



HÅNDBTERING AF REGNVAND

HÅNDTERING AF REGNVAND

Af Bastian Junker, AgroTech

Bastian Junker, AgroTech A/S

AgroTech A/S
Institut for Jordbrugs- og FødevarerInnovation
Institute for Agri Technology and Food Innovation

Højbakkegård Allé 21 . DK - 2630 Taastrup
Tel. +45 8743 8400 . Fax +45 8743 8410
www.agrotech.dk . info@agrotech.dk

AgroTech 

INDHOLD

INDHOLD.....	2
1. Resume	3
2. Indledning	4
3. Udvikling af standardtest - Indledende.....	5
4. Forsøgsopsætning.....	8
5. Forsøgsresultater	12
6. Opsummering på resultater.....	23
7. Litteraturliste	25
8. Bilag.....	26

1. RESUME

Rapporten er skrevet af AgroTech A/S i samarbejde med Byggros på baggrund af en videnkupon. Samarbejdet har løbet over perioden fra d. 24. maj 2012 frem til d. 24. maj 2013. Rapporten beskriver opsætningen og udviklingen af en standardtest af afløbskoefficienter for ekstensive grønne tage (tagtyper med jordsubstrater under 150 mm), samt resultaterne fra forsøgstest på fire forskellige tagtyper: Diadem 50, Diadem 100, Dia@cell (15⁰), Dia@flow (15⁰). Byggros har leveret materialerne til forsøgene, og AgroTech A/S har udarbejdet og dimensioneret standardtesten, samt foretaget målingerne. I et løbende samarbejde mellem AgroTech A/S og Byggros, er forsøgsopsætningen blevet optimeret i forhold til reglerne og standarder af Dansk afløbs teknik.

Ligeledes har gruppen, *projekt grønne tage*, under Vand I Byer (VIB) været med til at komme med de rette input, til hvilke parametre der bør være gældende for en standardtest af afløbskoefficienter for grønne tage.

2. INDLEDNING

Formålet med projektet er at udvikle en protokol til måling af afløbskoefficienten på ekstensive grønne tage, for at kunne kvantificere systemets effekt på lokal afledning af regnvand (LAR).

Byggros er leverandør af produkter til bygge- og anlægsbranchen, herunder forskellige ekstensive grønne tage. Byggros ønsker at kunne videreudvikle og optimere disse produkter, og integrere dem i fremtidige LAR løsninger, samt at kunne dokumentere egenskaberne mht. regnvandshåndtering.

Der findes ikke pt. standardiserede metoder til måling og dokumentation af afløbskoefficienter af ekstensive grønne tage i Danmark, hvorfor disse effekter ikke medregnes ved dimensionering af kloakker og afløb (LAR).

For at udvikle standardiserede måle- og dokumentationsmetoder, er der derfor brug for at undersøge afdræningen fra ekstensive grønne tage under nøje kontrollerede forsøgsbetingelser, herunder statisk klima (klimakammer), dimensionsgivende regnhændelse og varierende taghældning.

3. UDVIKLING AF STANDARDTEST - INDLEDENDE

Siden primo 2010 har AgroTech forsket i semi-intensive og ekstensive grønne tage, på AgroTechs udendørs testcenter i Taastrup. AgroTech har forsket specifikt i afløbskoefficienter, temperatur differencer og forskellige planters resistente forhold ved naturlig vanding (regn), vanding og gødskning.

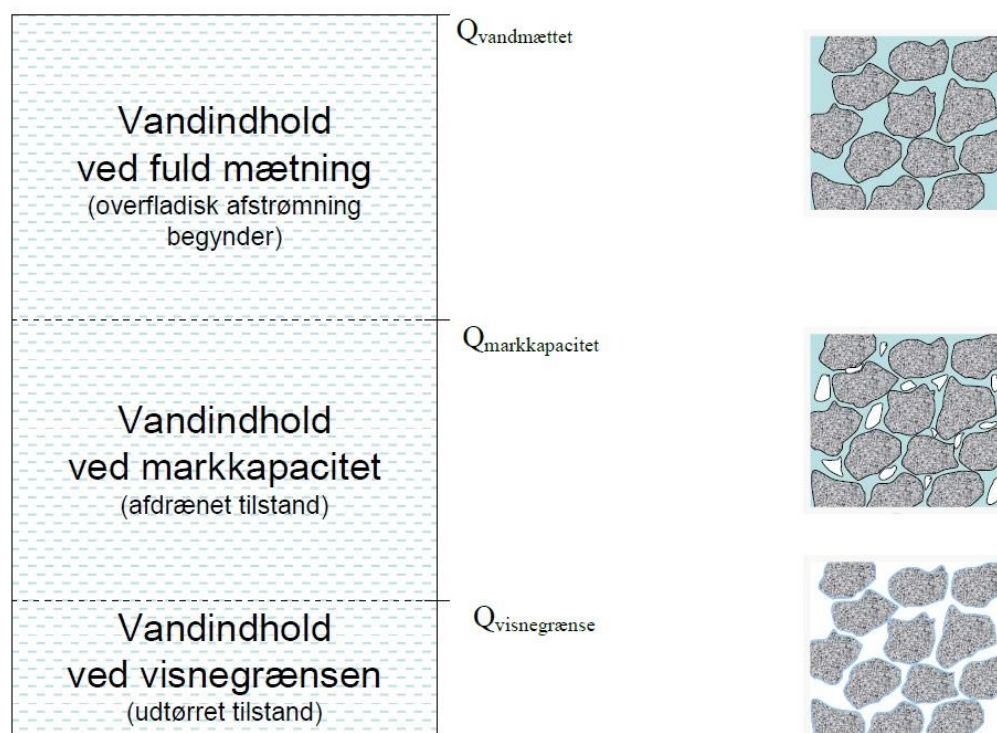
AgroTech har erfaret, at målinger på afløbskoefficienter afhænger af mange faktorer både internt i mediet på det grønne tag og i forhold til forskellige vejrforhold. Der er blevet foretaget målinger flere forskellige steder i Danmark, som er blevet samlet under et forum, *Projekt grønne tage*, under Vand I Byer (VIB). Men man har endnu ikke kunne konkludere noget på baggrund af data, da de er testet under forskellige forhold.

Derfor har AgroTech og Byggros indgået et samarbejde, for at skabe en standardtest, hvor man kan styre de forskellige parametre og skabe sammenlignelige testforsøg på forskellige tagopbygninger.

FLL - guidelines

I Danmark har man ikke tidligere haft faciliteterne eller muligheden for at foretage standardtester af ekstensive grønne tage. I Tyskland har man derimod haft dette over en årrække, som går under betegnelsen FLL-guidelines. FLL-guidelines definerer afløbskoefficienterne ud fra dybden på mediet og hældningen på det ekstensive grønne tag, på baggrund af en standardregn intensitet på 300 [l/s./ha.] i en periode på 15 min.

Testen foregår under kontrollede forhold på 1 m², og testes over tre døgn med 24 timers mellemrum. Da afløbskoefficienten varierer afhængig af mediets øjeblikkelige mætningsgrad, har man i FFL-guidelines vedtaget at testen skal foregå 24 timer efter at mediet er blevet vandmættet, herefter afdrypper det til markkapacitet, hvorefter testen kan foretages.



Figur 1: Magasinkapacitet. Kassen til venstre illustrerer vandindholdet ved visnegrænse, markkapacitet og fuld mætning. Til højre ses principfigurer for den tilhørende fordeling af luft og vand i det grønne tag. Ved fuld mætning er alle hulrum fyldt med vand. Ved markkapacitet er de største porer drænet af, og det vand taget nu indeholder, kan kun forsvinde ved fordampning. Ved visnegrænse er taget udtørret, fordi al vand er fordampet og vegetationen er enten død, eller har stoppet transpirationen og er gået i overlevelsesmode **(Marina Bergen Jensen, 2012)**

Resultaterne fra FLL-guidelines er følgende (FLL, 2008): (Prof. Gilbert Losken, 2008)

	<u>Pitch up $0^{\circ} < 15^{\circ}$</u>	<u>Pitch $> 15^{\circ}$</u>
• with > 50 cm course depth	C = 0.1	---
• with > 25 - 50 cm course depth	C = 0.2	---
• with > 15 - 25 cm course depth	C = 0.3	---
• with > 10 - 15 cm course depth	C = 0.4	C = 0.5
• with > 6 - 10 cm course depth	C = 0.5	C = 0.6
• with > 4 - 6 cm course depth	C = 0.6	C = 0.7
• with > 2 - 4 cm course depth	C = 0.7	C = 0.8

Mange steder i Europa bliver der refereret til FLL-guidelines når anlægsingeniører skal dimensionere på Lokal Afledning af Regnvand (LAR). Men i Danmark godkender man ikke FLL-guidelines, da vi har forskellige klimaforhold og ikke mindst pga. andre standarder i forhold til dimensionerende regnintensiteter.

I Danmark har vi følgende dimensionerende regnintensiteter, defineret over en periode på 10 min. (Karsten Arnbjerg-Nielsen, 2006):

- 2 års regnhændelser 140 l/s/ha.
- 5 års regnhændelser 190 l/s/ha.
- 10 års regnhændelser 230 l/s/ha.

Ved beregning af ledningsstørrelser dimensioneres typisk med 5 års regnhændelser ved separat kloakering, og 10 års regnhændelser ved fælles kloakering. Regnhændelser større end 10 års regnhændelser bliver der ikke dimensioneret med, det er beredskabets ansvar.

4. FORSØGSOPSÆTNING

Formål og muligheder

Formålet med forsøgene er at teste og finde vandtilbageholdelsesevnen dvs. afløbskoefficienten for et givent ekstensivt grønt tag under kontrollerede klimatiske forhold.

Formål med at teste de ekstensive grønne tage:

- Ved standardtest skal det være muligt at finde afløbskoefficienten for et givent ekstensivt tag. På den måde vil man kunne inkludere ekstensive tage i afløbsberegningerne i fremtiden på lige fod med andre LAR teknologier som f.eks. faskiner, wadier og regnbede.
- Ved at lave forsøg under kontrollerede forhold er det muligt senere at benytte de fundne resultater i modelleringsprogrammer. F.eks. opskallering til større arealer.
- Ved en standardtest med faste parametre, kan man nøjagtigt bestemme de mange forskellige ekstensive tages vandhåndteringsevner. Således at potentielle kunder har et sammenligningsgrundlag, når de udvælger ekstensive grønne tage. Ved gentagne standardtest vil det være muligt for producenter af ekstensive grønne tage at optimere og udvikle vandhåndteringsforholdene i de respektive tage.
- Med en standardtest er det også muligt at kunne bestemme afstrømningskoefficienten, peak flow reduktion og andre hydrauliske egenskaber, som vil være nyttig information for afløbsteknikkere ved dimensionering af LAR anlæg.

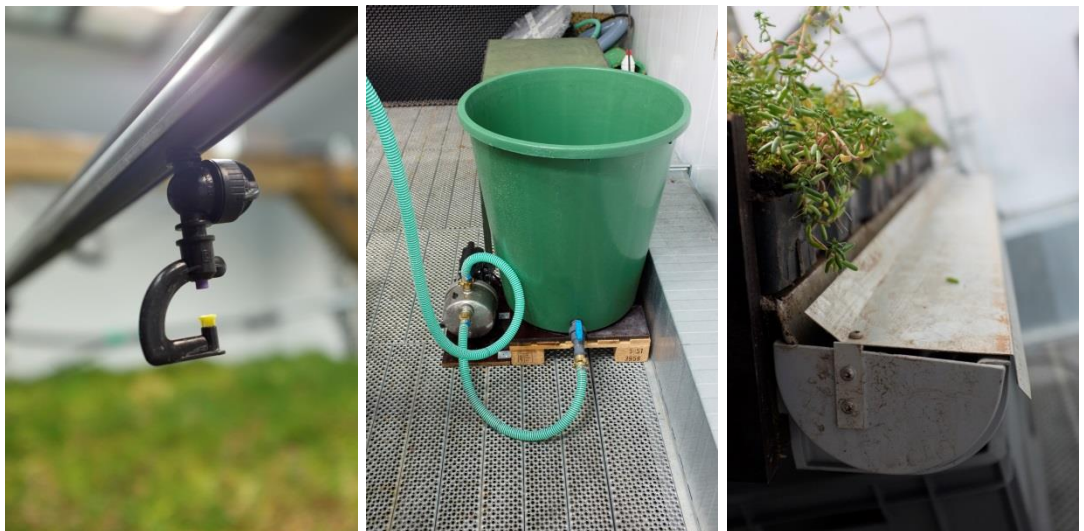
Forsøgsprincip

Forsøget foretages i et klimakammer under kontrollerede klimatiske forhold. Princippet er et testfelt, herunder et 3 m² ekstensivt grønt tag, monteret på en testrig med veje celler (Sartorius Combics). Testfeltet er ophængt i kæder, således at det kan indstilles i forskellige hældninger.



Figur 2: Testfeltet med Dia@cell på 15° hældning.

Over testfeltet er et vandingsystem, som kan simulere forskellige dimensionerende regnintensiteter. Regnsimulatoren er sammensat af en trykpumpe, som fører vand fra en regnvandstønde igennem en flowmåler via plastslanger til 14 stk. micro-sprinkler. Micro-sprinklerne giver 35 l/time og spreder vandingen i 360°. Ca. 50 % af vandet lander uden for testfeltet. Dette for at opnå en optimal spredningseffekt. Det er kun det vand der lander på testfeltet som bliver logget¹.



Figur 3: Venstre: Micro sprinkler. Midt: Regnvandstønde. Højere: Opsamling i tagrende.

¹ Kontakt AgroTech A/S for en udvidet materialeliste.

Fra testriggen kan vandet løbe ned igennem en overdækket tagrende, hvorfra det løber ned i en beholder, som står på en vægt (Sartorius Combics).

Vægtforøgelse pr. tidsenhed bliver logget to steder:

- På testriggen
- På afløbet fra testriggen

Alt data bliver logget på en stationær PC i et Excel ark, som logger med en frekvens en gang pr. sekund. Afløbskoefficienten kan herved løbende beregnes.

Forsøgsbeskrivelse

Før testen kan gennemføres skal de ekstensive tag vandmættes. Dette gøres ved at starte regnsimulatoren. Der slukkes først når det ekstensive tag er fuldstændig vandmættet dvs. når der kommer et konstant afløb fra taget i mere end 10 min. ($K > 10$ min.)

Herefter er forsøget i karantæne i 24 timer (herved afdræner det ekstensive tag til markkapacitet).

Efter 24 timer: Forsøget varer i 15 min. Fra tidspunktet hvor vægtforøgelsen påbegynder og præcis 10 min. opsamles data til beregning af afløbskoefficienten. Forsøget fortsætter 5 min. længere for at medtage data til videre analysearbejde af det ekstensive grønne tags hydrauliske egenskaber.

Beregning

For at udregne afløbskoefficienten [C] benyttes følgende formel:

$$C = \frac{\text{Vægtforøgelsen af afløb}}{\text{Vægtforøgelsen af afløb} + \text{vægtforøgelsen af grønt tag}}$$

Forsøget gentages tre gange i alt, hvorved gennemsnittet beregnes. Dette gøres for at opnå et forskningsmæssigt validt resultat.

Udstyr

Nedenstående parameter kontrolleres eller afmåles inden testforsøgene:

Parameter:	Enhed:
1. Antal kvadratmeter ekstensivt tag	[m ²]
2. Hældningen på det ekstensive tag	[°]
3. Den øjeblikkelige vægt af det grønne tag og afløbet	[kg/s]
4. Temperatur forhold	[C°]
5. Regn intensiteten	[l/s/m ²]

1. Rammen i testriggeren er præcis 3 m² (1.000 mm x 3.000 mm). Derfor skal det ekstensive tag fyldes helt til kanterne. Alternativt kan længden og bredden måles med tommelstok, hvorved det præcise areal findes. Det er essentielt at det nøjagtige areal bliver noteret til de endelige beregninger.
2. Hældningen på det ekstensive tag måles med en vinkelmåler. Det er vigtigt at vinklen på længderetningen er vandret, således at der ikke forekommer en ujævn fordeling af vandet og efterfølgende afløb.
3. Med (Sartorius Combics) vejecelle afmåles vægten på det ekstensive tag og afløbet fra taget, eksklusiv rammen, som er monteret på testriggeren. Vægtforøgelsen pr. tidsenhed fortæller om den øjeblikkelige optagelse af vand (afløbskoefficienten).
4. Temperaturen i klimakammeret afmåles og aflæses på en PC udenfor klimakammeret. Standardtesten simulerer en gennemsnitlig oktober måned: Dagslys, 12,3 °C i 10,4 timer og nat, 6,2 °C i 13,6 timer (DMI, 2010). (Bilag 1.0 klimakammer). Oktober måned er valgt på baggrund af, at det er den måned der er tættest på års gennemsnittet.
5. Vandingsystem som simulerer regnen og er placeret henover testfeltet, som er specialbygget til formålet.

Under test

Selve testen foretages over en 10 min. periode med en konstant regnintensitet på enten 140, 190 eller 230 [l/s./ha.] (Spildevandskomiteen skrift 16) Svarende til henholdsvis 0,014, 0,019 eller 0,023 [l/s/m²] dvs. 25,2 l, 34,2 l eller 41,4 l på testfeltets 3 m². I projektet med Byggros testes de fire forskellige tagtyper med en regnintensitet på 230 [l/s./ha.] svarende til en 10 års regnhændelse.

Kontrol

Efter hver måling kontrolleres den samlede mængde vand der er landet på testriggeren og i afløbet. Hvis dette er for højt eller for lavt (> 5 % afvigelse) i forhold til regnintensitetens størrelse, bør målingen gentages. (+24 timer) pga. statistisk usikkerhed.

5. FORSØGSRESULTATER

I projektet, Håndtering af regnvand, blev der i alt foretaget test på 5 forskellige ekstensive tage:

- Diadem 50
- Diadem 100
- Dia@cell
- Dia@flow ved 15° og 5°

Diadem 50

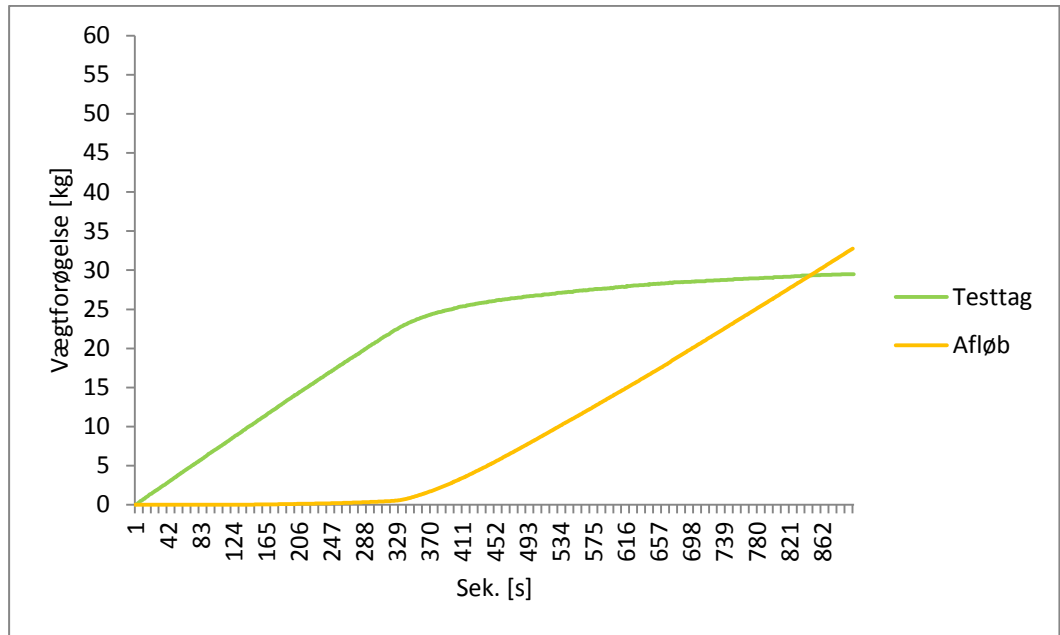
Simulering:	
Klima:	Oktober
Test område:	Klimakammer med regnvandssimulator
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 10 min. (spildevandskomiteen skrifter)
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 15 min.
Dags temperatur:	12,3°C i 10,4 timer (DMI, 2013)
Nat temperatur:	6,2°C i 13,6 timer (DMI, 2013)
Data log frekvens	1 log pr. sek. (i alt 900*2 målinger pr. test)

Test Info:	
Testmedie:	Diadem 50
Dybde:	55 mm
Areal:	3 m ²
Hældning:	2°
Vægt:	50 kg/m ² (vandmættet)
*Vandmætttes 24 timer inden test	

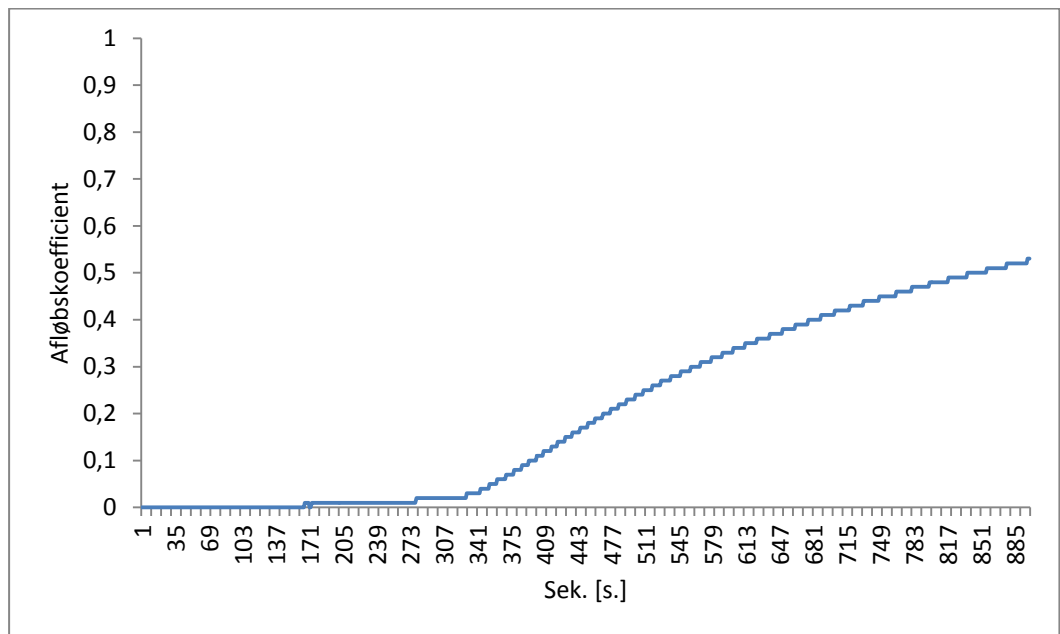
Opbygning (fra oven)
30 mm BG Sedummåtte
150 g Filterdug VLF150
25 mm DiaDrain25
300 g Beskyttelsesdug VLU300
Vandtæt og rodhæmmende membran (Rodfast overpap eller FLW400 rodspærrefolie)



Figur 4: (Byggros, 2012)



Figur 5: Grafen for vægtforøgelse pr. tidsenhed.



Figur 6: Den fleksible afløbskoefficient pr. tidsenhed (15 min.).

Gennemsnit dato	Vægtforøgelse Testrig		Vægtforøgelse Afløb	Regnintensitet
start		0,00 kg	0,00 kg	
mellem tid		27,75 kg	14,25 kg	
sum		42,00 kg		233 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,34		
stop		29,45 kg	33,11 kg	
sum		62,56 kg		232 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,53		

Figur 7: Resultatet i gennemsnittet over tre godkendte test af diadem 50 med en 10-års regnhændelse.

Resultat

I de tre test afviger regnsimulatoren med ca. 1,3 % i forhold til den dimensionerede regnhændelse på 230 l/s/ha.

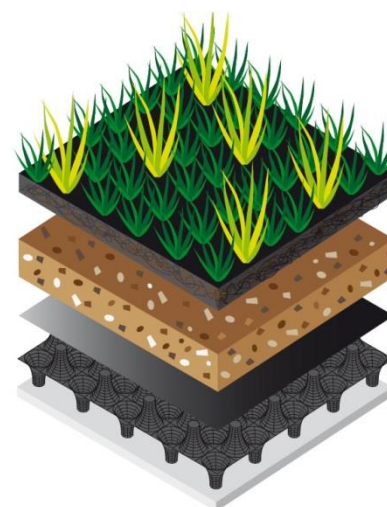
Resultatet viser en afløbskoefficient på $C=0,34$ efter 10 min. Og $C=0,53$ efter 15 min. (Bilag 1.1 Diadem 50)

Diadem 100

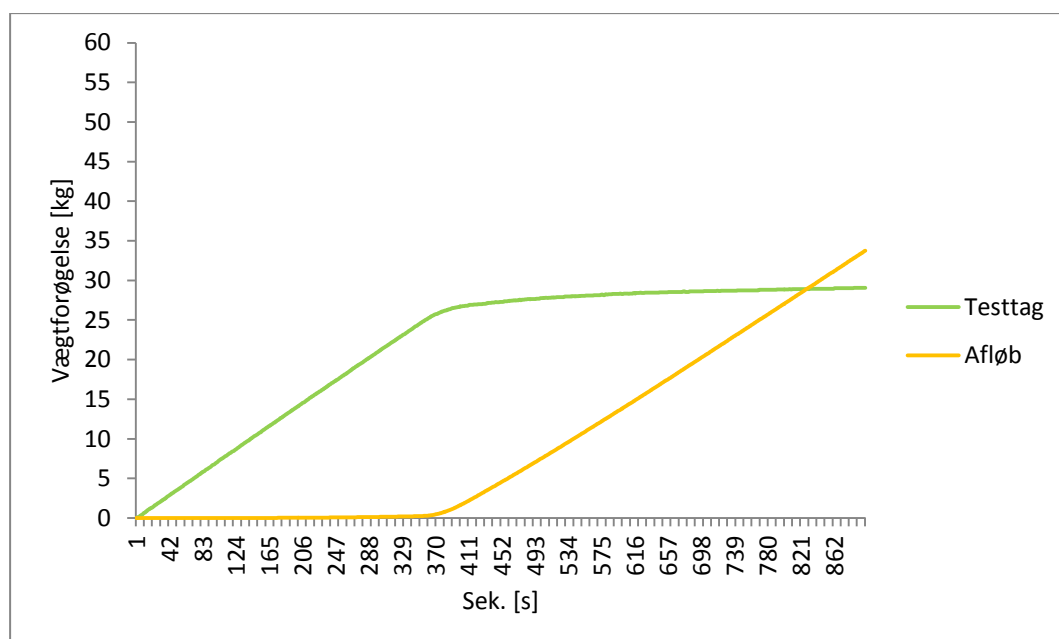
Simulering:	
Klima:	Oktober
Test område:	Klimakammer med regnvandssimulator
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 10 min. (spildevandskomiteen skrifter)
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 15 min.
Dags temperatur:	12,3°C i 10,4 timer (DMI, 2013)
Nat temperatur:	6,2°C i 13,6 timer (DMI, 2013)
Data log frekvens	1 log pr. sek. (i alt 900*2 målinger pr. test)

Test Info:	
Testmedie:	Diadem 100
Dybde:	95 mm
Areal:	3 m ²
Hældning:	2°
Vægt:	100 kg/m ² (vandmættet)
*Vandmætttes 24 timer inden test	

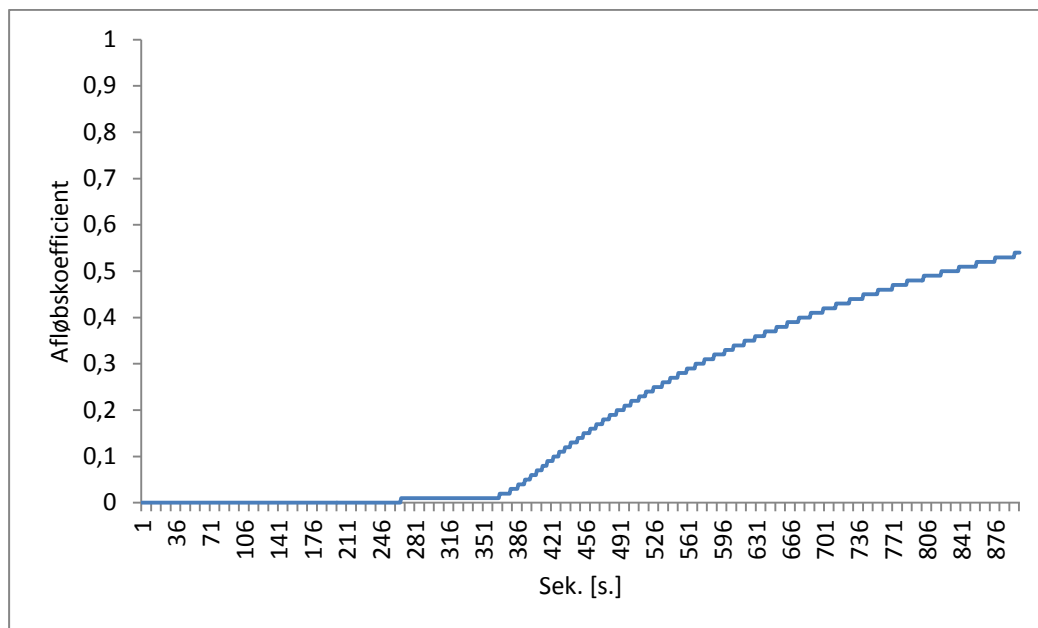
Opbygning (fra oven)	
30 mm BG Sedummåtte	
40 mm SEM jordsubstrat	
150 g Filterdug VLF150	
25 mm DiaDrain25	
300 g Beskyttelsesdug VLU300	
Vandtæt og rodhæmmende membran (Rodfast overpap eller FLW400 rodspærrefolie)	



Figur 8: (Byggros, 2012)



Figur 9: Grafen for vægtforøgelse pr. tidsenhed.



Figur 10: Den fleksible afløbskoefficient pr. tidsenhed (15 min.).

Gennemsnit dato	Vægtforøgelse		Regnintensitet
	Testrig	Afløb	
start	28,08 kg	0,56 kg	
mellem tid	56,42 kg	14,57 kg	
sum	42,34 kg		235 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,33	
stop	57,07 kg	34,60 kg	
sum	63,02 kg		233 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,54	

Figur 11: Resultatet i gennemsnittet over tre godkendte test af diadem 100 med en 10-års regnhændelse.

Resultat

I de tre test afviger regnsimulatoren med ca. 2,2 % i forhold til den dimensionerede regnhændelse på 230 l/s/ha.

Resultatet viser en afløbs koefficient på $C=0,33$ efter 10 min. Og $C=0,54$ efter 15 min. (Bilag 1.2 Diadem 100)

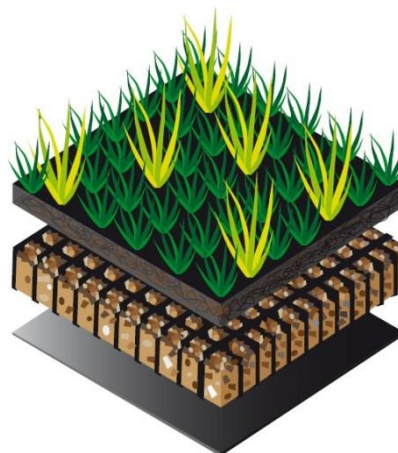
Dia®cell

Simulering:	
Klima:	Oktober
Test område:	Klimakammer med regnvandssimulator
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 10 min. (spildevandskomiteen skrifter)
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 15 min.
Dags temperatur:	12,3°C i 10,4 timer (DMI, 2013)
Nat temperatur:	6,2°C i 13,6 timer (DMI, 2013)
Data log frekvens	1 log pr. sek. (i alt 900*2 målinger pr. test)

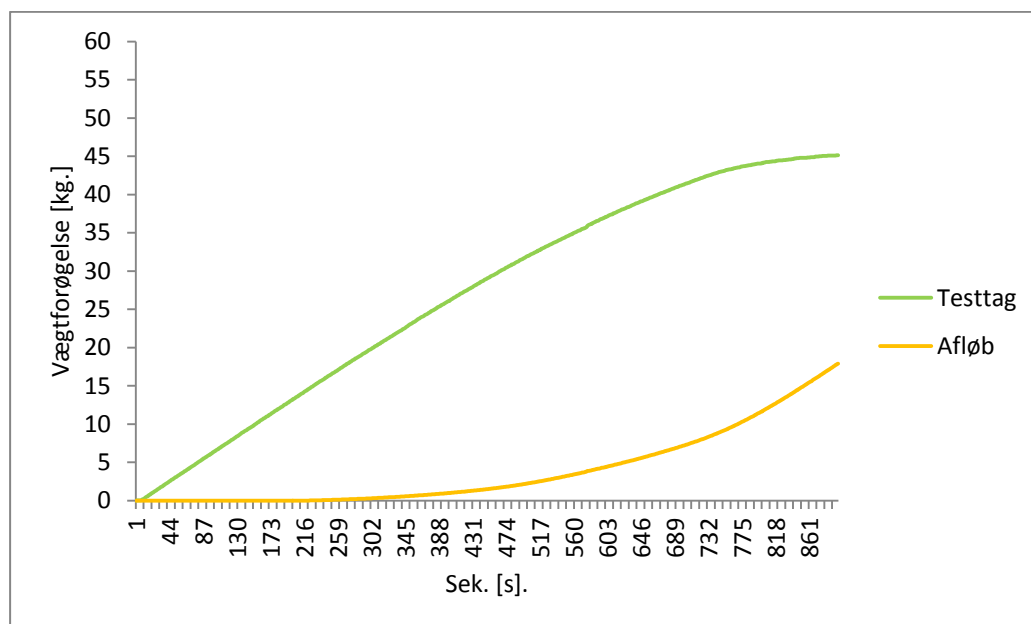
Test Info:	
Testmedie:	Dia®Cell
Dybde:	95 mm (80 mm)
Areal:	3 m ²
Hældning:	15°
Vægt:	110 kg/m ² (vandmættet)

*Vandmætttes 24 timer inden test

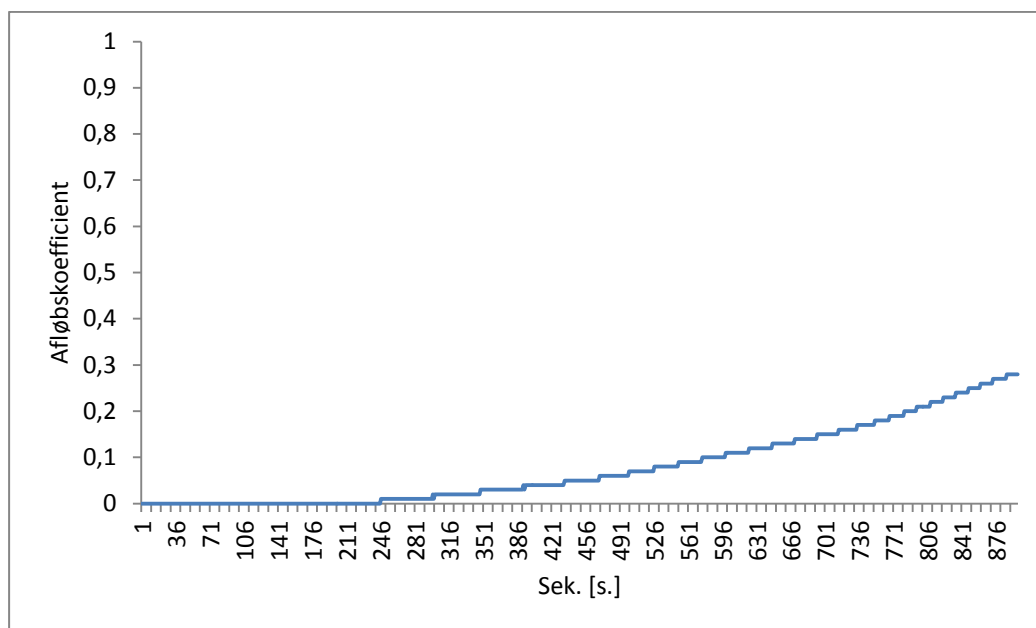
Opbygning (fra oven)	
30 mm BG Sedummåtte	
Ecoblock E40 fyldt op med SEM jordsubstrat	
Vandholdende beskyttelsesdug 1200 g/m ²	
Vandtæt og rodhæmmende membran (Rodfast overpap eller FLW400 rodspærrefolie).	



Figur 12: (Byggros, 2012)



Figur 13: Grafen for vægtforøgelse pr. tidsenhed.



Figur 14: Den fleksible afløbskoefficient pr. tidsenhed (15 min.).

Gennemsnit dato	Vægtforøgelse		Regnintensitet
	Testrig	Afløb	
start	6,38 kg	0,02 kg	
mellem tid	43,80 kg	4,49 kg	
sum	41,89 kg		233 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,11	
stop	51,72 kg	18,52 kg	
sum	63,84 kg		236 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,29	

Figur 15: Resultatet i gennemsnittet over tre godkendte test af dia@cell med en 10-års regnhændelse.

Resultat

I de tre test afviger regnsimulatoren med ca. 1,3 % i forhold til den dimensionerede regnhændelse på 230 l/s/ha.

Resultatet viser en afløbs koefficient på C=0,11 efter 10 min. Og C=0,29 efter 15 min.

(Bilag 1.3 Dia@cell)

Dia®flow 15°

Simulering:	
Klima:	Oktober, Danmark
Test område:	Klimakammer med regnvandssimulator
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 10 min. (spildevandskomiteen skrifter)
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 15 min. (Reference FLL)
Dags temperatur:	12,3°C i 10,4 timer (DMI, 2013)
Nat temperatur:	6,2°C i 13,6 timer (DMI, 2013)
Data log frekvens	1 log pr. sek. (i alt 900*2 målinger pr. test)

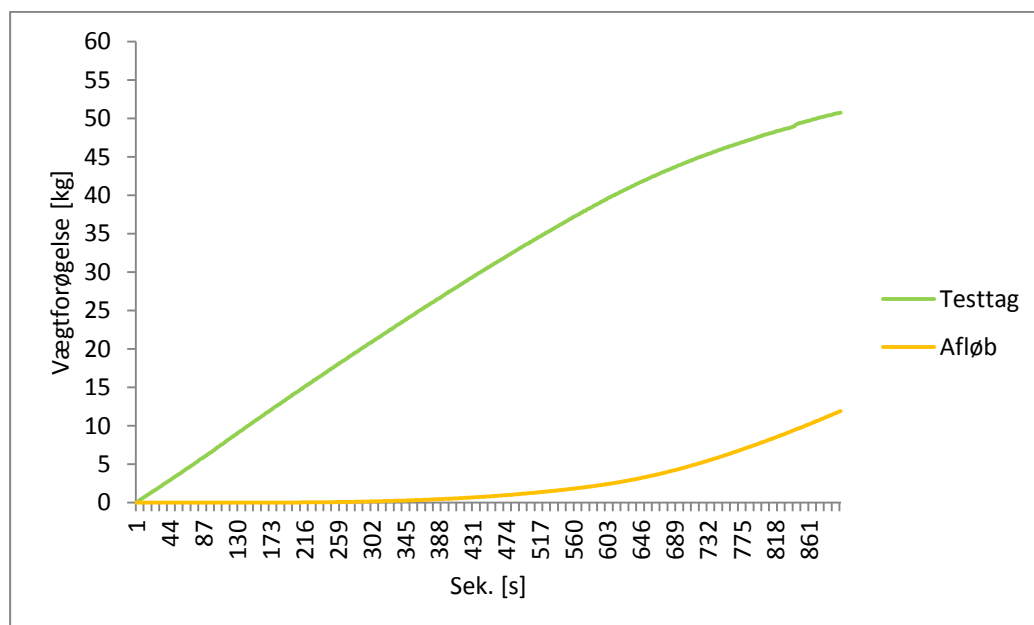
Test Info:	
Testmedie:	Dia®Flow
Dybde:	150 mm
Areal:	3 m ²
Hældning:	15°
Vægt:	ca. 180 kg/m ² (vandmættet)

*Vandmætttes 24 timer inden test

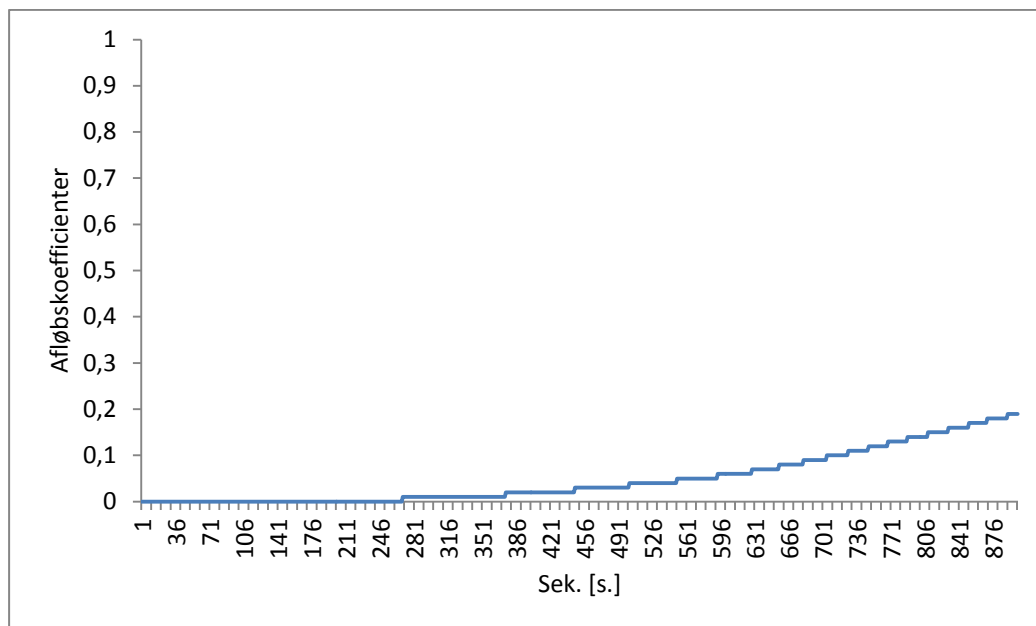
Opbygning (fra oven)
Sedummatte
Ecoblock med SEM
Geotextil - 140 g/m ²
Ecoblock - vandresevoir
Geotextil 1200 g/m ²



Figur 16: DiaFlow, Billede: Bastian Junker



Figur 17: Grafen for vægtforøgelse pr. tidsenhed.



Figur 18: Figur 14: Den fleksible afløbskoefficient pr. tidsenhed (15 min.).

Gennemsnit dato	Vægtforøgelse		Regnintensitet
	Testrig	Afløb	
start	479,53 kg	0,04 kg	
mellem tid	518,62 kg	2,78 kg	
sum	41,82 kg		232 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,07	
stop	528,97 kg	13,44 kg	
sum	62,84 kg		233 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,21	

Resultat

I de tre test afviger regnsimulatoren med ca. 0,8 % i forhold til den dimensionerede regnhændelse på 230 l/s/ha.

Resultatet viser en afløbs koefficient på C=0,07 efter 10 min. Og C=0,21 efter 15 min.

(Bilag 1.4 Dia@Flow)

Dia@flow 5°

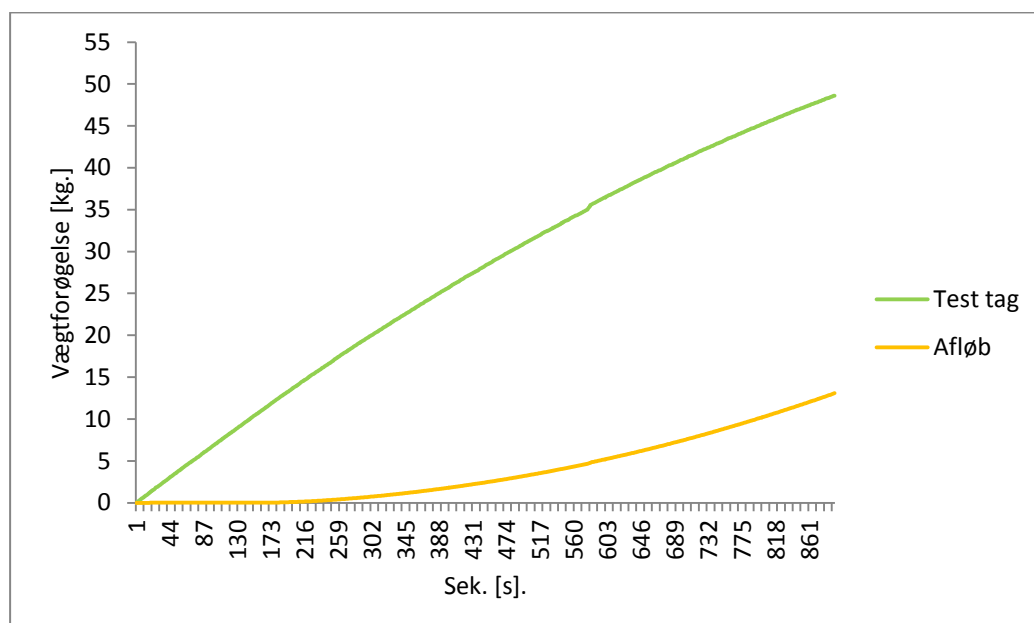
Simulering:	
Klima:	Oktober, Danmark
Test område:	Klimakammer med regnvandssimulator
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 10 min. (spildevandskomiteen skrifter)
Regnintensitet:	10-års regnhændelse - 230 l/sek./ha. i 15 min. (Reference FLL)
Dags temperatur:	12,3°C i 10,4 timer (DMI, 2013)
Nat temperatur:	6,2°C i 13,6 timer (DMI, 2013)
Data log frekvens	1 log pr. sek. (i alt 900*2 målinger pr. test)

Test Info:	
Testmedie:	Dia®Flow
Dybde:	150 mm
Areal:	3 m ²
Hældning:	5°
Vægt:	ca. 180 kg/m ² (vandmættet)
*Vandmætttes 24 timer inden test	

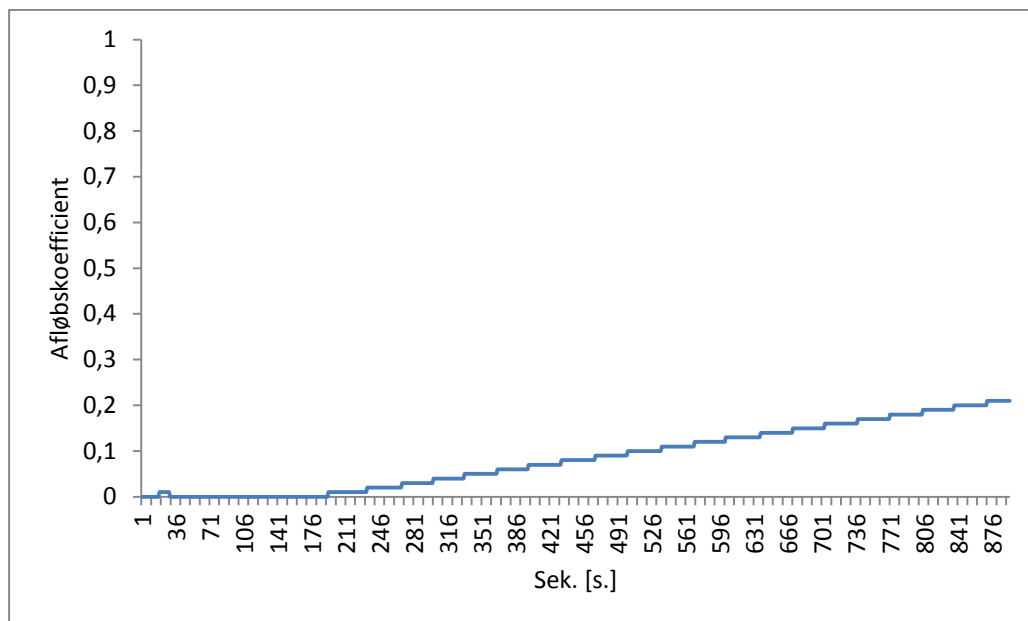
Opbygning (fra oven)
Sedummåtte
Ecoblock med SEM
Geotextil – 140 g/m ²
Ecoblock - vandresevoir
Geotextil 1200 g/m ²



Figur 19: DiaFlow, Billede: Bastian Junker



Figur 20: Grafen for vægtforøgelse pr. tidsenhed.



Figur 21: Den fleksible afløbskoefficient pr. tidsenhed (15 min.).

Gennemsnit dato	Vægtforøgelse		Regnintensitet
	Testrig	Afløb	
start	28,97 kg	0,29 kg	
mellem tid	65,53 kg	5,41 kg	
sum	41,69 kg		232 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,12	
stop	78,08 kg	13,61 kg	
sum	62,43 kg		231 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,21	

Resultat

I de tre test afviger regnsimulatoren med ca. 0,9 % i forhold til den dimensionerede regnhændelse på 230 l/s/ha.

Resultatet viser en afløbs koefficient på C=0,12 efter 10 min. Og C=0,21 efter 15 min.

(Bilag 1.4 Dia@Flow)

6. OPSUMMERING PÅ RESULTATER

I FLL guidelines differentierer man ekstensive grønne tage efter dybden på vækstmediet ved dimensionering af afløbskoefficienten. Havde vi testet Byggros' ekstensive tage efter FLL-guidelines kunne man forvente at få nogle højere afløbskoefficienter, da FLL tester over længere tid (15 min.) og under ca. 30 % kraftigere regnintensiteter. Derfor er AgroTechs resultater ikke sammenlignelige med resultaterne fra FLL – guidelines.

AgroTech har testet tagene under danske afløbs standarder (10 års regnhændelse – 230 [l/s./ha.] og opnået følgende resultater:

<u>Materiale:</u>	<u>10 min.*</u>	<u>15 min.</u>
Diadem 50	C = 0,34	C = 0,53
Diadem 100	C = 0,33	C = 0,54
Dia@cell	C = 0,11	C = 0,29
Dia@flow, 15°	C = 0,07	C = 0,21
Dia@flow, 5°	C = 0,12	C = 0,21

* Det er resultaterne fra test af de 10 min. der er aktuelle i en dansk teknisk afløbs kontekst.

Diadem 50 og Diadem 100

Her er der flere interessante resultater at kigge nærmere på. Det er tydeligt, at der ikke er signifikant forskel på resultaterne fra Diadem 50 til Diadem 100. Skulle man sammenholde det med resultaterne i FLL guidelines burde der være en forskel på 0,1 decimal. Den eneste fysiske forskel på de to opbygninger er de ekstra 40 mm SEM jordsubstrat (knust tegl) i Diadem 100.

Den manglende forskel kunne indikere at porrestørrelsen i SEM jordsubstratet er for stor, og vandet dermed løber hurtigere igennem mediet. AgroTech foreslår, at man evt. arbejder på at optimere vækstmediet i forhold til opmagasinering af vand. Det kunne f.eks. være et medie, hvor porrestørrelsen er mere forskelligartet i størrelsen dvs. store, mellem og små porrestørrelse, hvor der både vil være mulighed for at vandet kan løbe hurtigt igennem (store porrestørrelser), og hvor det kan opmagasineres i længere tid (små porrestørrelser).

Ved en test under FLL-guidelines vil man kunne forvente en afløbskoefficient for henholdsvis Diadem 50 på C = 0,6 og Diadem 100 på C = 0,5. (15 min.)

Dia@cell

Testresultaterne fra Dia@cell på en 15° hældning bekræfter, at der er flere forhold end dybden på vækstmediet, som er afgørende for vækstmediet. Set ud fra en isoleret betragtning af dybden på vækstmediet i Dia@cell (100 mm) og Diadem 100 (100 mm), kunne man forvente højere afløbskoefficienter fra Dia@cell. Dette er ikke tilfældet, og bekræfter dermed, at man isoleret set ikke kun kan vurdere

afløbskoefficienten på grønne tage ud fra dybden på vækstmediet, men at man også er nød til at medtage andre betragtninger som f.eks. opbygningen. Den store forskel mellem Dia@cell og Diadem 100 er den vandholdende beskyttelsesdug 1200 g/m² og Ecoblock E40 fyldt op med SEM jordsubstrat. Hvilket må indikere, at denne opbygning er at foretrække i forhold til opmagasinering af vand i forhold til den konventionelle opbygning i Diadem 100.

Den store forskel mellem Dia@cell og Diadem 100 er evnen til at opmagasinere vand midlertidigt. Systemopbygningen i Dia@cell består af en vandholdende beskyttelsesdug, hvorpå der udlægges en substratfyldt tæt cellestruktur. Vandet tilbageholdes derved i cellerne og afledning af vand sker dermed primært ved horisontal afstrømning i den underliggende dug. Det må forventes, at systemet giver mulighed for at variere afstrømningskoefficienten afhængigt af den valgte beskyttelsesdug, samt højde på cellerne. Dia@cell opbygningen indikerer således, at denne opbygning er at foretrække mht. reduceret afstrømning i forhold til den konventionelle opbygning af Diadem 100.

Ved en test af Dia@cell under FFL-guidelines vil man kunne forvente en afløbskoefficient på $C = 0,5$ (15 min.)

Dia@flow 15°

Dia@flow har følgende opbygning: Sedummåtte, Ecoblock med SEM, Geotextil – 140 g/m², Ecoblock (vandresevoir), Geotextil 1200 g/m². Sammenlagt 150 mm jordsubstrat. Det betyder også at afløbskoefficienten er endnu lavere end Dia@cell ($C = 0,07$ ved 10 min.) som forventet.

Ved en test af Dia@flow under FFL-guidelines vil man kunne forvente en afløbskoefficient for Dia@flow på ca. $C = 0,4$ (15 min.)

Dia@flow 5°

Ved test af Dia@flow på 5° vil man ifølge teorien kunne forvente end endnu lavere afløbskoefficient end test ved 15°, men her viser det sig at ved de første 10 min. er afløbskoefficienten højere $C = 0,12$, og identisk efter 15 min. på $C = 0,21$.

Dette skyldes at afstrømningen fra Ecoblocen (vandresevoir) er langsommere ved 5° end ved 15°, under karantænen på de 24 timer, hvor taget afdræner til markkapacitet. Det må konstateres at Ecoblocen er særdeles god til at opmagasinere vand.

Ved observation af den fleksible afløbskoefficient, er der en interessant forskel af spore mellem testen på 5° og 15°. Kurven for testen ved 5° har en mere lineær kurve, hvor testen ved 15°, har en mere j-formet kurve. Det vil betyde at afløbskoefficienten ved test på 15° stiger hurtigere over tid.

7. LITTERATURLISTE

Byggros. (2012). *Diadem brochure* . Byggros.

DMI. (2010). *DMI.dk*. Hentet fra DMI.dk:
<http://www.dmi.dk/dmi/index/danmark/klimanormaler.htm>

Karsten Arnbjerg-Nielsen, H. M. (2006). *Spildevandskomiteens skrift 28*. København, Danmark: IDA.

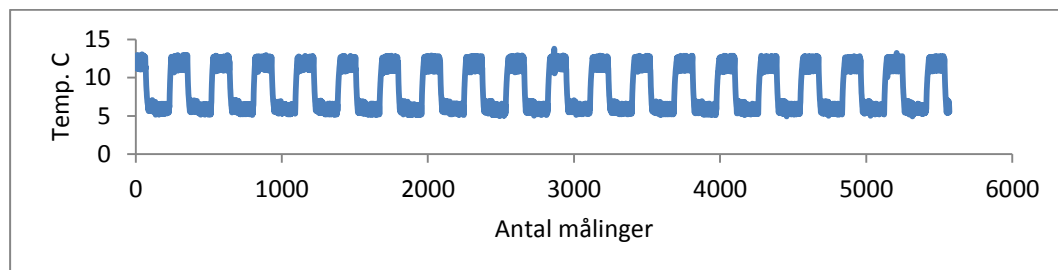
Marina Bergen Jensen, M. R. (2012). *Grønne tages hydrauliske egenskaber*. København: Projekt grønne tage.

Prof. Gilbert Losken, P. B.-I.-J.-K. (2008). *Green Roofing Guideline, Guidelines for the Planning, Construction*. Germany: FLL.

8. BILAG

1.0 Klimakammer

Klimakammer temperatur ud svingninger.



Grafen viser temperaturmålingerne over 12 døgn med ca. 5500 logninger.

1.1 Didem 50

De tre individuelle test på Diadem 50: Ønskes brutto data, kontaktes AgroTech².

1. test		Vægtforøgelse	Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	23-01-2013	Testrig	Afløb	
start	09:31:32	0,00 kg	0,00 kg	
mellem tid	09:41:32	27,85 kg	14,54 kg	
sum		42,39 kg		236 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,34		
stop	09:46:32	29,45 kg	33,67 kg	
sum		63,12 kg		234 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,53		

2. test		Vægtforøgelse	Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	24-01-2013	Testrig	Afløb	
start	10:32:20	0,00 kg	0,00 kg	
mellem tid	10:42:20	27,65 kg	14,21 kg	
sum		41,86 kg		233 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,34		
stop	10:47:20	29,40 kg	32,89 kg	
sum		62,29 kg		231 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,53		

3. test		Vægtforøgelse	Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	25-01-2013	Testrig	Afløb	
start	11:00:02	0,00 kg	0,00 kg	
mellem tid	11:10:02	27,75 kg	14,01 kg	
sum		41,76 kg		232 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,34		
stop	11:15:02	29,50 kg	32,77 kg	
sum		62,27 kg		231 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,53		

² Vægtene er været kalibreret til 0 inden 1. test.

1.2 Diadem 100

De tre individuelle test på Diadem 100: Ønskes brutto data, kontaktes AgroTech³.

1. test	Vægtforøgelse		Regnintensitet
dato	14-02-2013	Testrig	Afløb
start	11:29:17	27,45 kg	0,50 kg
mellem tid	11:39:17	55,70 kg	14,68 kg
sum		42,43 kg	236 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,33	
stop	11:44:17	56,45 kg	34,73 kg
sum		63,23 kg	234 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,54	

2. test	Vægtforøgelse		Regnintensitet
dato	15-02-2013	Testrig	Afløb
start	11:46:43	28,00 kg	0,51 kg
mellem tid	11:56:43	56,45 kg	14,46 kg
sum		42,40 kg	236 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,33	
stop	12:01:43	56,90 kg	34,57 kg
sum		62,96 kg	233 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,54	

3. test	Vægtforøgelse		Regnintensitet
dato	19-02-2013	Testrig	Afløb
start	12:52:09	28,80 kg	0,67 kg
mellem tid	12:02:09	57,10 kg	14,57 kg
sum		42,20 kg	234 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,33	
stop	13:07:09	57,85 kg	34,50 kg
sum		62,88 kg	233 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,54	

³ Vægtene er været kalibreret til 0 inden den første vandmætning.

1.3 Dia@cell

De tre individuelle test på Dia@cell: Ønskes brutto data, kontaktes AgroTech⁴.

1. test	Vægtforøgelse		Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	24-04-2013	Testrig	Afløb	
start	12:59:23	6,6 kg	0,00 kg	
mellem tid	13:09:23	43,55 kg	4,36 kg	
sum		41,31 kg		230 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,11		
stop	13:14:23	51,75 kg	18,00 kg	
sum		63,15 kg		234 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,29		

2. test	Vægtforøgelse		Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	25-04-2013	Testrig	Afløb	
start	13:02:54	6,40 kg	0 kg	
mellem tid	13:12:54	43,9 kg	4,45 kg	
sum		41,95 kg		233 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,11		
stop	13:17:54	52,10 kg	18,35 kg	
sum		64,05 kg		237 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,29		

3. test	Vægtforøgelse		Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	30-04-2013	Testrig	Afløb	
start	11:10:43	6,15 kg	0,06 kg	
mellem tid	11:20:43	43,95 kg	4,66 kg	
sum		42,40 kg		236 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,11		
stop	11:25:43	51,30 kg	19,22 kg	
sum		64,31 kg		238 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,30		

⁴ Vægtene er været kalibreret til 0 inden den første vandmætning.

1.4 Dia@Flow, 15°

De tre individuelle test på Dia@Flow: Ønskes brutto data, kontaktes AgroTech⁵.

1. test	Vægtforøgelse		Regnintensitet
dato	12-06-2013	Testrig	Afløb
start	11:06:02	478,65 kg	0,05 kg
mellem tid	11:16:02	518,10 kg	2,42 kg
sum		41,82 kg	232 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,06	
stop	11:21:02	529,4 kg	11,97 kg
sum		62,67 kg	232 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,19	

2. test	Vægtforøgelse		Regnintensitet
dato	13-06-2013	Testrig	Afløb
start	11:17:30	479,50 kg	0,07 kg
mellem tid	11:27:30	517,45 kg	2,55 kg
sum		40,43 kg	225 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,06	
stop	11:32:30	527,55 kg	12,71 kg
sum		60,69 kg	225 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,21	

3. test	Vægtforøgelse		Regnintensitet
dato	14-06-2013	Testrig	Afløb
start	11:02:22	480,45 kg	0 kg
mellem tid	11:12:22	520,30 kg	3,36 kg
sum		43,21 kg	240 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,08	
stop	11:17:22	529,95 kg	15,65 kg
sum		65,15 kg	241 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,24	

⁵ Vægtene er været kalibreret til Dia@Flows aktuelle vægt inden 1. test.

1.4 Dia@Flow, 5°

De tre individuelle test på Dia@Flow: Ønskes brutto data, kontaktes AgroTech⁶.

1. test		Vægtforøgelse	Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	10-07-2013	Testrig	Afløb	
start	11:40:08	28,05 kg	0,31 kg	
mellem tid	11:50:08	64,20 kg	5,21 kg	
sum		41,05 kg		228 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,12		
stop	11:55:08	76,6 kg	13,24 kg	
sum		61,48 kg		228 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,21		

2. test		Vægtforøgelse	Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	11-07-2013	Testrig	Afløb	
start	13:17:29	29,10 kg	0,33 kg	
mellem tid	13:21:29	65,2 kg	5,43 kg	
sum		41,20 kg		229 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,12		
stop	13:26:29	77,70 kg	13,54 kg	
sum		61,81 kg		229 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,21		

3. test		Vægtforøgelse	Vægtforøgelse	Regnintensitet
dato	12-07-2013	Testrig	Afløb	
start	13:33:52	29,75 kg	0,24 kg	
mellem tid	13:43:52	67,20 kg	5,6 kg	
sum		42,81 kg		238 l/sek./ha
Afløbskoefficient	10 min.	0,13		
stop	13:48:52	79,95 kg	14,05 kg	
sum		64,01 kg		237 l/sek./ha
Afløbskoefficient	15 min.	0,22		

⁶ Vægtene er været kalibreret til 0 inden den første vandmætning.