



EC LIFE-TREASURE Projekt

VIDEREGÅENDE RENSNING AF REGNVAND

Thorkild Hvitved-Jacobsen
Jes Vollertsen
Asbjørn Haaning Nielsen
Aalborg Universitet, Sektion for Miljøteknologi

Projektdeltagere: Silkeborg Forsyning A/S
Odense Vandselskab A/S
Århus Kommune
Aalborg Universitet
Aarhus Universitet
PH-Consult ApS
HV-Consult ApS

EVA temadag
27. maj 2010



LIFE-TREASURE Projektet: Formål

- **Generelt:**

Demonstrere videregående renseteknologier i fuld skala for afstrømmet regnvand fra byer og veje

- **Udgangspunktet:**

3 nyanlagte, traditionelt dimensionerede våde regnvandsbassiner, alle med sandfiltrering ved udløbet.

- **Supplerende (velkendte) teknologier er anvendt:**

- Silkeborg: Fældning med aluminiumsalt
- Odense: sorptionsfiltrering (knuste østersskaller)
- Århus: Jernberiget sediment i bassinet

- **Forventninger:**

Fjernelse af kolloide og opløste fraktioner af forurenende stoffer

- **Der opnås synergi mellem traditionel og videregående rensning ved valg af våde regnvandsbassiner:**

Forrensning – Udligningsvolumen – Procesvolumen



Hvor forurenet er afstrømmet regnvand fra byer og vejarealer?

Tabel. Forventede niveauer af medianværdier for koncentrationer af udvalgte stoffer i afstrømmet regnvand i Nordeuropa. Data er baseret på et større antal målinger.

Stof (enhed)	Urbane oplande	Vejarealer
BOD ₅ (g m ⁻³)	5-8	5
COD (g m ⁻³)	40-60	30
TSS (g m ⁻³)	30-100	100
Total Kjeldahl Nitrogen, TKN (g m ⁻³)	2	2
Total P (g m ⁻³)	0,5	0,3
Total Pb (mg m ⁻³)	10*	15
Total Cu (mg m ⁻³)	20	20
Total Zn (mg m ⁻³)	300	200

* Pb reduceret fra 50-150 gennem de seneste ca. 25 år

Eksempler på særlige afvigelser for de tre oplande:

Silkeborg:

TSS (lav): 20 (g m⁻³)
Bly (lav): 3 (mg m⁻³)

Odense:

Bly (høj): 25 (mg m⁻³)
Kobber (høj): 500 (mg m⁻³)

Århus:

COD og VSS er væsentlig forhøjede



Hvilken rensesgrad kan opnås i ”traditionelle” våde regnvandsbassiner?

**Eksempel,
Bassin ved E6
i Oslo, Norge:**

*Tabel: Årsmiddel
værdi af
stofkoncentra-
tioner i indløb
og udløb samt
den
resulterende
rensesgrad.*

	Indløb	Udløb	Rensesgrad (%)
TSS (g/m ³)	276	43	84
Total P (g/m ³)	0,674	0,262	61
Biotilgængelig P (g/m ³)	0,388	0,146	62
Total N (g/m ³)	1,49	1,05	30
Olie & fedt (g/m ³)	5,0	0,9	82
Konduktivitet (mS/m)	39	42	-
pH	7.39	7.60	-
Total PAH (mg/m ³)	1,77	0,26	85
4-PAH (mg/m ³)	0,45	0,05	88
Bly (mg/m ³)	17,1	4,1	76
Cadmium (mg/m ³)	0,21	0,08	62
Kobber (mg/m ³)	86	36	58
Zink (mg/m ³)	272	78	71

Dimensionerings-kriterier:

Opholdstid > 72 timer

Gentagelsesperiode på 3-4 mdr. ved underskridelse af opholdstiden (jf. ref. 1)



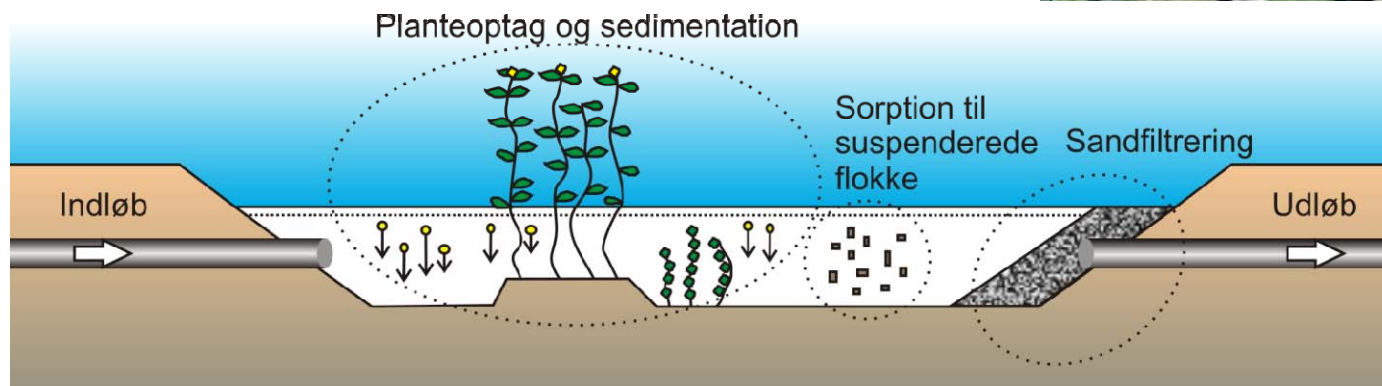
SILKEBORG

Opland: 25 ha (8,8 ha befæstet)

Blandet boligområde, omfartsvej (20%)

Renseprincip:

- Fældning med aluminiumsalte
- Flowproportional dosering af aluminiumhydroxid i basisk opløsning ved tilløbet til bassinet. De dannede flokke udfælder eller fjernes i filteret.



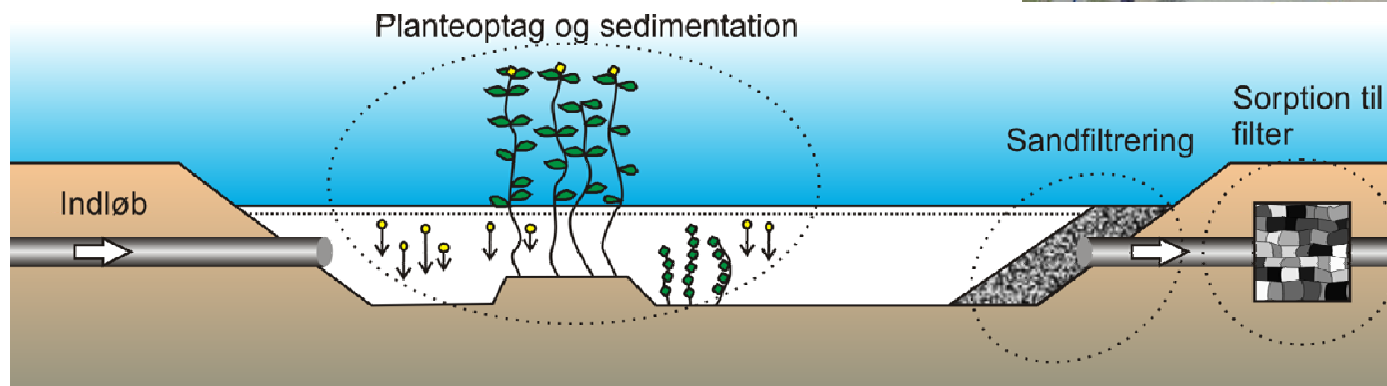


ODENSE

Opland: 27,4 ha (11,4 ha befæstet)
Erhvervsområde, let industri

Renseprincip:

- Mekanisk filtrering og sorptionsfiltrering (kalцит/dolomit)
- Fjernelse af såvel finpartikulært stof som opløst og kolloid stof ved fysiske eller fysisk-kemiske processer.



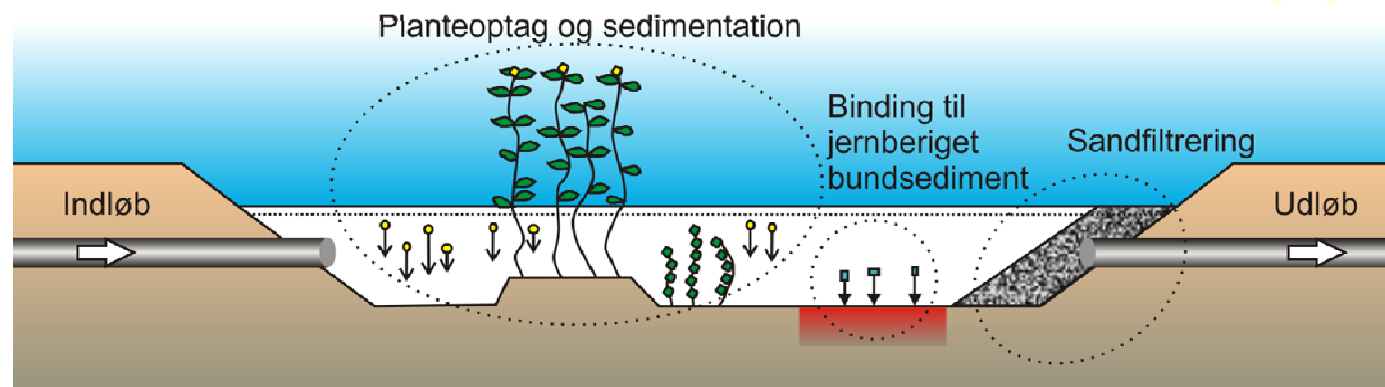


ÅRHUS

Opland: 55 ha (26 ha befæstet)
Etageboliger, veje (20%)

Renseprincip:

- Jernberiget bundsediment i bassinet
- Fjernelse af finpartikulære, opløste og kolloide stoffer ved adsorption til jernforbindelser i sedimentet





Kort om bassindimensioneringen

- Alle bassiner forsynet med sandfiltre ved udløbet
- Vedrørende princip, udformning og kriterier for dimensionering henvises til reference 1
- Bassinvoluminer:
 - Silkeborg: 175 m³ ha⁻¹
 - Odense: 266 m³ ha⁻¹
 - Århus: 305 m³ ha⁻¹
- Anbefalet "semioptimal volumen": 200-250 m³ ha⁻¹
- Generelt er rensning UDEN implementeret videregående teknologi som forventet
(anlæggene er nyanlagte og har ikke nødvendigvis opnået optimal funktion)

Tabel. Middelkoncentrationer og rensegrader ved rensning med sandfiltre (før videregående rensning).

Stof (enhed)	Bassin i Odense	Efter filter i Odense	Bassin i Århus	Efter filter i Århus	Bassin i Silkeborg	Efter filter i Silkeborg
TSS (mg L ⁻¹)	18	14 (18%)	6	6 (-6%)	3	3 (18%)
Bly, Pb (µg L ⁻¹)	6,7	0,4 (94%)	0,5	0,3 (39%)	2,2	0,6 (72%)
Cadmium, Cd (µg L ⁻¹)	0,06	0,05 (16%)	<0,05	<0,05	0,05	<0,05
Krom, Cr (µg L ⁻¹)	1,2	<0,5	0,6	<0,5	0,5	1,1 (-112%)
Kobber, Cu (µg L ⁻¹)	200	25 (87%)	3	2 (33%)	8	5 (38%)
Kviksølv, Hg (µg L ⁻¹)	0,06	0,06 (-3%)	<0,05	0,10	<0,05	<0,05
Nikkel, Ni (µg L ⁻¹)	12	6 (53%)	21	10 (53%)	2	81 (-4009%)
Zink, Zn (µg L ⁻¹)	272	28 (90%)	47	20 (57%)	104	20 (81%)
∑PAH (µg L ⁻¹)	0,13	0,01 (89%)	0,04	0,01 (64%)	0,05	<0,01
Total N (mg L ⁻¹)	2,22	1,30 (41%)	0,85	0,65 (23%)	2,33	0,58 (75%)
Ortho-P, filt. (mg L ⁻¹)	0,046	0,038 (18%)	0,014	0,019 (-41%)	<0,005	<0,005
Total P (mg L ⁻¹)	0,152	0,175 (-15%)	0,068	0,171 (-150%)	0,026	0,019 (28%)

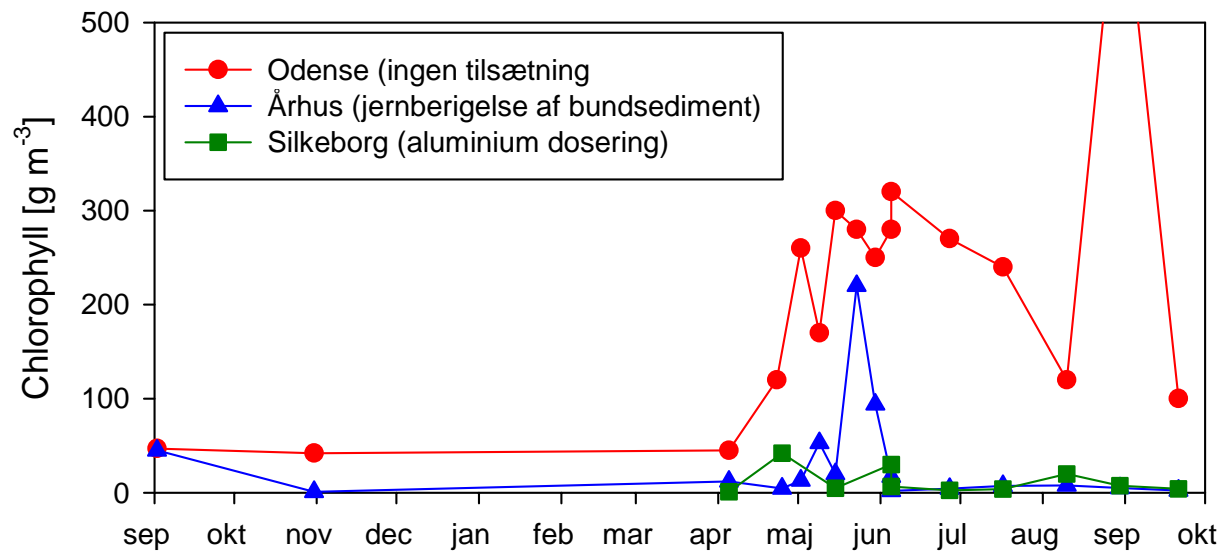


Hvad blev der opnået?

Fældning med aluminiumsalte (Silkeborg)

Klart vandvolumen (Silkeborg og Århus)
(reduceret koncentration af reaktivt P)

Figur: Klorofylkoncentrationer i bassinerne i Århus, Silkeborg og Odense, sep. 2008 – okt. 2009.



Der er ikke generelt i forhold til forholdene FØR dosering af aluminium dokumenteret yderligere renseeffekt (fjernelse af opløste og kolloide fraktioner)



Hvad blev der opnået?

Rensning med sorptionsfiltre (Odense)

Tabel. Middelkoncentrationer og rensegrader for sorptionsfilteret (knuste østersskaller; kalcit/dolomit)

Stof (enhed)	Koncentration efter sandfilter	Koncentration efter sorptionsfilter (rensegrad i procent)
TSS (mg L ⁻¹)	14	4 (72%)
Bly, Pb (µg L ⁻¹)	0,4	0,6 (-42%)
Cadmium, Cd (µg L ⁻¹)	0,05	<0,05
Krom, Cr (µg L ⁻¹)	<0,5	0,5
Kobber, Cu (µg L ⁻¹)	25	4 (83%)
Kviksølv, Hg (µg L ⁻¹)	0,06	<0,05
Nikkel, Ni (µg L ⁻¹)	6	5 (7%)
Zink, Zn (µg L ⁻¹)	28	4 (85%)
ΣPAH (µg L ⁻¹)	0,01	0,01 (-3%)
Total N (mg L ⁻¹)	1,30	1,08 (17%)
Ortho-P, filt. (mg L ⁻¹)	0,038	0,006 (84%)
Total P (mg L ⁻¹)	0,175	0,025 (86%)

Det konstateres:

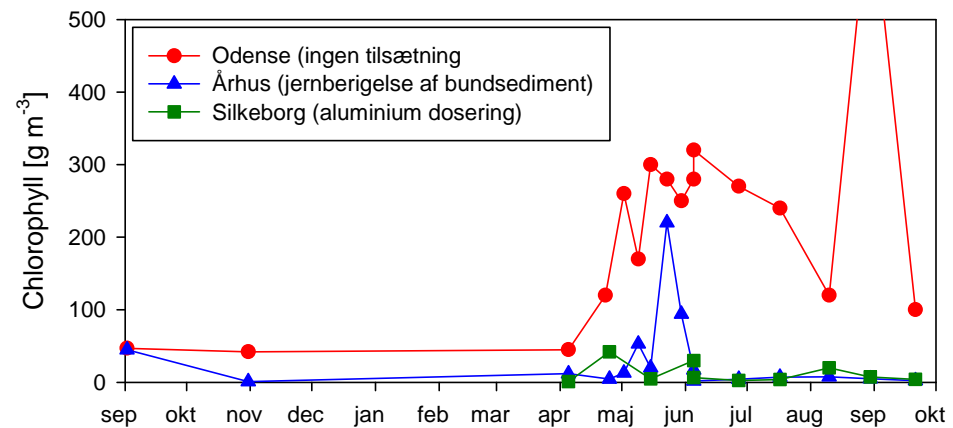
- Væsentlig reducerede stofkoncentrationer
- Akut toksicitet er reduceret



Hvad blev der opnået?

Rensning med jernberiget sediment (Århus)

- Der er ikke i forhold til forholdene før jern dosering konstateret yderligere renseseffekt
- Dog: lave klorofylkoncentrationer og klart vand





Udformning og dimensionering af sandfiltre i våde regnvandsbassiner

- Sandfiltrering nødvendig før sorption og ofte ønskelig før udledning til recipient
- Det primære problem: Tilklogning af sandfilteret (såvel vertikalt, skråtliggende som horisontalt)
- Modstand mod vandtransport i et mm tyndt klogningslag
- (Darcy's lov for transport i porøse medier; jf. ref. 1 og 2)
- Anbefaling ved dimensionering baseret på LIFE-treasure resultaterne:
 - Vælg lav hydraulisk ledningsevne ($< \text{ca. } 0,3 \text{ m d}^{-1}$)
- Arealbehov i praksis: 250 - 300 m² filter/red. ha ved udløb på 1 L s⁻¹ ha⁻¹
 - Måske hjælper et godt planterodnet



Udformning og dimensionering af sorptionsfiltre i våde regnvandsbassiner

Konstatering:

- Sorptionsfiltre (knuste østersskaller) + foranliggende sandfiltre har vist sig effektive til videregående rensning af afstrømmet regnvand
- Højt målsatte kvalitetskrav kan overholdes

Risici:

- Tilklogning (foranliggende sandfilter nødvendig)
- Okkerudfældning på overflade

Konstruktion:

- Sand - og sorptionsfilter i sandwichkonstruktion
- Tyndt sandlag

Materialevalg for sorptionsfilter:

- Knuste østersskaller, knust kalksten (billige og effektive)
- Olivin og zeolittet (lidt dyrere, men meget effektive for adsorption af især metaller)
- Mange andre muligheder foreligger



EKSEMPEL: Dimensionering af et sorptionsfilter i et vådt regnvandsbassin til fjernelse af fosfor

Udgangspunktet er:

1. Koncentrationen af total P er efter et sandfilter blevet nedbragt til $0,1 \text{ gP m}^{-3}$ (mg/L)
2. Mængden af afstrømmet regnvand fra oplandet er $6000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$
3. Kapaciteten af sorptionsmediet (knuste østersskaller) er ca. 1 gP kg^{-1}
4. Massefylden af sorptionsmediet (som porøs masse) er 1500 kg m^{-3}
5. Sorptionsfilteret ønskes dimensioneret med en effektiv levetid på 100 år
6. Sandfilteret er udlagt med et overfladeareal på $285 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$

Simpel beregning af sorptionsfilteret:

$600 \text{ gP ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ skal fjernes

Kapacitetsforbrug: $600 \text{ kg filter ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ved den forventede kapacitet

Over 100 år: Forbrug af 60 tons filter pr. ha

Ved 285 m^2 sandfilter ha^{-1} : $210 \text{ kg sorptionsfilter m}^{-2}$ i sandwichkonstruktion = lag på 14 cm



Jernberiget sediment i våde regnvandsbassiner

Konstatering:

- Der er ikke i projektet opnået en væsentlig forbedret stoffjernelse (dog klart vand)
- Arbejdskrævende proces at fordele jernsaltet
- Der sker kortvarigt fald til pH ca. 2
- Jerndosering må hyppigt gentages, måske hvert andet år

Konklusion:

- På baggrund af projektets resultater kan metoden ikke anbefales



Fældning med aluminiumsalte

Konstatering:

- Der er ikke i projektet opnået en væsentlig forbedret stoffjernelse (dog klart vand)
- Kortvarig monitoringsperiode; mulighed for dosering under slutværdi på 5 g Al m^{-3}
- Der er ikke konstateret toksiske effekter ved doseringen

Konklusion:

- Metoden resulterer i klart vand
- Det må antages, at metoden kan optimeres



Sammenfattende erfaringer og anbefalinger

- Våde regnvandsbassiner er simple, effektive og robuste lavteknologiske systemer for rensning af afstrømmet regnvand fra byer og veje
- Systemerne er designede til rensning af afstrømning fra "moderat store" begivenheder – IKKE de ekstreme
- Anlæggene kan designes (beplantes), så der opnås rekreativ værdi
- Videregående renseteknologi for afstrømmet regnvand (fjernelse af opløste og kolloide stoffraktioner) kan anbefales når udløbskrav nødvendiggør det
- Sandfiltre er nødvendige for "forrensning" – tag hensyn til klogning!
- Især sorptionsfiltre – korrekt dimensionerede – kan anbefales som effektive og billige teknologier for videregående rensning af afstrømmet regnvand



Referencer:

1. Hvitved-Jacobsen, T., J. Vollertsen and A.H. Nielsen (2010), Urban and Highway Stormwater Pollution: Concepts and Engineering, CRC Press, Boca Raton, USA, pp 347.
Jf. www.crcpress.com
1. EU LIFE-TREASURE (2009), Funktion, dimensionering og drift af våde bassiner for videregående rensning af afstrømmet regnvand i byer, Teknisk Vejledning, pp 48.

EC LIFE2006 ENV/DK/229-TREASURE
Projektet er støttet af EU