

Optimerad design av biofilter och svackdiken/diken för flödesutjämning och rening

Optimized design of biofilters and swales/ditches for flow detention and treatment



Thomas Larm¹, Anna Wahlsten¹, Maria Nordgren¹, Johan Kjellin²

¹ StormTac, Närkesgatan 8, 116 40 Stockholm, thomas.larm@stormtac.com

² Tyréns, Sturegatan 4, 784 31 Borlänge

Sammanfattning

Studier av biofilter fokuserar ofta på rening av föroreningar, men deras förmåga att fördröja kraftiga flöden studeras sällan. I den här studien presenteras en optimerad design av biofilter och svackdiken som beräknas ge både bra rening och flödesutjämning även vid kraftiga flöden. I en fallstudie beräknades erforderlig fördröjningsvolym i dessa och jämfördes med densamma för torra och våta dammar. Höjden på inloppsbrunnen anpassas till erforderlig fördröjningsvolym och reningseffekt. Brunnen ansluter både till dräneringsledningen och det strypta utloppet. Porvolymen under jord utnyttjas för biofilter. Simuleringar utfördes med modellen StormTac Web. Den nya biofilterkonstruktionen visade sig ha liknande eller större fördröjningskapacitet (beroende på släntlutning och anläggningsdjup) än svackdiken, torra och våta dammar för samma anläggningsyta. Simuleringarna visade att följande av 10 anläggnings-specifika parametrar gav störst påverkan och variation på erforderlig fördröjningsvolym (i fallande ordning) för biofilter: 1) h_8 . Höjd på brunn över växtbädd; 2) k_G . Hydraulisk konduktivitet för undergrund; 3) h_1 . Tjocklek reglervolym; 4) f_{Qred} . Flödesreduktionsfaktor för utlopp; 5) h_4 . Tjocklek makadamlager; 6) h_2 . Tjocklek växtbädd; 7) p_2 . Porositet växtbädd och 8) z . Släntlutning. Motsvarande resultat för 5 studerade parametrar för svackdiken gav samma storleksordning för samma parametrar (de fyra först nämnda för biofilter följt av släntlutning med minst påverkan), men högre värden på fördröjningsvolym än för biofilter. För svackdiken påverkas även fördröjningskapaciteten av längslutning och placering av eventuella dämmen.

Abstract

Studies of biofilters often focus on the treatment of pollutants, but their flow detention ability is rarely studied. This study presents an optimized design of biofilters and swales, which is calculated to provide both good treatment and flow detention even with heavy flows. In a case study, required flow detention volume was calculated in these and compared with dry and wet ponds. The height of the drain inlet is adapted to required flow deten-

tion and/or treatment, and the drain inlet connects both to the drain sewer and the outlet. The pore volume underground is utilized. Preliminary simulations were performed with the model StormTac Web. The new biofilter design had a higher capacity for flow detention compared to ditches, swales, and dry and wet ponds for the same stormwater facility area. The simulations showed that the following of the 10 facility-specific parameters had the greatest impact and variation on the required detention volume, (in descending order) for biofilters: 1) h_1 . Height of the well above the plant bed; 2) k_G . Subsoil hydraulic conductivity; 3) h_1 . Height of the flow detention volume; 4) f_{Qred} . Flow reduction factor for the outlet; 5) h_4 . Thickness macadam layer; 6) h_2 . Thickness plant bed; 7) p_2 . Porosity plant bed and 8) z . Side slope. The corresponding results for 5 parameters for the swale gave the same order of influence for the same parameters (the 4 first mentioned for biofilters followed by side slope with the least impact), but higher values of detention volume than for biofilters. For swales, the flow detention capacity is also impacted by longitudinal slope and the use of check dams.

Keywords: optimized design biofilter swale ditch flow detention treatment

Introduktion

Det är vanligt att biofilteranläggningar (nedsänkta växtbäddar) endast utformas och dimensioneras för rening av dagvatten. De kraftigaste flödena från de mest intensiva regnen bräddas då förbi, antingen före eller i anläggningen via en bräddbrunn. Det är även vanligt att svackdiken och övriga diken i första hand utformas och dimensioneras för transport av dagvattenflöden och har därmed en längslutning, minst 0,5 % (Mustaffa et al., 2016). De medför även viss rening av föroreningar, särskilt svackdiken för vilka den flacka släntlutningen medför lägre vattenhastigheter och därmed bättre förutsättningar för rening. Figur 1 visar traditionella principskisser på ett biofilter där de kraftigaste flödena bräddas utan fördröjning upp till kapaciteten på utloppsledningen och på ett svackdike dimensionerat för transport av dagvattenflöde och för viss rening.

Nya dagvattenlösningar eller optimerad design avseende befintliga åtgärdstyper behövs för att både bra rening och flödesutjämning ska kunna uppnås. Det finns ett växande behov av anläggningar där dessa effekter kombineras. Rådande klimatförändringar, urbanisering och förtätningar av redan urbana områden medför ökad risk för översvämningar och ökad föroreningstransport till recipienterna. Att förändra utformningen av befintliga biofilter, växtbäddar/regnbäddar, svackdiken och diken är en kostnadseffektiv åtgärd som skulle kunna utnyttjas. Detta innefattar att se över möjligheten att strypa utlopp och åstadkomma fördröjning i redan befintliga anlägg-

ingsvolym. Att använda en förbättrad design omfattar även nya anläggningar där det planeras utföras olika typer av biofilter, svackdiken och diken i områden som förtätas eller exploateras. Dimensioneringen av anläggningarna behöver då inte endast anpassas för nya dimensionerande regn och kommande klimatförändringar (Larm et al., 2023) utan även efter anläggningspecifika förutsättningar/parametrar.

Det är vedertaget att reningseffekten ökar i biofilter, svackdiken/diken och torra dammar om man anlägger upphöjda brunnar så att en större andel av inkommande dagvatten kan infiltrera och renas genom växtbädden innan dagvattnet leds vidare till utloppet (Larm och Blecken, 2019). Det är också vedertaget att fördröjning av toppflöden kan åstadkommas genom att utnyttja fördröjningsvolymen över växtbädden i dessa typer av dagvattenanläggningar. Biofilter kan fungera som fördröjningsmagasin för fördröjning av toppflöden från urbana områden om tillräcklig magasinvolym tillhandahålls genom nedsänkning av växtbädden och eventuell ytterligare fördröjningsvolym i ett underliggande makadammagasin (Penn och Bowen, 2018; Fridell och Jergmo, 2015; Fridell et al., 2023). Även befintliga diken och svackdiken kan nyttjas för fördröjning genom att använda strypa utlopp. Utloppen behöver då dimensioneras med hänsyn till uppdämningsnivåer i anläggningarna vid dimensionerande återkomsttid, regnvaraktighet och klimatteffekter (Larm et al., 2023).

Genom att kombinera dessa renings- och fördröjningsfunktioner kan anläggningarnas utformning

optimeras för både fördröjning och rening. Det gäller att anpassa och utnyttja anläggningarnas volymer för både flödesutjämning och rening, vilket inte minst är viktigt i urbana områden där det kan vara svårt att hitta tillräckliga ytor och volymer för att minska översvämningsriskerna och föroreningsbelastningen till recipienterna.

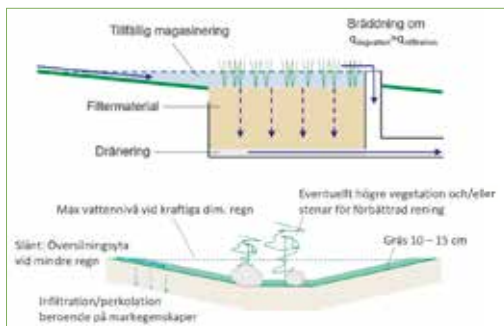
Förslag på optimerad design har tagits fram så att anläggningarna får större kapacitet att fördröja kraftiga flöden och därmed minska översvämningsrisker, samtidigt som de även fortsättningsvis ska kunna användas för rening av dagvatten.

Syftet med artikeln är att presentera en optimerad design av biofilter och svackdiken/diken för förbättrad kombinerad rening och flödesutjämning av dagvatten, samt att visa att man faktiskt kan uppnå bra flödesutjämning av kraftiga flöden i biofilter, från 10- till 30-årsregn (Fridell et al., 2023) – t.o.m. bättre än i våta och torra dammar för vissa anläggningsdjup och släntlutningar. Syftet är också att testa hur ändrad utformning genom justering av anläggningsspecifika parametrar kan användas för att få tillräcklig flödesutjämning samt att visa vilka parametrar som påverkar mest.

Arbetet har finansierats av VINNOVA-projektet SECURE (dnr. 2021-02458).

METOD

Förslag på optimerad design har tagits fram för ett biofilter och ett svackdike. Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web (StormTac, 2023) har använts för att simulera fördröjningsvolymer för olika utformningar av biofilter och svackdiken.

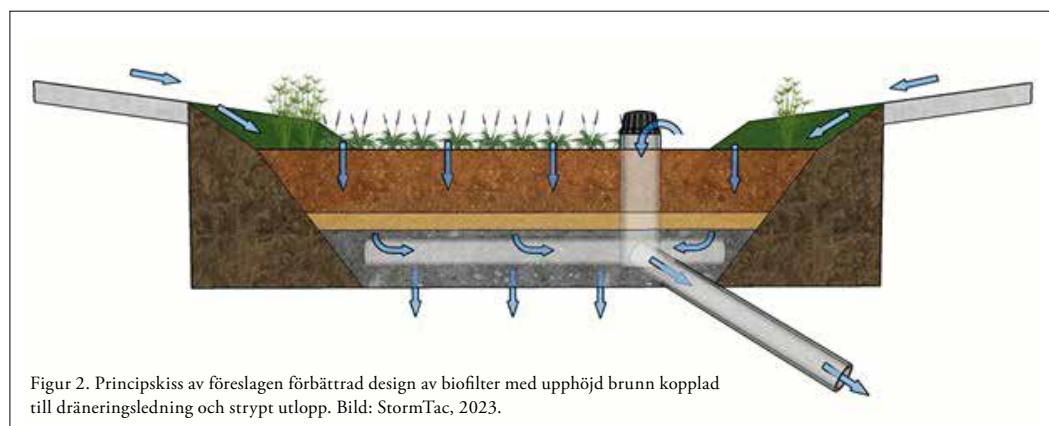


Figur 1. Principskisser av traditionella biofilter (överst) och svackdike/dike (underst) (Larm och Blecken, 2019)

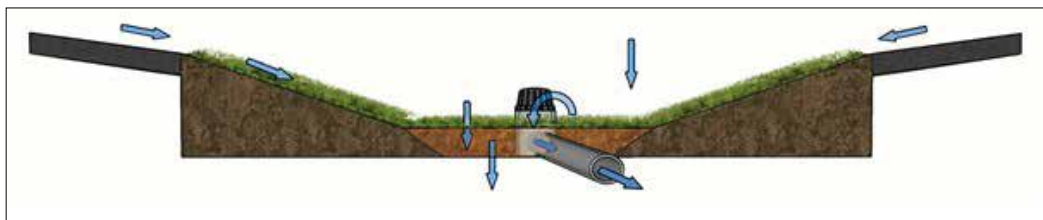
Optimerad design – biofilter

Traditionell design av ett biofilter är att anlägga en bräddbrunn som bräddar förbi toppflödena enligt figur 1. Figur 2 visar framtagen optimerad design (StormTac, 2023) av biofilter med upphöjd brunn för ökad rening. Ett strypt utlopp är direkt kopplat till brunnen och dräneringsledningen. Om man utformar anläggningen enligt principen redovisad i figur 2 kan både effektiv rening via upphöjd brunn och fördröjning åstadkommas, där mindre rening och mer fördröjning erhålls om man sänker nivån på brunnen över växtbädden. Brunnen kan även ligga i nivå med växtbädden men det ger mindre infiltration och sämre rening.

Det strypta utloppet i figur 2 utgörs av en utgående dagvattenledning med mindre dimension där man kan anpassa dimensionen och lutningen för önskad flödeskapacitet och erforderlig strypling (maximalt utflöde). Alternativt kan man anlägga en flödesregu-



Figur 2. Principskiss av föreslagen förbättrad design av biofilter med upphöjd brunn kopplad till dräneringsledning och strypt utlopp. Bild: StormTac, 2023.



Figur 3. Principskiss av föreslagen förbättrad design av svackdiken med upphöjd brunn och strypt utlopp. Bild: StormTac, 2023.

lator vid utloppet till utgående dagvattenledning från biofiltret.

Släntlutningen påverkar yteffektiviteten med större erforderlig yta vid flackare släntlutning. Släntlutningen i figur 2 är relativt brant, ca 1:1,5 men den kan även utföras helt lodrät (ingen släntlutning) av betong eller flackare.

Optimerad design – svackdiken

Figur 3 visar framtagen optimerad design (StormTac, 2023) av svackdiken med upphöjd brunn för ökad rening och ett strypt utlopp som är direkt kopplat till brunnen. Om man utformar svackdikedet (eller ett vanligt vägdike) enligt bilden kan man åstadkomma både mer effektiv rening via upphöjd brunn och fördröjning via strypt utlopp, där mindre rening och mer fördröjning erhålls om man sänker nivån på brunnen över växtbadden.

Det strypta utloppet i figur 3 utgörs av en utgående dagvattenledning med mindre dimension där man kan anpassa dimensionen och lutningen för önskad flödeskapacitet och erforderlig strypning (maximalt utflöde). Alternativt kan man anlägga en flödes-

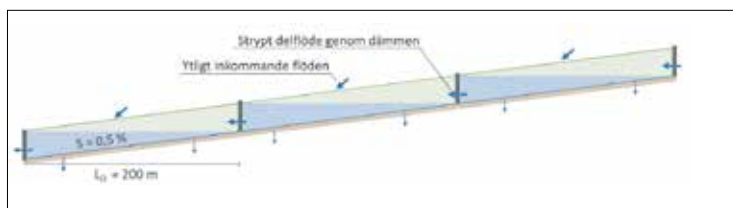
regulator vid utloppet till utgående dagvattenledning från svackdikedet.

Släntlutningen påverkar yteffektiviteten med större erforderlig yta vid flackare släntlutning. Släntlutningen i figur 2 är ca 1:3, men den kan även utföras flackare. Flackare släntlutning och lägre längslutning ger lägre vattenhastigheter och högre rening. Flackare lutning än 1:2 är här antagen som definition för svackdike, medan släntlutning på 1:2 eller brantare definierar ett gräsdike med generellt lägre reningseffekt (StormTac, 2023).

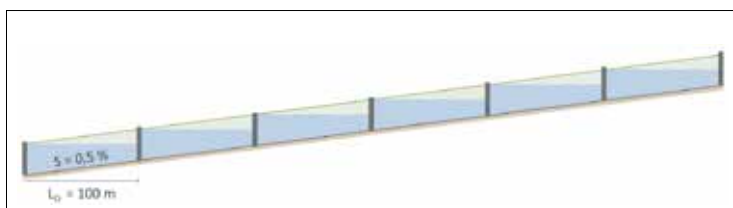
För svackdiken och diken påverkas också fördröjningskapaciteten och yteffektiviteten av längslutningen, samt hur längdsektionen utnyttjas med placering av dämmen, se figur 4–5. Detta beskrivs och diskuteras närmare i avsnittet Resultat och diskussion.

Beräkning av erforderlig fördröjningsvolym (V_d)

För att åstadkomma erforderlig funktion för både flödesutjämning och rening av dagvatten behöver man utreda och anpassa olika anläggnings-specifika parametrar efter förekommande krav på både flödes-



Figur 4. Princippprofil över svackdike med längslutning och dämmen samt strypning genom dämmen. Svackdikedet i fallstudien delades upp i fem delsträckor enligt principen i figuren. Figuren illustrerar längst rekommenderade avstånd mellan dämmen.



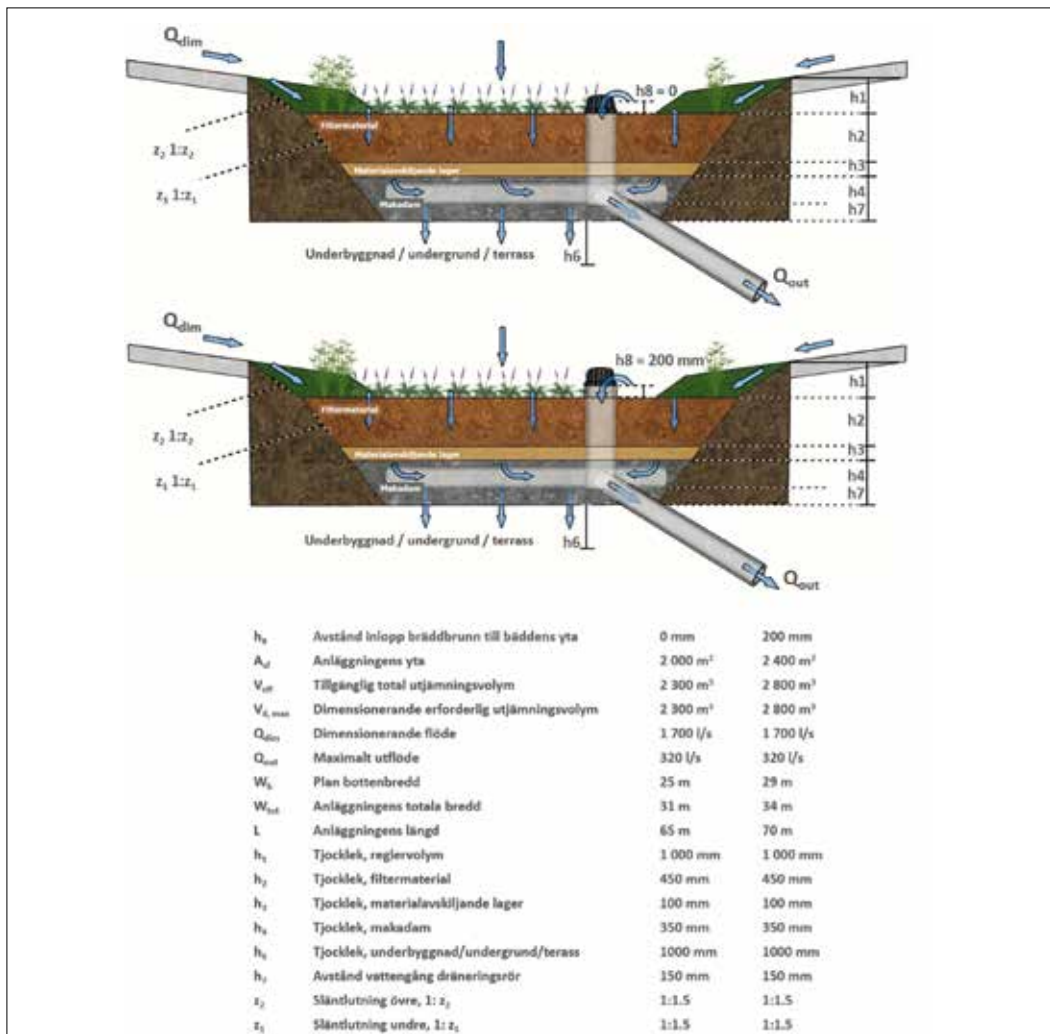
Figur 5. Tätare placering av dämmen ökar fördröjningskapaciteten i svackdikets längdsektion och därmed anläggningens yteffektivitet.

utjämning och rening. Funktionerna och processerna som beaktas redovisas nedan.

StormTac Web tar hänsyn till olika infiltrationshastigheter och porvolym i olika material, bräddhöjd, strypning och exfiltrationshastigheten i undergrunden ner till grundvattnet. Modellen beräknar volymer för varje regnvaraktighet såsom flödesutjämning beräknas enligt P110 (Svenskt Vatten, 2010), men skillnaden här är att vid viss strypning och vissa varaktigheter så dämmer vatten upp genom porerna i olika material i biofiltret tills dessa fylls. Porerna fylls i detta fall underifrån genom att vattnet stiger upp

i konstruktionen p.g.a. strypning och uppdämning av vatten. Porerna kan samtidigt som detta sker även fyllas uppifrån via infiltration genom växtbädden med olika infiltrationshastigheter genom materialen. Dessutom kommer vid viss beräknad tidpunkt en bräddning ske samtidigt som det fortsätter infiltrera, men när den bräddningen sker över bräddbrunnen så kommer flöden som överstiger utloppsledningens kapacitet att dämna upp i konstruktionen.

Modellen hittar med hänsyn till ovan nämnda faktorer den maximala fördröjningsvolymen som erfordras, vid dimensionerande regnvaraktighet och valt



Figur 6. Beräknat biofilter (växtbädd) för hela Fagersjöområdet med och utan upphöjd brunn, 200 mm. Återkomsttid: 10 år, klimatfaktor 1,25. Notationer enligt StormTac Web (StormTac, 2023).

utflöde. Beräkningen inkluderar direkt nederbörd på biofilterytan. I beräkningen av fördröjningsvolym tas även hänsyn till rinnetidens fördröjande effekt enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016). Om man anger att det inte finns någon upphöjd kupolbrunn ($h_g=0$, se figur 6) innebär det att modellen räknar med att det finns ett rör i marknivå som leder ner vattnet med en kapacitet som motsvarar angivet maxutflöde från biofiltret. Tiden under vilken biofiltrets porer fylls upp och då vattnet rinner ut till utloppet beaktas. Modellen tar hänsyn till alla regnvaraktigheter utan begränsning i använda funktioner. Som standard används data över regnintensiteter från Dahlström (2010) upp till 24 timmar och från 24 timmar till max 96 timmar används data från Dahlström (1979). Utifrån dessa data beräknas max erforderlig volym för dimensionerande varaktighet. Hydraulisk konduktivitet beaktas i beräkningarna. Om man inte anger en tät mark ner till grundvattnet sker även ett utflöde utöver angivet maxutflöde vilket minskar erforderlig utjämningsvolym. Beräkningen för erforderligt flödesutjämningsbehov i anläggningarna tar alltså hänsyn till komplexa processer och effekten av olika flöden vid olika varaktigheter genom anläggningsytan respektive genom bräddningen och ut via ledning samt eventuellt även ner via perkolations genom botten på anläggningen.

I de fall man anger att ingen upphöjd bräddbrunn finns ($h_g=0$, se figur 6), att ingen direkt nederbörd på anläggningsytan medräknas och att inget utflöde via perkolations sker p.g.a. tät botten ($k_c=0$), så kommer resulterande utjämningsbehov bli samma som för beräkningarna enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016). För detta fall fungerar anläggningen ungefär som en torr damm med bottenutlopp. Detta medför att hela volymen över bottenutloppet blir tillgängligt för fördröjning och att avtappningen via utloppet från fördröjningsvolymen påbörjas direkt vid regnets början, vilket skapar en mindre erforderlig fördröjningsvolym jämfört med att höja bräddbrunnen och därmed fördröja avtappningen via denna. Höjer man bräddbrunnen (sätter t.ex. $h_g=200$ mm) innebär det att när det börjar regna, beroende på infiltrationsskapaciteten genom marken och viss mätnadsgrad i växtbädden, börjar vattnet stiga upp mot bräddbrunnen innan avtappningen från denna påbörjas. När

avtappningen påbörjas är redan en del av anläggningens fördröjningsvolym vattenfylld och en större volym kommer att erfordras för att fördröja flödet till maximalt tillåtet utloppsflöde jämfört med vid en sänkt bräddnivå. Att höja bräddbrunnen skapar därmed en större erforderlig fördröjningsvolym. En större area behövs då och en större area skapar även större yta för tillkommande direkt nedfall på ytan.

I fall med upphöjd bräddbrunn ($h_g>0$) tar modellen hänsyn till att flödet genom växtbädden kommer att rinna ner och nå utflödet vid en viss beräknad regnvaraktighet som beror på materialdjupen och deras respektive hydrauliska konduktivitet. Vid hög hydraulisk konduktivitet kan då dagvattnet rinna ner genom översta materialskiktet med hög hastighet och högt flöde som räknas som ett utflöde och skapar ett visst utjämningsbehov, men när detta flöde når utloppet från anläggningen så begränsas det av utloppets/stryppningens kapacitet som kan vara mindre än flödet genom materialen. Modellen beaktar tiderna och flödena när vattnet bräddar in i bräddbrunnen. Hur dessa olika flöden samverkar genom växtbädden, genom bräddbrunnen och ut från anläggningen via ledning, och eventuellt även ut genom botten av anläggningen, är komplext. Olika stora flöden uppkommer vid olika regnvaraktigheter.

Beräknad erforderlig fördröjningsvolym (V_d) beror på, utöver maxutflödet och avrinningsytan, externa respektive anläggningsspecifika parametrar. I en tidigare studie (Larm et al., 2023) utreddes de externa parametrarnas påverkan, t.ex. regnets återkomsttid/regnintensitet, klimatfaktorn och avrinningskoefficienten. I denna artikel utreds istället de anläggningsspecifika parametrarnas påverkan på V_d . Dessa utgörs av hydraulisk konduktivitet (k) genom anläggningens material och genom anläggningens botten, porvolym för och tjockleken av de olika materialen, höjden på bräddningen (h_g), tjockleken (reglerhöjden) av fördröjningsvolymen över anläggningen (h_1) och flödesreduktionsfaktorn (Svenskt Vatten, 2016; StormTac, 2023). Ytterligare parametrar som studeras är släntlutningen och för svackdiken/diken även längslutningen. Erforderlig fördröjningsvolym (m^3) beräknas i StormTac Web i grunden utifrån samma ekvation som anges enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016) och som tar hänsyn till områdets rinnetid. Hänsyn i

StormTac Web tas dock även till olika delflöden genom växtbädden, ut genom ”bräddbrunnen”, ut via ledning, dämning upp genom materialen i deras porvolym och eventuellt ut genom anläggningens botten.

Det bör observeras att med ”bräddbrunn” avses i detta fall en förhöjd intern brunn inom anläggningen till vilken större flöden bräddas in i, tillika de flöden som inte infiltrerar genom växtbädden. Bräddfunktionen innebär i detta fall att alla flöden som går genom denna brunn och via växtbädden antas ledas ut genom samma ledning i enlighet med princip som visas i bilderna i figur 2–3. Så det är inte samma typ av bräddning (bypass, förbiledning) som avses i bilden i figur 1 och som istället avser en bräddning där större flöden bräddas förbi anläggningen utan rening. Denna andra typ av förbiledning kan man också använda sig av, men då uppnås ingen flödesutjämning vid intensiva regn. För att uppnå flödesutjämning krävs utjämning av toppflöden inom anläggningen vilket kan åstadkommas genom strypt utlopp från dimensionerad anläggning. Ju högre man anlägger bräddbrunnen inom reningsanläggningen desto mindre flödesutjämnande volym över bräddbrunnen åstadkoms, så vill man ha en större flödesutjämnande effekt minskar man höjden på brunnen och stryper samtidigt utloppet till vad som maximalt kan tillåtas. Strypningen sitter alltså på utloppsledningen eller att ledningen kan minskas i dimension tack vare skapad fördröjning. Även bräddat vatten stiger upp i bädden. I de fall man ansluter till en ledning med större kapacitet, men ändå behöver en fördröjning, så kan man anlägga ytterligare en bräddbrunn i högre nivå (vid dimensionerande reglerhöjd h_1 i figur 6) som bypassar strypningen när biofiltrets kapacitet är fylld, för att minska översvämningen vid kraftigare regn än vad man dimensionerat anläggningen för.

Beräknad erforderlig fördröjningsvolym i StormTac Web kan bli större än beräknad volym i enlighet med beräkningsmetodik i P110 om diket eller biofiltret dimensionerats med upphöjd bräddbrunn, vilken medför större erforderlig flödesutjämningsvolym men bättre rening i och med ökad infiltration tills flödet bräddas genom bräddbrunnen, och i och med den volym som finns mellan växtbäddens yta och brunnen överkant.

Dimensionerande erforderlig fördröjningsvolym

beror utöver utloppsflödet på de anläggningsspecifika parametrarna bräddbrunnens höjd över växtbädden (h_g) och anläggningens storlek, eftersom modellen räknar med flödet som kommer av direkt nederbörd på anläggningsytan. Det senare medför även att sidoytor och bottenytan ger en perkolations vidare ner mot grundvattnet, beroende på angiven hydraulisk konduktivitet genom undergrunden.

Fallstudie

För ett delavrinningsområde i Fagersjö till sjön Magelungen i Stockholms stad beräknades erforderlig fördröjningsvolym för dagvattnet från området. Beräkningarna utfördes med StormTac Web, v23.3.1. Avrinningsområdet utgörs av ett blandat bostadsområde med centrum, en genomfartsväg (Magelungsvägen) och en banvall, samt grönytor i form av skogsmark, parkmark och blandat grönområde. Området är 36 ha stort med en dimensionerande avrinningskoefficient enligt Rationella metoden på 0,28, viktad från avrinningskoefficienter per markanvändning från P110 (Svenskt Vatten, 2016). Det dimensionerande inflödet Q_{dim} till studerad anläggning är beräknat till ca 1 700 l/s och maxutflödet Q_{out} från anläggningen är antaget till 320 l/s, vilket beräknats vara ungefär samma som 10-årsflödet före exploatering (med endast naturmark). Antagen klimatfaktor är 1,25. Dimensionerande rinnsträcka är 1 070 m och rinntid 25 min.

Området redovisas i mer detalj i Larm et al. (2023) där bl.a. den yttre påverkan av klimatförändring (”klimatfaktorer”), dimensionerande regn, avrinningskoefficienter vs regnintensiteter och gröna ytors effekt på dimensionerande flöde och erforderlig fördröjningsvolym studerades. I denna studie beräknas istället fördröjningseffekten för olika utformning av biofilter och svackdiken för samma fallstudie, d.v.s. för olika anläggningsspecifika parametrar.

RESULTAT OCH DISKUSSION

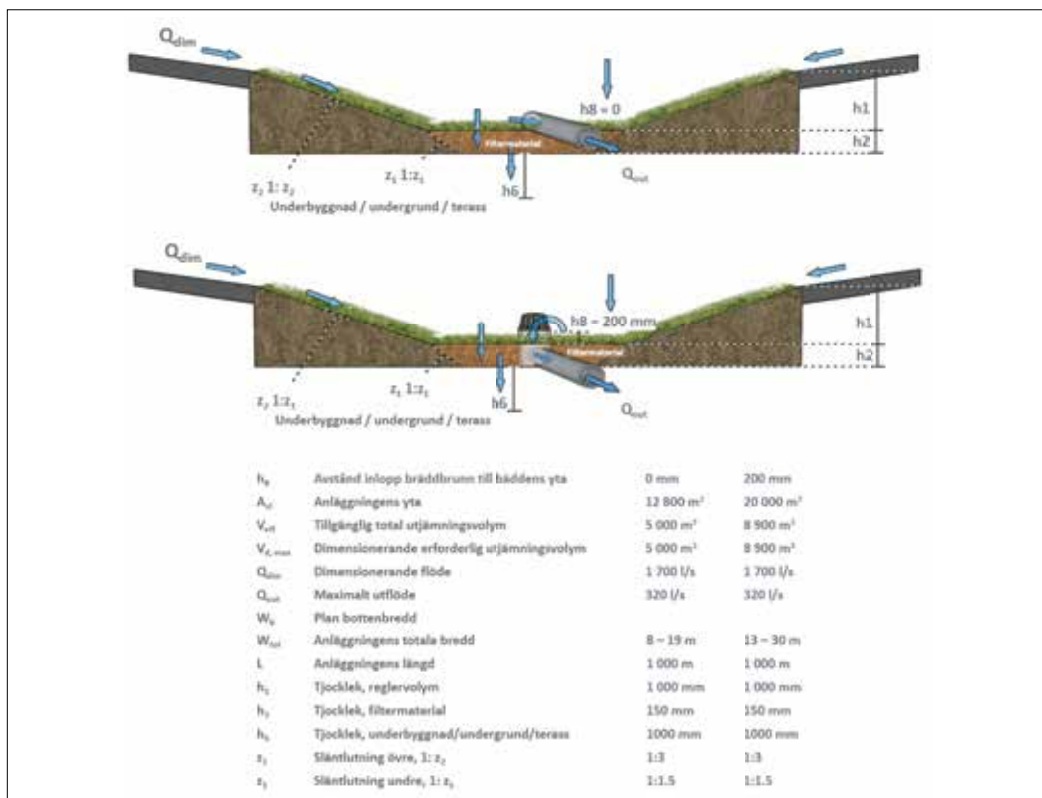
Dimensionerade anläggningar med optimerad design i jämförelse mot andra anläggningstyper

Tabell 1 visar resultat från fallstudien för 10-årsregnet med klimatfaktor 1,25, ett dimensionerande flöde från området Q_{dim} på ca 1 700 l/s och antaget maxutflöde på

Tabell 1. Ytbehov (A_{tot}) och fördröjningsbehov (V_d) från fallstudien i Fagersjö för anläggningstyper med olika släntlutningar (z). Anläggningsdjup 1,0 m, upphöjd brunn $h_8=0$ och 200 mm eller reglerhöjd $h_{r1}=0$ och 200 mm, återkomsttid 10 år, klimatkfaktor 1,25 och max utflöde 320 l/s.

Anläggning	$h_8=h_{r1}=0$ mm			$h_8=h_{r1}=200$ mm		
	A_{tot} (m ²)	V_d (m ³)	A_{tot}/V_d (m-1)	A_{tot} (m ²)	V_d (m ³)	A_{tot}/V_d (m-1)
Biofilter, $z=1:1,5$	2 000	2 300	0,9	2 400	2 800	0,9
Svackdike, $z=1:3$	12 800	5 000	2,6	20 000	8 900	2,2
Torr damm, $z=1:3$	2 400	2 400	1,0	2 900	2 900	1,0
Våt damm, $z=1:3$	2 700	2 400	1,1	2 800	2 600	1,1

320 l/s. Ett fall för biofilter, svackdike och torr damm beräknas utan upphöjd bräddbrunn ($h_8=0$) respektive med upphöjd brunn ($h_8=200$ mm). En reglerhöjd på 1,0 m antogs (upp till samma nivå som omgivande mark i detta fall, se figur 6) för att ge jämförande resultat som för torra och våta dammar. Anläggningsdjupet för våt damm (1,0 m) avser endast reglerhöjden över permanent vattenyta i detta fall. Ett biofilter med grundare utformning utreds i nästa avsnitt (tabell 2). Den djupa utformningen kan användas för biofilter som tar hand om dagvatten från större områden och benämns då här för regnbädd (eng. "Rain garden"), men har samma funktion som mindre biofilter för mindre områden. För våta dammar avser fallen; 1) dammar med en reglervolym med reglerhöjd $h_r = 1\ 000$ mm och ett strypt utlopp; 2) motsvarande reglerhöjd (200 mm) för en första reglervolym för extra rening under avrinning med tömningstiden 13 h för ett utflöde på 10 l/s genom ett utloppshål vid



Figur 7. Beräknat svackdike för hela Fagersjöområdet med och utan upphöjd brunn, 200 mm. Återkomsttid: 10 år, klimatkfaktor 1,25. Notationer enligt StormTac Web (StormTac, 2023).

permanent vattenyta, och en övre reglerhöjd $h_{r,2}=800$ mm med utflöde 310 l/s över ett skibord 200 mm över permanent vattenyta, vilket ger total reglerhöjd $h_r=1\ 000$ mm även här.

Resultaten av de olika beräkningsfallen redovisas i tabell 1. Anläggningarnas geometrier kan dock påverka resultaten i tabellen. De utgår i tabellresultaten från att biofilter har en ganska kraftig släntlutning på 1:1,5 (figur 6) och att både svackdiken (figur 7), torra och våta dammar har släntlutningen 1:3. Påverkan av andra släntlutningar testas dock som anläggningsspecifik parameter för jämförelse med påverkan av andra parametrar (tabell 2). Vi introducerar som underlag i Tabell 1 en beräkning av yteffektivitet som kvoten mellan anläggningsyta (A_{tot}) och fördröjningsvolym (V_d). Mest yteffektiv anläggning är den med lägst kvot, d.v.s. biofiltret. Biofilter kan byggas med brantare slänter eftersom man har mothåll av biofiltrets bädd (figur 2). De kan även byggas med lodräta slänter om de utförs i betong, vilket även gäller damm även om jordslänter är vanligast för dessa. Yteffektiviteten ändrades inte mellan fallen med nedsänkt respektive upphöjd brunn för biofilter, torr damm och våt damm. Att den torra dammen blir något yteffektivare än den våta dammen, trots samma geometrier, förklaras av att vi för den torra dammen, liksom för biofilter och svackdiken, räknat med ett extra utflöde genom undergrunden, motsvarande 8 mm/h (tabell 2 och figur 6–7). Som ett standardfall har vi alltså räknat med att den våta dammen skall ha en tät botten för att hålla den permanenta vattennivån, medan vi medräknat viss exfiltration för övriga anläggningar. Effekten av olika medräknad exfiltration på erforderlig fördröjningsvolym visas för biofilter i tabell 2.

Ett biofilter utan upphöjd brunn ($h_g=0$) klarar att på mindre yta, och därmed även mindre erforderlig fördröjningsvolym, fördröja dagvattnet ner till maxutflödet i jämförelse med övriga anläggningstyper, se tabell 1. En förklaring till att de senare får större erforderlig fördröjningsvolym är direkt nederbörd som ökar det totala flödet till anläggningen ju större ytan är. Tillgänglig volym under marken kan även utnyttjas i den förbättrade designen med strypt utlopp och minskar ytbehovet i biofiltret. Mindre släntlutning är en annan förklaring.

Reningseffekten blir lägre i fallet utan upphöjd

brunn eller utan en reglervolym för rening och strypt flöde med tillräcklig tömningstid. Ett fall har därför studerats där anläggningarna även behöver ha bättre rening vilket kan erhållas med upphöjda brunnar eller i fallet med våt damm en tillkommande första reglervolym med litet utflöde och tillräckligt lång tömningstid (minst ca 12–24 h under medelstora avrinningstillfällen) (Larm och Blecken, 2019), se de tre sista kolumnerna i tabell 1. Erforderlig fördröjningsvolym blev mindre i biofilter än i svackdike och torr damm, men något högre än i en våt damm. Ytbe

Tabell 2. Erforderliga fördröjningsvolym (m³) för hela området Fagersjö och för biofilter med olika normala variationer på anläggningsspecifika data per parameter. Notationerna hänvisar till de som anges i StormTac Web.

DIMENSIONERANDE PARAMETER	V _d (m ³)
h_g. Höjd på brunn över växtbädd	
Avstånd inlopp bräddbrunn till den övre bäddens yta.	
0 mm	2 400
100 mm	2 800
200 mm (standard)	3 500
k_g. Hydraulisk konduktivitet för undergrund	
0 mm/h (tät botten)	3 700
8,0 mm/h (mark) (standard)	3 500
200 mm/h (sand)	2 600
h₁. Tjocklek reglervolym. Reglerhöjd över växtbädd	
400 mm (standard)	3 500
1000 mm	2 800
f_{Qred}. Flödesreduktionsfaktor för utlopp	
Medel utflöde – max utflöde (Svenskt Vatten, 2016 och StormTac, 2023)	
2/3 (standard för strypt utlopp)	3 500
0,95 (flödesregulator vid utloppet)	2 900
1,0 (pumpat utflöde)	2 800
h₄. Tjocklek makadamlager	
200 mm	3 700
350 mm (standard)	3 500
600 mm	3 300
h₂. Tjocklek växtbädd (filtermaterial)	
150 mm	3 700
450 mm (standard)	3 500
600 mm	3 400
p₂. Porositet för växtbädd. Porositet filtermaterial	
0,15	3 600
0,25 (standard)	3 500
0,40	3 300
z. Släntlutning	
1:0	3 400
1:1,5 (standard)	3 500
1:3	3 600
1:5	3 600
p₄. Porositet för makadamlager	
0,30	3 500
0,40 (standard)	3 500
0,45	3 400
k₂. Hydraulisk konduktivitet för växtbädd (filtermaterial)	
50 mm/h	3 500
200 mm/h (standard)	3 500
500 mm/h (grov sand)	3 400

hovet blev dock lägst för biofiltret även för detta fall.

En slutsats från beräkningarna är att ett biofilter utformat för fördröjning i första hand, på mindre yta än en våt damm, kan ge större fördröjning vid kraftiga flöden såsom vid ett 10-årsregn. Beräkningarna visar även på en hög fördröjningseffekt i biofilter i jämförelse med torra dammar med bottenutlopp. Exemplet visar att biofilter med förbättrad design t.o.m. kan ge större fördröjningseffekt än en torr damm med samma yta, vilket beror på ett optimerat utnyttjande av tillgänglig porvolym i underliggande material i kombination med en strypning av utflödet såsom för torra dammen.

Svackdiken är minst ytteffektiva och mycket stora ytor skulle behövas för att åstadkomma tillräcklig fördröjningsvolym i detta fall med ett relativt stort avrinningsområde. Längslutningen på minst 0,5 % gör att dämmen med strypningar skulle erfordras minst var 200:e meter (vilket räknades med i tabell 1) på en sträcka om ca 1 000 m för att hela längsektionen ska kunna nyttjas till fördröjning. Dämmen ökar tillgänglig fördröjningsvolym i svackdiken. Dikesbredden behövde vara ca 8 m första delsträckan för att ökas mot ca 20 m sista sträckan innan utloppet, förutsatt att bräddbrunnen inte är upphöjd ($h_g = 0$ mm). I det fall bräddbrunnen är upphöjd ($h_g = 200$ mm) blev dikesbredden på första sträckan ca 13 m och på sista sträckan ca 30 m. Det blir komplicerade seriekopplade beräkningar med strypningar och delområden som tillkommer efter varje dämme, med olika strypta utflöden längs sträckningen. Här utfördes en överslagsberäkning där det maximalt tillåtna utflödet på 320 l/s delades upp i 5 lika stora delområden, med 1/5 av maximalt tillåtet utflöde från första delsträckan, 2/5 från andra delsträckan o.s.v.

Det krävdes för denna fallstudie med sitt ganska stora avrinningsområde orimligt stora anläggningsytor och volymer för att klara utflödet 320 l/s. En överslagsberäkning av tillgänglig volym i dikessektionen gav att cirka hälften av volymen som skapas under dikeskant blir tillgänglig för fördröjning.

Överslagsberäkningen bygger dels på antagandet att dämmen placeras med längsta rekommenderade avstånd som beskrivs i figur 4. En större del av längdsektionen kan nyttjas om dämmena placeras med kortare avstånd, vilket visas i figur 5. Överslagsberäkning

gen bygger också på en förenkling av tvärsnittet, som specifikt för denna volymberäkning approximerades till motsvarande kanal (släntlutning 0), alltså ett tvärsnitt som inte varierar i bredd med vattenytan i dikets längdriktning. För ett dike med liten bottenbredd och flacka slänter minskar volymen ytterligare uppströms i respektive delsträcka.

Svackdikets ytteffektivitet kan ökas genom att minska avståndet mellan dämmena. På så sätt kan en större del av längdsektionen utnyttjas för fördröjning. Figur 5 visar motsvarande fall med tätare placering av dämmen.

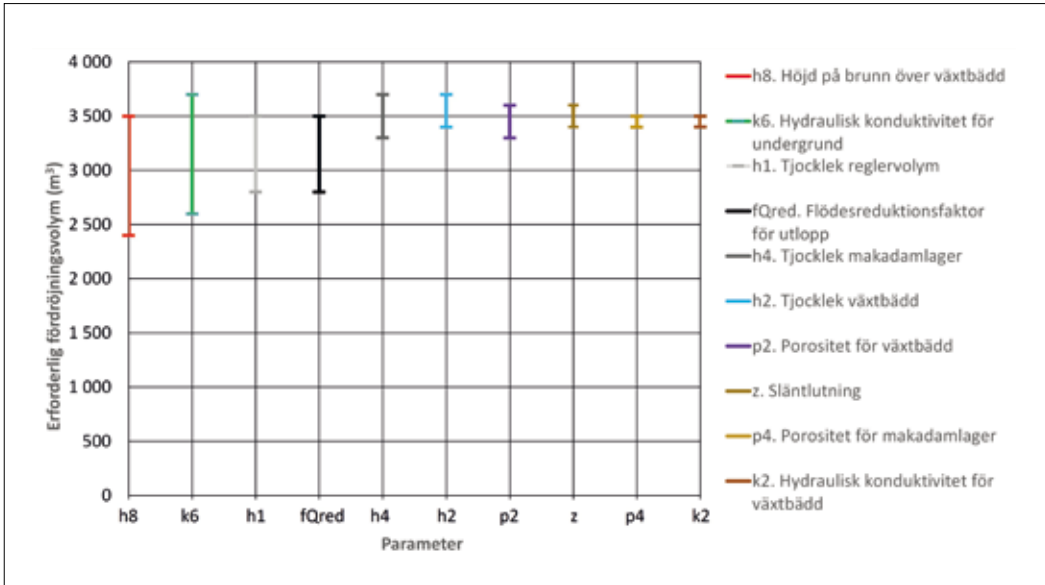
Om inga dämmen med strypningar skulle anläggas erhålls en tillgänglig fördröjningsvolym endast långsamt med en mindre sträcka längst nedströms i anläggningen. Denna sträcka skulle vid 0,5 % längslutning uppgå till 200 m och skapa en fördröjningsvolym om endast cirka 500 m³ vid en bredd på 8 m, vilket inte alls skulle vara tillräckligt för antaget strypt utflöde och som skulle resultera i stora bräddvolymer.

Dimensionerade anläggningar för fallstudierna

Figur 6 visar designen av en biofilteranläggning för fallstudien, i form av en regnbädd med ganska djup reglerhöjd på 1 m för att vara jämförbar med torra och våta dammar, utan respektive med upphöjd brunn, enligt tabell 1. Figur 7 visar designen av svackdiken för fallstudien, med reglerhöjd på 1 m för att vara jämförbar med torra och våta dammar, utan respektive med upphöjd brunn, enligt tabell 1.

Påverkan av anläggnings-specifika parametrar på beräknad erforderlig fördröjningsvolym

10 parametrar och deras påverkan på beräknad erforderlig fördröjningsvolym för fallstudien har utretts för biofilter, vilka anges med rekommenderade min-, standard- och maxvärden samt med korta förklaringar i tabell 2. Dessa värden utgår från tidigare utförda litteraturstudier (t.ex. Larm och Blecken, 2019) och anges i StormTac Web. För svackdiken undersöktes påverkan för de 5 parametrar som påverkar svackdiken. Dessa parametrar har justerats för att studera deras specifika påverkan och utgår alla från ett standardfall enligt tabellen, men där en i taget av dessa värden i standardfallet alltså justerats enligt tabellen.



Figur 8. Påverkan av 10 olika dimensionerande parametrar på erforderlig fördröjningsvolym i biofilter i Fagersjö. Erforderliga fördröjningsvolym (m³) i biofilter för fallstudien med olika normala variationer på anläggningsspecifika parametrar (tabell 2) och i ordning efter hur stor variation på resultatet som respektive parameter ger.

Tabellen sammanställer respektive parameters påverkan på erforderlig fördröjningsvolym för ett större biofilter (regnbädd) för hela området, vilket i praktiken alternativt kan delas upp i mindre anläggningar. Simuleringarna har skett med StormTac Web. För biofilter har de utgått från att längden ungefär är dubbla bredden på anläggningen. I övrigt har beräkningarna anpassats för angivet maxutflöde 320 l/s, återkomsttid 10 år och klimatfaktor 1,25. Standard tjocklek för anläggningarnas reglerhöjder är satt till 400 mm, d.v.s. en grundare utformning än vad avsåg den jämförande studien med andra anläggningstyper i tabell 1. Som standardfall angavs även en upphöjd brunn 200 mm över växtbädden för att spegla en mer optimerad design med förbättrad reningseffekt, men som även ger fördröjande funktion.

Resultaten från tabell 2 med variationer för varje parameter visualiseras i figur 8 för biofilter.

De anläggningsspecifika parametrarna ger resulterande erforderliga fördröjningsvolym för biofilter inom ett spann på ca 2 400–3 700 m³. Av de anläggningsspecifika parametrarna för biofilter gav följande parametrar i storleksordning störst påverkan på erforderlig fördröjningsvolym; 1) h₈. Höjd på brunn

över växtbädd; 2) k₆. Hydraulisk konduktivitet för undergrund (som ger ett extra utflöde); 3) h₁. Tjocklek på reglervolym; 4) f_{Qred}. Flödesreduktionsfaktor för utlopp och 5) h₄. Tjocklek makadamlager. Övriga parametrar gav mindre variation i resultatet.

Av de anläggningsspecifika parametrarna för svackdiken så är det färre parametrar som påverkar resulterande V_d. Följande parametrar påverkar resultaten och anges i storleksordning avseende störst påverkan på erforderlig fördröjningsvolym; 1) h₈. Höjd på brunn över växtbädd; 2) k₆. Hydraulisk konduktivitet för undergrund (som ger ett extra utflöde); 3) h₁. Tjocklek på reglervolym; 4) f_{Qred}. Flödesreduktionsfaktor för utlopp och 5) z. Släntlutning. Detta är samma ordningsföljd som för biofilter, men genomgående högre V_d för svackdiken, vilket beror på större yta med större inloppsflöde i och med direkt nederbörd på dikesytan. För svackdiken påverkas fördröjningskapaciteten även mycket av parametern Längslutning, inkl. placering av eventuella dämmen, se beskrivning nedan i avsnittet Längslutning.

En vidare analys gjordes genom att ändra antaganden för olika indata. Reglerhöjdens inverkan på erforderlig V_d blir större med än utan upphöjd brunn,

vilket också är tydligt när man ser på den specifika inverkan av brunnens höjd h_8 för svackdiken. I tabell 1 ser man att svackdiket behöver vara mycket större både till yta och volym om en upphöjd brunn anläggs. Om $h_8=0$ istället för använda $h_8=200$ mm anges för svackdiken så minskas påverkan betydligt på V_d av ändring i värden på h_1 . Tjocklek reglervolym. Vilken minsta tjocklek som väljs för reglervolymen påverkar också parametrarnas variation och därmed angiven ordningsföljd på påverkan. Detta medför att det är svårt att jämföra storleksordningen för påverkan av parametrarna då tjockleken av reglervolymen och brunnshöjden påverkar varandra. Resultaten visar utöver förhållandet mellan dessa två parametrar dock ändå vilka av de 10 parametrarna som ger störst påverkan, och speciellt stämmer inbördes påverkan för föreslagen förbättrad design med upphöjda brunnar.

Avseende parameter z . Släntlutning så påverkar den beräknad yteffektivitet (A_{tot}/V_d). I tabell 2 har även en lägre reglerhöjd ($h_1=400$ mm) använts som standard än enligt tabell 1 ($h_1=1000$ mm). Den lägre reglerhöjden ger betydligt större anläggningsytor som ökar vid allt flackare släntlutningar. För standardfallet ökade yteffektiviteten för biofilter från 0,9 till 1,5 för den grundare utformningen, se tabell 3. Med flackare släntlutning ökar kvoten för yteffektivitet, d.v.s. anläggningen upptar större yta för viss erforderlig fördröjningsvolym. Liksom jämförelsen mellan anläggningstyper i tabell 2 för djupare anläggningar så visade sig biofilter vara yteffektivare än dammar även för grundare anläggningar, men då har vi jämfört med våta dammar som har en första reglervolym med samma djup som den upphöjda brunnen i biofilter för att få jämförbara värden som ger ökad rening.

Svackdiken och diken har inte redovisats i tabellen eftersom längslutningen (se nästa avsnitt) har betydligt större påverkan än släntlutningen och med ett så litet anläggningsdjup skulle många dämmen med strypningar och mycket breda utformningar på dikena erfordras. Det bedöms inte vara en rimlig anläggningstyp för denna fallstudie för att få ner utflödet tillräckligt på den sträcka som finns att tillgå (ca 1 000 m). Svackdikena skulle bli extremt breda och uppta alldeles för stora ytor.

I tabell 3 redovisas även inom parenteser mots-

varande värden för djupare anläggningar (1,0 m), från tabell 1. Om vi skulle jämföra en damm ($z=1:3$; $h_{r1}=200$ mm) med djupare reglerhöjd med ett grundare biofilter så blir dammen yteffektivare med kvoten $A_{tot}/V_d=1,1$ jämfört med kvoten 1,5 för biofilter ($z=1:1,5$; $h_8=200$ mm). Den senare jämförelsen blir dock inte helt korrekt då porvolymen är medräknad för biofiltret men inte för dammen som även har en stor permanent vattenvolym under dess reglervolym. Om den senare skulle medräknas skulle kvoten för den djupare dammen minska till 0,63 (2 800/4 400). För det grundare biofiltret skulle kvoten minska till 0,78 (5 400/6 900) om man tar med den totala volymen som anläggningen upptar, inte bara den effektiva porvolymen. Även här skulle dammen bli lite mer yteffektiv än biofiltret, men då jämför man anläggningar med olika djup, dock med normala djup för respektive anläggningstyp.

Längslutning

För svackdiken och diken, som utformas med längslutning för transport, har längslutningen och placering av dämmen längsmed längsektionen en mycket stor inverkan på tillgänglig fördröjningsvolym (Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual, 2006). Placering av dämmen och strypta utlopp har stor påverkan på utnyttjandet av tillgänglig volym. Längslutningen bör vara mellan ca 0,5 – 2 % (Minnesota stormwater manual, 2023), även om uppgifter upp till 5–6 % förekommer (Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual, 2006; Mustafa et al., 2016). Utöver längslutningen och avståndet mellan dämmen påverkar även tvärsektionens geometri tillgänglig fördröjningsvolym i svackdiket. En tvärsektion med bred bottenbredd och skarp släntlutning förlorar mindre volym uppströms medan en tvärsektion med smal bottenbredd och flacka slänter förlorar mer volym uppströms.

För anläggningar med djup på 1,0 m så skulle det räcka med 4 dämmen (största rekommenderat avstånd mellan dämmena enligt figur 4) och att dela upp diket i 5 delar om vardera 200 m för fallstudien, antaget den lägsta längslutningen 0,5 % (1,0 m/200 m) annars i 20 delsträckor om 50 m vid 2 % längslutning (1,0 m/50 m). För grundare anläggningar med djup 0,4 m skulle diket behöva delas upp i 13 delar

Tabell 3. Ytbehov (A_{tot}) och fördröjningsbehov (V_d) från fallstudien i Fagersjö för olika släntlutningar (z). Anläggningsdjup 0,4 m (1,0 m från tabell 1 inom parenteser), upphöjd brunn $h_g=200$ mm eller reglerhöjd $h_{r1}=200$ mm, återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25 och max utflöde 320 l/s.

Anläggning	Parameter	Enhet	z=1:0	z=1:1,5	z=1:3	z=1:5
Biofilter	V_d	m^3	3 400	3 500 (2 800)	3 600	3 600
	A_{tot}	m^2	5 100	5 400 (2 400)	5 700	6 100
	A_{tot}/V_d	m^{-1}	1,5	1,5 (0,9)	1,6	1,7
Torr damm	V_d	m^3	4 200	4 200	4 200 (2 900)	4 200
	A_{tot}	m^2	9 600	9 700	9 900 (2 900)	10 000
	A_{tot}/V_d	m^{-1}	2,3	2,3	2,4 (1,0)	2,4
Våt damm	V_d	m^3	3 100	3 100	3 100 (2 600)	3 100
	A_{tot}	m^2	7 700	7 700	7 800 (2 800)	8 100
	A_{tot}/V_d	m^{-1}	2,5	2,5	2,5 (1,1)	2,6

om vardera 80 m för största rekommenderat avstånd mellan dämnena vid 0,5 % längslutning, eller 50 delar om vardera 20 m för största rekommenderade avstånd mellan dämnena vid 2 % längslutning.

För varje strypning fordras en större fördröjningsvolym i kommande delsträcka. Då det rör sig om långa anläggningar som behöver delas upp i många delsträckor är svackdiken därför mindre yteffektiva och inte att rekommendera för större avrinningsområden. De kan vara mer yteffektiva i mindre avrinningsområden, men bör inte anläggas för att ta hand om dagvatten för större områden än ca 2 ha enligt Minnesota stormwater manual (2023) och enligt LID SWM Planning and Design Guide contributors (2023) eller 4 ha enligt Mustaffa et al. (2016). Svackdiken bedöms vara ett bra alternativ för mindre områden än ca 2–4 ha där man behöver en kombination av transport, rening och fördröjning. Ett exempel på att de inte blir yteffektiva och orimligt stora för större områden är denna fallstudie med arean 36 ha.

SLUTSATSER

Biofilter med optimerad design är yteffektivare än torra dammar och svackdiken vad gäller fördröjningsvolym vid schakt i naturmaterial. Den förbättrade designen utnyttjar tillgänglig porvolym i underliggande material i kombination med en strypning av utflödet.

Även svackdiken/diken kan utformas och dimensioneras för att fördröja kraftiga flöden via strypta utlopp. Släntlutningen och anläggningsdjupet är

nyckeln här; biofilter med motfyllnad av växtbädden tål brantare släntlutning än öppna dammar och diken vid schakt i naturmaterial och blir därför yteffektivare. Om istället betongkonstruktion eller andra konstgjorda material nyttjas och med djupare konstruktion än biofilter så kan diken, svackdiken, torra och våta dammar bli yteffektivare gällande fördröjningsvolym i och med att de inte har en fyllnad/bädd som tar upp utrymme även om våta dammars permanenta volym också tar upp utrymme. I området för fallstudien var svackdiken dock inte yteffektiva. På grund av avrinningsområdets storlek krävdes att svackdiket delades in i fem seriekopplade delsträckor, separerade av dämnena med längsta rekommenderade avstånd för utnyttjande av längdsektionen med hänsyn till längslutningen. Svackdiket behövde även utföras ca 1 m djupt för att inte med en grundare utformning kräva betydligt fler dämnena. Flera seriekopplingar resulterar i en ökande erfordrad fördröjningsvolym för respektive delsträcka. Svackdiken är därför inte att rekommendera i större avrinningsområden, men kan lämpa sig bättre i små avrinningsområden upp till ca 2–4 ha.

Metoden enligt P110 kan användas för beräkning av erforderlig flödesutjämning för en torr damm eller ett dike med bottenutlopp. När ett biofilter eller ett svackdike även skall dimensioneras för rening krävs att beräknad flödesutjämningsvolym tar hänsyn till effekten av upphöjd brunn och för biofilter även till underliggande lager.

Den tidigare studien (Larm et al., 2023) visar att externa faktorer såsom i synnerhet valet av regnets återkomsttid och avrinningskoefficienter

samt grönytors bidrag (Larm et al., 2023) påverkar resulterande erforderliga fördröjningsvolymerna mycket. Denna studie visar att även anläggningsspecifika parametrar har stor påverkan på fördröjningsvolymerna, särskilt höjd på brunnen över växtbädden, tjockleken på reglervolymen, hydraulisk konduktivitet för undergrund och tjocklek på makadamlaget i biofilter. Dessa faktorer och parametrar behöver utredas och optimeras innan anläggningarna projekteras för att maximera renings- och fördröjningseffekt utifrån de lokala förutsättningarna. De anläggningsspecifika parametrarna ger erforderliga fördröjningsvolymerna för biofilter och svackdiken inom ett snävare spann än för de externa parametrarna som redovisades i Larm et al. (2023) och som för samma fallstudie gav större skillnader för olika använda beräkningsfall, t.ex. avseende återkomsttid och påverkan av hur grönytor och avrinningskoefficienter simuleras.

Studien och beräkningarna visar avslutningsvis att biofilter kan utformas och dimensioneras för att ge effektiv fördröjning av kraftiga flöden. Möjligheten att bygga nya, och komplettera befintliga, dagvattenlösningar med denna typ av yteffektiv optimerad design innebär att en stor idag oanvänd fördröjningspotential kan nyttjas i våra städer och därmed öka förmågan att motstå framtida klimatförändringar och översvämningsrisker utan att i onödan ta viktiga exploateringsytor i anspråk.

Referenser

- Dahlström, B. (1979). Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys. Building Research Council in Sweden, Report R 18: 1979. 84 p- ISBN 91-540-2986-4.
- Dahlström, B. (2010). Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten utveckling 2010-05.
- Fridell, K. och Jergmo, F. (2015). Regnbäddar – biofilter för behandling av dagvatten. Movium Fakta #2, 2015.
- Fridell, K., Border, M. och Brattström, M. (2023). Levande stadsrum – en handbok i blågröngrå system. Edge, version 4.0, rev. 2023-11-30.
- Larm, T., Wahlsten, A., Kjellin, J., Ekeroth, S., Olsson, J. och Broekhuizen, I. (2023). Grönområdets och designens påverkan på avrinningskoefficienter för dimensionering av dagvattenanläggningar. VATTEN–Journal of Water Management and Research.
- Larm, T. och Blecken, G. (2019). Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten. Svenskt Vatten utveckling 2019-20.
- Minnesota stormwater manual (2023). https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Main_Page
- LID SWM Planning and Design Guide contributors. (2023). Sustainable Technologies Evaluation Program. <https://wiki.sustainabletechnologies.ca/index.php?title=Swales&oldid=15823>
- Mustaffa N., Ahmad N.A. och Razi M.A.M. (2016). Hydraulic performance of grassed swale as stormwater quantity control. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, No. 8, April 2016.
- StormTac (2023). Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web. <https://www.stormtac.com/>
- Penn, C.J. och Bowen, J.M. (2018). Design and construction of phosphorus removal structures for improving water quality. Springer, USA.
- Svenskt Vatten (2016). Publikation P110. Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem. Januari 2016.
- Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual (2006). December 30, 2006. <https://www.dovertownship.org/wp-content/uploads/2015/02/Document-68851.pdf>