



Vejledning TIL BEREGNING AF UDLEDTE STOFMÆNGDER FRA KOBLEDE BASSINER OG LAR-LØSNINGER

Aarhus Kommune
Teknik og Miljø
Center for Miljø og Energi
Vandmiljø og Landbrug

Maj 2017

Redaktion:

Tekst: Asbjørn Haaning Nielsen, HV Consult.

Kvalitetssikring: Jes Vollertsen, HV Consult.

Bearbejdning: Nikolaj Kruse Christensen, Aarhus Kommune, Vandmiljø og Landbrug.

Illustrationer: Asbjørn Haaning Nielsen, HV Consult.

Forside Illustration: Aarstiderne Arkitekterne.

Materialet kan frit benyttes ved behørig kildeangivelse.

Gengivelse af illustrationer må kun ske med tilladelse fra ophavsberettigede grafiker.

INDHOLD

1	Introduktion.....	3
2	Formål.....	3
3	Baggrund	3
4	Rekommandation	4
4.1	Krav til renseeffektivitet for koblede anlæg.....	4
4.2	Dokumentation af koblede enheders renseeffektivitet.....	4
5	Vejledning i modelberegning.....	4
5.1	Opstilling af scenarier	4
	Generelle beregningsforudsætninger	5
5.2	Referencescenarie – To deloplande koblet til ét bassin.....	5
5.3	Scenarie A – To seriekoblede regnvandsbassiner.....	7
5.4	Scenarie B – Oplande med parallelle og seriekoblede regnvandsbassiner.....	10
5.5	Scenarie C – LAR anlæg og bassiner i parallel.....	12
5.6	Scenarie D – LAR anlæg og bassin i serie.....	15
6	Sammenfatning	18
7	Ordliste.....	19
	Bilag 1. Dimensionering af referencebassin i henhold til SVK Skrift 30.....	20
	Bilag 2. Resultat af WDP beregninger for referencescenarie.....	21
	Bilag 3. Scenarie A - dimensionering af bassin A i henhold til Skrift 30	22
	Bilag 4. Resultat af WDP beregninger for scenarie A.	23
	Bilag 5. Resultat af WDP beregninger for scenarie B.....	25
	Bilag 6. Dimensionering af faskine i scenarie C.....	26
	Bilag 7. Resultat af WDP beregninger for scenarie C.	27
	Bilag 8. Resultat af WDP beregninger for scenarie D.....	28

1. INTRODUKTION

Vores byer er udviklet over mange hundrede år med tæt bebyggelse, befæstede arealer og en teknisk infrastruktur, der ofte er skjult under jorden. Klimaforandringer og nye krav til byers anvendelighed og boligkvalitet betyder, at vilkår og forudsætninger for vores byer ændrer sig hele tiden.

Ofte er der modstridende hensyn i det store puslespil, der skal føre til de bæredygtige løsninger. Vi skal bo tættere end hidtil af hensyn til arealressourcerne, men vi skal også bo bedre og sundere med gode opholdsarealer og grønne områder mv. Derfor er der efterspørgsel på kvalitet og multi-funktionalitet samt ikke mindst fleksibilitet i disponeringen og indretningen af regnvandsløsninger. LAR-løsninger og brug af koblede bassiner kan derfor med fordel anvendes og tænkes ind i håndteringen af regnvand.

2. FORMÅL

Ved afledning af overfladevand til recipient skal den bedst anvendelig teknologi (BAT) bruges, og det vil oftest være et vådt regnvandsbassin. I den "tætte by" er oplandene til regnvandshåndteringen ofte så små, at de tilhørende våde regnvandsbassiner bliver for små og rensegraden dårlig. Derfor kan infiltrations/filterløsninger komme på tale.

Målet med denne guide er at give bygherrer, rådgivere, arkitekter, entreprenører etc. et simpelt værktøj til beregning af udledte stofmængder og hydraulisk belastning fra koblede bassiner og LAR-anlæg. Denne vejledning beskriver, hvordan udledte stofmængder fra koblede bassiner og LAR-anlæg kan beregnes ved hjælp af et numerisk beregningsværktøj. Vejledningen giver desuden en anbefaling til, hvordan krav til den samlede renseeffektivitet kan fastsættes for koblede systemer.

Vejledningen er et supplement til Aarhus Kommunes LAR-metodekataloger, som kan ses på Aarhus Kommunes hjemmeside om 'Afledning af regnvand'. Metodekatalogerne består af indgående tekniske beskrivelser af de forskellige metoder for lokal regnvandshåndtering.

3. BAGGRUND

Århus Kommune oplever et stigende antal sager, hvor teknologier til håndtering og rensning af separat regnvand optræder som koblede enheder i samme system. I sådanne tilfælde er det ikke muligt at anvende erfaringsværdier for de enkelte enheders renseevne til at vurdere den samlede stofudledning. Det er desuden ikke muligt at anvende simple beregningsværktøjer, som eksempelvis spildevandskomiteens Skrift 30, til dimensionering af de nødvendige bassinvolumener.

Generelt gælder det for bassiner, at det er regnhændelser med lang varighed og lav gennemsnitlig intensitet, der er dimensionsgivende for forsinkelsesvolumenet. Ved kobling af bassiner tillades der ofte en højere udløbsvandføring i det/de opstrømsbassin(er), som udleder til afløbssystemet. Herved bliver den dimensionsgivende regnintensitet af samme størrelse som den tilladte udløbsvandføring til recipienten for det nedstrøms bassin. Dette medfører, at det nødvendige forsinkelsesvolumen for det nedstrøms bassin, ikke nødvendigvis reduceres.

4. REKOMMANDATION

4.1 Krav til renseeffektivitet for koblede anlæg

Ved sammenkobling af regnvandssystemer bestående af deloplande med regnvandsbassiner og/eller LAR-løsninger anbefales det at den samlede stof- og vandudledning ikke overskrider udledningen for et regnvandssystem, hvor det samlede oplandsareal er tilkøbt ét centralt bassin.

4.2 Dokumentation af koblede enheders renseeffektivitet.

Det anbefales at de koblede enheders renseeffektivitet dokumenteres ved numeriske computermodeller, der beregner massebalancer på vand- og stofstrømme med udgangspunkt i anvendelse af lokale historiske regnserier. Det vurderes tilstrækkeligt at benytte en simpel afløbsmodel (fx baseret på tid-areal metoden) til beregning af afstrømningshydrografer, idet enhedernes fyldetid er mange gange større end regnvandets afstrømningstid i oplandet. Regnseriens observationsperiode bør være væsentligt længere end dimensioneringskravet til gentagelsesperiode for overbelastning ($T_{\text{obs}} > 3 \times T_{\text{overløb}}$). Beregning af udledte stofmængder forudsætter, at der anvendes numeriske procesmodeller.

5. VEJLEDNING I MODELBEREGNING

I det følgende opstilles en række scenarier, hvor koblede bassiner og LAR-anlæg optræder opstrøms for en separat regnvandsudledning. Det vises hvordan den samlede stof- og vandudledning kan beregnes ved hjælp af numeriske computerprogrammer og hvordan det kan sammenlignes med et referencebassin, der vurderes at være BAT-løsning for det samlede opland.

I scenarierne dimensioneres bassiner og LAR-anlæg på baggrund af Spildevandskomiteens rekommandationer. For bassinerne fastlægges det nødvendige forsinkelsesvolumen i henhold til det tilhørende regneark til Skrift 30 "Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter". Heri fastlægges det nødvendige forsinkelsesvolumen for et bassin ud fra en statistisk sammenhæng mellem nedbørsvarighed og intensitet for en valgt lokalitet, gentagelsesperiode og afløbstal. Regnearket er udformet således, at det i én beregningsgang finder den dimensionsgivende regnvarighed og det deraf afledte bassinvolumen. Beregningen tager ikke direkte højde for effekten af koblede regn, men forudsætter at bassinet er tomt ved begyndelsen af hver regnhændelse. I regnearket er resultatet tillagt 20 % ekstra volumen for herigennem at kompensere for dette. Regnearket tager ikke højde for et eventuelt permanent vådt volumen og/eller effekten af koblede bassiner. Metoden beregner desuden ikke stofudledning.

Beregningerne af stofudledninger i denne vejledning tager udgangspunkt i beregningsværktøjet WDP (*Wet Detention Pond*). Dette værktøj er udviklet i forbindelse med projektet "Renere teknologi til håndtering og rensning af separat regnvand". Programmet samt brugervejledning kan frit hentes på hjemmesiden "www.separatvand.dk". Siden den første udgave i 2012, er WDP blevet udvidet til også at kunne håndtere nedsivningsløsninger, tørre bassiner og koblede bassiner. WDP beregner en vand- og stofbalance i regnvandsbassiner ud fra historiske regnserier. Afstrømning fra befæstede arealer beregnes via tid-areal metoden. Udledning af vand beregnes ved at opstille en massebalance, som tager hensyn til den varierende vandføring såvel ind som ud af bassinet. Det er muligt at introducere en maksimal udløbsvandføring svarende til et bestemt afløbstal. Udledte stofmængder beregnes ved at koble vandbalancen til henfaldsprocesser for de enkelte forureningskomponenter i bassinet. Beregningen heraf sker ved, at modellen opstiller et antal differentialligninger, der løses numerisk med et lille tidskridt. Modelberegningen udføres for hele den valgte regnseries varighed og kræver typisk et par minutters beregningstid.

I modsætning til hjælpeværktøjet til Skrift 30, hvor resultatet er et volumen svarende til en valgt gentagelsesperiode og oplandsbeskrivelse, så er resultatet af WDP beregningen de udledte vand- og stofmængder for et givet bassin. WDP beregner desuden gentagelsesperioder for bassinoverløb. Anvendelse af WDP til dimensionering kræver således flere gennemregninger, hvor eksempelvis bassindimensioner eller udløbsvandføring ændres manuelt for hver beregning indtil dimensioneringskriteriet er opfyldt (fx gentagelsesperiode for overløb).

Idet Skrift 30 ikke direkte medtager koblede regn og samtidig er baseret på en syntetisk nedbør, vil de to beregningsmetoder ikke give præcist det samme resultat for ens oplande.

5.1 Opstilling af scenarier

Der opstilles og gennemregnes stofudledninger fra et referencebassin samt fra fire forskellige scenarier med samme oplandsstørrelser. Scenarierne kan anvendes som inspiration til beregning af konkrete sager, hvor der søges udledningstilladelse til koblede bassiner og LAR anlæg. Der er opstillet følgende scenarier:

Referencescenarie (et centralt regnvandsbassin)

- Seriekoblede regnvandsbassiner,
- Parallelle og seriekoblede regnvandsbassiner,
- LAR anlæg og bassiner i parallel,
- LAR anlæg og bassiner i serie.

Generelle beregningsforudsætninger

Beregningerne gennemføres med regnserien fra Viby Renseanlæg (SVK station # 5177). Denne regnserie indeholder pt. registreringer fra perioden 1979 til 2017 og har således en varighed af cirka 38 år. Til dimensionering af bassiner anvendes en sikkerhedsfaktor på 1,3.

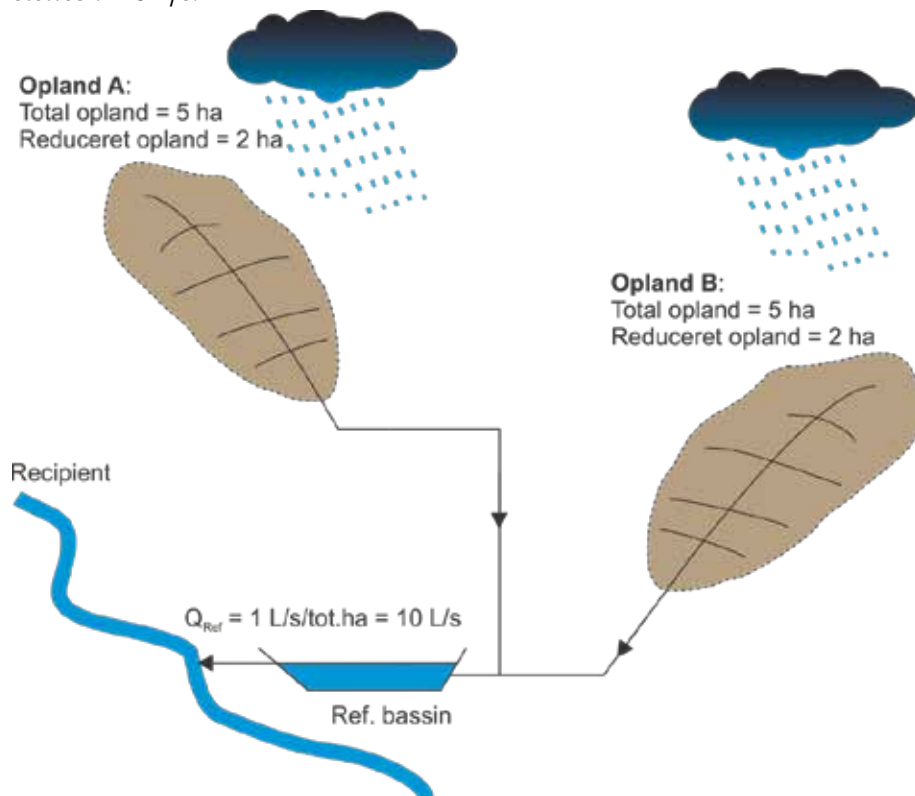
Det tilstræbes, at alle bassiner anlægges som rektangulære bassiner med et længde-bredde forhold på mere end 3:1 og et anlæg på 1:5. Det permanente vandspejl anlægges med en dybde på 1 m og den maksimale dybde sættes til 1,8 m. Udløbsvandføringen drosles til 1 L/s/ha (total ha) og gentagelsesperioden for overløb sættes til 5 år. Overløb antages placeret ved udløbet således at aflastninger sker fra bassinerne.

I alle beregninger er der to deloplande, som hver har en størrelse på 5 ha og en befæstelsesgrad på 50 %. Den hydrologiske reduktionsfaktor antages at være 0,8 og det reducerede oplandsareal er således 2 ha for hvert delopland:
 $\text{Reduceret opland} = 5 \text{ ha} \times 50 \% \times 0,8 = 2 \text{ ha}$

I oplandsbeskrivelsen antages en maksimal afstrømningstid (koncentrationstid) på 20 minutter. Der regnes med et næringssaltindhold¹ i det tilstrømmende regnvand på 2 mg total-N /L og 0,5 mg total-P /L. Desuden antages et indhold af suspenderet stof på 60 mg/L.

5.2 Referencescenarie – To deloplande koblet til ét bassin

I referencescenariet regnes der på en situation, hvor de to deloplande er koblet til et fælles vådt regnvandsbassin med udløb til en overfladerecipient (Figur 1). Det totale opland er således 10 ha og udløbsvandføringen for bassinet sættes til 10 L/s.



Figur 1. Oversigtsskitse over referencescenariet, hvor to deloplande er koblet til et fælles bassin.

¹ I henhold til retningslinjer fra Århus Kommunes RBU skema "<https://www.aarhus.dk/da/borger/natur-og-miljoe/Vand/Spildevand/Afledning-af-regnvand/Udledning-af-regnvand.aspx>".

Størrelsen af det nødvendige forsinkelsesvolumen for referencebassinet fastlægges på baggrund af Spildevandskomiteens skrift nr. 30 "Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter". Til beregningerne i dette eksempel benyttes version 4.1 af det tilhørende regneark (regionalregnraekke_ver_4_1.xls). Der forudsættes følgende:

Regnkurve karakteristika		Bassindimensionering opstrøms udløb	
		<i>Oplandskarakteristika</i>	
Northing (WGS84 ZONE 32)	6220681	Befæstet areal (ha)	5
Easting (WGS84 ZONE 32)	571099	Hydrologisk reduktionsfaktor (-)	0.8
Årsmiddelnedbør [mm]	707	Afskærende lednings kapacitet (l/s)	10
Middelværdi ekstrem døgnnedbør			
DMI Klimagrid [mm/dag]	25.5		
Gentagelsesperiode (år)	5	NB. Frekvens- og sikkerhedsfaktorer på regnen indgår ved beregning af bassinvolumen	
Sikkerhedsfaktor (Fra Skrift 27)	1.3		

På denne baggrund beregnes et nødvendigt forsinkelsesvolumen på 1916 m³. Beregningerne fremgår af Bilag 1. Den endelige bassindimensionering samt den forventede stofudledning og antal aflastninger beregnes efterfølgende med WDP. Der dimensioneres et rektangulært bassin med en længde på 80 m og en bredde på 25 m. Herved fås et forsinkelsesvolumen på 1953 m³ og et permanent volumen på 1508 m³ (Figur 2).

Figur 2. Modelopsætning for referencebassinet i WDP.

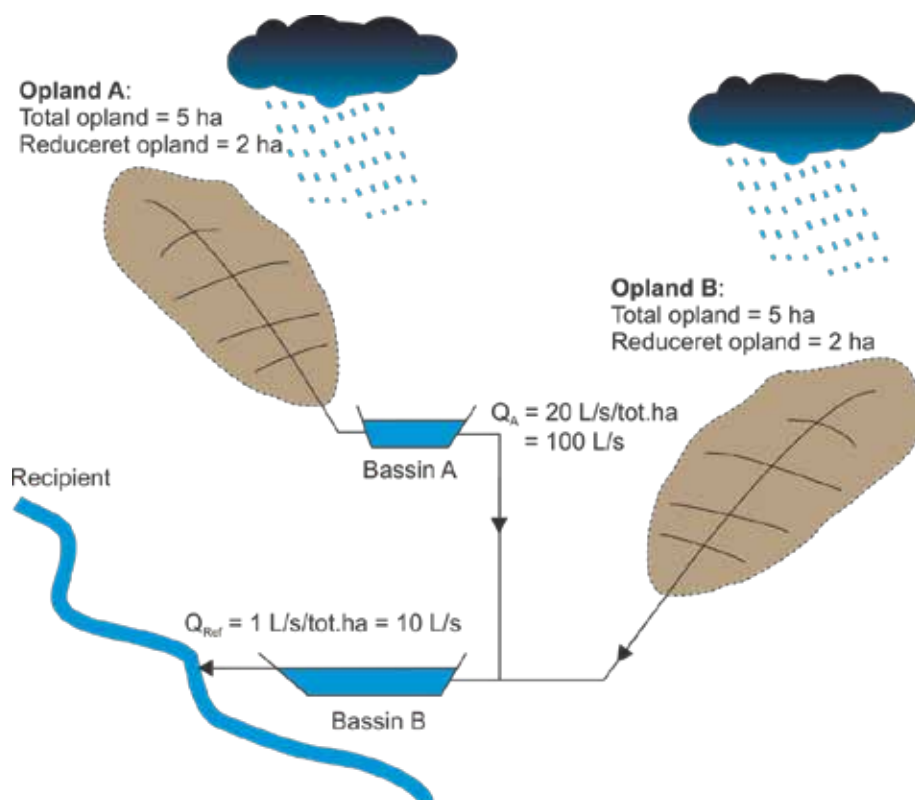
I beregningerne forudsættes en konstant udløbsvandføring på 10 L/s (svarende til 1 L/s/ha). Beregningsmæssigt betyder dette at udløbsvandføringen er identisk med indløbsvandføringen så længe den er mindre end eller lig 10 L/s. Modelberegningerne viser, at der med den valgte opsætning vil ske aflastning én gang i løbet af regnseriens varighed på 38 år. Overløbet sker i forbindelse med hændelsen 25-07-2015, hvor der aflastes 41 m³. For hele regnseriens varighed opnås en stoffjernelse på cirka 80 % eller mere for parametrene suspenderet stof (SS) og P total (Tabel 1), for N total opnås en stoffjernelse på cirka 50 %. Alle resultater fremgår af Bilag 2.

Tabel 1. Beregnet stoffjernelse i referencescenariet.

	Suspenderet stof	P total	N total
Masse af stof i tilløb (kg)	42786	357	1426
Masse af stof i udløb og overløb (kg)	5488	73	707
Fjernelsesgrad	87,2 %	79,6 %	50,5 %

5.3 Scenarie A – To seriekoblede regnvandsbassiner

I scenarie A skal der dimensioneres to seriekoblede regnvandsbassiner. Bassin A har ikke afløb til recipient og skal derfor ikke drosles til 1 L/s/ha. I eksemplet antages det således, at afløbet fra Bassin A er droslet til 20 L/s/ha, svarende til 100 L/s. Afløbet fra bassin B er droslet til 1 L/s/ha for det totale opland (opland A & B), svarende til i alt 10 L/s. Bassin A dimensioneres i henhold til Skrift 30 med et forsinkelsesvolumen på 301 m³ (Bilag 3). Det skal bemærkes at beregningen giver anledning til en advarsel i regnearket. Dette skyldes, at bassinet er designet med en forholdsvis stor afskærende ledningskapacitet. Som resultat heraf bliver den dimensionsgivende regnvarighed forholdsvis kort (< 1 time), hvorfor det fastlagte volumen er behæftet med en større usikkerhed end ved bassiner med en mindre udløbsvandføring.

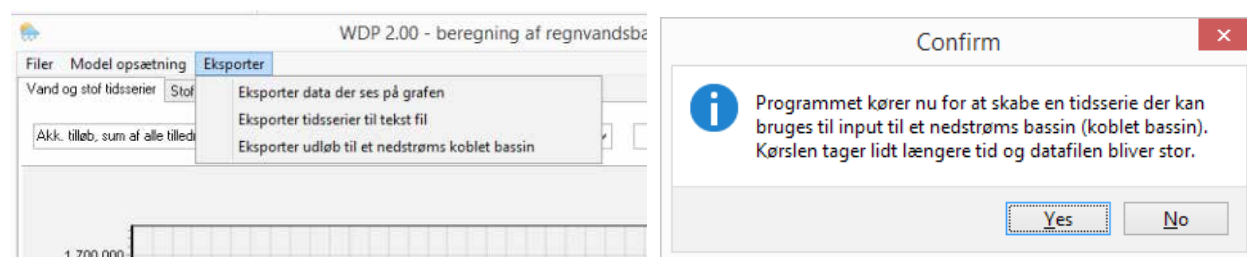


Figur 3. Oversigtsskitse over scenarie A, hvor der optræder to seriekoble bassiner.

Vand- og stofudledningen til bassin B, samt eventuelle overløb, beregnes med WDP. Bassin A anlægges med en længde på 20 m og en bredde på 12 m, hvorved der fås et forsinkelsesvolumen på 311 m³. Modelopsætningen for det første beregningstrin, altså udløbet fra Bassin A, er vist i Figur 4.

Figur 4. Modelopsætning for bassin A i scenarie A.

Idet bassin A indgår som et koblet bassin skal der i WDP laves en eksportfil med udløbsdata. Denne knyttes til indløbet ved beregningen af bassin B. Eksportfilen genereres ved at vælge "Eksporter → Eksporter udløb til et nedstrøms koblet bassin" (Figur 5). Herefter genereres en datafil af typen *.flw med de nødvendige data. Afhængig af regnseriens længde kan datafilen blive forholdsvis stor. I dette tilfælde, hvor regnserien har en længde på 38 år, bliver eksportfilen omkring 40 Mb.



Figur 5. Eksportfunktion i WDP. Når der vælges at eksportere resultater genereres en stor datafil.

Modelkørslen viser, at der i det konkrete tilfælde ikke sker overløb med den anvendte regnserie. Alt det afstrømmende regnvand ledes således videre til bassin B. En sammenfatning af de væsentligste resultater fra modelkørslen er vist i bilag 4.

Størrelse på det nedstrømsliggende bassin B skal dernæst fastlægges. Udgangspunktet for bassindimensioneringen er at gentagelsesperioden for overløb ikke forringes i forhold til referencescenariet. Desuden skal den samlede stofbelastning på recipienten være af samme størrelse eller mindre end i referencescenariet. I modelopsætningen for bassin B skal det opstrømsliggende bassin A tilføjes som et koblet bassin (Figur 6). Her skal den netop genererede datafil (*.flow) vælges.

Figur 6. Den røde cirkel angiver hvor man tilknytter et opstrømsliggende bassin.

Dernæst gennemføres et antal beregninger i WDP, hvor størrelsen på bassin B varieres manuelt indtil recipientbelastningen opfylder betingelserne om, at overløbsfrekvens og stofudledning ikke forøges i forhold til referencescenariet. Som et første gæt kan der tages udgangspunkt i bassinet fra referencescenariet. Idet bassin A har et stort afløbstal vil det påkrævede magasineringsvolumen i bassin B være af samme størrelse som i referencescenariet. Dette skyldes at den tilladte udløbsvandføring fra bassin A er væsentlig større end intensiteten i den nedbørshændelse, der er dimensionsgivende for bassinvolumenet (se evt. Bilag 2). Størrelsen på det permanent våde volumen varieres, indtil de udledte stofmængder er af samme størrelse eller mindre end i referencescenariet. Efter et antal gennemregninger vælges et bassin med et permanent vådt volumen på 1281 m³ og et forsinkelsesvolumen på 1953 m³ (Figur 7).

Figur 7. Dimensioneret størrelse på bassin B.

Med ovenstående dimensioner for bassin B fås samme overløbsfrekvens og cirka samme aflastet volumen som i referencescenariet. Den beregnede stofbelastning for SS, P total og N total fremgår af Tabel 2.

Tabel 2. Beregnet masse af stof i udløb og overløb (kg) for forureningskomponenterne SS, P total og N total for bassin B i scenarie A og for referencescenariet.

	Gentagelsesperiode for overløb (år)	Akkumuleret overløb (m ³)	Suspenderet stof (kg)	P total (kg)	N total (kg)
Scenarie A	38	35	4816	67	711
Reference	38	41	5488	73	707
Forskel	0	-6	-672	-6	4

Herved bliver den beregnede samlede udledning af SS og P mindre end i referencescenariet (i størrelsesordenen 8-12 %). For N total beregnes en belastning af samme størrelsesorden (mindre end 1 % større). En sammenfatning af beregningsresultaterne fra Scenarie A er vist i bilag 4. De beregnede bassinvoluminer er sammenholdt i Tabel 3.

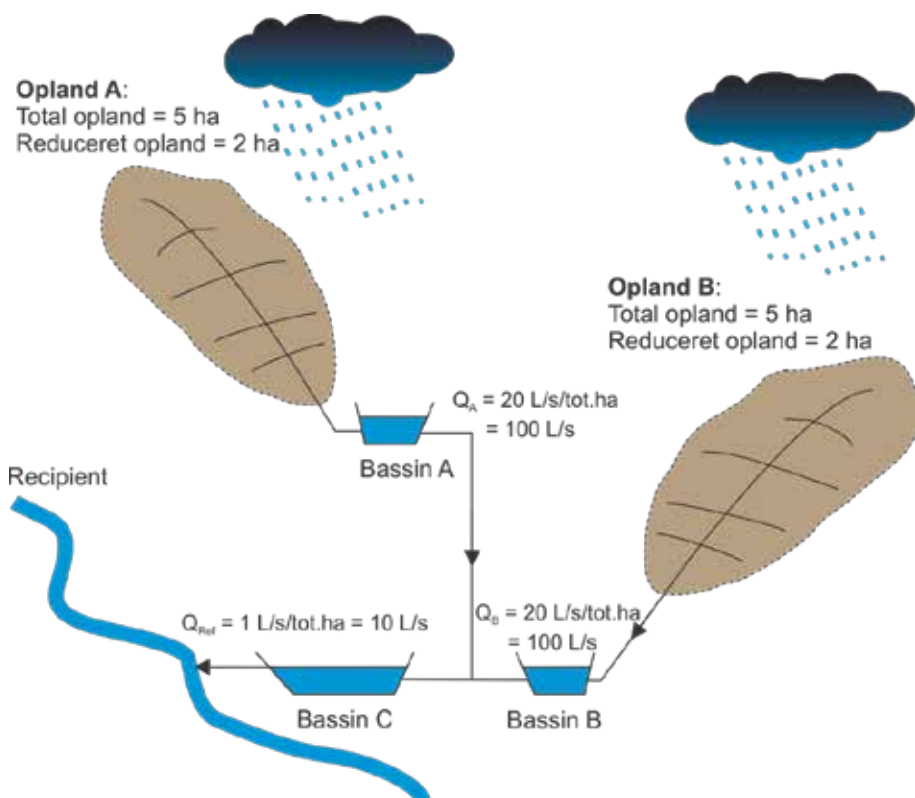
Tabel 3. Nødvendige bassinvoluminer i scenarie A og referencescenariet.

	Forsinkelsesvolumen (m ³)	Permanent volumen (m ³)	Total volumen (m ³)
Bassin A	311	113	424
Bassin B	1953	1281	3234
Total scenarie A	2264	1394	3658
Referencebassin	1953	1508	3461
Forskel	311	-114	197

Samlet set bliver det totale bassinvolumen i scenarie A cirka 5 % større end i referencescenariet.

5.4 Scenarie B – Oplande med parallelle og seriekoblede regnvandsbassiner

I scenarie B skal der dimensioneres to parallelt koblede regnvandsbassiner med udløb til et større bassin. De parallelle bassiner (A og B) har ikke afløb til recipient og skal derfor ikke drosles til 1 L/s/ha. I eksemplet antages det således, at afløbet fra disse bassiner er droslet til 20 L/s/ha, svarende til 100 L/s. Afløbet fra det nedstrømsbeliggende bassin C er droslet til 1 L/s/ha for det totale opland, svarende til i alt 10 L/s. Bassin A og B dimensioneres i henhold til Skrift 30 med samme dimensioner som Bassin A i scenarie A (Bilag 3).



Figur 8. Oversigtskitse over scenarie B, hvor der optræder både parallelle og seriekoblede bassiner.

Bassin C dimensioneres med samme forsinkelsesvolumen som bassinet i referencescenariet (1953 m³). Herved opnås samme gentagelsesperiode for aflastning. Det permanent våde volumen fastlægges ved manuelt at gennemføre et antal modelberegninger i WDP med varierende volumen, indtil den beregnede stofbelastning for de enkelte forureningskomponenter er mindre end eller af samme størrelse som i referencescenariet (Tabel 4). De beregnede bassinvolumener er sammenholdt i Tabel 5.

Tabel 4. Beregnet masse af stof i udløb og overløb (kg) for forureningskomponenterne SS, P total og N total for scenarie B og for referencescenariet.

	Gentagelsesperiode for overløb (år)	Akkumuleret overløb (m ³)	Suspenderet stof (kg)	P total (kg)	N total (kg)
Scenarie B	38	41	3828	59	709
Reference	38	41	5488	73	707
Forskel	0	0	-1660	-14	2

Herved bliver den beregnede samlede udledning af SS og P væsentligt mindre end i referencescenariet (i størrelsesordenen 20-30 %). For N total beregnes en belastning af samme størrelsesorden (mindre end 1% større). En sammenfatning af beregningsresultaterne fra Scenarie B er vist i bilag 5.

Tabel 5. Nødvendige bassinvolumener i scenarie B og referencescenariet.

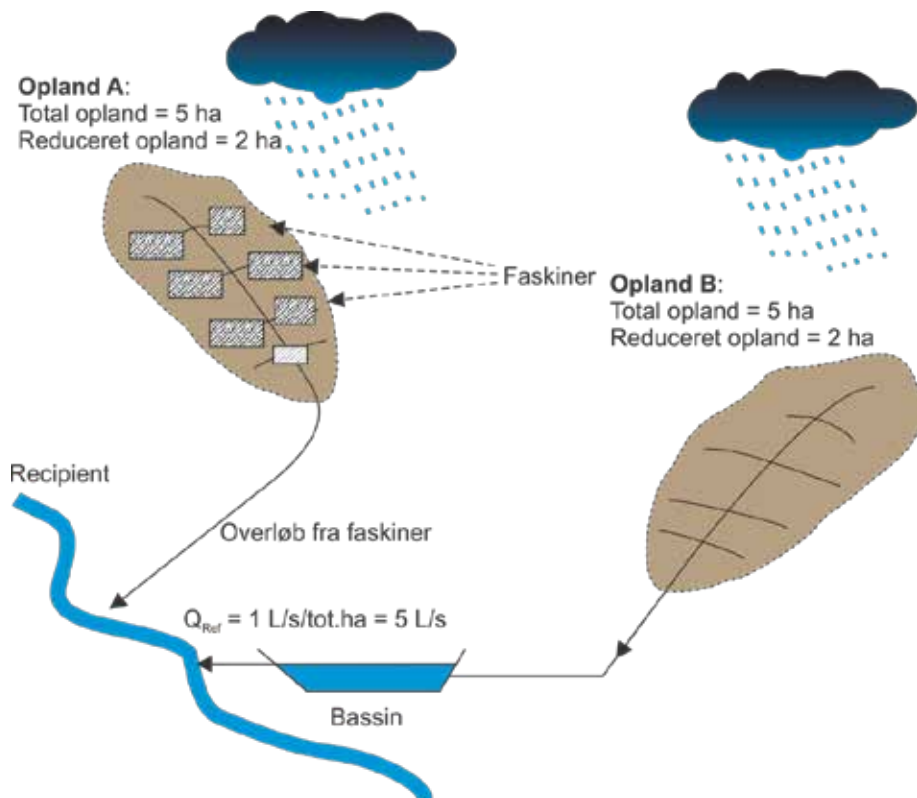
	Forsinkelsesvolumen (m ³)	Permanent volumen (m ³)	Total volumen (m ³)
Bassin A	311	113	424
Bassin B	311	113	424
Bassin C	1953	1087	3313
Total scenarie B	2575	1313	3888
Referencebassin	1953	1508	3461
Forskel	622	-195	427

Det totale bassinvolumen i scenarie B er 427 m³ større end i referencescenariet, hvilket svarer til en forøgelse på cirka 12 %.

Scenariet illustrerer, at koblede bassiner med lille forsinkelse kræver et forsinkelsesvolumen nedstrøms, som er af samme størrelse som for ét centralt bassin alene. Dette skyldes, at der stort set ikke tilbageholdes vand i de dimensionsgivende regnhændelser med lang varighed og lav intensitet. Anvendelse af koblede bassiner giver derimod en mulighed for at reducere det permanente volumen nedstrøms og opnå samme eller bedre stoffjernelse end for ét centralt bassin alene.

5.5 Scenarie C – LAR anlæg og bassiner i parallel

I scenarie C afkobles det ene delopland og der etableres lokal afledning af regnafstrømningen via faskiner. Det andet delopland udleder overfladevand via et vådt regnvandsbassin. Både bassin og faskiner dimensioneres med en gentagelsesperiode for overløb på 5 år. For bassinet gælder endvidere en udløbsvandføring på 1 L/s/ha (Figur 9).



Figur 9. Oversigtsskitse over scenarie C, hvor to deloplande er koblet til et vådt regnvandsbassin. I opland A er der installeret LAR-anlæg i form af faskiner.

Faskinerne i opland A dimensioneres ved hjælp af beregningsværktøjet "Opdateret LAR-dimensionering - regneark", som er udarbejdet af Spildevandskomiteen i 2015. Beregningsværktøjet er frit tilgængeligt på Spildevandskomiteens hjemmeside. Der beregnes for et befæstet areal² på 2 ha med en gentagelsesperiode på 5 år og en sikkerhedsfaktor på 1,3. Den hydrauliske ledningsevne sættes til $5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ (se yderligere detaljer i bilag 6). I dette eksempel beregnes der én faskine for hele oplandet med udsivning igennem både sider og bund. Faskinen får dimensionerne 30 m x 32,5 m x 1 m og en dræncapacitet på 5,18 L/s. I praksis anbefales det, at der anlægges lange og smalle faskiner i henhold til Århus Kommunes LAR-metodekatalog. Den næsten kvadratiske udformning af faskinen i dette scenarie er valgt af hensyn til beregningen i WDP, hvor der regnes med samme infiltrationsrate gennem bund og sider.

I WDP implementeres faskinen som et infiltrationsbassin med samme dimensioner og samme dræncapacitet som faskine-dimensioneringen foreskriver. Dræncapaciteten sikres ved at justere den konstante nedsivningsrate ($5,18 \text{ L/s} / (30 \text{ m} \times 32,5 \text{ m}) = 5,32 \text{ my-m/s}$). Figur 10 viser hvorledes afstrømningen fra opland A beskrives i WDP.

² Regnearket anvender ikke hydrologisk reduktion. Det befæstede oplandsareal sættes derfor lig det reducerede oplandsareal på 2 ha.

WDP 2.00 - opsætning af bassinparametre

Vælg åbnet projekt: C:\Users\VENK\Documents\Koblede bassiner WDP\WDP\Aarhus_scenarie_C1.prj

Nedbør og opland / indløbsvandføring

Inddata fil for hovedstrømmen
☒ Regndata i XMD-2 format
☐ Tidsserie af tilfødsflow

Vælg regndata fil XMD-2: C:\Users\VENK\Documents\Koblede bassiner WDP\WDP\0126035_20170108110415_afg.txt
 Vælg udfaldsfil XMD-2: Vælg fil for udfald på måler. Perioder med udfald bliver så sprunget over. Undlades filen bliver der i regnsere med store huller fejl i visse beregninger

☒ Koblede bassiner
 Undlad brug af udfaldsfil

Antal koblede bassiner: 0

Oplandskarakteristika

Oplandsareal, red. ha: 2.00
 Afstrømningshøjde (max), sekunder: 1200
 Indtægt, mm: 0.80

Vælg af andre ind- og udløb
☐ Inkluder fordampning
☐ Inkluder basisevandføring
☐ Inkluder udsivning fra bassin

Bassinets størrelse og geometri

Bundskote [m]: 0.00
 Udløbskote [m]: 0.00
 Overløbskote [m]: 1.00
 Skråningsanlæg [m:m]: 1:0.0

Bassin geometri
☐ Elipseformet
☐ Cirkulær
☒ Rektangulær
☐ Andet (udfyld tabel)

Længde [m]: 30.0
 Bredde [m]: 32.5

Angiv bassinets længde og bredde i vandoverfladen - altså ved udløbskoten

Bassinets permanent våde volumen er: 0 m³
 Bassinets forsinkelsesvolumen er: 975 m³
 Bassinets plane bundareal er: 975 m²

Bassinets udløbsforhold

☐ Konstant udløbsflow
☐ Q - H relation
☐ Udløbsformel $Q = a \cdot Y^n$
☒ Nedsivning - konstant rate
☐ Nedsivning - niveaustyret rate
☐ Filtrering til udløb - konstant rate
☐ Filtrering til udløb - niveaustyret rate

Konstant nedsivningsrate [µm/s]: 5.2

☐ Inkluder efterpolering gennem filter

Hydraulisk kapacitet [L/s]: 0.0
 Ved efterpolering går kapacitet til polering og udløses med koncentration valgt under stofparametre. Resten går uden om

Overløbs placering
☒ Bassinudløb
☐ Tilførsledning

Bypass af regnvand før indløb til bassin
☒ Intet bypass
☐ Bypass før indløb

Max inflow, resten i bypass [L/s]: 100.0

Relativ stofseparering på bypass: 0.80
 1: bypassvand indeholder ingen stof, 0=bypassvand indeholder det samme som middel tiløb

Reset Cancel OK

Figur 10. Modelopsætning for opland A, hvor der er installeret faskiner, i scenarie C.

Bassin for opland B dimensioneres i henhold til Spildevandskomiteens skrift 30 med en sikkerhedsfaktor på 1,3. Herved fås et forsinkelsesvolumen på 958 m³. Dette implementeres i WDP som et bassin med en længde på 50 m og en bredde på 18 m (Figur 11).

WDP 2.00 - opsætning af bassinparametre

Vælgloppet projekt: C:\Users\XXXX\Documents\Koblede bassiner WDP\WDP\Aarhus_scenarie_C2.prj

Nedbør og opland / indløbsvandføring

Inddata fil for hovedstrømmen
☒ Regndata i KMD-2 format
☐ Tidsserie af tilfødsflow

Vælg regndata fil KMD-2: C:\Users\XXXX\Documents\Koblede bassiner WDP\WDP\10126035_20170108110415_afg.txt

Vælg udfaldsfil KMD-2: Vælg fil for udfald på m³/år. Perioder med udfald bliver så sprunget over. Undlades filen bliver der i regnserie med store huller fejl i visse beregninger

Antal koblede bassiner: 0

Oplandskarakteristika

Oplandsareal, red. ha: 2.00
Afstrømnings tid (max), sekunder: 1200
Initaltab, mm: 0.80

Vælg af andre ind- og udløb
☐ Inkluder fordampning
☐ Inkluder basisvandføring
☐ Inkluder udsivning fra bassin

Bassinets størrelse og geometri

Bundskote [m]: 0.00
Udløbskote [m]: 1.00
Overløbskote [m]: 1.80
Slåningsanlæg [m/m]: 1:5.0

Bassin geometri
☐ Ellipseformet
☐ Cirkulær
☒ Rektangulær
☐ Andet (udfyld tabel)

Længde [m]: 50.0
Bredde [m]: 18.0

Angiv bassinets længde og bredde i vandoverfladen - altså ved udløbskoten

Bassinets permanent våde volumen er: 593 m³
Bassinets forsinkelsesvolumen er: 955 m³
Bassinets plane bundareal er: 320 m²

Bassinets udløbsforhold

☒ Konstant udløbsflow
☐ Q - H relation
☐ Udløbsformel $Q = a \cdot Y^n$
☐ Nedsivning - konstant rate
☐ Nedsivning - niveaustyret rate
☐ Filtrering til udløb - konstant rate
☐ Filtrering til udløb - niveaustyret rate

Konstant udløbsvandføring [L/s]: 5.0

☐ Inkluder efterpolering gennem filter

Hydraulisk kapacitet [L/s]: 0.0
Ved efterpolering går 'kapacitet' til polering og udløses med koncentration valgt under stofparametre. Resten går uden om

Overløbs placering
☒ Bassinudløb
☐ Tilførsledning

Bypass af regnvand før indløb til bassin
☒ Intet bypass
☐ Bypass før indløb

Max inflow, resten i bypass [L/s]: 100.0

Relativ stofseparering på bypass: 0.80
1: bypassvand indeholder ingen stof. 0=bypassvand indeholder det samme som middel tiløb

Figur 11. Modelopsætning for bassinet nedstrøms opland B i scenarie C.

Den samlede stofudledning til overfladerrecipienten bliver væsentligt mindre i scenarie C i forhold til referencescenariet (Tabel 6). Stofindholdet i det infiltrerede vand er beregnet til 1068 kg SS, 7 kg total P og 356 kg N (Bilag 7).

Tabel 6. Beregnet masse af stof i udløb og overløb (kg) for forureningskomponenterne SS, P total og N total for scenarie C og for referencescenariet.

	Gentagelsesperiode for overløb (år)	Akkumuleret overløb (m³)	Suspenderet stof (kg)	P total (kg)	N total (kg)
Opland A	38	17	1	0	0
Opland B	38	42	3293	43	394
Scenarie C	38	59	3294	43	394
Reference	38	41	5488	73	707
Forskel	0	18	-2194	-30	-313

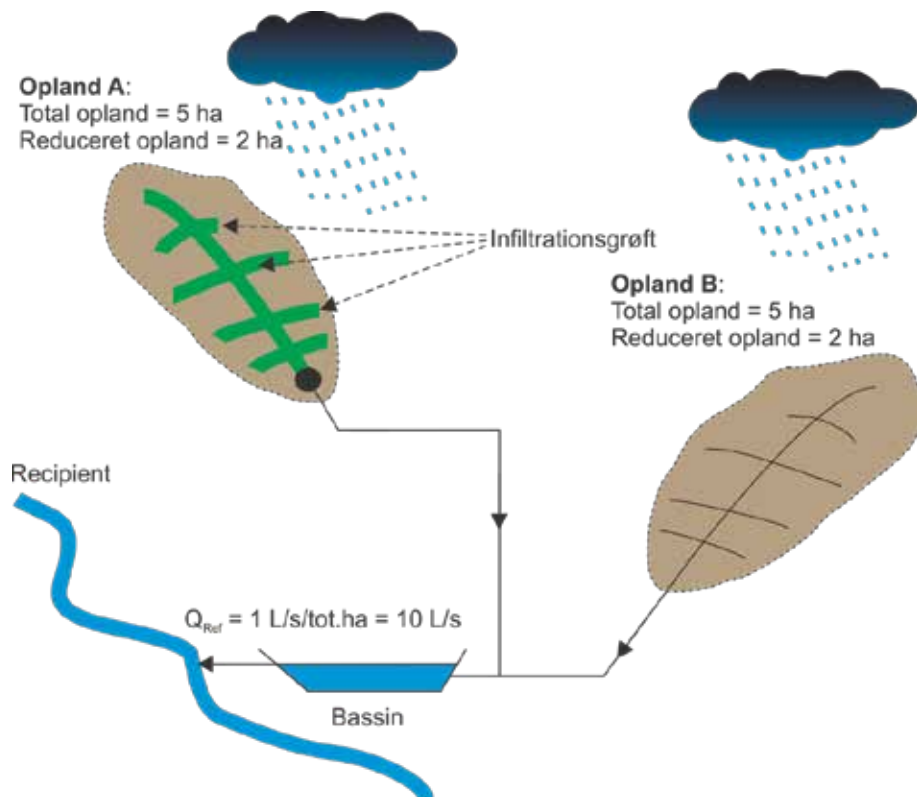
Det totale bassinvolumen i scenarie C er cirka 27 % mindre end i referencescenariet (Tabel 7).

Tabel 7. Nødvendige bassinvoluminer i scenarie C og i referencescenariet.

	Forsinkelsesvolumen (m ³)	Permanent volumen (m ³)	Total volumen (m ³)
Faskine	975	-	975
Bassin	955	593	1548
Total scenarie C	1930	593	2523
Referencebassin	1953	1508	3461
Forskel	-23	-915	-938

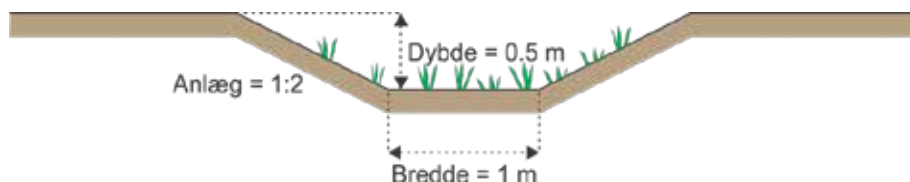
5.6 Scenarie D – LAR anlæg og bassin i serie

I scenarie D etableres der afstrømning via infiltrationsgrøfter i det ene delopland. Grøfterne udleder til et nedstrømsbeliggende vådt regnvandsbassin, der også modtager overfladeafstrømning fra et andet delopland af samme størrelse (Figur 12). Både bassin og grøfter dimensioneres med en gentagelsesperiode for overløb på 5 år. Med en klimafaktor på 1,3 svarer dette til, at der med den historiske Viby regnserie skal ske overløb en gang på 38 år (se referencescenariet).



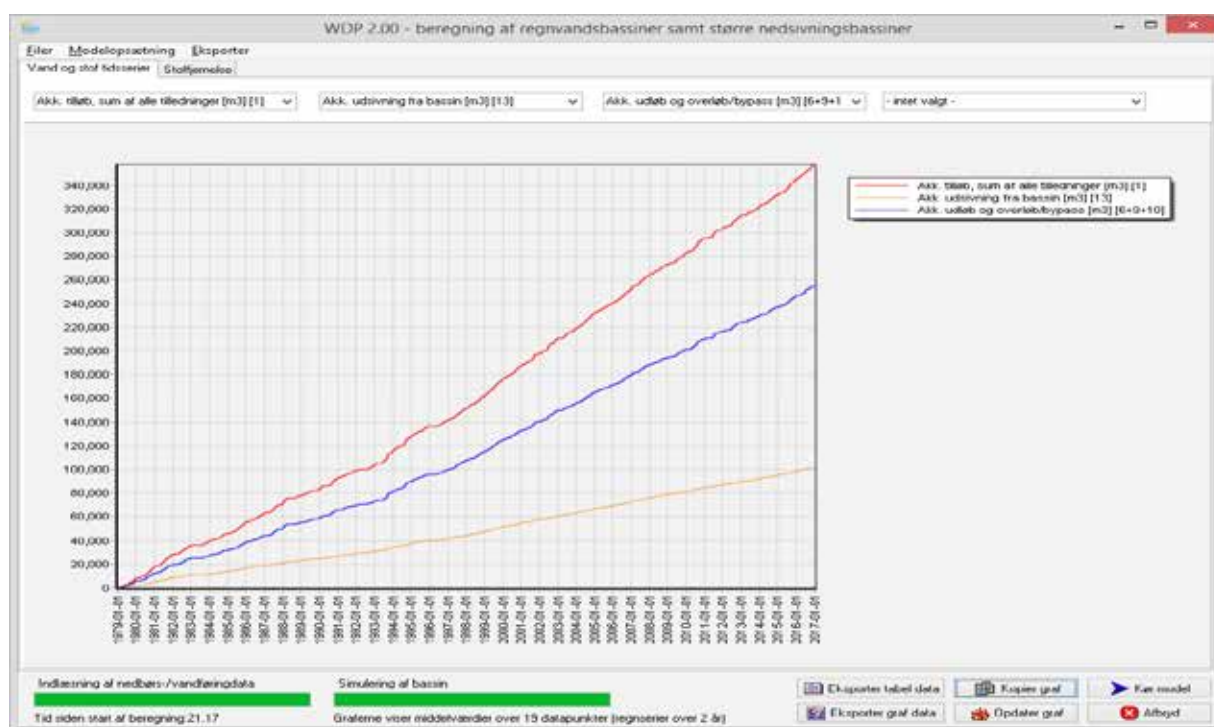
Figur 12. Oversigtsskitse over scenarie D, hvor to deloplande er koblet til et vådt regnvandsbassin. I opland A er der installeret LAR-anlæg i form af infiltrationsgrøfter.

Infiltrationsgrøfterne anlægges i henhold til Århus Kommunes LAR-metodekatalog med en bredde ved bunden på 1 m, en dybde på 0,5 m og et anlæg på 1:2 (Figur 13). Grøftens samlede længde sættes til 500 m.



Figur 13. Tværsnit af grøft med angivelse af bredde, dybde og skråning.

I WDP implementeres grøften som et langt tørt bassin med udsivning. Udsivningen fra grøften beregnes som en konstant exfiltration på 432 mm/d i alle årets måneder (indstilles under Modelopsætning > Stof og modelparametre). Dette svarer til en infiltrationskapacitet på 5 my-m/s, som benyttes som defaultværdi i Spildevandskomiteens regneark til LAR dimensionering. Udløbsvandføringen fra grøften drosles således, at der netop sker overløb én gang med den historiske regnserie fra Viby. Med de valgte parametre beregnes en udsivning på cirka 30 % af den tillægte vandmængde (Figur 14). Den resterende vandmængde afledes til det nedstrøms bassin, som også modtager regnafstrømning fra delopland B.



Figur 14. Akkumuleret tilløb (rød), udløb + overløb (blå) og udsivning (gul) fra infiltrationsgrøften i delopland A.

Det nedstrøms bassin designes med en udløbsvandføring på 10 L/s, svarende til 1 L/s/ha for det samlede oplandsareal. Det nødvendige bassinvolumen fastlægges ved manuelt at justere bassinets dimensioner i WDP, indtil der også her sker aflastning én gang på 38 år. Efter et antal gennemregninger fås et bassin med en længde på 80 m og en bredde på 20 m.

Den beregnede stofbelastning på overfladerecipienten er i samme størrelsesorden som i referencescenariet (Tabel 8). Udledningen af suspenderet stof er mindre end 1 % større i scenarie D. For næringssaltene P og N er den beregnede stofbelastning henholdsvis 3 % og 8 % mindre.

Tabel 8. Beregnet masse af stof i udløb og overløb (kg) for forureningskomponenterne SS, P total og N total for scenarie D og for referencescenariet.

	Gentagelsesperiode for overløb (år)	Akkumuleret overløb (m ³)	Suspenderet stof (kg)	P total (kg)	N total (kg)
Opland A	38	81	5	0	0
Bassin	38	147	5509	71	650
Scenarie D	38	228	5514	71	650
Reference	38	41	5488	73	707
Forskel	0	187	26	-2	-57

Det nødvendige totale volumen (bassin & grøft) er cirka 6 % mindre i scenarie D end i referencescenariet (Tabel 9). Årsagen til den ringe forskel i bassinvolumen er, at der kun infiltreres en mindre andel af regnafstrømningen ved de dimensionsgivende regnhændelser.

Tabel 9. Nødvendige bassinvolumener i scenarie D og i referencescenariet.

	Forsinkelsesvolumen (m ³)	Permanent volumen (m ³)	Total volumen (m ³)
Infiltrationsgrøft	500	-	500
Bassin	1617	1133	2750
Total scenarie D	2117	1133	3250
Referencebassin	1953	1508	3461
Forskel	164	-375	-211

6. SAMMENFATNING

Nærværende vejledning viser, hvorledes vand- og stofudledningen fra koblede enheder til håndtering af urban regnafstrømning kan beregnes. Beregninger af denne type kan anvendes som dokumentation for forventede stofbelastninger ved ansøgning om udledningstilladelse for sådanne systemer og at løsningen svarer til effekten af ét vådt regnvandsbassin.

Der er i forbindelse hermed opstillet fire scenarier, hvor regnafstrømningen fra to deloplande af samme størrelse håndteres på forskellig vis. I scenarierne vises det, hvorledes volumner af bassiner og LAR-enheder kan fastlægges således, at den samlede recipientbelastning bliver af samme størrelse eller mindre end for en situation, hvor begge deloplande er tilkoblet ét centralt bassin. Der er opstillet følgende scenarier:

Reference scenario (et centralt regnvandsbassin)

- Seriekoblede regnvandsbassiner,
- Parallelle og seriekoblede regnvandsbassiner,
- LAR anlæg og bassiner i parallel,
- LAR anlæg og bassiner i serie.

I scenario A bliver det nødvendige bassinvolumen for de to bassiner cirka 5 % større end bassinvolumenet i referencescenariet (vådt regnvandsbassin). Dette fordeler sig mellem et større behov for magasinering og et mindre permanent volumen. Det ekstra bassin medfører en bedre stoftilbageholdelse, hvilket særligt er tilfældet for suspenderet stof og fosfor, hvor stofudledningen reduceres med cirka 10 %.

I scenario B, hvor der optræder tre bassiner i både parallel- og seriekobling, bliver det nødvendige bassinvolumen cirka 12 % større end i referencescenariet. Forøgelsen sker primært i behovet for magasineringsvolumen. Den samlede stofudledning reduceres væsentligt med op til 20-30 % for suspenderet stof og fosfor. For kvælstof er stofudledningen af samme størrelse som i referencescenariet.

I scenario C er det ene delopland tilkoblet faskine, hvilket medfører, at stort set al regnafstrømningen her nedsives. Det nødvendige bassinvolumen bliver derfor væsentligt mindre end i referencescenariet. Det er i særlig grad behovet for et permanent vådt volumen, der reduceres. Stofudledningen til overfladerecipienten reduceres tilsvarende i størrelsesordenen 40 % eller mere i dette scenario. Det skal bemærkes, at det infiltrerede regnvand vil tilføre en forøget stofbelastning til grundvandet. Denne er dog svær at fastsætte præcist, da tilbageholdelsen i jord er dårligt kendt.

I scenario D afledes regnvandet i det ene delopland via infiltrationsgrøfter med udløb til kloak. De to deloplande afleder til et fælles bassin. Med de valgte parametre infiltreres cirka 30 % af regnafstrømningen fra det ene delopland. Ved de dimensionsgivende regnhændelser vil en mindre andel af regnafstrømningen kunne nå at infiltrere. Dette betyder at de nødvendige bassinvolumener kun afviger en smule fra referencescenariet. Den samlede stoftilbageholdelse er af samme størrelse som i referencescenariet.

Resultaterne af de enkelte scenarier afhænger af de valgte parametre, såsom oplandskarakteristika, infiltrationskapacitet, krav til overløbshyppighed, m.m. Resultaterne kan derfor ikke generaliseres til andre forhold, men scenarierne kan anvendes som inspiration til beregning af konkrete sager.

7. ORDLISTE

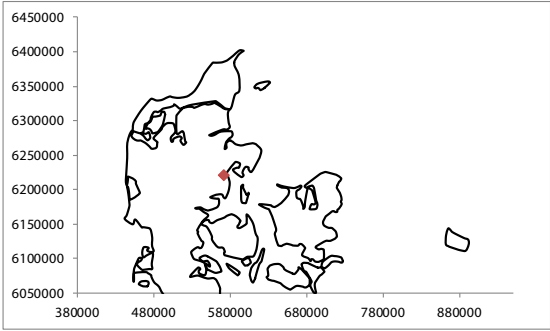
Afløbssystem	Rørsystem med tilhørende anlæg til transport af spildevand og/eller regnvand til et rensningsanlæg eller andet udledningsanlæg.
BAT	Best Available Technology (Da: Bedste tilgængelige teknologi)
Befæstelsesgraden	Den andel af det samlede opland som er befæstet.
Befæstet areal	Den andel af et opland, som udgøres af impermeable eller semi-impermeable overflader og som derfor bidrager til overfladeafstrømning. Befæstede arealer er f.eks. asfalt, fliser mv.
Initialtab	Den nedbørsmængde, der skal falde før overfladeafstrømning begynder. I denne vejledning anvendes et initialtab på 0,8 mm.
Hydrologisk reduktionsfaktor	Angiver, hvor stor en del af et givent opland, der giver bidrag til afstrømning fra oplandet (overfladen). Sættes som udgangspunkt til 0,8.
LAR	Lokal afledning af regnvand, hvor regnvandet fuldstændigt eller delvist afkobles fra det traditionelle afløbssystem, primært ved nedsivning.
Recipient	Fællesbetegnelse for et vandområde (vandløb, søer eller kystvande), hvortil der udledes spildevand, herunder afstrømning fra befæstede arealer.
Reduceret areal	Den del af et areal, der giver anledning til regnafstrømning.
Separat regnvand	Regnafstrømning fra tage, veje og andre overflader, der tilledes et separat afløbssystem.
Spildevand	Ved spildevand forstås alt vand, der afledes fra beboelse, virksomheder, øvrig bebyggelse og befæstede arealer.
WDP	Wet Detention Pond (Da: vådt regnvandsbassin)

BILAG

Bilag 1. Dimensionering af referencebassin i henhold til SVK Skrift 30

Regnkurve karakteristika		Ledningsdimensionering CDS karakteristika		Bassindimensionering opstrøms udløb Oplandskarakteristika	
Northing (WGS84 ZONE 32)	6220681	CDS-regn varighed (min)	240	Befæstet areal (ha)	5
Easting (WGS84 ZONE 32)	571099	Tidsskridt (min)	1	Hydrologisk reduktionsfaktor (-)	0.8
Årsmiddelnedbør (mm)	707	Asymmetri koefficient	0.5	Afskærende lednings kapacitet (l/s)	10
Middelværdi ekstrem døgnedbør DMI Klimagrid (mm/dag)	25.5				
Gentagelsesperiode (år)	5			NB. Frekvens- og sikkerhedsfaktorer på regnen indgår ved beregning af bassinvolumen	
Sikkerhedsfaktor (Fra Skrift 27)	1.3				
Varighed (min)	Intensitet givet ovenstående input (l/m/s)				
10	23.06				

Design regnkurve				
Varighed (min)	z_T (l/m/s)	$S(z_T)$ (l/m/s)	$f^* z_T$ (l/m/s)	Regression (l/m/s)
1	36.53	3.34	47.49	47.67
2	32.28	2.73	41.97	42.11
5	24.43	1.62	31.76	31.71
10	17.97	1.35	23.36	23.06
30	9.29	0.87	12.07	11.96
60	5.71	0.64	7.42	7.43
180	2.52	0.24	3.28	3.33
360	1.52	0.10	1.97	1.98
720	0.89	0.07	1.16	1.17
1440	0.53	0.04	0.69	0.69
2880	0.32	0.02	0.42	0.41



Volumen af bassin
1916 m3
Effekten af koblede regn ER inkluderet (20 % ekstra volumen)

Mellemeresultater svarende til Skrift 16	
Dvs. at effekt af koblede regn IKKE er inkluderet i mellemeresultaterne.	
Reduceret areal (ha)	4.00
Afløbstal (mu-m/s)	0.25
Varighed (h)	13.82
Vr.k (mm)	39.93

Bilag 2. Resultat af WDP beregninger for referencescenarie

WDP 2.00 - beregning af regnvandsbassiner samt større nedslivningsbassiner

FilerModel opsætningEksporter

Vand og stof lidseesStoffjernelse

	SS	P total	PAH total	Ole/fedt	Pb total	Cd total	Cu total	Zn total	N total	P opløst
	[kg]	[kg]	[g]	[kg]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]	[kg]
Masse af stof i tiløb [1]	42785.84	356.55	356.55	1069.65	10696.46	71.31	14261.95	106964.60	1426.19	142.62
Masse af stof i udløb og overløb/bypass [5+9+10]	5487.79	72.67	39.65	118.94	1647.80	23.05	2707.61	19102.23	706.64	29.07
Masse af stof i udløb fra bassin [6]	5486.77	72.65	39.64	118.91	1647.50	23.04	2707.16	19098.97	706.58	29.06
Masse af stof i udløb fra polering [7]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i udløb udenom polering [8]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i overløb fra eller før bassin [9]	1.02	0.01	0.01	0.02	0.30	0.00	0.45	3.26	0.06	0.00
Masse af stof i bypass før bassin [10]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i filteret vand [11]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i infiltration til grundvand [12]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i udsvivning til grundvand [13]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fjernelsesgrad lt. udløb til overfladevand alene [%]	87.2	79.6	88.9	88.9	84.6	67.7	81.0	82.1	50.5	79.6
Fjernelsesgrad lt. udløb til overfladevand plus grundvand [%]	87.2	79.6	88.9	88.9	84.6	67.7	81.0	82.1	50.5	79.6
	[g/m3]	[g/m3]	[mg/m3]	[g/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[g/m3]	[g/m3]
Middel indløbskoncentration	60.000	0.500	0.500	1.500	15.000	0.100	20.000	150.000	2.000	0.200
Middel udløbskoncentration til overfladevand	7.696	0.102	0.056	0.167	2.311	0.032	3.797	26.788	0.991	0.041
Middel udløbskoncentration til overfladevand plus grundvand	7.696	0.102	0.056	0.167	2.311	0.032	3.797	26.788	0.991	0.041

	Vand [m3]		Vand [m3]
Akkumuleret tiløb, sum af alle tilledninger [1]	713097.3	Akkumuleret udløb og overløb/bypass [5+9+10]	713097.3
Akkumuleret tiløb fra oplødet [2]	713097.3	Akkumuleret udløb [6]	713056.4
Akkumuleret tiløb fra kobede bassiner [3]	0.0	Akkumuleret bypass før bassinet [10]	0.0
Akkumuleret tiløb fra bassinfiltrering [4]	0.0	Akkumuleret overløb fra/efter bassin [9]	41.0
Akkumuleret indløb til bassinet efter bypass [5]	713097.3	Akkumuleret udløb fra polering [7]	0.0
Akkumuleret udsvivning [13]	0.0	Akkumuleret bypass uden om polering [8]	0.0
Akkumuleret fordampning [14]	0.0	Akkumuleret filterring [11]	0.0
		Akkumuleret infiltration [12]	0.0

Antal overløb ved "tid mellem overløb" på 6 timer1

Genopstartsperiode for overløb (T, regnet i år)38.00

Indlæsning af nedbør-/vandledningsdata

Simulering af bassin

Eksporter tabel data

Kopier graf

Kør model

Eksporter graf data

Opdater graf

Afbyd

Tid siden start af beregning: 26.27

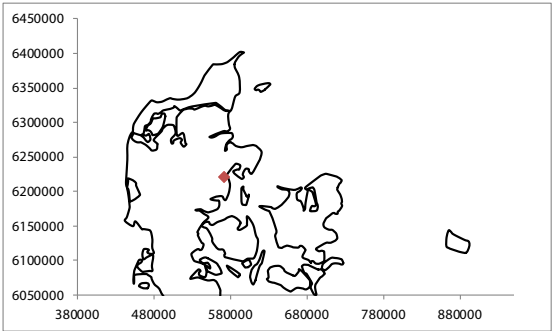
Grafene viser middelværdier over 19 datapunkter (regneres over 2 år)

Antal overløb ved "lid mellem overløb" på 6 timer: 1
Gentagelsesperiode for overløb (T, regnet i år): 38.00

Bilag 3. Scenarie A - dimensionering af bassin A i henhold til Skrift 30

Regnkurve karakteristika		Ledningsdimensionering CDS karakteristika		Bassindimensionering opstrøms udløb Oplandskarakteristika	
Northing (WGS84 ZONE 32)	6220681	CDS-regn varighed (min)	240	Befæstet areal (ha)	2.5
Easting (WGS84 ZONE 32)	571099	Tidsskridt (min)	1	Hydrologisk reduktionsfaktor (-)	0.8
Årsmiddelnedbør (mm)	707	Asymmetri koefficient	0.5	Afiskærende lednings kapacitet (l/s)	100
Middeelværdi ekstrem døgennedbør DMI Klimagrid (mm/dag)	25.5			NB. Frekvens- og sikkerhedsfaktorer på regnen indgår ved beregning af bassinvolumen	
Gentagelsesperiode (år)	5				
Sikkerhedsfaktor (Fra Skrift 27)	1.3				
Defineret i Skrift 27, Faktor til beskrivelse af usikkerhed, klima, mv. Typisk 1.0 - 1.8					
Varighed (min)	Intensitet givet ovenstående input (l/m/s)				
10	23.06				

Design regnkurve					
Varighed (min)	z_T (l/m/s)	$S(z_T)$ (l/m/s)	f^*z_T (l/m/s)	Regression (l/m/s)	
1	36.53	3.34	47.49	47.67	47.67
2	32.28	2.73	41.97	42.11	42.11
5	24.43	1.62	31.76	31.71	31.71
10	17.97	1.35	23.36	23.06	23.06
30	9.29	0.87	12.07	11.96	11.96
60	5.71	0.64	7.42	7.43	7.43
180	2.52	0.24	3.28	3.33	3.33
360	1.52	0.10	1.97	1.98	1.98
720	0.89	0.07	1.16	1.17	1.17
1440	0.53	0.04	0.69	0.69	0.69
2880	0.32	0.02	0.42	0.41	0.41



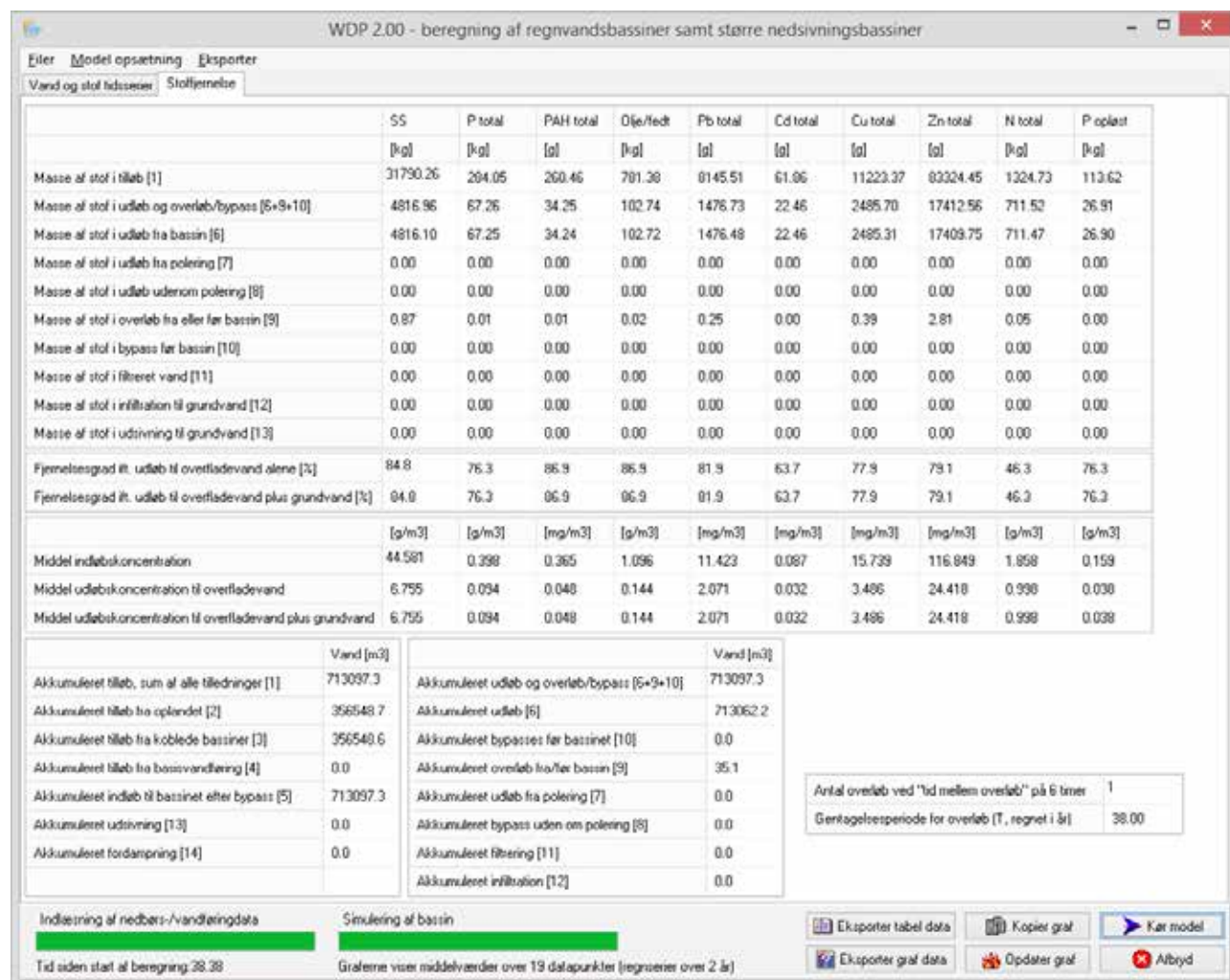
Volumen af bassin	
301 m3	ADVARSEL: Programmet har muligvis ikke optimeret korrekt
Effekten af koblede regn ER inkluderet (20 % ekstra volumen)	

Mellemeresultater svarende til Skrift 16	
Dvs. at effekt af koblede regn IKKE er inkluderet i mellemeresultaterne.	
Reduceret areal (ha)	2.00
Afløbstal (mu-m/s)	5.00
Varighed (h)	0.32
Vr.k (mm)	12.54

Bassin A:



Bassin B:



WDP 2.00 - beregning af regnvandsbassiner samt større nedslivningsbassiner

Filer Model opsætning Eksporter

Vand og stof indløb Stof fjernelse

	SS	P total	PAH total	Olje/fedt	Pb total	Cd total	Cu total	Zn total	N total	P opløst
	[kg]	[kg]	[g]	[kg]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]	[kg]
Masse af stof i tiløb [1]	20794.68	211.56	164.37	493.11	5594.57	52.41	8184.79	59684.29	1223.26	84.62
Masse af stof i udløb og overløb/bypass [6+9+10]	3827.67	59.07	26.30	78.91	1222.97	21.39	2151.88	14884.19	708.82	23.63
Masse af stof i udløb fra bassin [6]	3826.67	59.06	26.30	78.89	1222.67	21.39	2151.43	14880.90	708.76	23.63
Masse af stof i udløb fra poering [7]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i udløb udenom poering [8]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i overløb fra eller før bassin [9]	1.00	0.01	0.01	0.02	0.29	0.00	0.46	3.28	0.06	0.00
Masse af stof i bypass før bassin [10]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i filteret vand [11]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i infiltration til grundvand [12]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i udvining til grundvand [13]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fjernelsesgrad ft. udløb til overfladevand alene [%]	81.6	72.1	84.0	84.0	78.1	59.2	73.7	75.1	42.1	72.1
Fjernelsesgrad ft. udløb til overfladevand plus grundvand [%]	91.6	72.1	84.0	84.0	78.1	59.2	73.7	75.1	42.1	72.1
	[g/m ³]	[g/m ³]	[mg/m ³]	[g/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[g/m ³]	[g/m ³]
Middel indløbskoncentration	29.161	0.297	0.231	0.632	7.945	0.073	11.478	83.697	1.715	0.119
Middel udløbskoncentration til overfladevand	5.368	0.083	0.037	0.111	1.715	0.030	3.018	20.873	0.994	0.033
Middel udløbskoncentration til overfladevand plus grundvand	5.368	0.083	0.037	0.111	1.715	0.030	3.018	20.873	0.994	0.033

	Vand [m ³]		Vand [m ³]
Akkumuleret tiløb, sum af alle tilledninger [1]	713097.2	Akkumuleret udløb og overløb/bypass [6+9+10]	713097.2
Akkumuleret tiløb fra opløst [2]	0.0	Akkumuleret udløb [6]	713066.2
Akkumuleret tiløb fra koblete bassiner [3]	713097.2	Akkumuleret bypass før bassinet [10]	0.0
Akkumuleret tiløb fra bassinvandring [4]	0.0	Akkumuleret overløb fra/efter bassin [9]	41.0
Akkumuleret indløb til bassinet efter bypass [5]	713097.2	Akkumuleret udløb fra poering [7]	0.0
Akkumuleret udvining [13]	0.0	Akkumuleret bypass uden om poering [8]	0.0
Akkumuleret fordampning [14]	0.0	Akkumuleret filtrering [11]	0.0
		Akkumuleret infiltration [12]	0.0

Antal overløb ved "bd mellem overløb" på 6 timer

1

Gentagelsesperiode for overløb (T, regnet i år)

38.00

Indlæsning af nedbørs-/vandføringsdata

Simulering af bassin

Tid siden start af beregning 41.25

Grafene viser middelværdier over 19 datapunkter (regnet over 2 år)

Eksporter tabel data

Kopier graf

Kør model

Eksporter graf data

Opdater graf

Afbyrd

Bilag 6. Dimensionering af faskine i scenarie C.

Nedbørskarakteristika

Kommune	Århus
---------	-------

Designkarakteristika

Gentagelsesperiode (år)	5 år
Sikkerhedsfaktor (klima, fremtidig udbygning, etc)	1.3

Oplandskarakteristika

Befæstet areal (m²)	20000 m²
---------------------	----------

Jord- og nedsvinningskarakteristika

K (Hydraulisk ledningsevne) - se evt måling nederst	5.00E-06 m/s
---	--------------

Faskine

Bredde	30 m
Højde	1 m
Hulrums andel i faskine [Plast: 0,95, sten: 0,25]	0-1
Udsvining i faskinebund: 0=[Ne], 1=[a]	1

Længde faskine

	32.5 m
--	--------

Dræn kapacitet, gennemsnit	5.18E+00 l/s
----------------------------	--------------

Indtast blå og røde tal i kolonne B.
Derefter tryk på knappen "Beregn"

Beregn

Pil ikke - intern beregning

Afskærende lednings kapacitet l/s	2.00E+00
Volumen m³	24
Total opland (m²)	1000

	Beregningsstjek	Vol m³	Dræn kap l/s	Iterationsafstand	Antal iterationer
Faskine	OK	974.2921	5.181654035	0.0422%	9
Regnbød	OK	891.1771	4.10	0.0000%	1
Grøft	OK	991.6227	4.957938359	0.0353%	7
Perm. bel.	OK	23.7176	2	0.0000%	1

Hjælp størrelser, faskine

Opstuvningsvolumen	974.29 [m³]
Faskine volumen	974.29 [m³]
Regn, der holdes umiddelbart	48.71 [mm]
Regn, der siver pr døgn	22.39 [mm/døgn]
Tømmetid	52 timer
Afløbstal	1.88E+05 [s]
	2.59E+00 [l/sek/ha]

Dimensionerende kasseregning, Afløbsteknik s. 269

V/r,k (mm)	40.60
Varighed (h)	13.95

Karakteritika for dimensionerende kasseregning

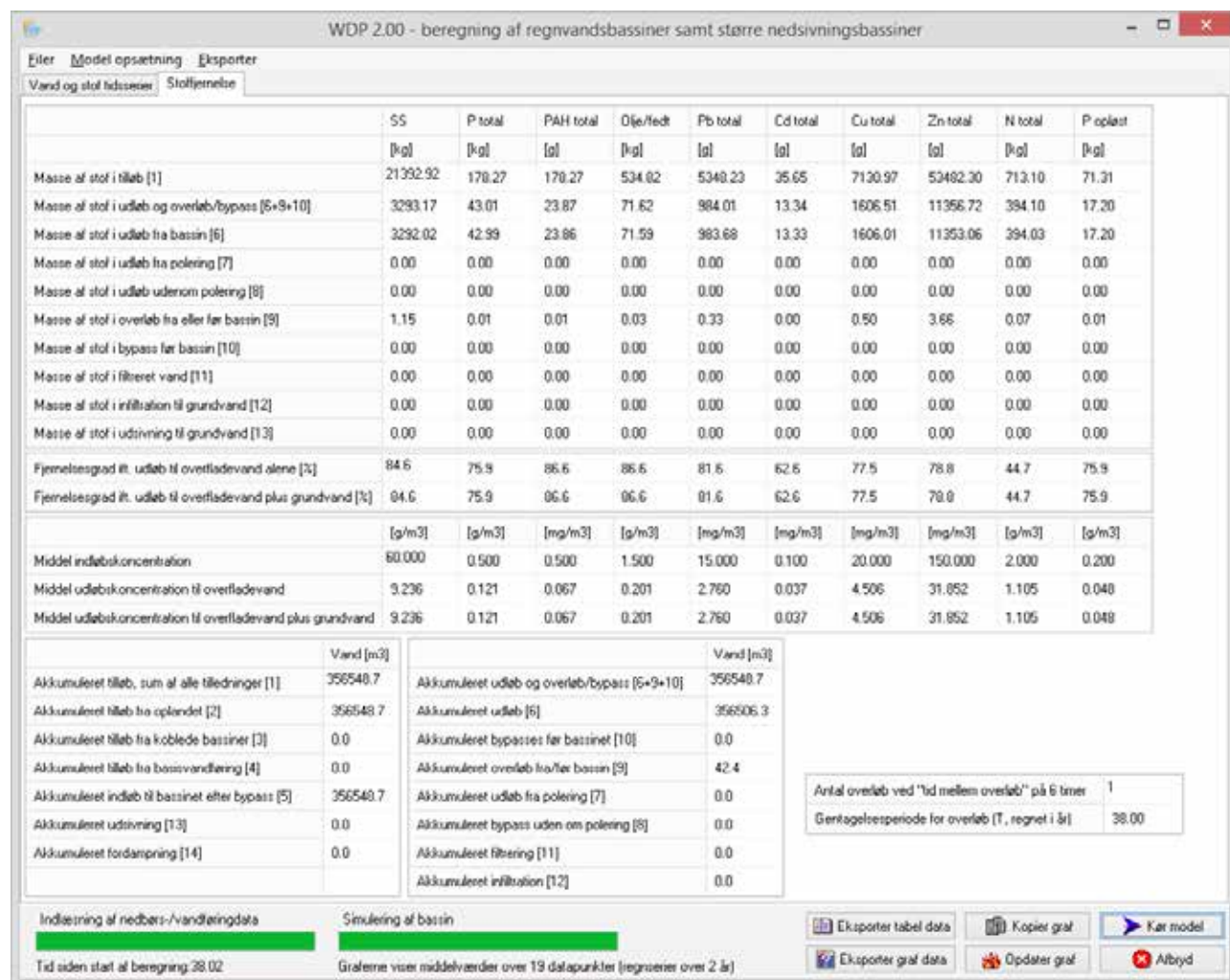
Samlet nedbør (mm)	53.61
Intensitet (l/sek/ha)	10.67

Bilag 7. Resultat af WDP beregninger for scenarie C.

Faskine:

WDP 2.00 - beregning af regnvandsbassiner samt større nedslivningsbassiner										
Filer Model opsætning Eksporter										
Vand og stof tidsseer Stoffjernelse										
	SS	P total	PAH total	Ole/fedt	Pb total	Cd total	Cu total	Zn total	N total	P opløst
	[kg]	[kg]	[g]	[kg]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]	[kg]
Masse af stof i tiløb [1]	21392.92	178.27	178.27	534.02	5348.23	35.65	7130.97	53482.30	713.10	71.31
Masse af stof i overløb/bypass [9+10]	0.79	0.01	0.01	0.02	0.23	0.00	0.36	2.62	0.04	0.00
Masse af stof i udløb fra bassin [6]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i udløb fra polering [7]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i udløb udenom polering [8]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i overløb fra eller før bassin [9]	0.79	0.01	0.01	0.02	0.23	0.00	0.36	2.62	0.04	0.00
Masse af stof i bypass før bassin [10]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i filteret vand [11]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i infiltration til grundvand [12]	1068.07	7.12	0.36	3.56	3.56	0.36	17.80	35.60	356.05	1.78
Masse af stof i udvinding til grundvand [13]	6.37	0.09	0.00	0.03	0.06	0.01	0.31	0.64	5.92	0.03
Fjernelsesgrad ft. udløb til overfladevand alene [%]	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Fjernelsesgrad ft. udløb til overfladevand plus grundvand [%]	95.0	95.9	99.0	99.2	99.9	99.0	99.7	99.9	49.2	97.5
	[g/m3]	[g/m3]	[mg/m3]	[g/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[g/m3]	[g/m3]
Middel indløbskoncentration	60.000	0.500	0.500	1.500	15.000	0.100	20.000	150.000	2.000	0.200
Middel udløbskoncentration til overfladevand	47.512	0.562	0.347	1.041	14.170	0.133	21.852	157.061	2.658	0.226
Middel udløbskoncentration til overfladevand plus grundvand	3.016	0.020	0.001	0.010	0.011	0.001	0.052	0.109	1.015	0.005
	Vand [m3]									
Akkumuleret tiløb, sum af alle tilledninger [1]	356548.7	Akkumuleret overløb/bypass [9+10]	16.6							
Akkumuleret tiløb fra opløst [2]	356548.7	Akkumuleret udløb [6]	0.0							
Akkumuleret tiløb fra koblede bassiner [3]	0.0	Akkumuleret bypass før bassinet [10]	0.0							
Akkumuleret tiløb fra bassinvandring [4]	0.0	Akkumuleret overløb fra/til bassin [9]	16.6							
Akkumuleret indløb til bassinet efter bypass [5]	356548.7	Akkumuleret udløb fra polering [7]	0.0							
Akkumuleret udvinding [13]	0.0	Akkumuleret bypass uden om polering [8]	0.0							
Akkumuleret fordampning [14]	0.0	Akkumuleret filtrering [11]	0.0							
		Akkumuleret infiltration [12]	356532.1							
Indtælling af nedbør-/vandføringsdata		Simulering af bassin		Eksporter tabel data		Kopier graf		Kør model		
Tid siden start af beregning: 15.10		Grafene viser middelværdier over 19 datapunkter (regneres over 2 år)		Eksporter graf data		Opdater graf		Afbrud		

Bassin:



Bilag 8. Resultat af WDP beregninger for scenarie D.

Infiltrationsgrøft:

WDP 2.00 - beregning af regnvandsbassiner samt større nedslivningsbassiner

Filer Modelopsætning Eksporter

Vand og stof hedsseer Stoffjernelse

	SS	P total	PAH total	Ole/fedt	Pb total	Cd total	Cu total	Zn total	N total	P opløst
	[kg]	[kg]	[g]	[kg]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]	[kg]
Masse af stof i tiløb [1]	5344.79	178.27	178.27	534.02	5348.23	35.65	7130.97	53482.30	713.10	71.31
Masse af stof i udløb og overløb/bypass [5+9+10]	5344.79	45.33	44.16	132.49	1347.88	9.12	1810.01	13550.76	182.82	18.13
Masse af stof i udløb fra bassin [6]	5340.87	45.30	44.13	132.39	1346.89	9.12	1808.67	13540.74	182.69	18.12
Masse af stof i udløb fra polering [7]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i udløb udenom polering [8]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i overløb fra eller før bassin [9]	3.93	0.03	0.03	0.10	0.99	0.01	1.34	10.02	0.14	0.01
Masse af stof i bypass før bassin [10]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i filteret vand [11]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i infiltration til grundvand [12]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masse af stof i udvinding til grundvand [13]	27.43	0.18	0.01	0.09	0.09	0.01	0.46	0.91	9.14	0.05
Fjernelsesgrad ft. udløb til overfladevand alene [%]	75.0	74.6	75.2	75.2	74.8	74.4	74.6	74.7	74.4	74.6
Fjernelsesgrad ft. udløb til overfladevand plus grundvand [%]	74.9	74.5	75.2	75.2	74.8	74.4	74.6	74.7	73.1	74.5

	[g/m3]	[g/m3]	[mg/m3]	[g/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[mg/m3]	[g/m3]	[g/m3]
Middel indløbskoncentration	60.000	0.500	0.500	1.500	15.000	0.100	20.000	150.000	2.000	0.200
Middel udløbskoncentration til overfladevand	20.379	0.178	0.173	0.520	5.291	0.036	7.104	53.188	0.718	0.071
Middel udløbskoncentration til overfladevand plus grundvand	15.0673	0.1277	0.1239	0.3719	3.7806	0.0256	5.0778	38.0079	0.5384	0.0510

	Vand [m3]		Vand [m3]
Akkumuleret tiløb, sum af alle tilledninger [1]	356540.7	Akkumuleret udløb og overløb/bypass [5+9+10]	254769.4
Akkumuleret tiløb fra opløndet [2]	356548.7	Akkumuleret udløb [6]	254701.4
Akkumuleret tiløb fra koblede bassiner [3]	0.0	Akkumuleret bypasses før bassinet [10]	0.0
Akkumuleret tiløb fra bassinvandføring [4]	0.0	Akkumuleret overløb fra/før bassin [9]	68.0
Akkumuleret indløb til bassinet efter bypass [5]	356540.7	Akkumuleret udløb fra polering [7]	0.0
Akkumuleret udvinding [13]	101779.2	Akkumuleret bypass uden om polering [8]	0.0
Akkumuleret fordampning [14]	0.0	Akkumuleret filtrering [11]	0.0
		Akkumuleret infiltration [12]	0.0

Antal overløb ved "tid mellem overløb" på 6 timer1

Gentagelsesperiode for overløb (7, regnet i år)38.00

Indlæsning af nedbørs-/vandføringsdata

Simulering af bassin

Eksporter tabel data

Kopier graf

Kør model

Eksporter graf data

Opdater graf

Afbryd

Tid siden start af beregning: 21.07

Grafen viser middelværdier over 19 datapunkter (regnes over 2 år)



Teknik og Miljø
Center for Miljø og Energi
Grøndalsvej 1C
8260 Viby J
www.aarhus.dk