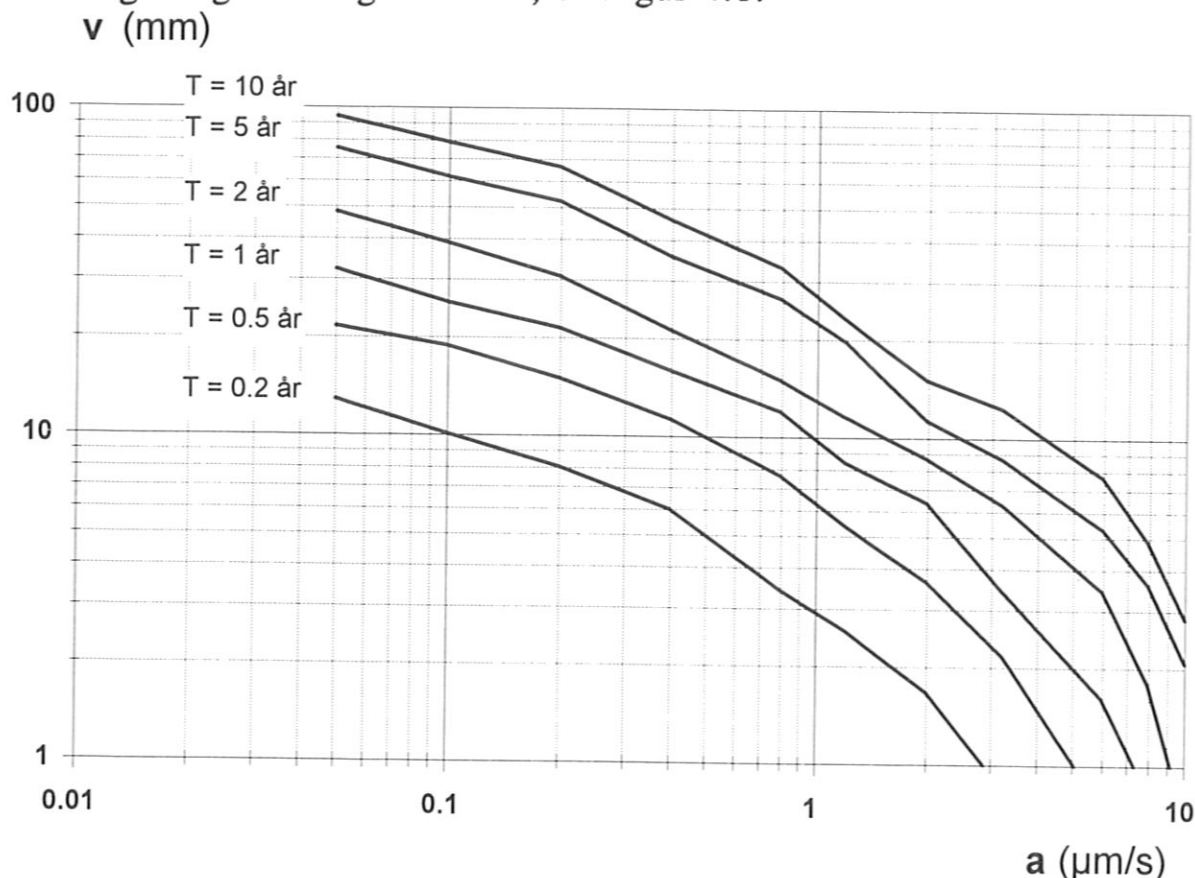
4. Dimensioneringsprincipper

4.1 Faskiner

En faskines størrelse og geometri afhænger af det nødvendige perkolationsareal og magasineringsvolumen. I princippet kan en faskine dimensioneres på samme måde som et forsinkelsesbassin (jf. SVK-skrift 18) /5/. Den eneste forskel er, at der for faskiner er en fysisk relation mellem geometri (magasineringsvolumen) og perkolationskapacitet, dvs. faskinens geometri indgår i beregning af afløbstallet.

4.1.1 Dimensionering af forsinkelsesbassiner

Ved dimensionering af forsinkelsesbassiner er den dimensionsgivende parameter en gentagelsesperiode T for fyldning af bassin. Indgangsparameteren er bassinets afløbstal a . Det nødvendige specifikke bassinvolumen v kan aflæses på y-aksen i et diagram, der viser sammenhængen mellem afløbstal, gentagelsesperiode og nødvendigt magasineringsvolumen, se Figur 4.1.



Figur 4.1 Diagram til dimensionering af forsinkelsesbassiner baseret på regndata fra Måløv (1979-92). Diagrammet viser sammenhængen mellem afløbstal, gentagelsesperiode og nødvendigt magasineringsvolumen. Diagrammet er konstrueret med et EDB-program, der beregner "maksimale bassinvolumener" på baggrund af forvalgte afløbstal, jf. SVK skrift nr. 18 /5/. Koncentrationstiden er 5 min.

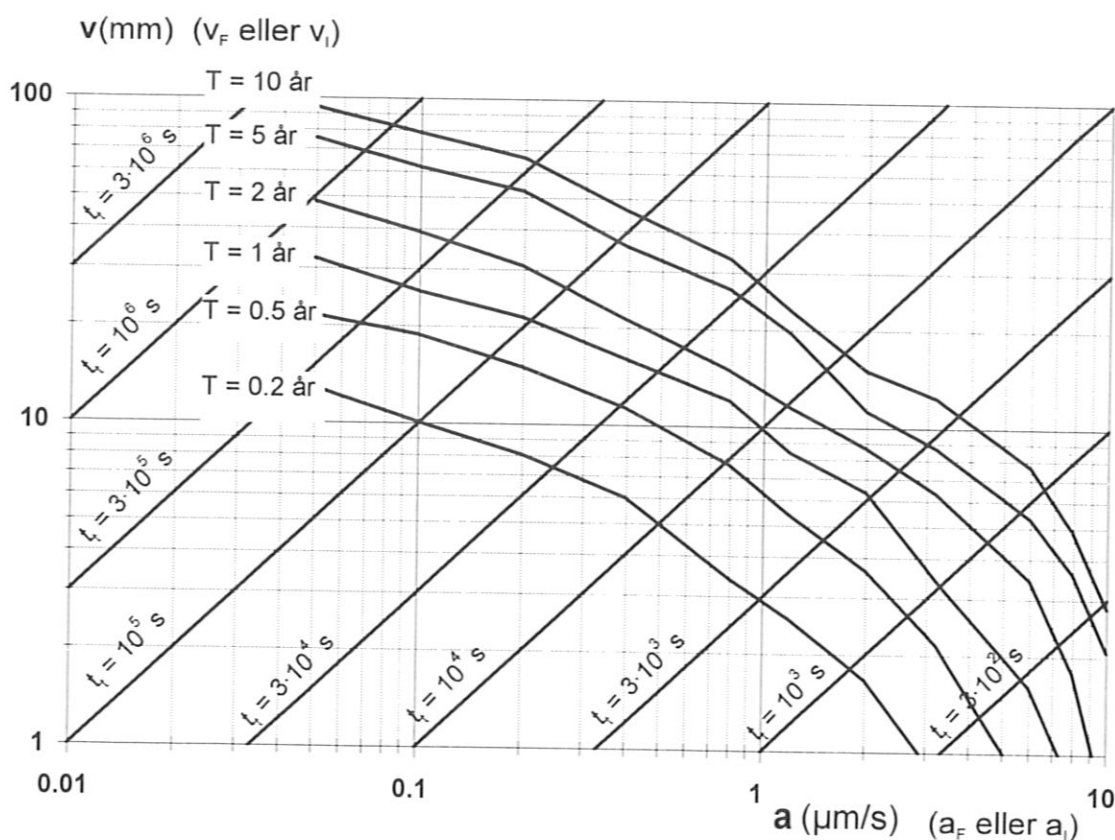
4.1.2 Dimensionering af faskiner

For faskiner er den dimensionsgivende parameter tilsvarende en gentagelsesperiode T for fyldning af faskinen. Faskinens karakteristiske tømningstid t_t er defineret som forholdet mellem dens magasineringsvolumen og perkulationskapacitet.

$$t_t = \frac{v_F}{Q_p} = \frac{v_F}{a_F} \quad [s] \quad (4.1)$$

Når t_t indtegnes i bassindimensioneringsdiagrammet (Figur 4.1) vil forskellige værdier af t_t udgøre parallelle rette linier, se Figur 4.2.

Der eksisterer altså to relationer mellem faskinens afløbstal a_F og specifikke magasineringsvolumen v_F . Den ene afspejler for en given gentagelsesperiode regnens egenskaber (en bassin-dimensioneringskurve), mens den anden angiver en fysisk (geometrisk) sammenhæng, givet ved ligning (4.1). Dimensioneringen består nu i at bestemme en faskinegeometri, hvor begge relationer er overholdt, d.v.s. skæringspunktet mellem to kurver i Figur 4.2 skal findes.

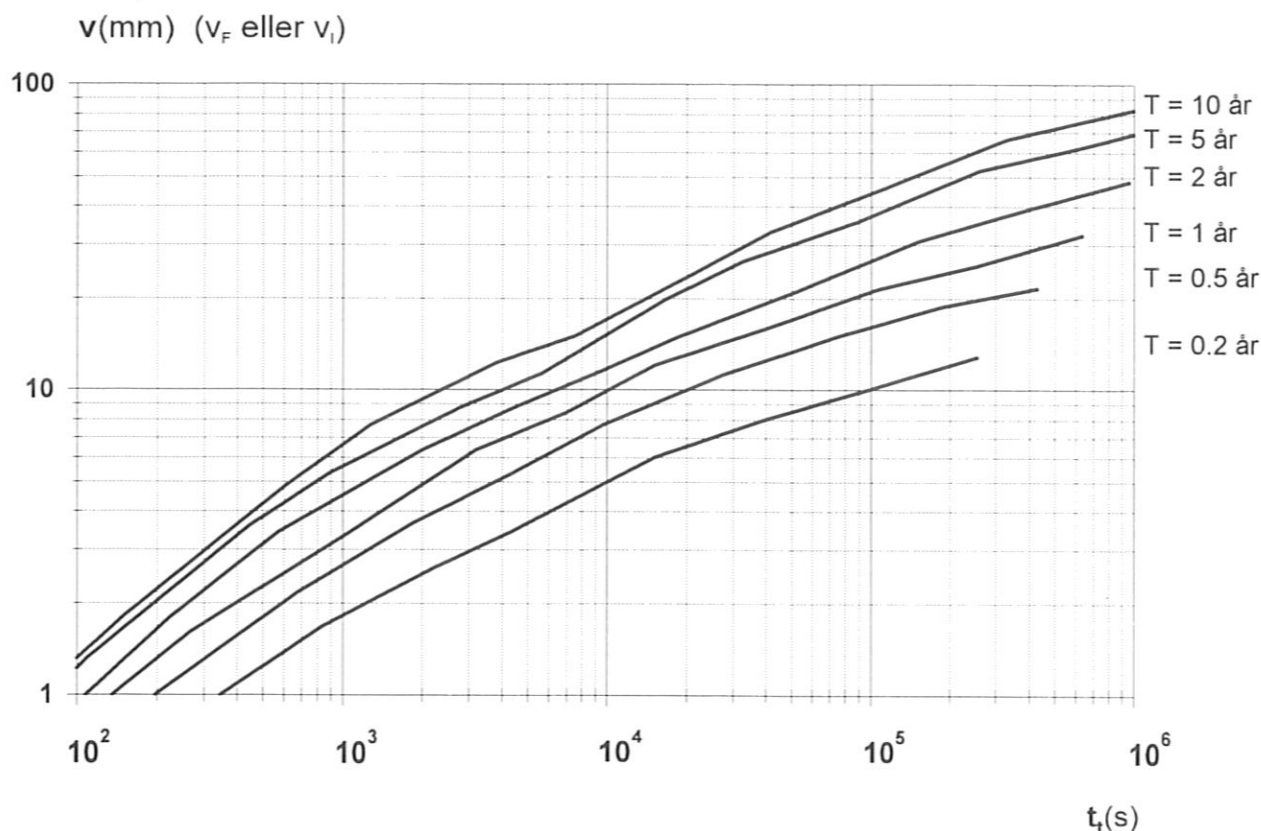


Figur 4.2 Forskellige værdier af t_t udgør parallelle rette linier i bassindimensioneringsdiagrammet, (figur 4.1).

Figur 4.3 viser en forenkling af Figur 4.2 og kan direkte anvendes til dimensionering af faskiner. t_t er afbilledet som x-akse og det nødvendige specifikke magasineringsvolumen kan aflæses på y-aksen ud fra skæringen mellem t_t og en kurve for den valgte gentagelsesperiode T .

Dimensioneringen gennemføres efter følgende metode:

1. Der vælges en gentagelsesperiode T for overbelastning, udfra hvor tit man kan acceptere at faskinen overbelastes.
2. Faskinens geometritype fastlægges, og den karakteristiske tømningstid t_t beregnes ud fra geometriparametre og jordens hydrauliske ledningsevne. I Figur 4.4 er beregningsformlerne angivet for nogle udvalgte typer af faskiner.
3. Med t_t og T som indgang, aflæses det nødvendige specifikke magasineringsvolumen v_F på Figur 4.3, og den nødvendige geometri fastlægges.

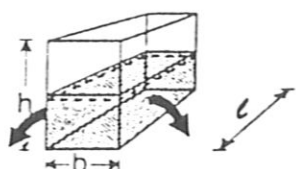


Figur 4.3 Diagram til dimensionering af nedslivningsanlæg baseret på regndata fra Måløv (1979-92). Diagrammet viser for udvalgte gentagelsesperioder T sammenhængen mellem den karakteristiske tømningstid t_t og det nødvendige specifikke magasineringsvolumen v_F . Diagrammet er vedlagt i større format som bilag 1.

I tilfælde hvor faskinens længde l eller højde h indgår i formelen for t_i gennemføres dimensioneringen ved at iterere punkterne 2 og 3 indtil faskinen har den rigtige geometri. Der er erfaring for, at faskinens bundflade med tiden kan stoppe til, så vandet kun perkolerer ud i jorden gennem faskinens sideflader. Hvis dette er tilfældet, skal der ikke regnes med perkolation gennem bundfladen når den karakteristiske tømningstid t_i beregnes (jf. Figur 4.4).

a) TÆT BUND

Rendefaskine

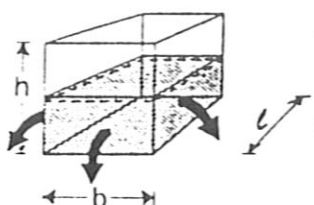


$$V_F = \frac{\ell b h \phi}{A_r}$$

$$a_F = \frac{\ell h K}{A_r}$$

$$t_i = \frac{b \phi}{K}$$

Rektangulær faskine

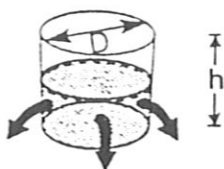


$$V_F = \frac{\ell b h \phi}{A_r}$$

$$a_F = \frac{(\ell + b) h K}{A_r}$$

$$t_i = \frac{\ell b \phi}{(\ell + b) K}$$

Cirkulær faskine



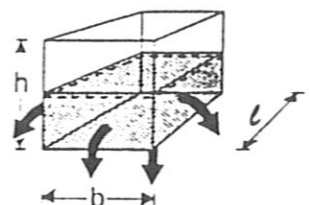
$$V_F = \frac{\pi D^2 h \phi}{4 A_r}$$

$$a_F = \frac{\pi D h K}{2 A_r}$$

$$t_i = \frac{D \phi}{2 K}$$

b) UDSIVNING GENNEM SIDER OG BUND

Rektangulær faskine

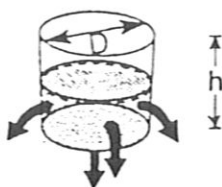


$$V_F = \frac{\ell b h \phi}{A_r}$$

$$a_F = \frac{[(\ell + b)h + \ell b] K}{A_r}$$

$$t_i = \frac{\ell b h \phi}{[(\ell + b)h + \ell b] K}$$

Cirkulær faskine



$$V_F = \frac{\pi D^2 h \phi}{4 A_r}$$

$$a_F = \frac{\pi K D (D/4 + h/2)}{A_r}$$

$$t_i = \frac{\phi}{K(1/h + 2/D)}$$

Figur 4.4 Matematiske formler til beregning af den karakteristiske tømningstid t_i for forskellige faskinetyper, hhv. med- og uden perkolation gennem bundfladen.

4.2 Infiltrationsanlæg

4.2.1 Opmagasinerings på overflader

Infiltrationsoverflader vil normalt skulle dimensioneres med et magasineringsvolumen på overfladen, og bør anlægges med små fald, således at det effektive nedsivningsareal bliver så stort som muligt.

Den nødvendige kombination af effektivt infiltrationsareal og magasineringsvolumen bestemmes efter samme princip som ved dimensionering af faskiner jf. afsnit 4.1.2 og Figur 4.3.

Infiltrationsoverfladens afløbstal a_I , det specifikke magasineringsvolumen v_I og den karakteristiske tømningstid t_t er givet ved ligningerne (4.2), (4.3) og (4.4). I ligningerne indgår det reducerede oplandsareal A_r , infiltrationsoverfladens infiltrationskapacitet f , infiltrationsoverfladens areal A_I , infiltrationsoverfladens effektive areal A_I^* og den gennemsnitlige dybde af magasineringsvoluminet d . Det effektive infiltrationsareal er indført for at tage hensyn til, at højtliggende områder på infiltrationsoverfladen ikke er aktive hele tiden. Det effektive infiltrationsareal defineres (på den sikre side) som den "våde" del af infiltrationsoverfladen, som er aktiv i hele infiltrationsforløbet.

$$a_I = f \frac{A_I^*}{A_r + A_I} \quad [\text{m/s}] \quad (4.2)$$

$$v_I = \frac{d A_I^*}{A_r + A_I} \quad [\text{m}] \quad (4.3)$$

$$t_t = \frac{v_I}{a_I} = \frac{d}{f} \quad [\text{s}] \quad (4.4)$$

Dimensioneringsmetoden er iterativ og har følgende fremgangsmåde:

1. Det specifikke magasineringsvolumen v_I beregnes af ligning (4.3) udfra et gæt på det nødvendige infiltrationsareal A_I og det tilhørende effektive infiltrationsareal A_I^* samt den acceptable gennemsnitlige dybde d i magasinvoluminet.
2. Den karakteristiske tømningstid t_I beregnes efter ligning (4.4).
3. I diagrammet vist på figur 4.3, hvor v_I er afbildet som funktion af t_I og T , kontrolleres om v_I er tilstrækkelig. Hvis det ikke er tilfældet gættes på nye værdier af A_I , A_I^* og d .

4.2.2 Infiltrationsoverflade uden magasineringsvolumen

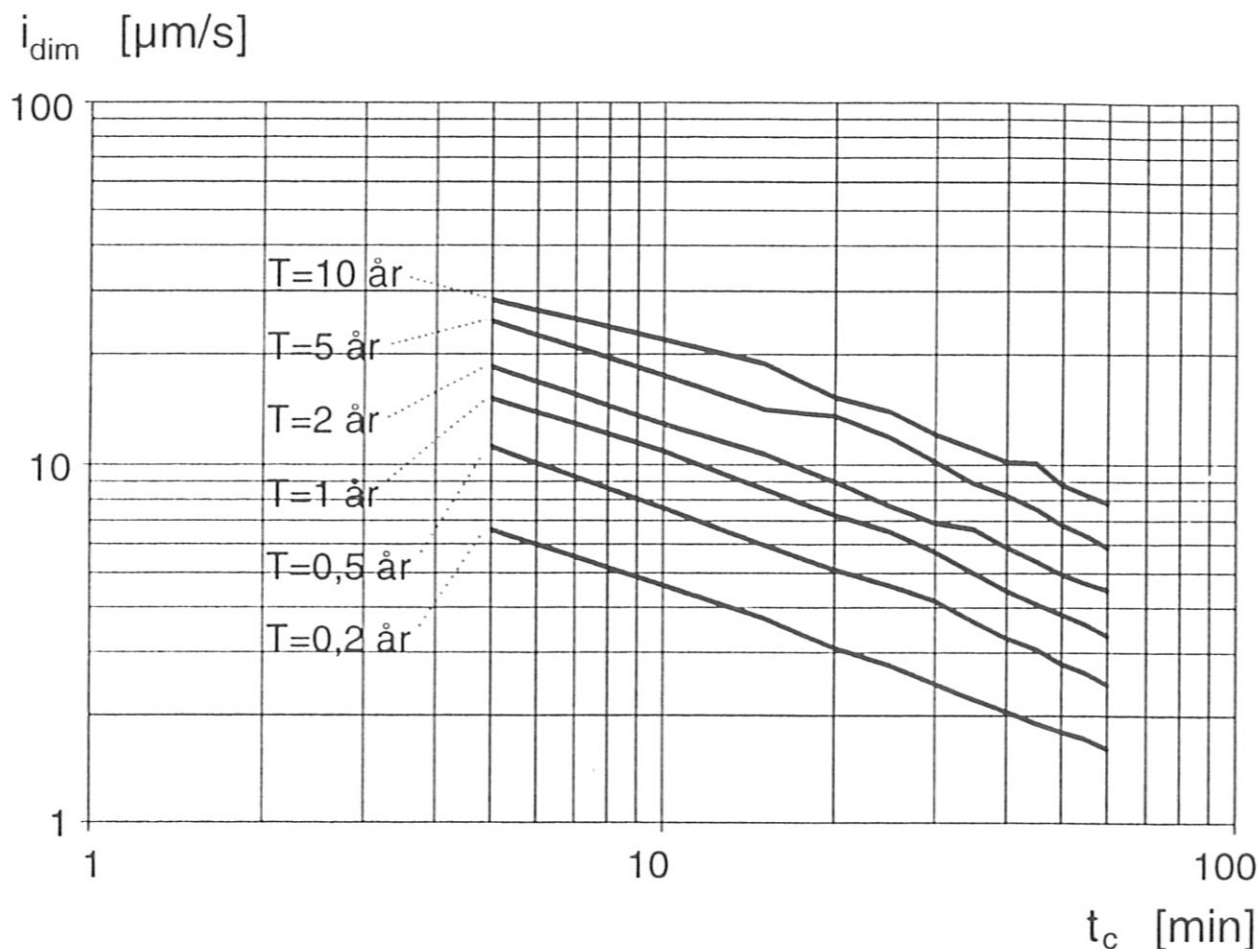
I nogle tilfælde er der brug for at dimensionere infiltrationsoverflader, så der ikke sker opmagasinerings af vand på overfladen. Dette er f.eks. relevant ved projektering af permeable vejbelægninger eller sportsanlæg, hvor det er afgørende at der ikke står vand på overfladen. I disse tilfælde vil det ofte være nødvendigt at forøge nedsivningskapaciteten vha. drænsystem eller ved at indbygge et magasineringsvolumen under overfladen, f.eks. i bærelaget.

Den dimensionsgivende parameter er en valgt gentagelsesperiode T for dannelse af vandmagasinerings på terræn. Dimensioneringsmetoden er her anderledes, idet gentagelsesperioden definerer en dimensionsgivende regnintensitet, som infiltrationsoverfladen skal kunne absorbere.

Den dimensionsgivende regnintensitet i_{dim} bestemmes ud fra gentagelsesperioden T samt en regnvarighed svarende til koncentrationstiden t_c for den samlede overflade ($A_r + A_I$). i_{dim} aflæses på Figur 4.5 udfra en valgt gentagelsesperiode T , og den nødvendige størrelse af infiltrationsoverfladen bestemmes af (4.5) udfra den dimensionsgivende regnintensitet i_{dim} og infiltrationskapaciteten f .

$$A_I \geq A_r \frac{i_{dim}}{f - i_{dim}} \quad [m^2] \quad (4.5)$$

(4.5) er udledt udfra en målsætning om at infiltrationsoverfladen skal kunne nedsive en dimensionsgivende regnintensitet der falder på både det reducerede areal og på infiltrationsoverfladens areal, dvs. $f A_I \geq i_{dim}(A_r + A_I)$.



Figur 4.5 Sammenhæng mellem varighed, middelintensitet og gentagelsesperiode, baseret på regndata fra Odense (1933-80).

4.3 Jordparametre

Nedsivningskapaciteten indgår i dimensioneringen i form af den hydrauliske ledningsevne K ved dimensionering af faskiner, og som infiltrationskapaciteten f ved dimensionering af infiltrationsoverflader. Disse parametre skal måles eller vurderes for at dimensionere nedsivningsanlæg. I litteraturen er der beskrevet metoder til at måle disse parametre jf. /10/ og /17/.

I tabel 4.1 er angivet værdier af den mættede hydrauliske ledningsevne K for forskellige jordtyper. Ved Målinger i Sydsverige har man konstateret at beplantede overfladers infiltrationskapacitet ligger i et relativt snævert interval omkring $0,1 - 10 \mu\text{m/s}$. Dette skyldes at vandtransporten i det væsentligste styres af sprækker og huller forårsaget af vegetationen, /2/. Kunstige overflader kan dog have væsentligt større infiltrationskapacitet!

Jordtype	Kornstørrelse	Hydraulisk ledningsevne K
	μm	$\mu\text{m/s}$
Grus	2.000 - 60.000	1.000 - 100.000
Sand	50 - 2.000	10 - 10.000
Silt	2 - 50	0,001 - 10
Ler	0 - 2	< 0,001
Moræneler	-	0,0001 - 1

Tabel 4.1 Tabelværdier for den mættede hydrauliske ledningsevne for forskellige jordtyper [17].

4.4 Valg af gentagelsesperiode

De traditionelle gentagelsesperioder ved dimensionering af afløbssystemer er $T = 2$ år for fællessystemer og $T = 1$ år for separatsystemer. Det er derfor nærliggende også at anvende f.eks. $T = 2$ år ved dimensionering af faskiner. Til sammenligning kræver man i England, at faskiner dimensioneres med en gentagelsesperiode på $T = 10$ år med begrundelsen, at der typisk ikke er andre aflastningsmuligheder end husets egen kælder.

Der er imidlertid mange muligheder for at udforme nedsivningsanlæg i samspil med de omgivelser, hvor der bl.a. er mulighed for at bortskaffe vandet i overbelastningstilfælde.

Hvis f.eks. en faskine er forsynet med overløb til 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 overløbsvandet kan ledes til naturlige lavninger i terrænet, hvor det ikke gør væsentlig skade. Omvendt må man dimensionere for en stor gentagelsesperiode, hvis overskridelse af faskinens kapacitet har alvorlige konsekvenser.

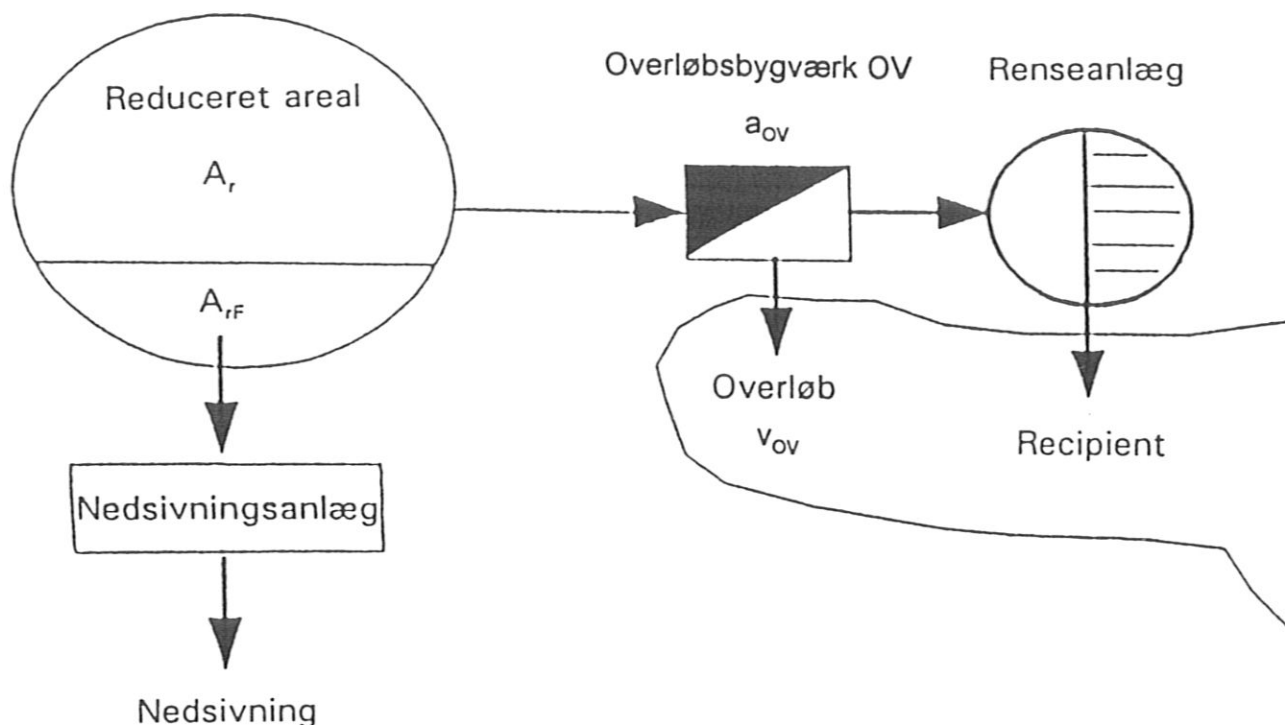
Det er vigtigt i hvert enkelt tilfælde at vurdere de lokale forhold og fastsætte den nødvendige gentagelsesperiode i forhold til konsekvenserne af at overskride nedsivningsanlæggets kapacitet.

5. Effekt af nedsivning på funktion af afløbssystemer

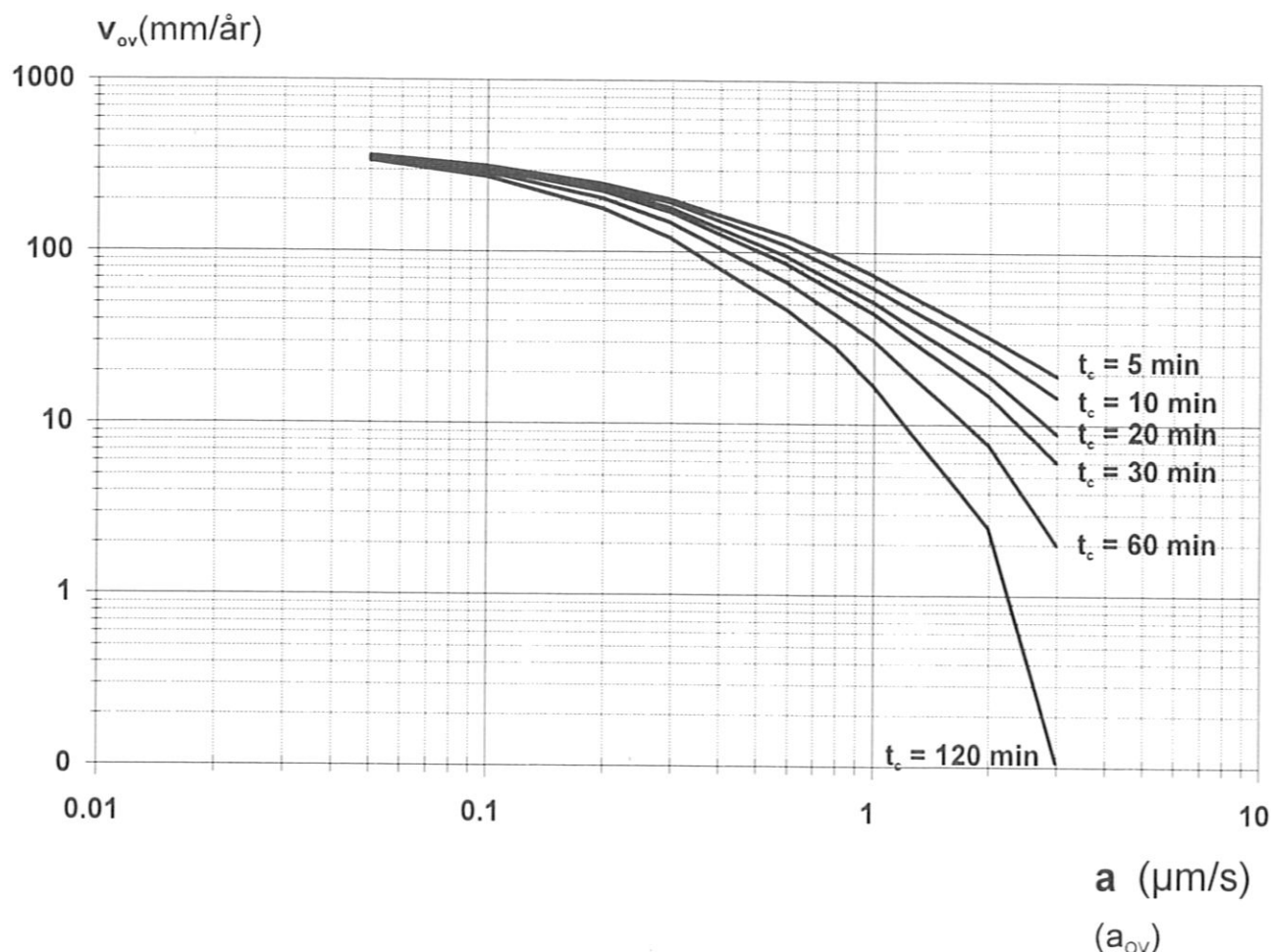
Nedsivning af regnvand i et opland vil reducere aflastningerne fra nedstrøms overløbsbygværker i fælleskloakerede afløbssystemer samt udledningen fra separate regnvandsudløb, se afsnit 2.3. I dette afsnit vurderes, hvor stor en del af det befæstede areal i et opland, der skal afvandes til nedsivningsanlæg for at opnå en given reduktion i de aflastede mængder fra et nedstrøms overløbsbygværk. Yderligere gøres rede for hvilken betydning det har, hvis der indbygges et overløbsbygværk fra nedsivningsanlæggene til afløbssystemet.

5.1 Aflastning fra overløbsbygværker

Effekten af at nedsive regnvandet kan sidestilles med at mindske det reducerede areal, se Figur 5.1. Ved at mindske det reducerede areal vil overløbsbygværkets afløbstal blive større, og aflastningerne vil derfor blive mindre. Effekten af at nedsive regnvandet i et fælleskloakeret opland kan således bestemmes v.h.a. diagrammet på Figur 5.2 jf. SVK-skrift 21 /4/, som viser sammenhængen mellem afløbstal a_{ov} og årligt aflastet volumen V_{ov} for forskellige koncentrationstider.



Figur 5.1 Nedsivning af regnvand kan sidestilles med at mindske det reducerede areal i oplandet til et overløbsbygværk



Figur 5.2 Sammenhæng mellem afløbstal og årlig aflastning fra overløbsbygværk for forskellige koncentrationstider, beregnet med SAMBA på baggrund af regndata fra Måløv (1979-92).

Afløbstallet a_{ov} for overløbsbygværket beregnes af ligning (5.1), hvor Q_a er afløbskapaciteten, Q_s er den gennemsnitlige spildevandsvandføring og A_r er det reducerede areal opstrøms overløbsbygværket.

$$a_{ov} = \frac{Q_a - Q_s}{A_r} \quad (5.1)$$

5.1.1 Stofmængder

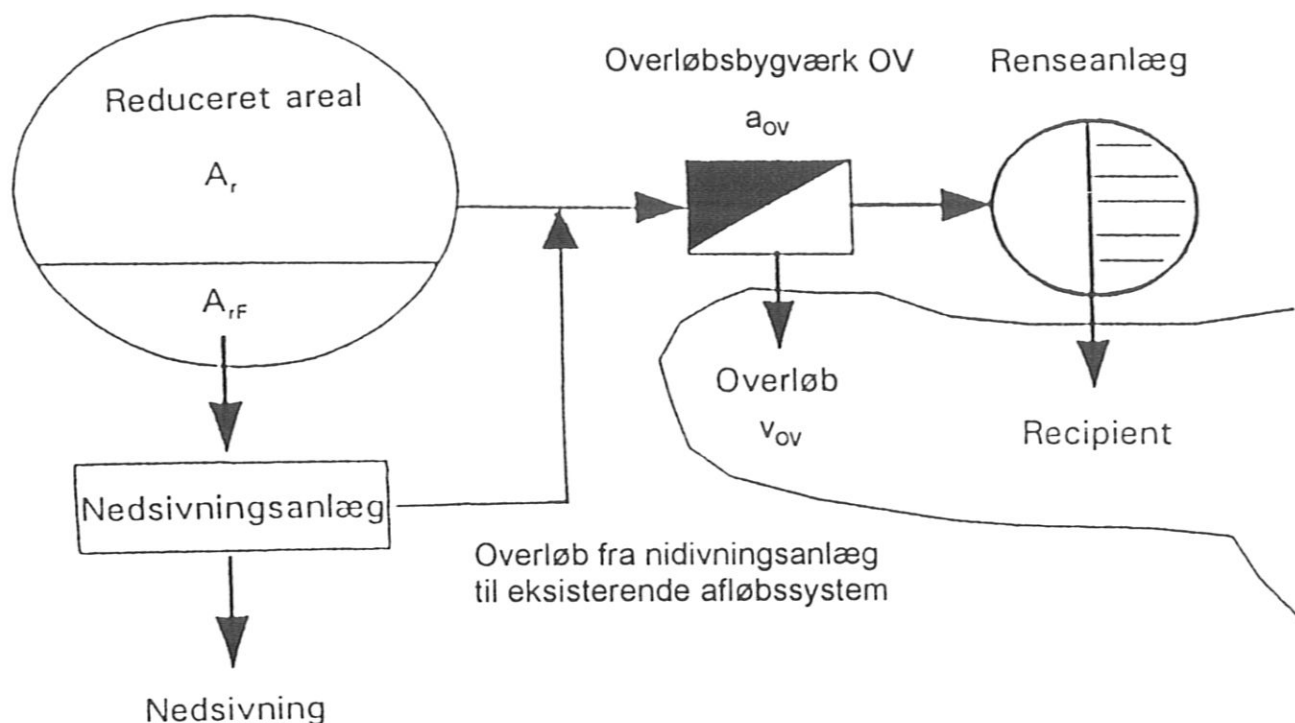
Såfremt blandingsforholdet mellem spildevand og regnvand ikke ændrede sig, ville stofmængderne ved overløb ændres proportionalt med vandvoluminet.

Når det befæstede areal reduceres vil blandingsforholdet mellem spildevand og regnvand imidlertid ændres så stofkoncentrationerne i det aflastede vand bliver større. Konsekvensberegninger med SAMBA /16/ viser dog at denne effekt kun har betydning i de tilfælde, hvor afløbstallet er meget lille, idet den volumenmæssige reduktion her er relativ stor når det befæstede areal reduceres.

5.2 Kapacitets- og oversvømmelsesproblemer i afløbssystemet

Nedsivning af regnvand kan også afhjælpe kapacitets- og oversvømmelsesproblemer i afløbssystemet, idet spidsbelastningerne reduceres som følge af at en del af det reducerede areal nedsives. Problematikken kan sidestilles med at reducere antallet af overløb fra et overløbsbygværk, hvor "flaskehalsen" i afløbssystemet betragtes som et overløbsbygværk. Antallet af aflastninger er således et udtryk for hvor tit der vil opstå kapacitets- og oversvømmelsesproblemer i afløbssystemet.

Figur 5.3 viser sammenhængen mellem afløbstal og det årlige antal overløb for forskellige koncentrationstider, jf. SVK-skrift 21 /4/. Afløbstallet beregnes af ligning (5.1), hvor Q_a sættes lig med kapaciteten i den ledning som udgør "flaskehalsen".



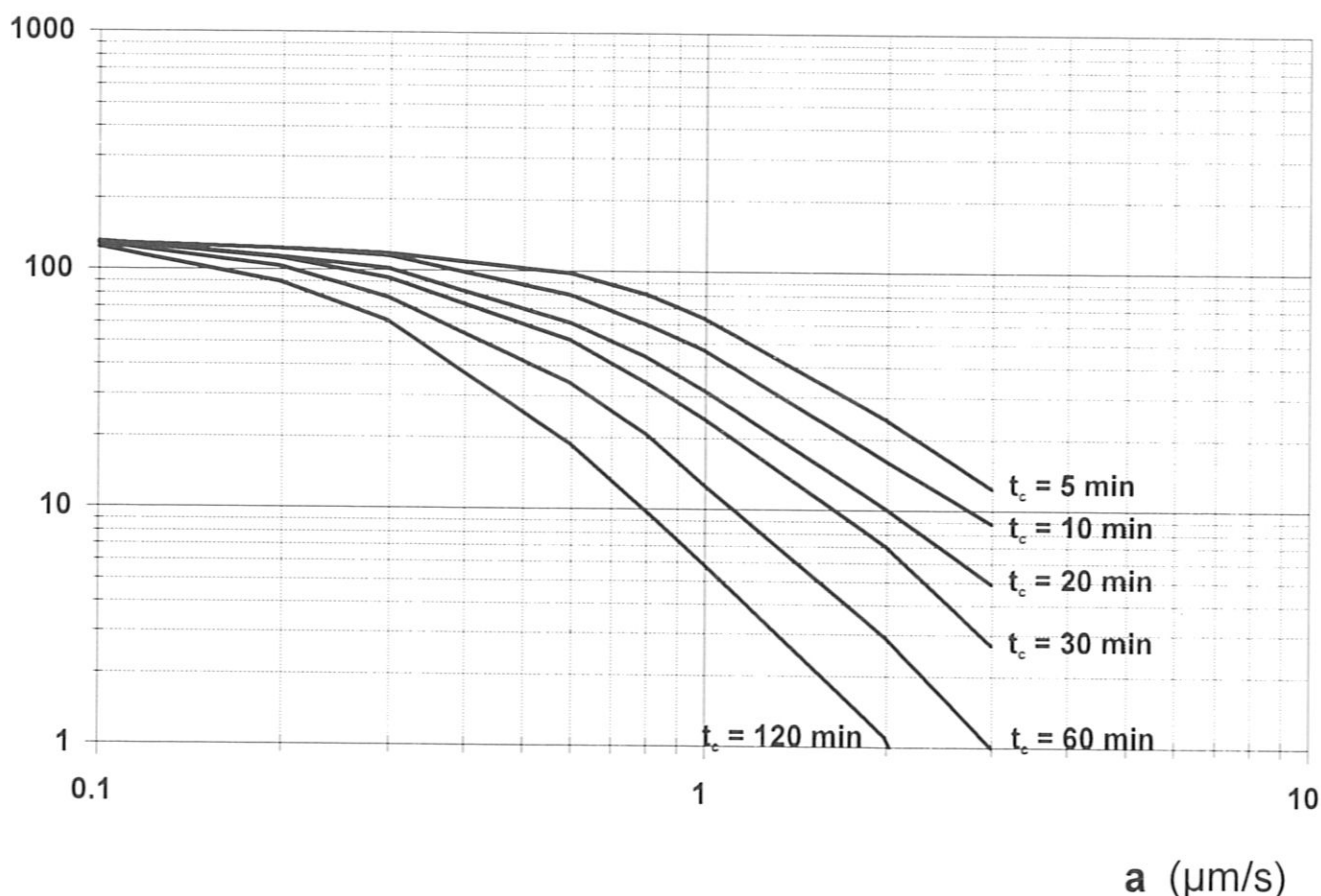
Figur 5.3 Sammenhæng mellem afløbstal og årligt antal overløb fra overløbsbygværk for forskellige koncentrationstider, beregnet med SAMBA på baggrund af regndata fra Måløv (1979-92).

5.3 Overløb fra nedsivningsanlæg til afløbssystem

Ved at indbygge overløb fra nedsivningsanlæg til afløbssystem opnås en sikkerhed mod oversvømmelse eller andre alvorlige konsekvenser som følge af at nedsivningsanlæggets kapacitet overskrides, idet der aflastes til afløbssystemet. Det forudsætter naturligvis, at der er kapacitet i afløbssystemet til at transportere overløbsvandføringen.

Overløb fra nedsivningsanlæg til afløbssystem betyder, at man kan dimensionere nedsivningsanlæggene med en mindre gentagelsesperiode for overbelastning. Omvendt skal en større del af det reducerede areal nedsives, for at opnå samme reduktion i de aflastede mængder som i situationen uden overløb, se Figur 5.4. Der er således en sammenhæng mellem valg af gentagelsesperiode (til dimensionering af nedsivningsanlæg), og bestemmelse af den andel af det reducerede areal som skal nedsives, for at opnå en given reduktion af de årlige aflastningsmængder fra et nedstrøms overløbsbygværk, se /21/.

antal overløb pr. år



Figur 5.4 Med overløb fra nedsivningsanlæg til eksisterende afløbssystem i et fælleskloakeret opland, kan man reducere den dimensionsgivende gentagelsesperiode ved dimensionering af nedsivningsanlæggene.

Denne sammenhæng kan analyseres v.h.a. SAMBA, hvor det i hvert enkelt tilfælde kan vurderes hvilken kombination af parametre (gentagelsesperiode T for dimensionering af nedsivningsanlæg og andel af reduceret areal som skal nedsives), der er mest hensigtsmæssig. Proceduren er illustreret i afsnit 6.3.1, hvor det nødvendige magasineringsvolumen i faskinerne er minimeret ved at nedsive 65% af det reducerede areal, og hvor gentagelsesperioden for aflastning til afløbssystemet er $T = 0,04$ år eller $n = 25$.

6. Eksempler

6.1 Dimensionering af faskine

Der skal dimensioneres en faskine til at modtage regnvand fra et reduceret areal på 800 m². Faskinen udføres som rendefaskine med en bredde på 0,5 m, fyldmaterialet er singels som har en porøsitet på $\phi = 0,25$. Faskinen placeres i en jord med en hydraulisk ledningsevne på $K = 6 \mu\text{m/s}$. Faskinen dimensioneres så gentagelsesperioden for overskridelse af kapacitet er $T = 2$ år.

Den karakteristiske tømningstid t_t beregnes til ca. 20.000 s (5,6 h), jf. den øverste formel på Figur 4.4, (der regnes ikke med perkolation gennem bund og endeflader).

Med t_t og T som indgangsparametre aflæses det nødvendige specifikke magasineringsvolumen v_F i diagram på Figur 4.3 til 17 mm. Det nødvendige magasineringsvolumen er således $16,5 \cdot 10^{-3} \cdot 800 = 13,2 \text{ m}^3$, og faskinens længde og højde kan f.eks. være $h = 2 \text{ m}$ og $l = 53 \text{ m}$ (ved en porøsitet på $\phi = 0,25$ af fyldmateriale).

Dimensioneringen er sammenfattet i tabel 6.1.

Kendte eller målte parametre				Valgt	Formel (4.1)	Figur 4.3			
A_r (m ²)	b (m)	ϕ (-)	K ($\mu\text{m/s}$)	T (år)	t_t (s)	v_F (mm)	V_F (m ³)	h (m)	l (m)
800	0,5	0,25	6	2	20.000	16	12,8	2	51

Tabel 6.1 Dimensionering af faskine - eksempel

6.2 Dimensionering af infiltrationsanlæg

Der skal dimensioneres en infiltrationsoverflade til at modtage regnvand fra et opland med et reduceret areal på 800 m². Det reducerede areal har en afstrømningstid på 5 min. Infiltrationsoverfladens infiltrationskapacitet er $f = 8 \mu\text{m/s}$. Infiltrationsoverfladen dimensioneres med magasineringsvolumen på overfladen.

Infiltrationsoverfladen skal dimensioneres så gentagelsesperioden for overbelastning er $T = 2$ år henholdsvis $T = 1$ år.

Dimensioneringen udføres som beskrevet i afsnit 4.2. Der gættes værdier af Infiltrationsoverfladens areal A_I , Infiltrationsoverfladens effektive areal A_I^* og middeldybden til magasinering d . Metoden er iterativ og er illustreret i tabel 6.2.

Kendte		Valgt	Gæt			Beregnet		Figur 4.3	Kontrol
A_r	f	T	A_I	A_I^*	d	t_t	v_I	v_I (aflæst)	$v_I = v_{ID}$
m^2	$\mu m/s$	år	m^2	m^2	mm	s	mm	mm	>, <, ok.
800	8	2	500	300	70	8.750	16,2	11	>
800	8	2	500	300	45	5.625	10,4	10	ok.
800	8	1	500	300	35	4.390	8,1	7,5	ok.

Tabel 6.2 Dimensionering af infiltrationsoverflade med magasineringsvolumen på overfladen.

6.3 Reduktion af årlig aflastning fra overløbsbygværk

6.3.1 Nedsivningsanlæg uden overløb til afløbssystem

For et overløbsbygværk med afløbstal $a_{ov} = 0,2 \mu m/s$ nedstrøms et reduceret oplandsareal på $A_r = 150$ ha med koncentrationstid på $t_c = 30$ min, skal de årlige aflastninger reduceres med 60% ved nedsivning af regnvand i en del af oplandet. De årlige aflastninger er jf. Figur 5.2 ca. 200 mm/år, svarende til $V_{ov} = 200 \cdot 10^{-3} \cdot 150 \cdot 10^4 = 300 \cdot 10^3 m^3/år$ (status).

Den årlige aflastning skal reduceres med 60%, dvs. til $(1-0,6) \cdot 300 \cdot 10^3 = 120 \cdot 10^3 m^3/år$. Hvis det reducerede areal, som er tilsluttet overløbsbygværket mindskes til 95 ha, ved at nedsive 55 ha reduceret areal (svarende til 37% af det oprindelige areal), vil afløbstallet ændres til $a_{ov} = 0,2 \cdot 150/95 = 0,32 \mu m/s$. De årlige aflastninger reduceres således til ca. 125 mm/år, svarende til $V_{ov} = 125 \cdot 10^{-3} \cdot 95 \cdot 10^4 = 119 \cdot 10^3 m^3/år$, som altså opfylder kravværdien på $120 \cdot 10^3 m^3/år$.

Proceduren er en iteration i Figur 5.2, indtil kombinationen af overløbsbygværkets afløbstal a_{ov} og det reducerede areal A_r (tilsluttet overløbsbygværket) opfylder kravværdien til de årligt aflastede mængder V_{ov} .

Beregningerne er sammenfattet i tabel 6.3.

Situation	Parametre overløbsbygværk			Figur 5.2	$v_{ov} \cdot A_r$
	A_r (ha.)	a_{ov} ($\mu\text{m/s}$)	t_o (min)		
Status	150	0,20	30	200	300.000
Nedsivning	95	0,32	30	125	119.000

Tabel 6.3.2 Reduktion af aflastninger fra overløbsbygværk ved nedsivning af regnvand

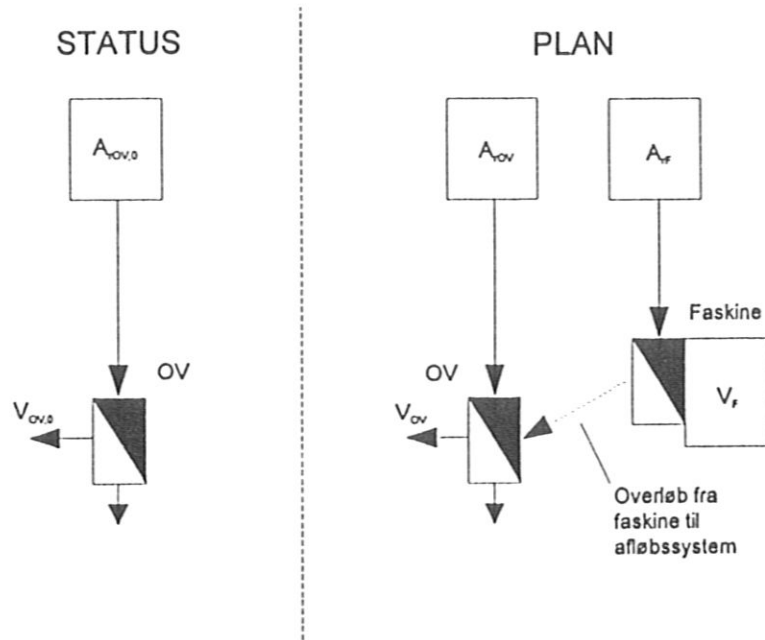
6.3.1 Nedsivningsanlæg med overløb til afløbssystem

Hvis der indføres overløb fra nedsivningsanlæggene til det eksisterende afløbssystem, er der, til dimensionering af faskiner, ikke længere behov for en dimensionsgivende gentagelsesperiode T for overbelastning, idet der er mulighed for at aflaste til afløbssystemet. Det totale magasineringsvolumen, som er nødvendigt i nedsivningsanlæggene, kan altså reduceres, hvis der indbygges overløb til eksisterende afløbssystem. Men for at opnå samme reduktion i aflastningerne fra nedstrøms overløbsbygværk skal en større del af det reducerede areal føres til nedsivning, jf. afsnit 5.2.

Dette eksempel skal illustrere, at det er muligt at minimere det totale nødvendige magasineringsvolumen i oplandets nedsivningsanlæg.

Situationen forenkles til at bestå af et overløbsbygværk med tilhørende reduceret areal, samt en faskine med overløb til overløbsbygværket og med tilhørende reduceret areal. Se Figur 6.1.

I statussituationen er overløbsbygværkets afløbstal $a_{ov,0} = 0,2 \mu\text{m/s}$, oplandets koncentrationstid t_c er 30 min og faskinens karakteristiske tømningstid er $t_t = 20.000 \text{ s}$ (5,6 h).



Figur 6.1 Forenkling af beregningssituation - overløb fra nedsivningsanlæg til eksisterende afløbssystem

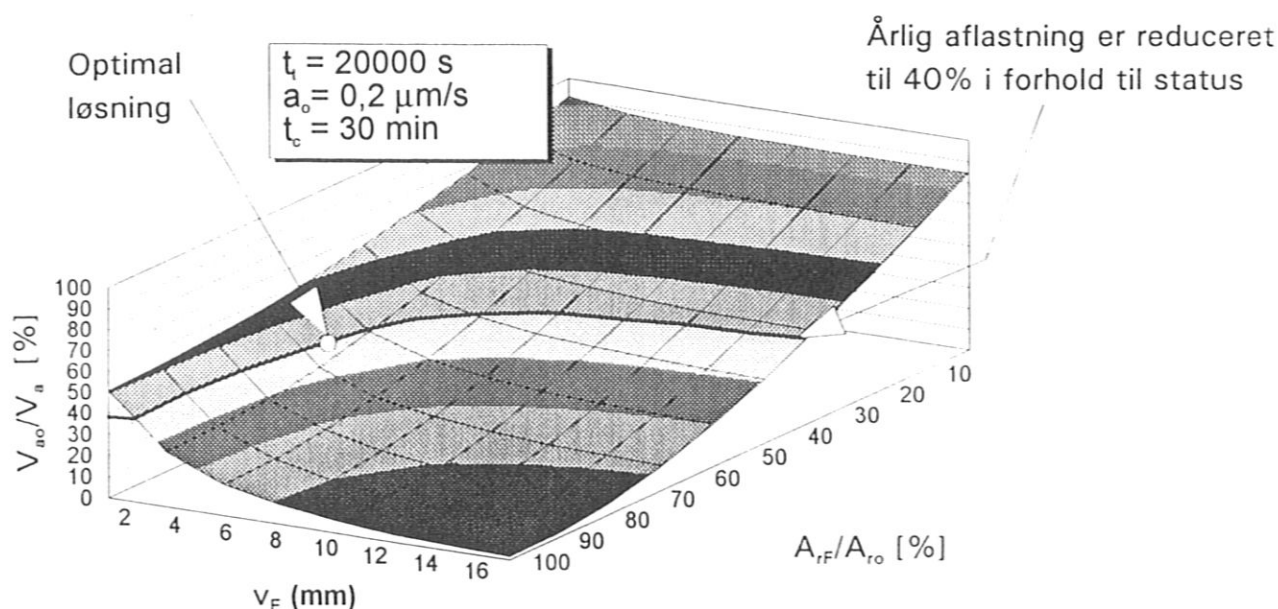
Med SAMBA-modellen er der gennemført et antal beregninger, for forskellige værdier af:

- $A_{rF}/A_{r,ov,0}$ = andel af det reducerede areal som er ført til nedsivning. ($A_{r,ov,0} = A_{rF} + A_{r,ov}$)
- v_F = specifikt magasineringsvolumen i faskine. (Kan sammen med t_c i Figur 4.3 omsættes til en gentagelsesperiode for aflastning til afløbssystem).

For hver kombination af $A_{rF}/A_{r,ov,0}$ og v_F er beregnet hvor meget de årlige aflastninger fra overløbsbygværket reduceres i forhold til statusaflastningen, dvs. $V_{ov}/V_{ov,0}$. Resultatet kan afbildes i en 3D-afbildning som vist på Figur 6.2. En reduktion af de årlige aflastninger fra overløbsbygværket til 40% af statusaflastningerne, kan opnås ved en vilkårlig kombination af $A_{rF}/A_{r,ov,0}$ og v_F på den fremhævede iso-kurve.

Et mere detaljeret studie af iso-kurverne viser, at der vil eksistere en "optimal" løsning som minimerer det nødvendige magasineringsvolumen i faskinen. Denne optimale løsning indebærer $A_{rF}/A_{r,ov,0} = 65\%$ svarende til at $v_F = 3,6$ mm.

Det totale nødvendige magasineringsvolumen i faskinerne bliver således $V_F = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 97,5 \cdot 10^4 = 3.510 \text{ m}^3$, svarende til en gentagelsesperiode for overløb til afløbssystem på $T = 0,04$ år (jf. Figur 4.3 og $t_l = 20.000 \text{ s}$ (5,6 h)).



Figur 6.2 De årlige aflastninger fra overløbsbygværket kan reduceres til 40% ved en vilkårlig kombination af A_{rF}/A_{r0} og v_F på den markerede isokurve.

I situationen uden overløb til afløbssystem skal kun 37% af det reducerede areal føres til nedsivningsanlæg, og hvis faskinerne i oplandet dimensioneres for en dimensionsgivende gentagelsesperiode på $T = 2$ år, skal de have et specifikt magasineringsvolumen på 16,5 mm ($t_l = 20.000$ s (5,6 h) jf. afsnit 6.1). Med et reduceret oplandsareal på $A_{rF} = 0,37 \cdot 150 = 55$ ha, bliver det totale nødvendige magasineringsvolumen $V_F = 9.160$ m³.

Denne sammenligning er illustreret i tabel 6.5.

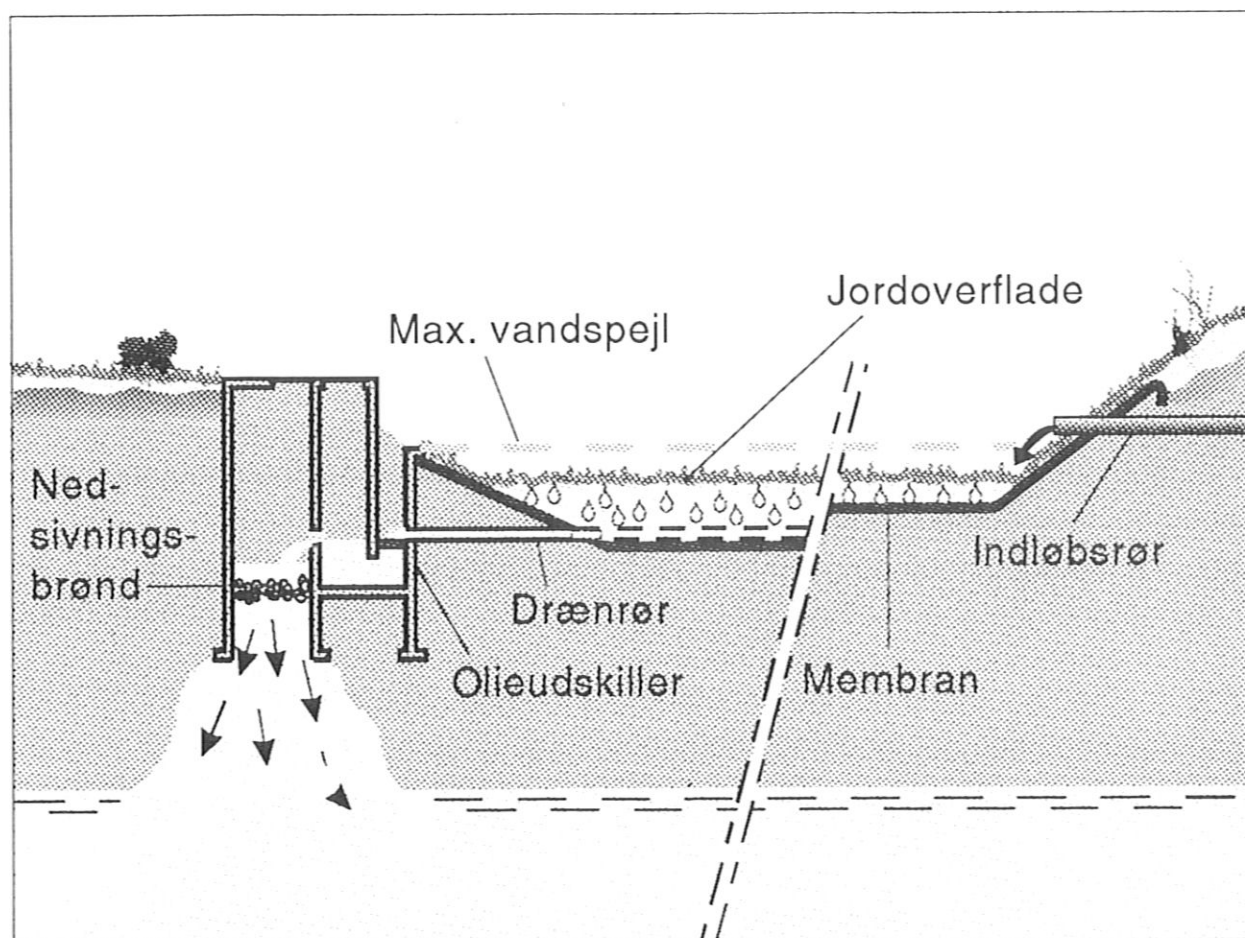
Overløb	$A_{rF}/A_{r,ov,0}$ (%)	A_{rF} (ha)	v_F (mm)	V_F (m ³)	$V_F/A_{r,ov,0}$ (mm)	T (år)
Uden	37	55,5	16,5	9.160	6,1	2
Med	65	97,5	3,6	3.510	2,3	0,04

Tabel 6.5 Sammenligning af situation uden og med overløb fra nedsivningsanlæg til afløbssystem. Begge løsninger fører til en reduktion af aflastningsvolumenet ved nedstrøms overløbsbygværk på 60%.

Ovenstående eksempel illustrerer hvordan det samlede nødvendige magasineringsvolumen i oplandets faskiner kan minimeres.

6.4 Centralt nedsivningsanlæg for vejvand

For eksemplets skyld er den principielle opbygning af et centralt nedsivningsanlæg for regnafstrømning fra en hovedvej nær Zürich i Schweiz gengivet på Figur 6.3. Anlægget er et kombineret bassin/forrensings-/nedsivningsanlæg, der yder en så godt som 100% beskyttelse mod grundvandsforurening, samtidig med at den jord, der forurenes med f.eks. tungmetaller er isoleret. Ved gennemstrømning af ca. en meter beplantet jord er der en særdeles lille fare for gennembrud af forurenende stoffer, og anlæggets udformning giver god mulighed for kontrol via prøvetagning i nedsivningsbrønden.



Figur 6.3 Principskitse af et nedsivningsanlæg for regnafstrømning fra en landevej ved Zürich i Schweiz. Vandet tilledes via et traditionelt rørsystem og har mulighed for at opmagasineres midlertidigt, inden det infiltrerer og filtreres gennem ca. en meter beplantet jord, hvorefter det opsamles i et drænrør, gennemløber en olieudskiller og perkolerer i en grov grusformation via en nedsivningsbrønd, /8/.

Symbolliste

Symbol	SI-enhed	Forklaring
a	[m/s]	Afløbstal
a_F	[m/s]	Afløbstal for faskine
A_r	[m ²]	Reduceret areal
A_I	[m ²]	Infiltrationsoverfladens areal
A_I^*	[m ²]	Infiltrationsoverfladens effektive areal
b	[m]	Bredde
d	[m]	Middeldybde i magasineringsvolumen på infiltrationsoverflade
l	[m]	Længde
h	[m]	Højde
f	[m/s]	Mættet infiltrationskapacitet
i_{dim}	[m/s]	Dimensionsgivende regnintensitet
K	[m/s]	Mættet hydraulisk ledningsevne
n	[år ⁻¹]	Antal aflastninger pr. år
Q_a	[m ³ /s]	Afløbskapacitet fra overløbsbygværk
Q_p	[m ³ /s]	Perkolationskapacitet
Q_s	[m ³ /s]	Spildevandsmængde gennem overløbsbygværk
T	[s]	Gentagelsesperiode
t_t	[s]	Karakteristisk tømmetid
v	[m]	Specifikt magasineringsvolumen
v_I	[m]	Specifikt magasineringsvolumen for infiltrationsoverflade
v_F	[m]	Specifikt magasineringsvolumen i faskine
V_F	[m ³]	Volumen i faskine
ϕ	[-]	Porøsitet af fyldmateriale
t_c	[s]	Koncentrationstid
a_I	[m/s]	Afløbstal for infiltrationsanlæg
a_{ov}	[m/s]	Afløbstal for overløbsbygværk
V_{ov}	[m ³]	Aflastet volumen fra overløbsbygværk
v_{ov}	[m]	Aflastet specifikt volumen fra overløbsbygværk

Ordforklaring

Afløbssystem:

Rørlagt ledningssystem til transport af regnvand og/eller spildevand.

Afløbstal:

Beskriver afløbskapaciteten i relation til det opstrøms reducerede areal.

Dimensionsgivende parameter:

Parameter som er bestemmende for f.eks. en faskines dimensioner (størrelse).

Dimensionsgivende regnintensitet:

Den regnintensitet som anvendes til f.eks. at fastlægge den nødvendige størrelse af en infiltrationsoverflade.

Drænsystem:

Rørlagt ledningssystem til f.eks. lokalt at sænke grundvandsstanden. Transporterer drænvand.

Effektivt infiltrationsareal:

Det effektive infiltrationsareal er den "våde" del af en infiltrationsoverflade hvor der primært vil forekomme infiltration.

Faskine:

Hul i jorden fyldt med sten eller lignende hvorfra regnvand kan opmagasineres og senere perkolere ud i jorden.

Fordelerør:

Rør i f.eks. faskine som sikrer at tilløbsvandet hurtigt bliver fordelt i hele faskinens længde.

Forsinkelsesbassin:

Bassin i afløbssystem hvor regnvand- eller opspædet regn- og spildevand kan opmagasineres indtil der er plads til at videreføre vandet til f.eks. renseanlægget.

Gentagelsesperiode:

Det antal år der i gennemsnit går mellem to ekstreme hændelser (f.eks. overbelastning af anlægskapacitet).

Homogen:

Ensartet.

Hydraulisk ledningsevne:

Den vandmængde der pr. tidsenhed kan strømme gennem et tværsnit i en given jord.

Infiltration:

Nedsivning gennem en overflade, f.eks. jordoverfladen.

Infiltrationskapacitet:

Den vandmængde der pr. tidsenhed kan strømme gennem en given overflade

Infiltrationsoverflade:

Overflade som anvendes til at nedsive f.eks. regnvand.

Infiltrationsoverfladens effektive areal

Det del af infiltrationsoverfladens areal hvor der primært vil forekomme infiltration, svarende til den "våde" del af infiltrationsoverfladen.

Initialtab:

Den regndybde som går til befugtning af overflader, vandpytter mv.

Isotrop:

Samme fysiske egenskaber i alle retninger.

Jordparameter:

Parameter til at beskrive jorden nedsivningsegenskaber med.

Karakteristisk tømmetid:

Den tid der under de givne antagelser teoretisk vil gå for at tømme et nedsivningsanlæg.

Koncentrationstid:

Den transporttid et vandvolumen bruger for at nå fra den opstrøms del af afløbssystemet til et givent sted i afløbssystemet, f.eks. et overløbsbygværk.

Lavn timer:

Lokale områder hvor jordoverfladen er lavere end omgivelserne og derved danner et naturligt magasineringsvolumen.

Magasinvolumen:

Volumen til opmagasinering af vand.

Middelintensitet:

Gennemsnitlig intensitet af f.eks. regnhændelse.

Måløv regnserie 1979-92:

Regnserie målt ved Måløv vandværk i perioden 1979-92.

Nedsivning:

Nedsivning af vand ved perkolation eller infiltration.

Perkolation:

Nedsivning fra en faskine, placeret under jordoverfladen.

Porøsitet:

Den andel af fyldmaterialets volumen som kan anvendes til magasinering af vand.

Recipient:

Vandløb, sø eller lignende som modtager afløbsvand.

Reduceret areal:

Den del af et oplands areal som afvander til f.eks. et afløbssystem.

SAMBA:

Simpel AfløbsModel til Beregning af Aflastninger (model i MOUSE systemet).

Specifikt magasinvolumen:

Magasineringsvolumen i relation til det reducerede oplandsareal.

Udkaster:

Rørstykke for enden af f.eks. et nedløbsrør som kaster eller spreder nedløbsvandet væk fra et hus.

Referencer

- /1/ DIF Spildevandskomitéen (1980): "Spildevandskomitéens regnmålersystem" *SVK-skrift nr. 17*.
- /2/ Lindblad, A. (1981): "Infiltrationsmätningar utförda vid Geologiska Institutionen CTH/GU 1972-80". Sammenstilling og statistisk beabetning. *Geohydrologiska Forskningsgruppen, Meddelande nr. 60*. Chalmers tekniska Högskola. Göteborg, Sverige.
- /3/ Malmquist, P.A. (1982): "Läthund för beräkning av dagvattnets föroreningar". *Geohydrologiska Forskningsgruppen, Meddelande 6*. Chalmers Tekniske Högskole, Göteborg, Sverige.
- /4/ DIF Spildevandskomitéen (1984): "Recipientbelastning fra overløbs-bygværker". *SVK-skrift nr. 21*.
- /5/ DIF Spildevandskomitéen (1984): "Maksimalafstrømninger og bassin-voluminer fra historiske regnserier". *SVK-skrift nr. 18*.
- /6/ Miljøministeriet (1988): "Bekendtgørelse om kvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg". *Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 515 af 29 august 1988*.
- /7/ PH-Consult ApS (1990): "Bearbejdning af danske måledata af regn og afstrømning". *Miljøprojekt nr. 136*. Miljøstyrelsen.
- /8/ AGWZ (1991): "Retention und Versickerung von Meteorwasser im Liegenschaftsbereich. Planungsgrundlagen und Beispiele". Amt für Gewässerschutz und Wasserbau. Baudirektion des Kantons Zürich, Schweiz.
- /9/ Hovgaard, J.; Jacobsen, P. og Mikkelsen, P.S. (1992): "Effekten af nedsivning på traditionel regnvandsafledning". Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, DTH.
- /10/ Jacobsen, P.; Mikkelsen, P.S.; Anthonisen, U.; Faldager, I. og Hovgaard, J. (1992): "Lokal afledning af regnvand". *Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen nr. 36*. Miljøstyrelsen.
- /11/ Bruun, M.; Kristiansen, T.; Van de Ven, F.H.M. and Jacobsen, P. (1992): "Assesment of combined sewer overflow reduction techniques". Proc. NOVATECH 92, Int. Conf. on Innovative Technologies in the Domain of Urban Storm Water Drainage, Lyon, 3-5 Nov. 1992, pp. 375-384.

- /12/ Rørcentret (1992): LAR-lokal afledning af regnvand. Eksempler på anlægsudformninger. Rørcentret, Dansk Teknologisk Institut.
- /13/ Harremoës, P.; Mikkelsen, P.S; Bramslev, J.-P. og Dahl, A. (1992): "Ekstremregns nedbørsmængde og geografiske fordeling". *Stads- og Havneingeniøren*, nr. 6/7, pp. 30-35.
- /14/ Dahl, A.; Mikkelsen, P.S. og Harremoës, P. (1992): "Ekstremregns intensiteter og rørdimensionering". *Stads- og Havneingeniøren*, nr. 8, pp. 30-34.
- /15/ Mikkelsen, P.S.; Dahl, A. og Harremoës, P. (1992): "Regnserier, overløbsmængder og bassindimensionering". *Stads- og Havneingeniøren*, nr. 9, pp. 52-61.
- /16/ Rosted Petersen, C.O. (1993): "Designkriterier for LAR-anlæg i forhold til afløbssystem og renseanlæg. Eksamensprojekt ved Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, DTH.
- /17/ Mikkelsen, P.S. og Jacobsen, P. (1993): "Dimensionering af anlæg til Lokal Afledning af Regnvand". Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, DTH.
- /18/ Hvitved-Jacobsen, T., Johansen, N.B. and Yuosef, Y.A. (1994): "Treatment systems for urban and highway runoff in Denmark". *The Science of the Total Environment*, Vol. 146/147, pp. 499-506.
- /19/ Mikkelsen, P.S.; Weyer, G.; Berry, C.; Walden, Y.; Colandini, V.; Poulsen, S.; Grotehusmann, D. and Rohlfing, R. (1994): "Pollution from urban stormwater infiltration". *Water Science and Technology*, Vol. 29, No. 1-2, pp. 293-302.
- /20/ Miljøministeriet (1994): "Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4". *Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 310 af 25. april 1994*.
- /21/ Rosted Petersen, C.O.; Jacobsen, P. and Mikkelsen, P.S. (1994): "Design of Stormwater Infiltration for Reduction of Combined Sewer Overflow (CSO)". *Water Science and Technology*, vol. 30, No. pp. 53-61.

Bilag 1: Diagram til dimensionering af nedsivningsanlæg for regnvand

