



Hydrauliske forudsætninger

LAR-metodekatalog

Oktober 2011

NOTAT

Projekt **LAR Katalog**
 Kunde **Aarhus Kommune**
 Notat nr. **002, Version 01f, Hydraulisk notat_Aarhus_03.docx**
 Dato **2011-07-08**
 Til **Aarhus Kommune, Paul Chr. Erichsen**
 Fra **Christian Nyerup Nielsen, Lotte Hjerrild**
 Kopi til **Aarhus Vand A/S**
 Forsidefoto **Colorbox**

1. Hydraulisk dimensionering	3
1.1 Principper for LAR-metoder	4
1.1.1 Nedsivning	4
1.1.2 Fordampning og anvendelse af regnvand	5
1.1.3 Behov for forsinkelse og magasinering	6
1.2 Principper for forsinkelsesmetoder	6
1.3 Principper for rensemetoder	7
1.4 Nedbørsdata til hydraulisk dimensionering	8
1.4.1 Regnintensiteter	8
1.4.2 Sikkerhedsfaktorer	10
1.5 Dimensioneringskriterier for LAR-metoder	11
1.5.1 Dimensioneringskriterier for åbne render og ledninger	11
1.5.2 Dimensionering af forsinkelsesvolumen ved nedsivningsmetoder	16
1.6 Dimensionering af forsinkelsesmetoder	19
1.6.1 Dimensionering af forsinkelsesvolumen	19
1.7 Dimensionering af rensemetoder	21

1. Hydraulisk dimensionering

I det følgende foretages en gennemgang af de principper og dimensioneringskriterier, der ligger til grund for den hydrauliske dimensionering i LAR-kataloget af såvel LAR-metoder som forsinkelses- og rensemetoder (jf. tabel 1.1-1.3).

Ønsket effekt	Metode
Nedsivning	Faskiner
	Nedsivningsbrønde
	Nedsivning på græsarealer
	Render og grøfter
	Regnbede
	Permeable belægninger
Fordampning	Grønne tage
Anvendelse	Havevanding, toiletskyl og tøjvask

Tabel 1.1 Oversigt over LAR-metoder, hvor regnvandet helt eller delvist tilbageholdes på matriklen.

Ønsket effekt	Metode
Forsinkelse	Lukkede bassiner
	Våde bassiner og damme
	Render og grøfter
	Opstuvning på terræn
	Permeable belægninger med membran
	Drosling af afløb og anden styring

Tabel 1.2 Oversigt over metoder, der magasinerer og forsinker regnvand, inden vandet ledes videre.

Ønsket effekt	Metode
Rensning	Sandfangsbrønde
	Åbne sandfang
	Olieudskillere
	Filtre
	Våde bassiner og damme
	Avanceret rensning ved adsorptionsmetoder

Tabel 1.3 Oversigt over rensemetoder, der kan anvendes i tilknytning til LAR.

Dimensioneringskriterierne har betydning for, hvor store anlæggene bliver og hvor tit, der opstår kritiske opstuvninger, der kan resultere i oversvømmelser til terræn. Ved oversvømmelse på terræn skal den enkelte grundejer være opmærksom på, at vandet skal kunne håndteres inden for egen matrikel. Det er med andre ord ikke tilladt at lede vand udover matrikelgrænsen. Det skal ved anlæg af LAR-anlæg derfor altid overvejes, hvor vandet kan løbe hen, når det regner mere, end anlægget kan klare.

1.1 Principper for LAR-metoder

1.1.1 Nedsivning

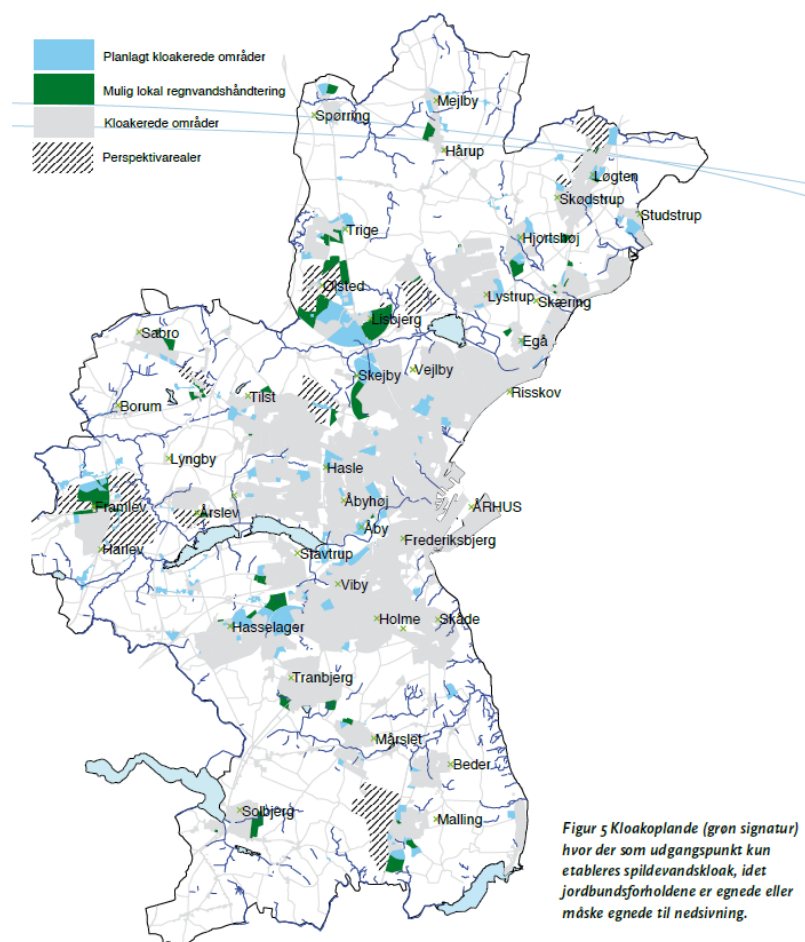
I de tilfælde hvor jord- og grundvandsforholdene tillader det, vil det normalt være ønskeligt at nedsive regnvand fra ikke forurenede arealer.

Jordens nedsivningskapacitet vil i praksis være mindre end den dimensionsgivende nedbørsintensitet, og der er således behov for at forsinke tilstrømningen ved at magasinere en del af regnvandet under regnhændelsen. Det opmagasinerede vand tømmes under og efter regnen, og magasinvolumenet skal udformes, så der ikke opstår kritiske opstuvninger ved den valgte dimensionsgivende regnhændelse.

I figur 1.1 er vist kort for Aarhus Kommune med områder, hvor overfladevand muligvis kan nedsive, idet de øvre jordlag i henhold til jordartskort er "egnet" eller "måske egnet" til nedsivning. Det er primært inden for disse områder, at der satses på lokal regnvandshåndtering. Kortet med mulige nedsivningsområder vil løbende blive udbygget i takt med, at der opstår et øget vidensgrundlag for grundvandsforhold, jordbundsforhold og kortlagte forureninger.

Også i forbindelse med separering af eksisterende fælleskloakerede oplande, kan der i nogle områder være mulighed for at etablere nedsivning af overfladevand eller andre former for lokal regnvandsafledning. Der kan i særlige tilfælde være mulighed for at få tilskud til at etablere lokal regnvandsafledning i form af fuld tilbagebetaling af tilslutningsbidraget for regnvand (maksimalt 40 % af det samlede bidrag), såfremt man afskærer regnvand fra kloakken fuldstændigt, og såfremt Aarhus Vand kan se økonomiske fordele for den samlede projektøkonomi.

Nedsivning af regnvand kræver nedsivningstilladelse, jf. beskrivelserne af de enkelte nedsivningsmetoder i metodekataloget.



Figur 1.1 Kort med områder, der måske er egnet til nedsivning og lokal håndtering af regnvand, Aarhus Kommune.

1.1.2 Fordampning og anvendelse af regnvand

I nogle områder er det ikke muligt eller ønskeligt at nedsive regnvand, f.eks. på grund af kortlagte forureninger, høj grundvandsstand eller særlige jordbundsforhold.

I sådanne områder er der i stedet mulighed for at fordampe dele af regnvandet i f.eks. grønne tage eller ved vanding af grønne områder om sommeren. Desuden kan regnvandet nyttiggøres i ejendomme til tøjvask og toiletskyl.

I disse tilfælde er der ligeledes behov for at forsinke og magasinere regnvand, da nedbørstintensiteten er større end fordampningen eller forbruget af vand under regn. Ved anvendelse af regnvandet er der desuden brug for magasinering af vand til perioder uden regn.

Anvendelse af regnvand i bygninger o. lign. kræver særlige foranstaltninger og tilladelse som beskrevet i metodekataloget. Anvendelse af regnvand til toiletskyl m.v. er ikke tilladt i bygninger med hospitaler, alderdomshjem, skoler og børneinstitutioner samt hoteller.

1.1.3 Behov for forsinkelse og magasinering

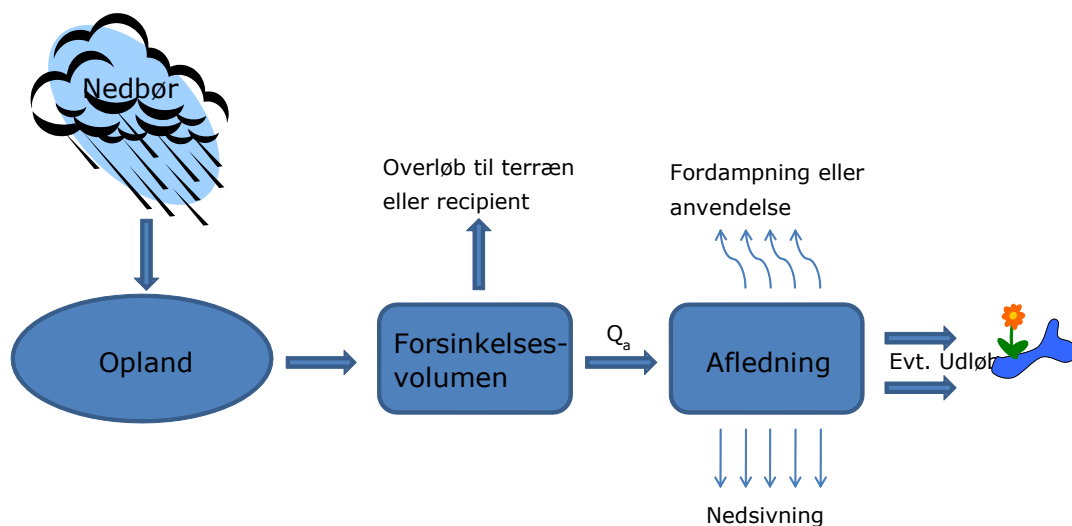
Fælles for de beskrevne LAR-metoder er et behov for at forsinke regnvandstilstrømningen ved at etablere et forsinkelsesvolumen til regnvandet, hvor det kan stuve op under regn indtil nedsivning, afledning eller forbrug kan foregå i tiden under og efter regnen.

1.2 Principper for forsinkelsesmetoder

Det nødvendige forsinkelsesvolumen forud for LAR-løsninger med nedsivning kan tilvejebringes på mange måder og have forskellige udformninger, eksempelvis grøfter, bassiner, tanke under jorden eller faskiner. Forsinkelsesvolumenet kan desuden være et rekreativt element i form af grønne tage, bassiner i baggårde eller lavninger i grønne områder samt kombinationer af ovenstående.

Fælles for løsningerne er, at forsinkelsesvolumenets størrelse er betinget af, hvor store regnhændelser man ønsker at kunne forsinke/magasinere, før der opstår stuvning til terræn eller overløb til en anden LAR-løsning eller lignende. Som ved traditionel dimensionering af afløbssystemer skal man fastlægge dimensioneringskriterier for sine anlæg – normalt givet ved en acceptabel overløbshyppighed for en given overbelastning af systemet.

Princippet er illustreret i nedenstående figur 1.2. Nedbøren falder på oplandet eller grunden og magasineres, før det afledes forsinket på forskellig vis. Afløbningskapaciteten (Q_a) er begrænset, og ved stærk nedbør vil magasinet blive fyldt op og stuve op på terræn eller gå i overløb til eksempelvis andre LAR-løsninger.



Figur 1.2 Princip for forsinkelse ved magasinering.

Kan overløb ikke accepteres, kræver det meget store forsinkelsesvolumener, som er fysisk og økonomisk krævende. Kan hyppige overløb accepteres, kræver det mindre volumener, som er nemmere og billigere at etablere.

I de områder, hvor en LAR-metode med nedsivning ikke er mulig eller tilstrækkelig til at håndtere regnvand på egen matrikel, vil overfladevand normalt skulle afledes direkte til en overfladerecipient, dvs. til vandløb, søer eller havet. Afhængig af recipientens fysiske forhold og målsætning samt kvaliteten af det afstrømmende vand, blive stillet krav om forsinkelse og eventuelt rensning.

I disse tilfælde fastsættes kravene til forsinkelse og rensning i udledningstilladelser efter Miljøbeskyttelseslovens § 28, som meddeles af Aarhus Kommune, Natur og Miljø. Kravene til forsinkelse og rensning ved udløb til vandløb vil normalt kunne opfyldes med et vådt bassin. Aarhus Kommune vil altid basere det endelige krav på en individuel vurdering, da dette er afhængigt af vandløbets sårbarhed.

Såfremt det ikke er muligt at aflede overskydende regnvand direkte til en recipient, kan det eventuelt afledes via Aarhus Vands kloaksystem. Også i den situation kan der blive krævet forsinkelse af udledningen. Det dimensionsgivende afløbstal for forsinkelse af regnvandet samt evt. forsinkelsesvolumen fastsættes af Aarhus Kommune på baggrund af udtalelse fra Aarhus Vand i det enkelte tilfælde.

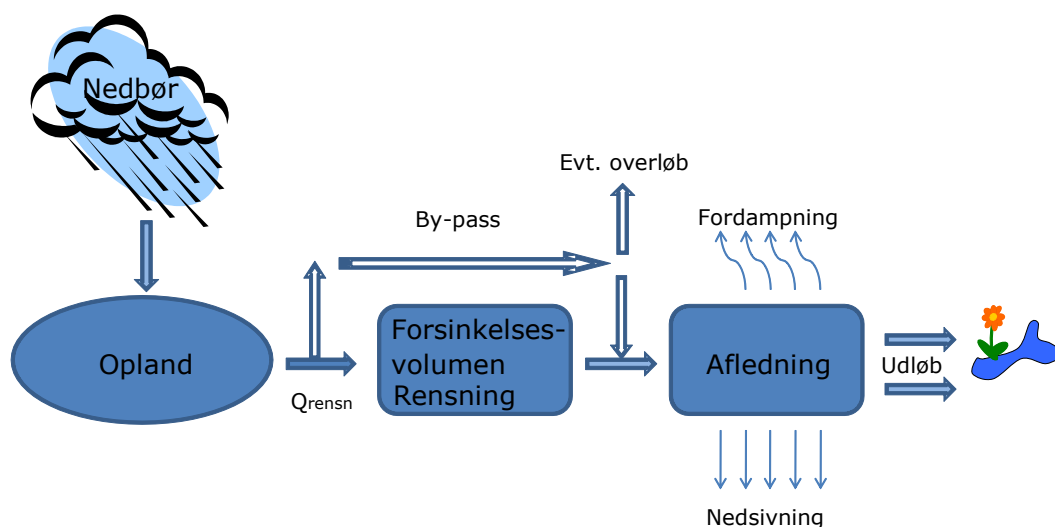
I de tilfælde hvor det overskydende regnvand afledes via kloaksystemet vil det give anledning til opkrævning af tilslutningsbidrag for regnvandsdelen.

1.3 Principper for rensemetoder

Ved tilledning af regnvand til LAR-anlæg kan der blive stillet krav om forudgående rensning, f.eks. ved nedsivning af regnvand fra potentielt forurenede overflader eller nedsivning i drikkevandsområder. Tilsvarende kan der kræves rensning af regnvandet forinden udledning til et vandløb.

Mange af rensemetoderne vil have en kapacitet, der er mindre end den dimensionsgivende regnhændelse, og der vil derfor også her være behov for forsinkelse og magasinering af regnvand i forbindelse med rensemetoden, jf.

Figur 1.3.



Figur 1.3 Princip for rensning.

Dimensionering vil i praksis foregå som en teknisk og økonomisk afvejning mellem renskapacitet og forsinkelsesvolumen, idet stor renskapacitet medfører lille behov for forsinkelse/magasinerings og omvendt.

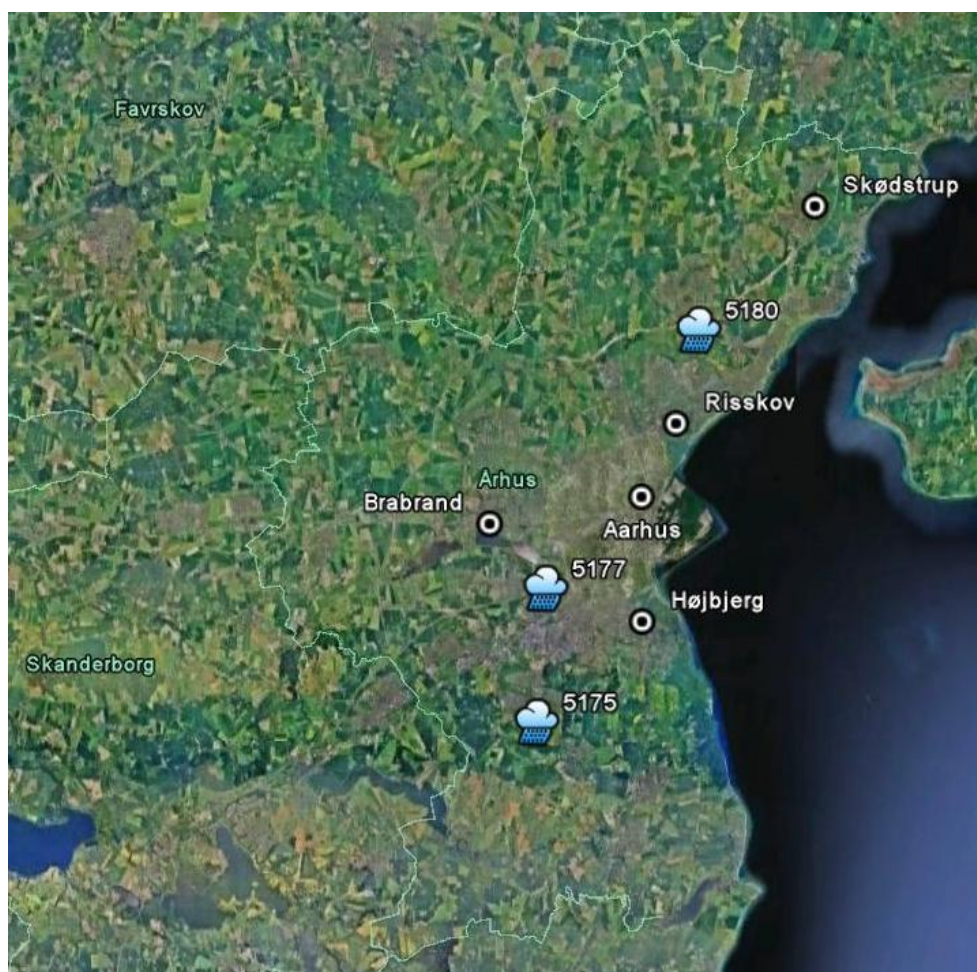
Ligeledes skal der tages hensyn til evt. krav om hydraulisk forsinkelse, som beskrevet i forrige afsnit.

1.4 Nedbørsdata til hydraulisk dimensionering

1.4.1 Regnintensiteter

Nedbøren i Aarhus Kommune bliver målt flere steder og kan bruges som input til at dimensionere forsinkelsesvolumenet. Aarhus Kommune og Aarhus Vand har tradition for at bruge en repræsentativ regnmåler på Viby Renseanlæg, som har målt nedbør siden 1. januar 1979.

Regnmåleren har nr. 5177 (før 2011-04-01 nr. 22361) i Spildevandskomiteens regnmålersystem, og dens placering er centralt i Aarhus Kommune, se nedenstående Figur 1.4.



Figur 1.4 Placering af regnmålere omkring Aarhus. Nr. 5177 er regnmåleren på Viby Renseanlæg.

Årsnedbøren i perioden 1979-2005 er på måler nr. 5177 målt til et gennemsnit på 661 mm. Til sammenligning er der på målerne på Egå Renseanlæg nr. 5180 og Trankær Renseanlæg nr. 5175 målt henholdsvis 646 mm og 656 mm.

De regningsmæssige intensiteter fra måleren på Viby Renseanlæg fremgår af nedenstående Tabel 1.4, idet intensiteterne er beregnet på baggrund af den Regionale model for variation af ekstrem regn i Danmark ved angivelse af årsmiddelnedbør.

	T = 1 år	T = 2 år	T = 5 år	T = 10 år
	[L/s ha]	[L/s ha]	[L/s ha]	[L/s ha]
10 min	104	129	166	199
60 min	34	42	54	65

Tabel 1.4 Dimensionsgivende middelintensiteter for 10 og 60 minutter, uden sikkerhedsfaktor.

De anførte forskelle i målt årsmiddelnedbør mellem de tre Aarhus-målere giver kun anledning til negligeable forskelle i de regningsmæssige intensiteter. Alle målere har desuden en

statistisk set god overensstemmelse med den regionale model, der er anvendt til beregning af de dimensionsgivende intensiteter, Spildevandskomitéens Skrift nr. 28.

1.4.2 Sikkerhedsfaktorer

For at tage hensyn til usikkerheder i forudsætningerne som f.eks. regndata og fremtidig udvikling (klimaændringer) samt ændringer i befæstede arealer ganges der normalt en sikkerhedsfaktor på regnintensiteterne i tabel 1.4. Valg af sikkerhedsfaktorer på regndata i henhold til Spildevandskomitéens Skrift nr. 27 fastsættes på baggrund af viden om lokale forhold og levetid af anlæg.

Ved levetider under 25 år anvendes ikke sikkerhedsfaktor for udvikling i ekstrem regn. Ved levetider over 25 år og op til 100 år anvendes en sikkerhedsfaktor på 1,25¹ i henhold til Spildevandsplan 2010-2012 for regn med gentagelsesperioder på 2-10 år for opstuvning til terræn.

For at tage højde for usikkerheder på regional variation af regn og eventuel modelusikkerhed anbefales det at anvende en sikkerhedsfaktor på 1,1 på mindre private grunde og på 1,2 for større offentlige eller private fælles-områder.

Såfremt der er sandsynlighed for yderligere fortætning af befæstelsen på en grund eller et område, anvendes en sikkerhedsfaktor svarende til dette. Normalt anvendes en faktor 1,1 for større områder.

I tabel 1.5 er vist intervallet for normalt anvendte sikkerhedsfaktorer samt de sikkerhedsfaktorer, der anvendes i eksemplerne i LAR-kataloget.

	Sikkerhedsfaktor	Anvendte faktorer i LAR-metodekataloget*
Udvikling i ekstrem regn som følge af klimaændringer (klimafaktor)	1,0-1,3	1,25
Fortætning af befæstelse / forøgelse af tilsluttet areal	1,0-1,1	1,1
Usikkerheder på regndata og beregning, f.eks. nedsivningskapacitet	1,0-1,2	1,2
Samlet sikkerhedsfaktor	1,0-1,7	1,65

*For dimensionering af ledningssystemer for boligtype 1 (parcelhus) anvendes en mindre sikkerhedsfaktor, se afsnit 1.5.1.

Tabel 1.5 Anbefalede sikkerhedsfaktorer og anvendte faktorer i LAR-kataloget.

På parcelhusgrunde vil der oftest være et præcist kendskab til det tilsluttede areal, og typisk anlægges faskiner eller andre anlæg med levetider på under 25 år, så der ikke skal indregnes sandsynlighed for udvikling i ekstrem regn. Den generelle usikkerhed på regndata og beregningens overensstemmelse med de virkelige forhold er normalt også begrænset, dog vil der være en vis usikkerhed på f.eks. nedsivningskapacitet fra faskiner. Den anvendte sikkerhedsfaktor i LAR-kataloget for boligtype 1 (parcelhus) varierer fra 1,1 til 1,65, se også afsnit 1.5.1.

¹ Interpolation mellem klimafaktor 1,2 og 1,3 for gentagelsesperioder T=2 hhv. T=10

For større boligmiljøer og kontorbygninger (boligtype 2-3) anlægges ofte LAR-systemer med længere levetid og med større usikkerhed på det tilsluttede areal samt eventuel forøgelse af det befæstede areal i anlæggets levetid. Sikkerhedsfaktoren vil normalt kunne blive op til ca. 1,7 på disse anlæg. I LAR-kataloget er anvendt sikkerhedsfaktor 1,65 for type 2 og 3. Ofte vil sikkerhedsfaktoren dog være betydeligt mindre grundet kortere levetid eller information om, at oplandet ikke befæstes yderligere.

For alle boligtyper gælder, at såfremt der ønskes en større sikkerhed, kan faktorerne øges og omvendt mindskes, hvis sikkerheden vurderes at være tilstrækkelig. En lav sikkerhedsfaktor har den konsekvens, at der hyppigere vil ske opstuvning på terræn ift. anlæg, som dimensioneres med en høj sikkerhedsfaktor. De resulterende opstuvninger/oversvømmelser på terræn vil den enkelte grundejer selv skulle håndtere inden for egen matrikel, så dette skal være tænkt ind i den enkelte løsning. Med andre ord - hvor løber vandet hen, når det regner mere end anlægget kan klare?

1.5 Dimensioneringskriterier for LAR-metoder

1.5.1 Dimensioneringskriterier for åbne render og ledninger

Åbne render:

Der tages udgangspunkt i et funktionskrav om opstuvning til terræn sjældnere end 1 gang hvert 5. år ($T = 5$ år).

Ved en afstrømningstid på 10 minutter bliver den dimensionsgivende intensitet for dimensionering af åbne render inkl. sikkerhedsfaktorer:

$$i_{5 \text{ år}, 10 \text{ min}} = 166 \text{ L/s/ha} \cdot 1,65 \approx 274 \text{ L/s/ha}$$

Ledninger:

Ved mindre anlæg til enfamiliehuse, type 1, anvendes en dimensionsgivende kapacitet på

$$i_{2 \text{ år}, 10 \text{ min}} = 140 \text{ L/s/ha}$$

for dimensionering af den fuldtløbende kapacitet af rørene 1 gang hvert 2. år ($T = 2$ år) og ved en regnvarighed på 10 minutter inklusive alle sikkerhedsfaktorer.

De 140 L/s/ha har historisk været anvendt som en 2 års hændelse (Landsregnrækken 1933-1962) og bruges fortsat i Spildevandsplanen.

De lokale målinger fra Viby Renseanlæg (1979-2005) anviser en intensitet på 129 L/s/ha for samme gentagelsesperiode og varighed, se tabel 1. Dette svarer således til, at man anvender en samlet sikkerhedsfaktor på $140 / 129 \approx 1,1$, hvilket i langt de fleste tilfælde vil være

en rimelig sikkerhed for LAR-anlæg ved enfamiliehuse. Ønskes en større sikkerhed mod opstuvning til terræn kan intensiteten øges.

For større anlæg, type 2 og 3, tages udgangspunkt i et funktionskrav på opstuvning til terræn sjældnere end 1 gang hvert 5. år. På baggrund af Spildevandskomitéens Skrift nr. 27 skønnes dette krav opfyldt ved dimensionering af fuldtløbende ledninger med en regnintensitet for en 1 års hændelse, $T = 1$ år.

For ledninger ved større anlæg, type 2 og 3, anvendes $T = 1$ år for dimensionering af den fuldtløbende kapacitet af rørene, idet dette skønnes at svare til opstuvning til terræn sjældnere end 1 gang hvert 5. år, jf. Spildevandskomitéens Skrift nr. 27.

Ved en afstrømningstid på 10 minutter bliver den dimensionsgivende intensitet inkl. sikkerhedsfaktorer for fuldtløbende ledning:

$$i_{1 \text{ år}, 10 \text{ min}} = 104 \text{ L/s/ha} \cdot 1,65 \approx 172 \text{ L/s/ha}$$

Ovennævnte dimensioneringskriterier for åbne render og ledninger, som Aarhus Kommune og Aarhus Vand benytter i forbindelse med tilladelser og projektering, er for hver af de 3 boligtyper opsummeret neden for i tabel 1.6. Det er disse dimensioneringskriterier, der er benyttet i beregningseksemplerne i LAR-kataloget.

Boligtype	LAR-metoder			
	Åbne render			
	Dimensioneringskriterium ²⁾	Qdim excl. SF ¹⁾	SF	Qdim incl. SF ¹⁾
	-	L/s/ha	-	L/s/ha
Parcelhus	Opstuvning til terræn 1 gang hvert 5. år	166	1,65	274
Boligejendom ³⁾	Opstuvning til terræn 1 gang hvert 5. år	166	1,65	274
Kontorbygning ³⁾	Opstuvning til terræn 1 gang hvert 5. år	166	1,65	274
Boligtype	Ledninger			
	Dimensioneringskriterium ²⁾	Qdim excl. SF ¹⁾	SF	Qdim incl. SF ¹⁾
	-	L/s/ha	-	L/s/ha
Parcelhus	Fuldtløbende rør	-	-	140
Boligejendom ⁴⁾	Opstuvning til terræn 1 gang hvert 5. år	104	1,65	172
Kontorbygning ⁴⁾	Opstuvning til terræn 1 gang hvert 5. år	104	1,65	172

1) Dimensionsgivende regnvandsintensitet (Qdim) excl./incl. sikkerhedsfaktor (SF)

2) Byggemyndighederne opererer med et acceptkriterium for opstuvning afhængig af risiko for skader på bygninger. Dette varierer fra tilladelig opstuvning 1 gang hvert år til 1 gang pr. 10. år eller sjældnere. I LAR-kataloget er der taget udgangspunkt i et anbefalet acceptkriterium på opstuvning 1 gang hvert 5. år. Opstuvning på egen grund må aldrig medføre afledning til omkringliggende grunde/matrikler.

3) Der dimensioneres for en fuldtløbende åben rende med den angivne regnintensitet, hvormed der fås opstuvning til terræn hvert 5. år. Kriteriet stuvning til terræn 1 gang hvert 5. år kan efterfølgende kontrolleres af grundejer vha. modelberegninger, hvor der anvendes lokal regnserie.

4) Der dimensioneres for fuldtløbende rør med den angivne regnintensitet, hvilket skønnes at svare til opstuvning til terræn hvert 5. år. Kriteriet stuvning til terræn 1 gang hvert 5. år kan efterfølgende kontrolleres af grundejer vha. modelberegninger, hvor der anvendes lokal regnserie.

Tabel 1.6 Oversigt over dimensioneringskriterier for åbne render og ledninger.

Valget af dimensionsgivende intensitet for åbne render og ledninger afhænger dels af den ønskede sikkerhed/gentagelsesperiode for opstuvning, dels den afstrømningstid, der er fra regnen rammer det fjernest liggende befæstede areal til den rende eller den ledning, der skal dimensioneres.

For åbne render og ledninger på villagrunde og mindre boligarealer vil afstrømningstiden normalt skulle sættes til 10 minutter. Ved større projekter, der omfatter flere veje eller større boligmiljøer, kan afstrømningstiden nå op på 60 minutter. Afhængig af afstrømningstiden vælges den dimensionsgivende regnintensitet, jf. afsnit 1.4.1. I LAR-kataloget er der taget udgangspunkt i en afstrømningstid på 10 minutter.

Dimensionsgivende regnmængder

På baggrund af de dimensionsgivende regnintensiteter, i , kan den dimensionsgivende regnmængde, $Q_{\text{dim.}}$, fra et givent areal beregnes, idet regnmængden beregnes på baggrund af det reducerede areal $A_{\text{red.}}$.

$$Q_{\text{dim.}} = i \times A_{\text{red.}}$$

Det reducerede areal defineres som

$$A_{\text{red.}} = \phi \times A$$

hvor

ϕ er afløbskoefficienten

A er det samlede oplandsareal

Afløbskoefficienten ϕ , er den faktor, der udtrykker, hvor stor en del af regnen, der bliver ledt til afløbssystemet. Den resterende del af regnen nedsiver eller bliver tilbageholdt i overfladen.

Afløbskoefficienten er igen sammensat af størrelserne hydrologisk reduktionsfaktor α og befæstelsesgraden β :

$$\phi = \alpha \cdot \beta.$$

Hydrologisk reduktionsfaktor α angiver, hvor stor en del af et givent opland (overflade), der giver bidrag til en afstrømning fra oplandet (overfladen). En del af regnen vil blive tilbageholdt pga. lavningsmagasinering, befugtning og lign. Hydrologisk reduktionsfaktor sættes ofte til 0,8 - 1,0.

Befæstelsesgraden β udtrykker, hvor stor en del af et givent opland, der består af en befæstet overflade, f.eks. veje, fortove, tagflader mv., hvorpå vandet vil kunne strømme. Typiske befæstelsesgrader ses af tabel 1.7.

Type	Befæstelsesgrader (β)
Fuldt befæstede områder f.eks. asfalt	1,0
Flisebelægning / betonsten	0,7
Grusmacadam / stabilt grus	0,5
Græsarmering	0,4
Grusarealer	0,3
Grønne områder	0,1

Tabel 1.7 Typiske befæstelsesgrader

I LAR-kataloget sættes den hydrologiske reduktionsfaktor til 1,0, hvilket betyder, at der regnes med, at alt vand på en befæstet flade med afløb strømmer af til nedsivningsmetoden, og at der således ikke er noget, der strømmer af på overfladen væk fra nedsivningsmetoden. Befæstet areal vil derfor også være lig reduceret areal med mindre andet står angivet.

Eksempel på beregning af dimensionsgivende vandføring for åben render og regnvandsledninger:

En mindre grundejerforening ønsker at dimensionere en vandrende fra tagarealer til et regnbed. Da vandrenden løber tæt ved husmur og terrasse, ønsker man, at renden ikke overbelastes oftere end hvert 5. år.

Afstrømningstiden for en mindre boligforening med tagarealer og gård kan sættes til 10 minutter, og den dimensionsgivende intensitet for den åbne rende vælges fra Tabel 1.6 til 274 L/s·ha incl. sikkerhedsfaktorer.

Tagarealerne udgør 1.200 m², og regnes som værende fuldt befæstede med en befæstelsesgrad på 1,0, hvorefter den dimensionsgivende vandføring, som renden skal kunne føre, bliver:

$$Q_{dim} = 274 \text{ L/s} \cdot \text{ha} \cdot 1,0 \cdot 1.200 \text{ m}^2 / 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} = 33 \text{ L/s}$$

Fra gårdarealerne skal overfladevandet via en ledning føres frem til regnbedet. Ledningen skal regnes fuldtløbende med den dimensionsgivende intensitet på 172 L/s·ha incl. sikkerhedsfaktorer, jf. Tabel 1.6.

Gårdarealerne udgør 800 m² og er belagt med fliser. Befæstelsesgraden vurderes her at udgøre 0,7, og ledningen vil derfor skulle dimensioneres for følgende vandføring:

$$Q_{dim} = 172 \text{ L/s} \cdot \text{ha} \cdot 0,7 \cdot 800 \text{ m}^2 / 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} = 10 \text{ L/s}$$

1.5.2

Dimensionering af forsinkelsesvolumen ved nedsivningsmetoder

Der er beregnet volumenkurver til dimensionering af forsinkelsesvolumener for nedsivningsløsninger, hvor der er behov for forsinkelse af vandet, indtil det hele kan bortledes. Krav om forsinkelse kan f.eks. skyldes begrænset nedsivningskapacitet.

Volumenkurverne er beregnet for 2 forskellige gentagelsesperioder på 2 og 5 år, der angiver hvor lang tid, der gennemsnitligt vil gå mellem overbelastning af forsinkelsesvolumenet og deraf følgende risiko for opstuvning af vand til terræn.

Volumenkurverne er beregnet ved hjælp af beregningsmodeller (Mike Urban) på den historiske regnserie for regnmåleren på Viby Renseanlæg. Der er forudsat en afstrømningstid i oplandet på 10 minutter svarende til f.eks. en parcelhusgrund eller en mindre boligejendom. Ved større oplande vil afstrømningstiden være mere end 10 minutter, og det vil betyde, at der relativt skal bruges et mindre forsinkelsesvolumen pr. befæstet areal.

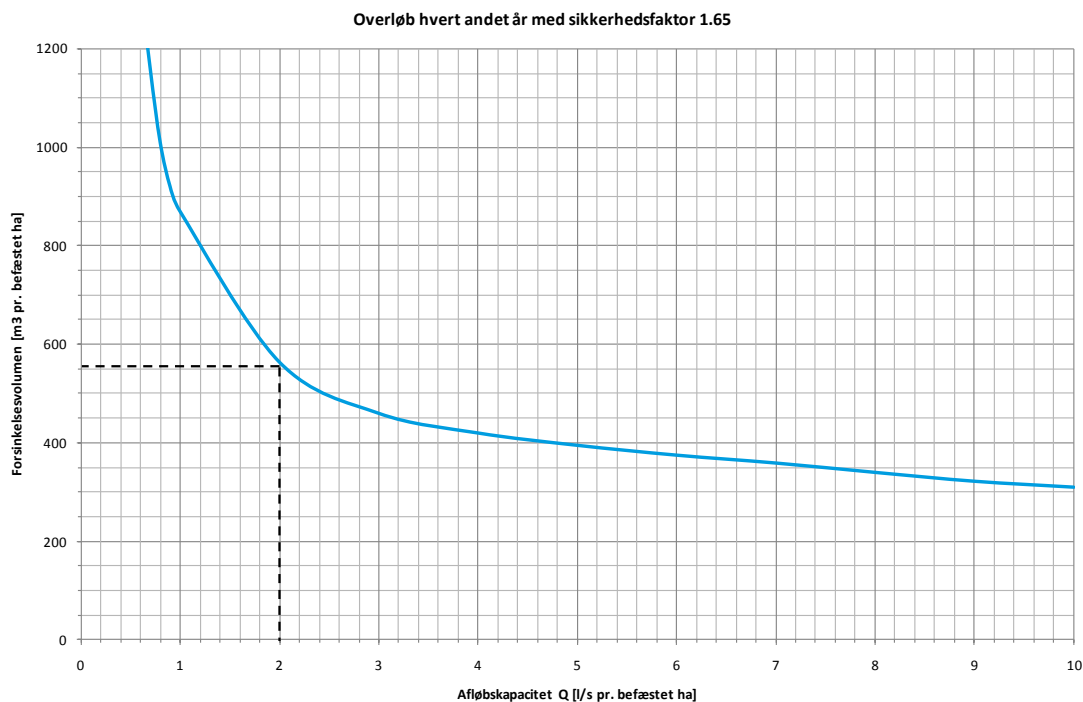
Der er ligeledes regnet med et initialtab på 0,6 mm i starten af hver regn, som går til befugtning af overflader og magasinering i mindre lavninger.

Der er regnet med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0 hvilket betyder, at der regnes med, at alt vand på en befæstet flade med afløb strømmer af til nedsivningsanlægget, og at der således ikke er noget, der strømmer af på overfladen væk fra nedsivningsanlægget.

For begge gentagelsesperioder anvendes en samlet sikkerhedsfaktor på 1,65, dvs. den samme som angivet i afsnit 1.4.2, tabel 1.5. Den samlede sikkerhedsfaktor dækker over vurderede usikkerheder i relation til klimaændringer, fortætninger og jordens nedsivningskapacitet. Usikkerheden på nedsivningskapaciteten afhænger bl.a. af, om denne fastsættes på baggrund af feltundersøgelser eller ud fra en generel vurdering af jordens egenskaber. Den samlede sikkerhedsfaktor kan reduceres/øges afhængig af kendskabet til de enkelte parametre, idet man skal være opmærksom på konsekvenserne i form af opstuvning/oversvømmelse på terræn, jf. afsnit 1.4.

I det følgende er vist volumengrafer for $T = 2$ og 5 år (figur 1.5 og 1.6) sammen med eksempler på anvendelse af graferne. Af graferne kan aflæses det nødvendige forsinkelsesvolumen pr. tilsluttet ha befæstelse ved varierende afløbskapaciteter. Den tilladelige afløbskapacitet angives af historiske årsager typisk i l/s pr. reduceret ha (hvor ha angiver forkortelse for hektar, der svarer til 10.000 m²).

Ved beregning af bassinvolumener på mere komplekse systemer og ved mere kritiske forhold kan det anbefales at dimensionere bassinerne ved egentlige modelberegninger med en historisk lokal regnserie.



Figur 1.5 Forsinkelsesvolumen for nedsivningsmetoder med en overløbshyppighed hvert 2. år ($T = 2$ år) som funktion af afløbskapaciteten.

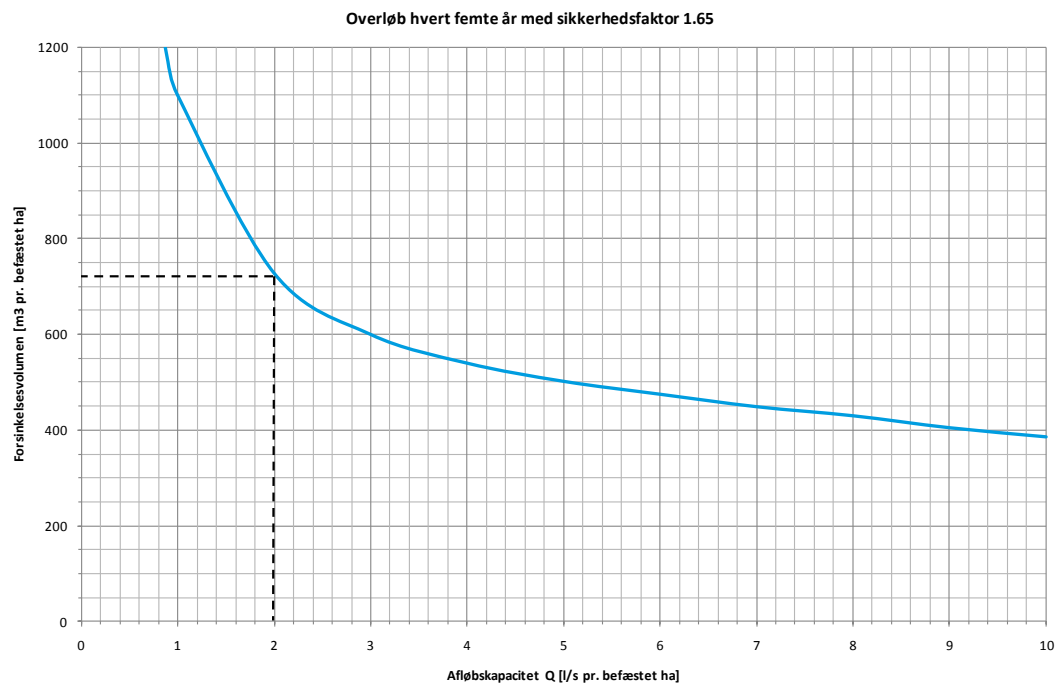
Eksempel:

En grundejerforening ønsker at nedsive regnvandet via et bassin. Det samlede tilsluttede areal udgør 20.000 m^2 eller $2,0 \text{ ha}$., hvoraf 25 % er befæstede. Dette svarer til et reduceret areal, der er befæstet og tilsluttet systemet på $20.000 \cdot 0,25 = 5.000 \text{ m}^2$ ($0,5 \text{ red. ha}$).

Grundejerforeningen har fået udført nedsivningstest og fundet en nedsivningskapacitet på $1,0 \text{ l/s}$. Afløbskapaciteten kan dermed beregnes til:
 $1,0 \text{ l/s} / 0,5 \text{ red. ha} = 2 \text{ l/s pr. red. ha}$.

Med udgangspunkt i en overløbshyppighed på $T = 2$ år aflæses af grafen på figur 1.5 et nødvendigt volumen på 560 m^3 pr. ha befæstet areal, hvilket giver et forsinkelsesvolumen på $560 \text{ m}^3 \cdot 0,5 \text{ red. ha} = 280 \text{ m}^3$.

Anvendes i stedet en overløbshyppighed på $T = 5$ år aflæses af figur 1.6 et nødvendigt volumen på 725 m^3 pr. ha befæstet areal, hvilket giver et forsinkelsesvolumen på $725 \text{ m}^3 \cdot 0,5 \text{ red. ha} = 363 \text{ m}^3$.



Figur 1.6 Forsinkelsesvolumen for nedslivningsmetoder med en overløbshyppighed hvert 5. år ($T = 5$ år) som funktion af afløbskapaciteten.

1.6 Dimensionering af forsinkelsesmetoder

1.6.1 Dimensionering af forsinkelsesvolumen

Ved forsinkelsesmetoder er der i LAR-kataloget taget udgangspunkt i krav, som angivet i tabel 1.8. De angivne krav bygger på Aarhus Kommunes almindelige praksis.

Type	Forsinkelsesmetoder					
	Krav ved udledning af regnvand til kloak ¹⁾		Krav ved udledning af regnvand til vandløb/søer ²⁾		Krav ved udledning af regnvand til havområder ²⁾	
	Befæstelsesgrad	Overløbshyppighed	Max afløb	Overløbshyppighed	Max afløb	Overløbshyppighed
	%	-	L/s/ha	-	L/s/ha	-
Parcelhus	25	Overløb tillades ikke	1	1 gang hvert 10. år	Varierer	5 gange hvert år
Boligejendom	40	Overløb tillades ikke	1	1 gang hvert 10. år	Varierer	5 gange hvert år
Kontorbygning	60	Overløb tillades ikke	1	1 gang hvert 10. år	Varierer	5 gange hvert år
Offentlig areal, f.eks. vej ³⁾	100	Overløb tillades ikke	1	1 gang hvert 10. år	Varierer	5 gange hvert år

1) Ved øget befæstelsesgrad på nye eller eksisterende ejendomme kan der stilles krav om at forsinke udledningen.

2) Aarhus Kommune vil altid basere det endelige krav på en individuel vurdering, da dette er afhængig af recipientens sårbarhed. Overløb må normalt ikke medføre afledning til omkringliggende grunde/matrikler.

3) Retningslinier for offentlige arealer.

Tabel 18 Oversigt over funktionskrav hhv. dimensioneringskriterier ved forsinket udledning, som anvendes, hvor regnvand ikke kan håndteres 100% lokalt på grunden. Dimensionering af åbne render/ledninger foretages som angivet i tabel 1.6. Der kan være knyttet LAR-anlæg til forsinkelsesmetoderne. Der opkræves tilslutningsbidrag ved udledning til kloak.

Ved dimensionering af tilhørende forsinkelsesvolumen ved udløb til vandløb/søer foretages dette i Aarhus Kommune med udgangspunkt i en overløbshyppighed på 10 år og et forsinkelsesvolumen på 450 m³ pr. reduceret ha opland. Såfremt overløb fra bassinet sker til arealer, hvor overløbsvandet ikke foruretter skade, kan gentagelsesperioden nedsættes til 1 gang hvert 5. år, og bassinets størrelse dimensioneres ud fra 400 m³ pr. reduceret ha opland.

Ved beregning af bassinvolumener på mere komplekse systemer og ved mere kritiske forhold kan det anbefales at dimensionere bassinerne ved egentlige modelberegninger med en historisk lokal regnserie.

Eksempel 1:

En boligforening har 2.500 m² befæstet areal på sin grund, der i alt er på 10.000 m² svarende til 1,0 ha. Da nedsivning ikke er muligt, er det aftalt at ansøge om udledning til et vandløb med forudgående forsinkelse og magasinering.

Herved bliver det beregnede nødvendige forsinkelsesvolumen:

$$\text{Forsinkelsesvolumen} = 450 \text{ m}^3/\text{red. ha} \cdot 2.500 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ ha} / 10.000 \text{ m}^2 = 113 \text{ m}^3$$

Eksempel 2:

Et kontorbyggeri skal anlægge en ny større forplads på en grund, hvor den tilladelige befæstelsesgrad allerede er nået.

Da der ikke er mulighed for at nedsive vandet, har man valgt at etablere pladsen med permeabel befæstelse med forsinkelsesvolumen i den underste del af vejkassen, der konstruktionsmæssigt designes til dette formål. Der er opnået tilladelse til forsinket afløb til et lokalt regnbed og vandelement med 1 L/s pr. red. ha.

Vejingeniøren har oplyst, at der tillades opstuvning til den højere liggende del af vejkassen svarende til en gentagelsesperiode på 5 år.

Det samlede areal af forpladsen udgør 2.000 m² red. areal.

Det nødvendige forsinkelsesvolumen beregnes til
$$400 \text{ m}^3/\text{red. ha} \cdot 2.000 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ ha} / 10.000 \text{ m}^2 = 80 \text{ m}^3.$$

Det vælges at anvende vaskede knuste stenmaterialer med en hulrumsprocent på 25 % til at skabe det nødvendige volumen. Der skal således udgraves et volumen på 80 m³ / 0,25 i alt 320 m³ eller svarende til en ekstra tykkelse af vejkassen på 16 cm.

Reelt vil en del af regnvandet i en del af året kunne nedsive – dette er der opnået tilladelse til – men i den dimensionsgivende situation med relativt højt grundvandsspejl kan der ikke regnes med fradrag til nedsivning.

1.7 Dimensionering af rensemetoder

Ved dimensionering af rensemetoder tages i LAR-kataloget udgangspunkt i en regnintensitet på 140 l/s/ha, som traditionelt anvendes i denne sammenhæng.

Sikkerhedsfaktorer iht. SVK 27 anvendes normalt kun i forbindelse med opstuvninger i ledningssystemer. Dimensionering af rensemetoder og bassiner, der alene tager sig af aflastninger kræves ikke dimensioneret med sikkerhedsfaktorer iht. SVK-skrifter. Årsagen hertil er bla., at udviklingen og levetiden af rensemetoder er så usikre, at man ikke ser længere frem end højst 25 år.

Ønskes en højere sikkerhed kan der naturligvis anvendes en højere intensitet.

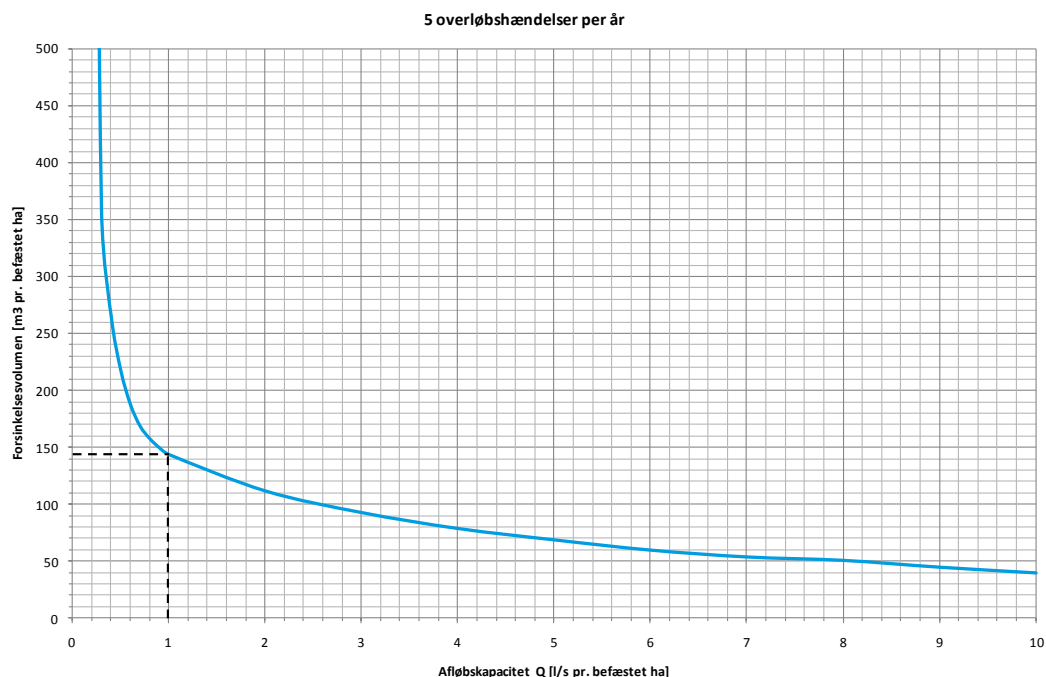
Ved dimensionering af et forsinkelsesvolumen før en rensemetode tages udgangspunkt i, at der må ske bypass af rensemetoden 5 gange årligt, se tabel 1.9. Dermed sikres det, at mindst 95 % af den tilførte årsnedbør renses.

Boligtype	Rensemetoder	
	Bypass om rensemetode	Forsinkelsesvolumen ift. bypass-krav
Parcelhus	5 gange pr. år	Aflæses på kurve, se figur 1.7
Boligejendom	5 gange pr. år	
Kontorbygning	5 gange pr. år	

Tabel 1.9 Oversigt over dimensioneringskriterier for rensemetoder, der kan anvendes i tilknytning til LAR-anlæg eller til forsinkelsesmetoder. Der vil derudover gælde krav for de tilknyttede metoder beskrevet i tabel 1.5 og 1.6 (f.eks. krav til udledning til vandløb).

Til dimensionering af forsinkelsesvolumenet er der foretaget beregninger af en dimensioneringskurve for $T = 1/5$. Kurven angiver det nødvendige volumen pr. reduceret areal for forskellige afløbstal.

Dimensioneringskurverne er opstillet ved hjælp af beregningsmodeller (Mike Urban) på den historiske regnserie for regnmåleren på Viby Renseanlæg. Der anvendes ikke sikkerhedsfaktorer på regnen som forklaret indledningsvist.



Figur 1.7 Forsinkelsesvolumen som resultat af afløbskapacitet, ved $T=1/5$.

Der er forudsat en afstrømningstid i oplandet på 10 minutter svarende til f.eks. en parcelhusgrund eller en mindre karré.

Der er ligeledes regnet med et initialtab på 0,6 mm i starten af hver regn, som går til befugtning og lavningsmagasiner.

Der er regnet med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0, hvilket betyder, at der regnes med, at alt vand på en befæstet flade med afløb strømmer af til forsinkelsesbassinet, og at der således ikke er noget, der strømmer af på overfladen væk fra bassinet.

Ved større oplande vil afstrømningstiden være mere end 10 minutter, og det vil betyde, at der relativt skal bruges et mindre forsinkelsesvolumen pr. befæstet areal.

På grafen kan aflæses, hvor stort et forsinkelsesvolumen, der er nødvendigt ud fra en given afløbskapacitet.

Eksempel:

En kontorbygning har 6.000 m² befæstet areal på sin grund, der i alt er på 10.000 m² svarende til 1,0 ha. Da nedsivning ikke er mulig er det aftalt at ansøge om udledning til en recipient med forudgående rensning. Befæstet areal sættes lig reduceret areal.

Der forventes en tilladelse til at udlede med 1,0 L/s/red.ha.

Ved aflæsning på kurven ses, at der ved et afløbstal på 1,0 L/s/ha kræves et forsinkelsesvolumen på ca. 145 m³/befæstet ha.

For 6.000 m^2 svarer dette til $145 \text{ m}^3/\text{ha. red} \cdot 6.000 \text{ m}^2 / 10.000 \text{ m}^2/\text{ha. red.} = 87 \text{ m}^3$ forsinkelsesvolumen.

Der skal således etableres et forsinkelsesvolumen på 87 m^3 i forbindelse med en rensning af regnvandet inden udledning til recipienten.

Rensemethoden skal dimensioneres for:

$$6.000 \text{ m}^2 \cdot 1,0 \text{ L/s/red. ha} / 10.000 \text{ m}^2/\text{ha.} = 0,6 \text{ L/s.}$$

Forsinkelsesvolumenet på 87 m^3 gælder alene, hvis eneste udløbskrav er knyttet til afløbskapaciteten.

Ved udledning til et vandløb vil der som oftest blive stillet krav om en begrænsning af overløbshyppigheden på 1 gang hvert 10. år jf. afsnit 1.6.1. Dermed skal der etableres et forsinkelsesvolumen på:

$$450 \text{ m}^3/\text{ha.red} \cdot 6.000 \text{ m}^2 / 10.000 \text{ m}^2/\text{ha. red.} = 270 \text{ m}^3 \text{ forsinkelsesvolumen.}$$