

Vertikalflödesbiofilter för rening av bräddavloppsvatten

Vertical flow constructed wetlands for combined sewer overflow treatment



Anette Åkerström¹, Bent C. Braskerud²

¹ Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, anette.akerstrom@vav.oslo.kommune.no

² Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, bent.braskerud@vav.oslo.kommune.no

Sammanfattning

När spillvatten leds i samma rör som dagvatten från gator (kombinerade avloppsledningar), uppstår en överbelastning i systemet vid kraftiga regn. Överskottsvattnet måste då avledas genom bräddavlopp. Bräddning leder till att orenat avloppsvatten släpps ut i vattendrag och hav, vilket påverkar det akvatiska livet negativt och försämrar badmöjligheterna. Att separera de kombinerade ledningarna med nya dagvattenledningar är kostsamt. Ett alternativ är därför att minska konsekvenserna av bräddning genom att anlägga vertikalflödesbiofilter vid vissa kritiska bräddpunkter. Detta har gjorts i stor omfattning i Tyskland, Frankrike och Italien med goda resultat. Artikeln går igenom litteratur från dessa länder och diskuterar hur sådana anläggningar kan användas i Norden.

Abstract

During periods of heavy rainfall, combined sewer systems can become overloaded, resulting in overflows to nearby water bodies. These combined sewer overflows (CSOs) release untreated wastewater into rivers, lakes, and seas, posing risks to aquatic ecosystems and recreational water use. While separating combined sewers by constructing new stormwater pipelines is effective, it is also highly expensive. An alternative approach is the establishment of vertical flow constructed wetlands at critical CSO locations to reduce pollutant loads and protect receiving waters. This technique has been widely implemented for several decades in countries such as Germany, France, and Italy, yielding positive outcomes. The present article reviews literature from these regions and discusses how similar systems could be adapted and applied in northern countries.

Key words: CSO treatment, vertical flow constructed wetland, water quality, biofilter

Inledning

Varför bräddning måste minskas

Oslo har cirka 820 kilometer kombinerade avloppsledningar, där dagvatten och spillvatten leds i samma system. Staden har omkring 200 installerade bräddpunkter som är konstruerade för att förhindra att avloppsvatten trycks upp i ledningarna, vilket annars kan orsaka källaröversvämningar. Vid bräddning leds överskottsvatten ut till närmaste vattendrag.

Stora och/eller frekventa bräddningar har en betydande negativ påverkan på de mottagande vattendragen. På kort sikt kan dessa händelser orsaka akuta toxiska effekter, exempelvis på grund av höga ammoniumhalter och igenslamning från organiskt material. Den ökade vattenföringen under bräddning leder dessutom till erosion och mekanisk stress i vattendraget. Bräddvatten innehåller ofta bakterier, virus och avloppsskräp, samt kan ge upphov till luktproblem. På längre sikt kan återkommande bräddningar förändra vattendragens morfologi och försämra den ekologiska statusen genom eutrofiering (Uhl & Dittmer, 2005).

Vad bräddvatten innehåller

Bräddvatten består av en blandning av dagvatten från hårdgjorda ytor och spillvatten från hushåll och verksamheter. Spillvattnet innehåller främst organiskt material samt näringsämnen som kväve och fosfor, men även rester av hushållskemikalier och mikroföroreningar såsom läkemedelsrester. Dagvatten bidrar i sin tur ofta med stora mängder partiklar, sand och grus, och kan innehålla höga halter av metaller, oljeföreningar, polyaromatiska kolväten (PAH), salt, näringsämnen, organiska miljögifter och mikroplast (Norsk Vann-rapport, 2001).

Beräkningar av föroreningsbelastningen från bräddutsläpp baseras vanligtvis på antagandet att spillvattnet späds ut av dagvatten. Den faktiska föroreningsmängden kan dock vara betydligt högre. Detta beror på att partiklar och slam ofta sedimenterar i ledningsnät med låg självrensande förmåga och sedan spolats ut som så kallade chockutsläpp vid regnperioder (Lindholm, 2011).

En tidigare studie i Malmö visade att 80–90 % av det organiska materialet och fosfor i bräddvatten härrörde från resuspenderade avlagringar i rören (Hogland m.fl., 1986). Denna så kallade first flush-

effekt kan därför vara betydligt mer uttalad vid bräddningar i kombinerade avloppssystem än vid enbart dagvattenutsläpp.

Artikels syfte och mål

Oslo kommun har som mål att staden ska vara grön och levande. Dagvattenhanteringen ska ske med hänsyn till miljön och bidra till att god ekologisk och kemisk status kan uppnås i stadens vattenförekomster. I Oslo är sex älvar klassificerade som att de har dålig eller mycket dålig ekologisk status. Därför arbetar Vann- og Avløpsetaten i Oslo systematiskt med att minska både bräddningar och läckage, samtidigt som man söker nya lösningar för att rena bräddvatten innan det släpps ut i naturen.

Syftet med denna artikel är att undersöka vilka möjligheter vertikalfödeshiofilter erbjuder för rening av bräddvatten. Artikeln avser att belysa om denna teknik kan vara ett relevant och effektivt alternativ för Oslo och andra nordiska städer, samt hur metoden kan vidareutvecklas och anpassas till lokala klimat- och driftsförhållanden.

Metod

Undersökningen baseras på en litteraturgenomgång. Utöver detta har vissa av författarna till den granskade litteraturen, samt andra experter inom området, kontaktats. Dessa har bidragit med kompletterande information i form av, bilder och direkt kommunikation.

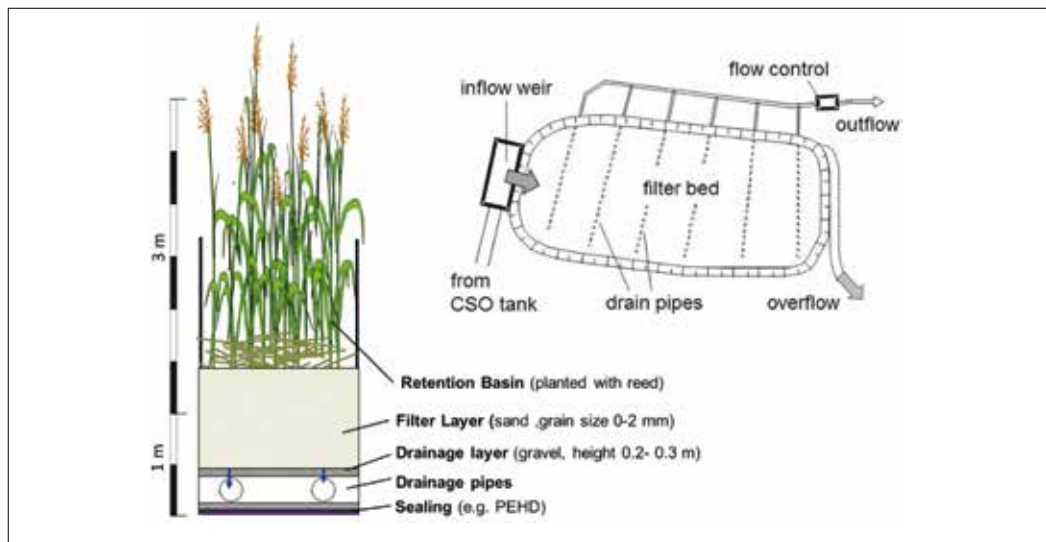
Resultat och diskussion

Enligt Dittmer m.fl. (2016) har vertikalfödeshiofilter använts i Tyskland sedan 1988. Idag finns flera hundra anläggningar i drift i Tyskland, Frankrike och Italien (Meyer m.fl., 2013), och värdefulla erfarenheter finns tillgängliga. Nedan presenteras några centrala resultat och observationer från olika anläggningar.

Vi väljer att använda förkortningen VBO, vilket motsvarar den norska benämningen ”vertikalströms biofilter for overløp”.

Allmän uppbyggnad av ett VBO

Ett VBO är vanligtvis uppbyggt enligt principen som illustreras i figur 1. Bräddvattnet sprids jämnt över anläggningens yta och infiltrerar därefter genom ett särskilt utformat filtermedium med biologiska och



Figur 1. Principskiss av ett VBO som tar emot bräddvatten från ett kombinerat avloppssystem. En utloppsanordning med flödesreglering styr avrinningshastigheten från anläggningen. Efter Dittmer m.fl., 2016, med tillstånd.

fysikaliska reningsfunktioner. Det renade vattnet samlas upp via ett dräneringssystem i botten av anläggningen och leds vidare till recipienten.

För att säkerställa att anläggningen fungerar även vid extrema regnhändelser måste ett bräddavlopp finnas från ytbassängen (retentionsbassängen). Detta fungerar som en säkerhetsfunktion när tillflödet tillfälligt överstiger anläggningens hydrauliska kapacitet.

Inloppsanordning

I kombinerade ledningssystem transporteras ofta stora mängder partiklar, vilket kan minska infiltrationen i filtermediet. Med tiden leder detta till att filtermaterialet gradvis förlorar sin reningskapacitet. Anläggningens livslängd kan dock förlängas genom installation av en förbehandling, exempelvis ett sedimentationssteg eller ett förfilter (Vohla m.fl., 2011; Rizzo m.fl., 2020). Detta framgår av figur 1.

Bräddvatten förekommer ofta som kortvariga, intensiva pulser. För att undvika erosion i filtermaterialet och minska risken för kortslutningsströmmar på ytan bör inflödet utformas så att vattnet fördelas jämnt över hela filterytan. Denna princip motsvarar den som används i fångdammar (konstruerade våtmarker) i jordbruksbäckar, där en jämn spridning av inflödet är avgörande för att uppnå effektiv sedimen-

tation och rening (Braskerud, 2002).

Ytbassängens storlek

Det är ofta en utmaning att beräkna den nödvändiga storleken på ett vertikalflydesbiofilter (VBO), eftersom tillgänglig kunskap om faktiska bräddvolymerna ofta är begränsad och osäker. Som en följd av detta har anläggningar i Tyskland i flera fall blivit överdimensionerade, vilket bland annat har lett till torkstress för vegetationen (Meyer m.fl., 2013).

Dittmer m.fl. (2016) anger en tumregel för dimensionering där filterarean motsvarar 1 % av avrinningsområdets hårdgjorda yta. Ett så högt arealkrav kan dock göra det svårt att hitta lämpliga platser i tät stadsmiljö. I praktiken ligger anläggningarnas storlek ofta närmare 0,4 % av den hårdgjorda ytan (Åkerström och Braskerud, 2025). Därför är tekniska lösningar som kan minska arealbehovet utan att försämra reningseffekten mycket eftertraktade. I Oslo har flera potentiella platser för VBO-anläggningar redan identifierats.

I Frankrike rekommenderas att den årliga hydrauliska belastningen inte överstiger 100 m³/m² (Rizzo m.fl., 2020). I andra länder anges riktvärden under 40 m/år, med möjlighet till tillfälligt högre belastning under extremt våta år. Föroreningsbelastningen kan

också användas som en designparameter, och i kombination med hydraulisk belastning, men det finns vanligtvis en osäkerhet i båda dessa faktorer (Meyer m.fl., 2013). Meyer och Dittmer (2014) har utvecklat en designmodell specifikt anpassad för tyska VBO-anläggningar, medan flera alternativa modeller presenteras och jämförs i Rizzo m.fl. (2020).

Filtermedium

Som filtermaterial används vanligtvis väl sorterad grov sand med en kornstorlek på 0,63–2 mm, ofta blandad med mer än 20 % kalksten för att reglera pH (Rizzo m.fl., 2020). Efter några bräddningstillfällen bildas en biofilm i filtermaterialet, som är viktig för anläggningens reningseffekt genom biologisk nedbrytning och adsorption av föroreningar.

Den typiska infiltrationshastigheten ligger mellan 36 – 110 mm/h, och tyska riktlinjer anger ett riktvärde på cirka 72 mm/h som normal infiltrationskapacitet (Bachmann-Machnik m.fl., 2018). För att säkerställa god funktion bör allt tillfört vatten ha infiltrerat genom filtermaterialet inom 48 timmar (Beral m.fl., 2023).

Vegetation

Vegetation utgör en central komponent i alla typer av konstruerade våtmarker och biofilter. Enligt Beral m.fl. (2023) har växterna flera viktiga funktioner i bioretentionssystem:

- Avlägsning av olja, fett, partiklar och spårämnen.
- Nedbrytning av organiska ämnen, såsom pol aromatiska kolväten (PAH), i rhizosfären (rotningssonen).
- Biologisk retention och upptag av näringsämnen.
- Minskning av vattenvolym genom avdunstning.
- Upprätthållande av infiltration i filtermediet genom rotväxtens mekaniska effekt.

Eftersom klimat, avrinningsområdets egenskaper, bräddtid och bräddvolym varierar kraftigt mellan olika platser, behövs mer platsanpassad kunskap för att optimera växtvalet.

I ett storskaligt växthusförsök i Kanada jämfördes fyra morfologiskt olika växtarter med ett filter utan vegetation (Beral m.fl., 2023). Under växtsäsongen varierade avdunstningen mellan 19–46 % av den tillförda vattenmängden. Resultaten visade att växternas

näringsupptag var nära kopplat till avdunstningen, vilket innebär att växtsammansättningen har betydelse för filtrets funktion. Arter med störst blad- och rotmassa uppvisade den högsta avdunstningen, i ordningen buske > kaveldun > iris > gräs > utan växter. Denna rangordning överensstämde i stor utsträckning även med växternas effektivitet i näringsupptag.

I Tyskland är vass (*Phragmites australis*) den mest använda arten i VBO-anläggningar (Dittmer m.fl., 2016). Arten kan bli över tre meter hög, tål både torra och chockbelastning av föroreningar, samt skyddar filterytan mot erosion (Kearney, 2019). I vår litteraturgenomgång är vass den enda växtart som nämns i samband med VBO-anläggningar (Rizzo m.fl., 2020). Vi menar dock att en större artrikedom sannolikt skulle bidra till mer robusta anläggningar, ökad resiliens och högre biologisk mångfald.

Dränering

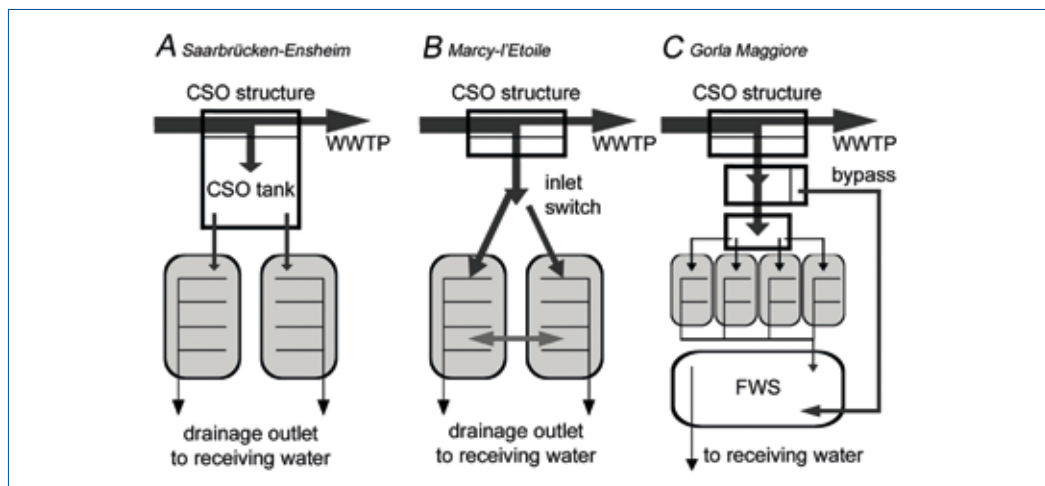
God syretillgång i filtermediet är avgörande för att uppnå hög reningseffekt. Därför är samtliga VBO-anläggningar utrustade med ett dräneringssystem (figur 1 och 2).

I tyska anläggningar placeras dräneringsrören liggande längst ned i botten av filtret. I franska och italienska anläggningar monteras rören däremot cirka 0,3 meter ovanför botten, vilket skapar en vattenreservoar som kan försörja växterna under torra perioder (Rizzo m.fl., 2020).

För att bibehålla god syresättning ovanför dräneringsnivån rekommenderas luftning av dräneringsrören (figur 3). Även infiltrationshastigheten har stor betydelse för reningseffekten. Enligt tyska riktlinjer (Grotehusmann m.fl., 2016) gäller följande rekommenderade infiltrationshastigheter:

- 0,01 L/(m²·s) för reduktion av patogener
- 0,02 L/(m²·s) för reduktion av ammonium
- 0,03 L/(m²·s) för reduktion av partiklar, COD, BOD, tungmetaller och fosfor

I Frankrike tillåts upp till 0,05 L/(m²·s), men anläggningarna konstrueras så att flödet kan regleras efter behov (Rizzo m.fl., 2020). I praktiken passerar bräddvattnet vanligtvis genom anläggningen inom 5–8 timmar, vilket ger tillräcklig uppehållstid för effektiv biologisk och fysikalisk rening.



Figur 2. Tre VBO-system från Tyskland (A), Frankrike (B) och Italien (C), enligt Meyer m.fl. (2013, med tillstånd). Bräddvatten kommer från bräddavloppet (CSO). En del leds vidare till avloppsreningsverket (WWTP), men resten behandlas i VBO. I anläggning C efterpoleras vattnet i en ytvätmark (FWS). Se detaljer i tabell 1.

Design i Tyskland, Frankrike och Italien

Tyskland har mer än 25 års erfarenhet av att hantera bräddvatten med vertikala våtmarkssystem (Rizzo m.fl. 2020). Frankrike och Italien har kortare erfarenhet, och utformningen varierar mellan länderna på grund av skillnader i lagstiftning och mål.

- **I Tyskland (Figur 2A):**
Förbehandling av de första 1,5–3,5 mm nederbörd (“first flush”) gör att mindre vatten når vegetationen. Detta minskar risken för igensättning. Filtermaterialet är kvartssand blandad med kalksten, vilket motverkar försurning vid nitrifikation (Meyer m.fl., 2013).
- **I Frankrike (Figur 2B):**
Bräddvattnet leds ofta direkt till biofilteret. Grovkornigt filtermaterial gör att detta fungerar väl. Belastningen fördelas till ett filter i taget, medan det andra får vila för att stimulera aerob nedbrytning och minska igensättning. Vid höga flöden kan båda användas samtidigt (Meyer m.fl., 2013; Rizzo m.fl., 2020).
- **I Italien (Figur 2C, Lombardiet):**
Här krävs att de första 5 mm regn alltid tas om hand. Volym reserveras därför före våtmarksfiltern. En mekanisk förbehandling (galler) används. Vid höga flöden leds vattnet vidare till ett separat ytvätmarkssystem (FWS) för efterpolering. Målet

Tabell 1. Några karakteristiska egenskaper och typiska värden hos VBO-systemen i figur 2 (Meyer m.fl., 2013; Rizzo m.fl., 2020).

ELEMENT	TYSKLAND	FRANKRIKE	ITALIEN
Inloppsvatten	Förbehandlat	Direkt från bräddavlopp	Delvis förbehandlat
Antal VBO	1 eller flera	2 parallella	4
Vattendjup över markyta	Ofta 1 m	0,1–0,8 m	Minst 0,2 m
Filterryta (översta lager)	5 cm grus (2–8 mm)	10 cm kompost	20 cm grus (10 mm)
Filtermaterial	75 cm sand (≤ 2 mm) blandat med 20 % kalksten	60 cm sand ev. med zeolit, ovanpå 10 cm sand/grus (2–6 mm)	40 cm grus (2–6 mm)
Dränerings-skikt	25 cm grus (2–8 mm)	20 cm grus (10–20 mm)	20 cm makadam (40–80 mm)
Infiltrations hastighet	0,01–0,03 L/(m ² ·s)	0,01–0,05 L/(m ² ·s)	0,004–0,02 L/(m ² ·s)
Hydraulisk belastning	40 m ³ /(m ² ·år)	40–80 m ³ /(m ² ·år)	35–40 m ³ /(m ² ·år)

är ofta multifunktion – biologisk mångfald, rekreation och rening kombineras (Meyer m.fl., 2013; Rizzo m.fl., 2020).

Hösten 2024 besökte vi tre tyska VBO-anläggningar som tar emot mellan 5 000 och 200 000 p.e. Dessa anläggningar bygger på principen som visas i figur 2A. Erfarenheterna är sammanställda som en fotokavalkad och kan läsas i Åkerström och Braskerud (2025).

Renigseffekt

Sediment och partiklar

Tillförsel av sediment är vanligt, men dessa hålls i stor utsträckning kvar på ytan. Dittmer m.fl. (2016) rapporterar att årliga sedimentmängder varierade mellan 0,1 och 11,4 kg/m² vid 25 anläggningar. Trots att sedimentlagret ibland blev upp till 40 cm förblev infiltrationen god, något som tillskrevs vegetationen som inte avlägsnades. Blandningen av växtrester och sediment skapade ett extra filterlager som ofta förbättrade reningseffekten. Reningsgraden för partiklar är generellt mycket hög, ofta över 90 % (Rizzo m.fl., 2020).

Organiskt material

VBO reducerar kemiskt syreförbrukande ämnen (COD) avsevärt. En genomgång av den uppnådda reningseffekten i Tyskland visade en genomsnittlig reduktion på 84 % (Uhl & Dittmer, 2005). Större partiklar filtreras mekaniskt, medan löst COD bryts ned i det aeroba filtret eller binds till materialet (Meyer m.fl., 2013). Bräddvatten med högt COD-innehåll ger ofta hög relativ avskiljning, eftersom mycket organiskt material förekommer som partiklar. För löst COD är avskiljningen något lägre, omkring 42–47 % (Rizzo m.fl., 2020). Om filtren tillåts torka ut mellan bräddtillfällena sker mineralisering av organiskt material under dessa perioder, vilket bidrar till höga reningsgrader (>85 %) (Dittmer m.fl., 2016).

Kväve

Ammonium (NH₄⁺) hanteras på två sätt:

1. Genom adsorption till filtermediets ytor.
2. Genom nitrifikation till nitrat i aeroba zoner.

Efter rening innehåller utloppsvattnet ofta mindre än 0,2 mg/L ammonium (Dittmer m.fl., 2016; Meyer m.fl., 2013; Rizzo m.fl., 2020). Vid efterföljande regn kan dock nitrat lakas ur eftersom anläggning-

arna endast i liten grad gynnar denitrifikation (som omvandlar nitrat till kvävgas).

Fosfor

Fosforavskiljningen varierar beroende på filtermaterialets sammansättning. Rizzo m.fl. (2020) anger cirka 45 % avskiljning för totalfosfor, men ofta betydligt lägre och avtagande över tid för löst fosfor. Detta beror på att många filter i Europa är baserade på sand som har låg fosforbindningsförmåga. Fosfor binds främst genom kemiska processer där Ca, Fe och Al är involverade (Vohla m.fl., 2011). För att öka reningen av fosfor har flera naturliga och industriella material testats:

- Dolomit: avskiljde 44 % P (7–52 g P/kg). Bäst vid pH 11.
- Kalksten: 20–44 % (0,3–20 g P/kg). pH 7–8.
- Skalsand: 28–32 % (3–17 g P/kg). pH 8–9.
- Sand: binder Ca, Al, Fe beroende på pH. Ofta bra initialt, men kapaciteten avtar snabbt (0,1 g P/kg).
- Järnmalm: avskiljde 67 % under aeroba förhållanden, 53 % anaerobt.
- Filtralite PTM (Leca®-produkt): ofta 50–90 % avskiljning i försök. Kapaciteten varierar med fosforkoncentration. pH >10.

Nackdelar kan vara högt pH som hämmar växttillväxt och ger oönskat högt pH i det renade vattnet. Många filtermaterial tappar dessutom kapacitet efter ca 5 år, men inaktiva perioder kan ibland regenerera bindningen. När filtermaterialet är mättat med fosfor kan det kanske återanvändas som gödningsmedel.

Mikroföroreningar, metaller och mikrobiologiska indikatorer

Bräddvatten innehåller också mikroföroreningar, tungmetaller och mikroorganismer.

Studier visar att rening av mikroföroreningar i VBO beror på både ämnens kemiska egenskaper och driftförhållanden, medan de varierande halterna i bräddvatten försvårar utvärderingen. Aerob nedbrytning är den viktigaste processen och kräver god syretillgång mellan bräddtillfällena (Rizzo m.fl., 2020). Reningseffekten sammanfattas av Rizzo m.fl. (2020) i en litteraturoversikt. Som exempel visar ett tyskt VBO en genomsnittlig reduktion av diklofenak på 81 %.

Metaller binds ofta till filtermediet, med renings-

grader på 36–99 % beroende på metall. Redoxförändringar kan dock frigöra vissa bundna metaller. Vägsalt på vintern har visat sig frigöra små mängder Cd, Zn och Cu (Paus m.fl., 2014).

E. coli reduceras med 1–3 log₁₀-enheter, beroende på anläggningens utformning och belastning (Rizzo m.fl., 2020). Störst bakteriereduktion rapporteras vid låga avrinningar (<0,015 L/(m²·s)), vilket överensstämmer med de vanligaste dimensioneringsriktvärdena.

Förbättrad rening av mikroförroreningar kan uppnås genom att blanda in aktivt kol eller biokol i filtermediet. Blandningar där biokol utgör 20–30 % kan förbättra retentionen av metaller, öka vattenhållningsförmågan och gynna växttillväxt, samtidigt som kostnaderna hålls nere (Piscitelli m.fl., 2018; Joner, pers. medd.). Ett exempel är en tysk anläggning (Reinbach RSFplus) där 30 % granulärt aktivt biokol blandades in i filtermediet. Under en 20-månadersperiod analyserades mer än 150 mikroförroreningar i anläggningen, och för de flesta ämnen uppnåddes en reningsgrad på över 90 % (Åkerström och Braskerud, 2025). Tillsats av aktivt kol verkar dessutom öka den mikrobiologiska aktiviteten i filtret. Användning av biokol är ännu inte standard i tyska VBO, men resultaten framstår som lovande.

Drift och underhåll

Att anlägga ett VBO är ofta populärt bland invånarna – men helst inte i den egna “bakgården” (Meyer m.fl., 2013). Erfarenheter visar dock att välskötta anläggningar accepteras väl. Den största risken för klagomål är dålig lukt, vilket uppstår om nedbrytningen av organiskt material är otillräcklig.

Tondera m.fl. (2021) sammanfattar några fördelar med välskötta VBO-anläggningar:

- De är hittills det bästa alternativet för rening av bräddvatten.
- Eftersom vattnet infiltrerar kontinuerligt, uppstår ingen risk för myggspridning.
- Energiförbrukningen är låg eftersom systemen drivs med gravitation.

I Tyskland är det vanligt att vegetationen får stå kvar och blandas med tillfört sediment, snarare än att skördas. Detta skapar nya bindningsytor och kan förbättra reningskapaciteten. En förutsättning för att

detta ska fungera är dock att filtret får syretillgång mellan belastningarna (Rizzo m.fl., 2020). Finpartiklar i inloppsvattnet kan minska infiltrationen och försämra luftningen, därför bör en förbehandling övervägas i varje projekt.

Ett VBO kräver regelbunden tillsyn. När anläggningen är i drift och avrinningen har justerats till önskad nivå, blir det viktigaste underhållet att tömma och rensa inloppsarrangemangen (Tondera m.fl., 2021). Varje avrinningsområde och anläggning är unikt, men i litteraturen anges inspektionsfrekvens på ungefär en gång per månad.

En fördel med att bygga två parallella våtmarksfilter är att de kan belastas växelvis (jfr. Figur 2B). På så vis får det ena filtret tid att återhämta sin kapacitet medan det andra är i drift. En operatör behöver då regelbundet växla tillförseln, exempelvis en gång i månaden. Provtagning av utloppsvattnet är en viktig del av uppföljningen, för att säkerställa att anläggningen levererar tillräcklig vattenkvalitet.

Multifunktion och kostnads–nyttoanalys

Rizzo m.fl. (2020) har analyserat flera exempel på kostnads–nyttförhållanden, där VBO-anläggningar genomgående framstår som billigare än traditionell separering av kombinerade avloppssystem. Hur stor vinsten blir beror dock på lokala förutsättningar och vilka alternativ som jämförs, vilket gör det svårt att ge en generell tumregel.

Om anläggningarna dessutom kan bidra med multifunktion – till exempel biologisk mångfald och rekreativvärden – ökar nyttan betydligt (Quaranta m.fl., 2022). Den italienska lösningen (figur 2C), med ett öppet våtmarkssystem för efterpolering, är särskilt väl lämpad för detta. Ett exempel är Water Park of Gorla Maggiore, där rening kombineras med ekosystemtjänster och rekreativa värden (Rizzo m.fl., 2020).

Rizzo m.fl. (2020) föreslår också att VBO-tekniken i högre grad bör integreras i dagvattenhanteringen. Än så länge finns dock få praktiska exempel på detta, men potentialen bedöms som stor.

Reinbach RSFplus-anläggningen fungerade både som ett traditionellt VBO vid nederbörd och som efterpolering av utloppsvattnet från det anslutna reningsverket vid normal drift. För mindre reningsverk kan ett VBO med anpassat filtermaterial (till exempel

aktivt kol) ha potential att fungera som efterpolering för att avskilja mikroföroreningar som läkemedelsrester, och det kan därmed i vissa fall ersätta andra kostsamma och energikrävande lösningar (Åkerström och Braskerud, 2025).

Uppsummering och slutsats

Baserat på litteraturgenomgången föreslår vi en skiss till VBO-anläggning (vertikalströms-biofilter) anpassad för Oslo förhållanden, med kuperad terräng och tät bebyggelse. Vi tror att detta kan fungera väl på många platser i Norden.

En förutsättning är att det finns tillräckligt med utrymme i närheten av bräddpunkterna.

För aktuella bräddavlopp bör mätningar göras så tidigt som möjligt inför projektering. Dessa data kan användas i avloppsmodeller för att uppskatta vattenmängderna som tillförs bräddpunkten. Detta har betydelse både för filterytans storlek och för höjden på sidokanterna (jfr. figur 1).

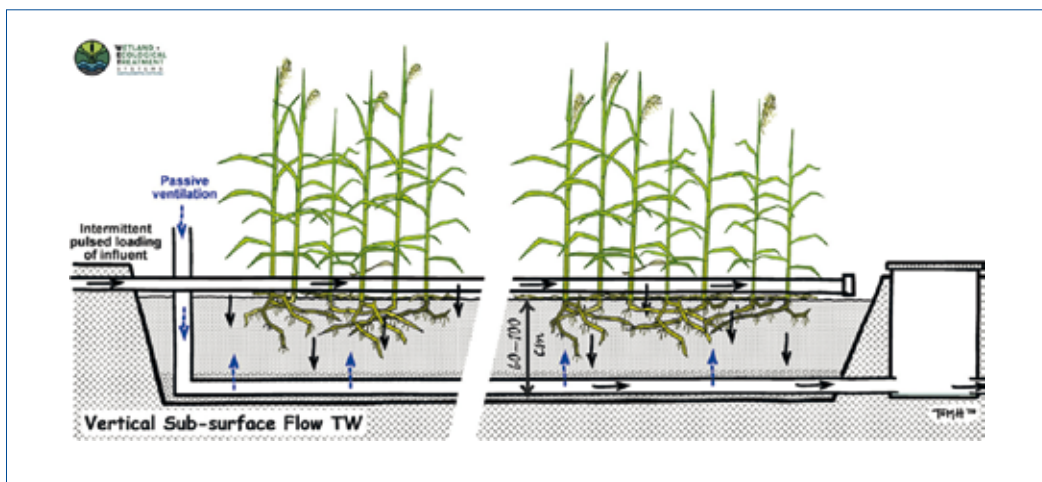
Varje avrinningsområde är unikt. Vi föreslår därför en kombination av lösningar från figur 2:

- Inlopp: En slamficka som samlar upp grovt material före våtmarksfiltret bör övervägas.
- Filter: Två parallella biofilter, där ett används åt gången men båda kan ta emot vatten vid större händelser, är sannolikt en bra lösning för att förbättra nedbrytningen av organiskt material. I kuperad terräng kan filtren behöva byggas i flera

horisontella nivåer för att utnyttja ytan effektivt.

- Filtermaterial: Grov sand ger god infiltration men låg fosforbindningsförmåga. Blandning med kalkhaltigt material eller användning av Filtralite P® kan vara lämpliga alternativ. Ett grovt topplager kan skydda mot erosion. Alternativt kan energin i inloppsvattnet dämpas i en slamficka eller genom strukturer som sprider vattnet. Inblandning av biokol bör också övervägas, eftersom det kan förbättra adsorption av metaller och mikroföroreningar.
- Vegetation: Vass är en vanlig art i VBO-anläggningar, men vi rekommenderar att växtpaletten breddas för att skapa robustare system. Man kan exempelvis plantera flera arter tvärs vattenflödet och observera vilka som fungerar bäst under lokala förhållanden.

Oregelbunden belastning: Eftersom VBO-system utsätts för bräddning med ojämna mellanrum, får de tid för nedbrytning mellan händelserna. Detta kan dock vara en utmaning för växtligheten. Där det är möjligt kan en delström från en bekkelukning (kulverterad bäck) bidra med basflöde som håller vegetationen vid liv. Dräneringsrör som placeras något ovanför botten kan skapa ett litet vattenmagasin, vilket ökar överlevnaden under torka. För att ändå bibehålla syretillgången kan perforerade luftningsrör installeras. Som en reservlösning kan dräneringsrör i botten monteras men blockeras, så att de vid behov



Figur 3. Fördelning av bräddvatten i rör på ytan säkerställer spridning, men kan täppas igen av partiklar. Luftning av dräneringsröret ökar syretillgången i filtret. Avrinnningen kan regleras i utloppets brunn (ill.: Tom Headley, www.wetsystem.com.au, med tillstånd).

kan öppnas om luktproblem uppstår.

Styrning av utflödet: Dräneringsrören kan ledas till en styrningsenhet som gör det möjligt att justera avrinningen. En riktlinje är 0,02 L/(m² filteryta-s), men justerbarhet gör det möjligt att optimera rening-
en för särskilt viktiga parametrar.

Efterpolering: Där utrymme finns, och där extra god rening är önskvärd, kan ett öppet våtmarkssystem anläggas nedströms VBO-anläggningen. Detta kan även ta emot vatten vid extrema händelser då VBO överskrids (jfr. figur 2C och Braskerud, 2002).

Sammanfattningsvis visar litteraturen att vertikalflödes-biofilter har stor potential för effektiv

rening av bräddvatten under nordiska förhållanden, förutsatt att systemen dimensioneras och anpassas lokalt. På detta sätt kan VBO bidra till kostnads-
effektiv hantering av kombinerade avloppssystem och vara ett alternativ till att separera rörsystemet.

Det reviderade avloppsdirektivet från EU ställer skärpta krav på avloppsplaner och bräddningar. Direktivet förväntas innebära införande av loka-
la lösningar för att minska och kanske rena brädd-
utsläpp. VBO-anläggningar kan därmed bli en viktig kompletterande teknik för att uppfylla miljökrav på vattenkvalitet i urbana områden.

Referenser

- Bachmann-Machnik, A., D. Mayer, A. Waldhoff, S. Fuchs and U. Dittmer (2018). Integrating retention soil filters into urban hydrologic models – Relevant processes and important parameters. *J. of Hydrology*; 442-453.
- Beral, H., D. Dagenais, J. Brisson, and M. Kõiv-Vainik (2023). Plant species contribution to bioretention performance under a temperate climate. *Sci. of Tot.*
Env. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160122>
- Braskerud, B.C. (2002). Design considerations for increased sedimentation in small wetlands treating agricultural runoff. *Wat. Sci. and Tech.* (45) 9; 77-85.
- Dittmer, U., D. Meyer, K. Tondera, B. Lambert and S. Fuchs (2016). Treatment of CSO in retention soil filters – Lessons learned from 25 years of research and practice. NOVATECH.
- Dittmer, Ulrich (pers. medd. 2022). Technical University of Kaiserslautern.
- Grothmann, D. Uhl, M. Lambert, B., und Fuchs, S. 2016. - Retentionsbodenfilter - Handbuch für Planung, Bau und Betrieb // Reed Bed Filters (retention soil filters) - Handbook für design, construction and operation. Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW (MKULNV), Düsseldorf (Hrsg.)
- Hogland, W.R Berntsson, R., och Larsson, M (1985). Breddavlopp. Byggforskningsrådet ISBN 91-540-4580-0. Stockholm
- Joner J. Erik (pers. medd. 2022). Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), Ås, Norge
- Kearney, K. (2019). Combined sewer overflow constructed wetlands: A review of current practices and comparison of Design and operation in Europe. Master thesis, Univ. of Cph.
- Leikanger och Roseth (2016). Veivænning og driftstiltak. Overvåking av avrenning samt oppfølging av feie- og sandfangmasser ved ulik vedrift. NIBIO-rapport nr. 2/2016. ISBN nr: 978-82-17-01748-6.
- Lindholm, O. (2011). Regnvannsoverløp. Status, krav og dokumentasjon av utslipp. *Vann nr. 1*; 83-90
- Mæhlum, Trond (pers. medd. 2023). Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), Ås, Norge
- Meyer, D., P. Molle, D. Esser, S. Troesch, F. Masi and U. Dittmer (2013). Constructed Wetlands for Combined Sewer Overflow Treatment—Comparison of German, French and Italian Approaches. *Water*. 5; 1-12.
doi: <https://doi.org/10.3390/w5010001>
- Meyer, D. and U. Dittmer (2014). RSF_Sim – A simulation tool to support the design of constructed wetlands for combined sewer overflow treatment. *Ecol. Eng.*, vol. 80; 198-204.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.032>
- Norsk Vann, 2001. Forurensninger i overvann fra urbane flater —vannmiljømål og rensetiltak. Rapport B 27
- Paus, K.H., J. Morgan, J.S. Gulliver, T.O. Leiknes and R.M. Hozalski (2014). Effects of Temperature and NaCl on Toxic Metal Retention in Bioretention Media. *Journal of Environmental Engineering*, 140 (10)
- Piscitelli, L., Rivier, PA., and Mondelli, D. (2018). Assessment of addition of biochar to filtering mixtures for potential water pollutant removal. *Environ Sci Pollut Res* 25, 2167–2174.
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0650-6>
- Rizzo, A., K. Tondera, T.G. Pálffy, U. Dittmer, D. Meyer, C. Schreiber, N. Zacharias, J.P. Ruppelt, D. Esser, P. Molle, S. Troesch and F. Masi (2020). Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment: A state-of-the-art review. *Sci. of the tot.* *Env.* 727, 138618. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138618>
- Tondera, K., A. Rizzo, and P. Molle (2021). Treatment wetlands for combined sewer overflow. I Cross m.fl. (red.) *Nature-Based Solutions for Wastewater Treatment. A series of fact-sheets and case studies*, IWA Publishing; 144-145. *Nature-Based Solutions for Wastewater Treatment (silverchair.com)*
- Uhl, M. and U. Dittmer (2005). Constructed wetlands for CSO treatment: an overview of practice and research in Germany. *Wat. Sci. Tech.*, 51 (9); 23–30.
doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0280>
- Vohla, C., M. Kõiv, H. John Bavor, F. Chazarenc and Ü. Mander (2011). Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands—A review. *Ecol. Eng.* 37; 70-89.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.08.003>
- Quaranta, E., S. Fuchs, H.J. Liefing, A. Schellart and A. Pistocchi (2022). Costs and benefits of combined sewer overflow management strategies at the European scale. *J. of Envir. Manag.* 318, 115629.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115629>
- Åkerström, A. och B.C. Braskerud (2025). Biofilter for rensing av avløpsvann fra overløp. Erfaringer ved bruk av jord og vegetasjon i tre anlegg i Tyskland for mulig bruk i Norge. *Vann nr. 2/2025*; 196-211. <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2025/06/Akerstrom.pdf>