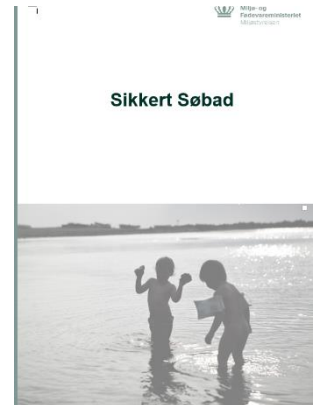


## Uddrag af afrapportering for projekt Sikkert Søbad udgivet ved Miljøstyrelsen 2018

Projekt Sikkert Søbad forløb fra februar 2016 til januar 2018, med følgende projektdeltagere:

Skanderborg forsyning (projektejer), Teknologisk Institut, Aalborg Universitet, Amphibac A/S, Stjernholm ApS og Kilian Water ApS



### Resumé

For at sikre god badevandskvalitet og på samme tid imødekomme den stigende efterspørgsel på hurtigt implementerbare klimatilpasningsløsninger introducerer projektet Sikkert Søbad et nyt koncept for overvågning, tidlig varsling og rensning af overløbsvand fra kloaksystemet til recipienter, der er underlagt krav til badevandskvalitet.

Med udgangspunkt i Skanderborg Sø og med fokus på badevandskvalitet har projektet haft til formål at udvikle en helhedsløsning. Den udviklede løsning kombinerer risikovurdering af individuelle overløb med et avanceret varslingsystem, som kobler mikrobiologiske data, vejr- og vinddata samt de hydrauliske forhold i opland og sø. Derudover er der udviklet og testet to prototyper af renseløsninger til behandling af overløbsvand; en naturnær plantebaseret filterløsning og en kompakt modulær mekanisk/kemisk rensemetode.

Resultaterne af projektet er en varslingsmodel, der ud fra reelle data i Skanderborg og en kompliceret modellering nu varslor badegæsterne ved søbadet via en automatisk varslingsstavle, hvis der er risiko for, at bakterier fra overløb nedsætter badesikkerheden.



Figur 1. Billede af de to testanlæg ved Skanderborg Sø; forrest kan ses en beplantet løsning og bagerst i rød en ristløsning i kombination med desinfektion.



T: 0045- 75 75 79 01  
E: [info@kilianwater.com](mailto:info@kilianwater.com)  
H: [www.kilianwater.com](http://www.kilianwater.com)

Derudover har testen af de to renseløsninger givet et indblik i fordele og ulemper med hhv. en beplantet løsning og en ristløsning i kombination med desinfektion. Det beplantede filter fra Kilian Water har en pæn og rekreativ fremtoning og er uden lugtgener. Anlægget kræver lidt mere plads, hvor det etableres, dog har den i projektet testede løsning indlagt beluftning, hvilket mindsker det nødvendige areal af anlægget. **Det beplantede filter har vist sig meget effektivt til at reducere både organisk stof og kvælstof ved vand-flow op til 12 m<sup>3</sup>/dag (svarende til en hydraulisk belastning over 500%). Her ses også kraftig reduktion af E.coli og Enterokokker og udledningskravene kunne overholdes.** Med denne løsning ses dog en udfordring ved sporadiske og meget kraftige flow, som ses ved endnu større regnhændelser. Her kunne den testede prototype ikke følge med med samme renseseffekt med nuværende design.

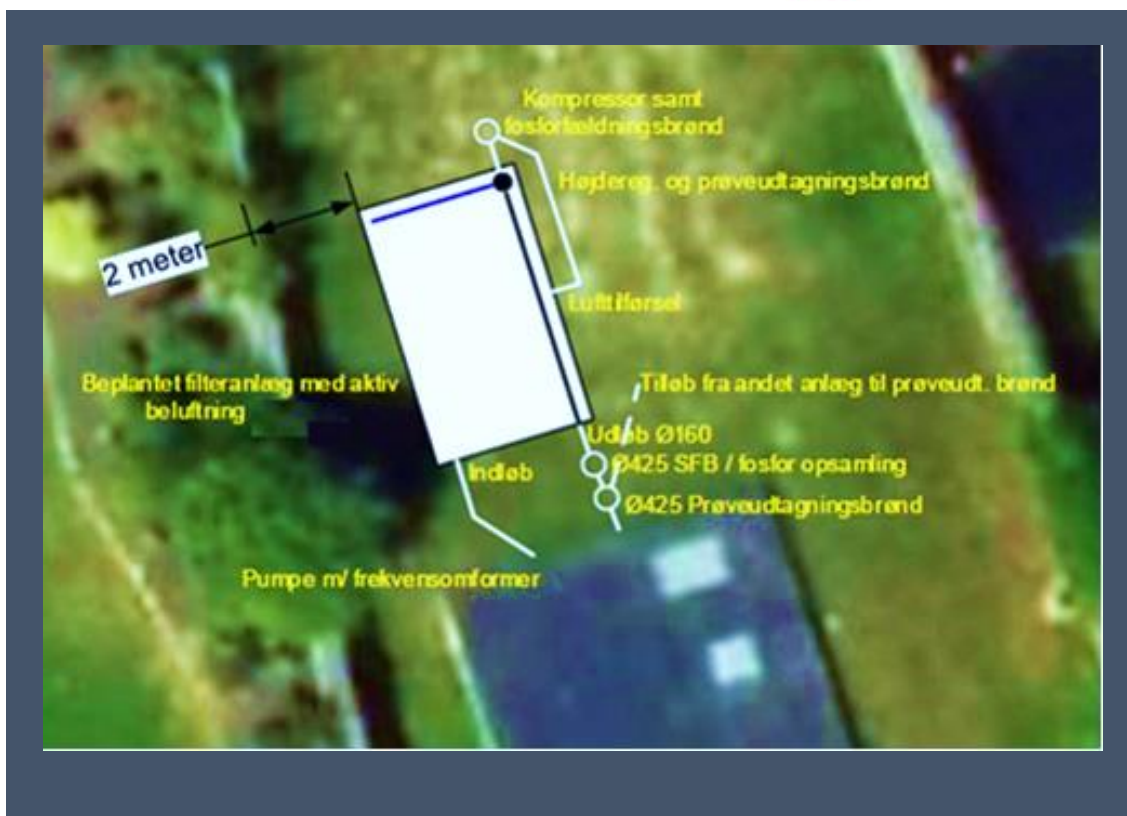
Med den mekaniske løsning filtreres overløbsvandet igennem en rist (Stjernholm RO-rist) på 0,4 mm. Risten kunne tilbageholde større urenheder samt reducere COD ved opbygning af en slamkage. Det er vigtigt, at dimensioneringen af en sådan type rist, styres og driftes korrekt i forhold til hydraulisk belastning og krav og i forhold til ønsker til renseseffekt. Den udviklede løsning kan opstilles og placeres i eksisterende og nye overløbsbygværker, hvor filtreringen kan foretages i forhold til renskrav. Hvis der, som i dette projekt, er krav om badevandskvalitet, kan risten kombineres med en desinfektionsløsning. Dosering af pereddikesyre (15 µg/L) efter filtreringen har således vist en reduktion af *E.coli*, der er tilstrækkelig til, at badevandskvaliteten kan overholdes.

På baggrund af en gennemgang af logningsdata og besigtigelse af de mest relevante testsites (overløb) blev det besluttet at opsætte begge renseløsninger på Sølystvej 14P (udløbsnr. U6.51/overløbsbygværk OV7 ifølge Skanderborg Forsynings egen oversigt), hvor Skanderborg Forsyning ejer den 530 m<sup>2</sup> store grund. Etablering af begge løsninger på samme overløb muliggjorde tests på det samme overløbsvand, således at der var mulighed for sammenligning af rensesgrader. Ligeledes blev løsningerne etableret, så der var mulighed for at justere flow og vandmængder og udføre forsøg med begge løsninger på samme forsøgsdage.

I forbindelse med valg af renseløsninger blev der i projektet lagt vægt på, at de anvendte teknologier var relativt simple og hurtige at etablere, rentable og effektive. Mange af de teknologier, som i dag benyttes til at håndtere og rense spildevand, er blevet bedømt i forhold til deres relevans og anvendelighed i dette projekt. Dette arbejde er samlet i en teknologioversigt og -evaluering.

### **Test af det beplantede filteranlæg med aktiv beluftning**

I forhold til at skabe naturnære renseløsninger til håndtering af overløbsvandet benyttes både regnvandsbassiner og kunstige vådområder i stor udstrækning til håndtering af regnvandet. Et beplantet filter kombinerer mange af de gode egenskaber, som også kan opnås ved førnævnte løsninger; herunder sedimentation og adsorption af partikulære stoffer samt biologisk stofomsætning. Men et beplantet filter er langt mindre pladskrævende, mere velegnet til rensning af overløbsvand og renses ydermere mere effektivt sammenlignet med de traditionelle rekreative renseløsninger. Teknologien tillader desuden en meget fleksibel anlægskonfiguration, som kan tilpasses det konkrete behov både ift. kapacitet, ønsket rensesgrad, plads til rådighed og mulighed for tilslutning af strøm. Ydermere, er de beplantede filtre relativt billige at anlægge og drifte, kræver minimalt vedligehold, falder godt ind i landskabet, er uden lugtgener og er alt i alt et godt alternativ til andre rekreative renseløsninger.



Figur 2. Skitsetegning over det beplantede filter på det udvalgte testsite. Kilian Water.

I forhold til at dokumentere effekten af de to renseløsninger er der blevet gennemført en række målekampanjer, hvor effekten af de to renseløsninger er blevet udfordret under forskellige driftsbetingelser. Der er i målekampanjerne udtaget prøver til både kemiske og mikrobiologiske analyser, som er analyseret hos hhv. Teknologisk Institut og Amphi-Bac.

Det beplantede filter er blevet testet løbende hen over badevandssæsonen 2017 ved varierende hydraulisk belastning. For at simulere overløbshændelser blev der mellem hver ny flowtest indlagt "hvileperioder" af op til flere ugers varighed, hvor der kun i meget begrænset omfang eller slet ikke er blevet tilført overløbsvand til anlægget. Dermed har tilførslen af nye næringsstoffer til planterødder og mikroorganismer også været meget begrænset i disse hvileperioder. Det beplantede filter var dog under hele testperioden inkl. hvileperioder vandfyldt og blev tilført ilt (seks timers beluftning efterfulgt af seks timer uden beluftning).

Generelt for de gennemførte målekampanjer gjaldt det, at ind- og udløbsprøver blev udtaget samme dag, og at der derfor ikke er taget højde for opholdstiden i anlægget. Ind- og udløbsprøverne var i flere tilfælde derfor ikke direkte sammenlignelige, men de gav alligevel en god indikation om vandkvaliteten af ind- og udløbsvand. Dog er der i flere af målekampanjerne udtaget prøver løbende henover flere timer, for netop at kunne følge vandets vej gennem det beplantede filter.

Indledningsvis blev anlægget testet ved lavt flow ( $6 \text{ m}^3/\text{døgn}$ , svarende til en hydraulisk belastning på over 250%), lang opholdstid (24 t) og kontinuerlig drift i flere uger for herved at sikre, at anlægget performede efter hensigten, herunder at den mikrobielle aktivitet i anlægget var tilstrækkelig og stabil. Ift. de mikrobielle parametre blev der under disse driftsbetingelser opnået reduktionsgrader for *E.coli* og



T: 0045- 75 75 79 01  
E: [info@kilianwater.com](mailto:info@kilianwater.com)  
H: [www.kilianwater.com](http://www.kilianwater.com)

Enterokokker på hhv. 99,99 % og 99,09 %. Ydermere blev der observeret en fuldstændig omsætning af ammonium, hvilket antydede en god mikrobiel aktivitet i rodzonen.

I de efterfølgende tests blev flowet sat op til hhv. 9 og 12 m<sup>3</sup>/døgn. Ved både 9 m<sup>3</sup>/døgn og 12 m<sup>3</sup>/døgn, hhv. 16 og 12 timers hydraulisk opholdstid, performede anlægget efter hensigten: COD blev reduceret med 69-90 %, mens >99 % af ammonium blev omsat og *E.coli* blev reduceret med >99 % til en udløbskvalitet på 1,2\*10<sup>3</sup>-1,0\*10<sup>4</sup> *E.coli* /100 ml. Baseret på disse tre parametre blev udledningskravene således overholdt.

For at teste det beplantede filter ved et mere moderat flow ift. anlægsconfigurationen blev der gennemført en målekampagne ved 24 m<sup>3</sup>/døgn, svarende til en hydraulisk opholdstid på ca. 6 timer eller en hydraulisk belastning på 1000 %. Ved testens start blev der udtaget en indløbsprøve, hvorefter der for hver time blev udtaget udløbsprøver over en periode på 3 timer (svarende til en halv hydraulisk opholdstid). Antallet af *E.coli* blev i den første time reduceret med 98,18 %, men rensegraden efterfølgende faldt til hhv. 96,72 % og 96,87 %. *E.coli* blev således reduceret til 3,0-5,7\*10<sup>4</sup> *E.coli* /100 ml, hvilket kun lige akkurat overstiger det opsatte krav på 1,0\*10<sup>4</sup> *E. coli*/100 ml. COD blev reduceret med 92-93 %, mens 98 % af ammonium blev omsat. Baseret på disse resultater vurderes det, at et beplantet filter med den pågældende anlægsconfiguration ift. de opstillede rensekrav besidder en maks. kapacitet, som tilsyneladende ligger et sted mellem 12 og 24 m<sup>3</sup>/døgn.

Med henblik på at simulere et meget kraftigt overløb og presse den pågældende anlægsconfiguration til det yderste, blev den hydrauliske belastning ved en enkelt test sat op til 240 m<sup>3</sup>/døgn, svarende til en overbelastning med en faktor 100 eller 10.000 %. Ud over at presse anlæggets fysiske rammer medførte den høje hydrauliske belastning at opholdstiden i anlægget (ca. 36 min) - og dermed også den mikrobiologiske omsætning - blev reduceret betragteligt. Ved testen blev der for hver time udtaget ind- og udløbsprøver over en periode på 3 timer (svarende til fem gange den hydrauliske opholdstid). Ved sammenligning af COD-niveauerne i indløbsprøverne blev det vurderet, at variationen mellem prøverne var minimal, hvorfor der blev udtaget delprøver til en samlet blandingsprøve, som indløbsreference. Analyse af udløbsprøverne viste en tydelig og stabil reduktion af både COD (51-56 %) og total fosfor (28-39 %) henover måleperioden, hvilket indikererede, at partikulært organisk stof og bundet fosfor blev tilbageholdt af filtermaterialet. Samtidig sås der kun en reduktion af ammonium (47 %) i den første time af måleperioden, mens der i prøverne udtaget efter hhv. to og tre timer ikke sås nogen forskel fra indløbsprøven. Den store variation i ammoniumkoncentrationerne skyldes formentligt, at den første prøve, som blev udtaget efter bare en time med højt flow, for en stor del repræsenterede det "gamle" vand, som har stået i anlægget og dermed har haft en længere opholdstid. Desuden kan de uforandrede værdier for ammonium i de efterfølgende udløbsprøver nok tilskrives den korte hydrauliske opholdstid i anlægget, som vanskeliggør en mikrobiologisk omsætning. Der sås generelt ikke nogen reduktion af *E.coli* i denne målekampagne, hvorfor anlægget ved denne hydrauliske belastning ikke kunne opfylde kravene til badevandkvalitet.

I figur 3 er udledningsværdier- og krav sammenlignet ved de forskellige flow:

Flow (m3/d)	Flow (l/s)	COD: <75 mg/l	TN (mg/L)	NO3-N (mg/L)	NH3+NH4-N: <5 mg/l	TP: <1,5 mg/l	E.coli: <10.000 cfu/100 ml)
9	0,1	11,4	6,94	7,08	BDL	1,36	4,4E+03
9	0,1	16,4	10,8	11,5	BDL	1,67	1,7E+03
9	0,1	16,8	12,6	12,3	0,018	2,19	1,0E+04
12	0,14	11,5	6,62	NA	0,472	1,38	1,2E+03
24	0,28	15,6	20	NA	0,455	2,44	3,0E+04
24	0,28	15	21,3	NA	0,345	2,43	5,5E+04
24	0,28	14,5	21,5	NA	0,265	2,38	5,7E+04
240	2,78	103	NA	NA	6,62	2,04	2,0E+06
240	2,78	108	NA	NA	11,4	2,2	>10000
240	2,78	96,8	NA	NA	12	2,4	>10000

Figur 3. Sammenligning af udledningsværdier- og krav (SOP-krav samt krav til badevandskvalitet) ved de testede flow.

Farvekoden grøn, gul og rød indikerer, at renskravet er hhv. overholdt, tæt på kravværdien og overholder ikke renskravet.

Som det fremgår af tabellen, kan et beplantet filter med den pågældende anlægsconfiguration udmærket håndtere og rense overløb på 0,1-0,28 l/s, svarende til 9-24 m<sup>3</sup>/d, mens ekstreme regnhændelser, som fører til langt højere flow (her testet ved 2,78 l/s) udfordrer anlægget. Dog ses der selv ved 2,78 l/s en fin reduktion af COD, som kommer meget tæt på at kunne overholde det skærpede udledningskrav (SO-krav) på de 75 mg COD/l. Hvis effekten af anlægget i stedet holdes op imod O-kravet på 125 mg COD/l, overholdes kravet om reduktion af organisk stof i samtlige tests.

### Perspektiver i beplantede filtre som renses teknologi ved overløbsbygværker

Det beplantede filteranlæg på 15 m<sup>2</sup>, som blev anlagt og testet i projektet, kostede ca. 80.000 kr. at anlægge (beløbet dækker både materialer og løn, prisen er eksklusive moms). Udgiften til selve driften af anlægget afhænger i overvejende grad af det nødvendige elforbrug til beluftningssystem samt pumper, og det vil således afhænge af, hvordan anlægget belastes.

For at kunne håndtere en højere hydraulisk belastning og samtidig opfylde de opstillede renskrav kan anlægget udvides til en 'skotsk' model. Det betyder, at anlægget vil blive i alt en halv meter dybere og højere, således at anlægget kan klare en meter vand over sig. Pumpen kan dermed pumpe den tredobbelte vandmængde ind i anlægget, samtidigt med at anlæggets afløb formindskes, så den hydrauliske opholdstid i anlægget er minimum et døgn. På den måde kan anlæggets kapacitet forøges med en faktor 3, mens renskravet stadig forventes at kunne opfyldes. Merudgifter vil være minimale (ca. DKK 10.000) i forhold til den øgede kapacitet. Etableringsudgifter og driftsomkostningerne for den samme størrelse anlæg på 15 m<sup>2</sup> med en ekstra meter bufferkapacitet i højden er ca. 1/3 mere end det oprindelige anlæg.



T: 0045- 75 75 79 01  
E: [info@kilianwater.com](mailto:info@kilianwater.com)  
H: [www.kilianwater.com](http://www.kilianwater.com)

I Skanderborg er der samlet set 85 overløb fra de fælleskloakerede områder, hvoraf en del har udløb til vandløb. Ved de enkelte overløb er der typisk installeret en rist med spalteåbninger på 1-4 cm, og det er oplagt, at et bedre filter som det kompakte mekaniske filter testet i projektet vil kunne forhindre større partikler i at ende i recipienten. For at reducere næringssalte kræver det en renseløsning som det beplantede filter. En kombination af begge løsninger kan muligvis give et godt bud på rensning af overløbsvand.