



Dimensionering av biofilter och regnbäddar för dagvattenrening

Joakim Pramsten
2021-04-30

Tillsammans för världens
mest hållbara stad



STOCKHOLM
VATTEN
OCH AVFALL

Rapport

Diarienummer
20MB1444

Projektnummer
600346

Dimensionering av biofilter och regnbäddar för dagvattenrening

Beräkningsmetodik med teori och exempel

Joakim Pramsten
2021-04-30

© Stockholm Vatten och Avfall 2021

Författare: Joakim Pramsten, joakim.pramsten@svoa.se

Rapporten citeras: Pramsten, J. (2021). Dimensionering av biofilter och regnbäddar för dagvattenrening.
Stockholm Vatten och Avfall.

Internt Dnr: 20MB1444

Kontaktuppgifter: Stockholm Vatten och Avfall, 106 36 Stockholm

Telefon: 08-522 120 00

Webb: www.svoa.se

Innehåll

1	Inledning.....	3
2	Biofilter för dagvattenrening.....	4
2.1	Biofiltrets ytmagasin och dess funktion	6
2.2	Generell metodik för dimensionering av biofiltrets ytmagasin	7
3	Dimensionerande regndjup.....	8
4	Övergripande dimensionering av filteryta	10
4.1	Stegvis beräkning med utgångspunkt från dimensionerande regndjup	10
4.2	Formelberäkning med utgångspunkt från både hårdgjord yta och filteryta	11
4.3	Formelberäkning med utgångspunkt från enbart hårdgjord yta	12
4.4	Jämförelse mellan de olika beräkningsmetoderna för dimensionering av filteryta	12
5	Detaljdimensionering av filterbädd.....	13
5.1	Användning av Darcys lag för detaljdimensionering av filterbädd	13
5.2	Beräkning av dimensionerande infiltrationshastighet för filterbädden.....	14
5.3	Beräkning av dimensionerande hydraulisk konduktivitet för filterbädden	14
5.4	Beräkning av dimensionerande djup för filterbädden	15
6	Beräkning av reningseffekt.....	16
7	Frågor och svar	17
7.1	Ska avrinningskoefficienter användas i beräkningarna?.....	17
7.2	Ska grönytor inkluderas i beräkningarna?.....	17
7.3	Tar dimensioneringsmetodiken hänsyn till vinterförhållanden och snösmältning?.....	17
7.4	Kan hänsyn tas till ett i framtiden förändrat klimat vid dimensioneringen?	17
7.5	Kan hänsyn tas till igensättning av filtermaterialet tas vid dimensioneringen?	17
7.6	Kan biofilter med lutande botten dimensioneras med metodiken?.....	17
7.7	Kan ytmagasin vars yta är större än filterbädden dimensioneras med metodiken?	18
7.8	Kan föroreningar som perkolerar till omgivande jord räknas in i reningseffekten?	18
7.9	Vilken flödesutjämnande effekt ger ett biofilter som dimensionerats för rening?	19
7.10	Är det meningsfullt att räkna när det finns så många osäkerhetsfaktorer?	19
7.11	Räcker det inte att använda Darcys lag för att dimensionera filterytan?	20
8	Referenser	21

Appendix

Formelblad för dimensionering av biofilter och regnbäddar

1 Inledning

Krav på rening av dagvatten ställs allt oftare vid såväl nybyggnation som ombyggnation. En viktig anläggningstyp i dessa sammanhang är biofilter. Biofilter, eller regnbäddar som de ibland kallas, renar dagvatten genom att låta det infiltrera ned i en anlagd filterbädd vari föroreningar kan fastläggas eller tas upp av växter.

En utmaning vid anläggande av biofilter har varit att det har saknats en välgrundad och sammanhängande teori för dimensionering. Det har därför varit svårt att avgöra hur stort ett biofilter bör göras för att uppnå önskad effekt. Råd för utformning och val av enskilda dimensioneringsparametrar har visserligen funnits tillgängliga, till exempel att dimensionera biofilter så att 90–95 procent av den årliga avrinningsvolymen renas, att ge filterbädden en infiltrationskapacitet kring 100–300 mm/h samt att förse biofiltret med ett ytmagasin i vilket 100–300 mm vatten temporärt kan däckas upp vid större regn (Blecken 2016).

Hur stor yta ett biofilter behöver ha för att rena en önskad andel av den avrinnande årsvolymen vid en given kombination av parametrar har dock varit oklart. Ytbehovet har angetts i form av generella tumregler, till exempel att biofilter normalt kräver en yta motsvarande 1–5 procent av den anslutna hårdgjorda ytan (Blecken 2016). Hur ytbehovet påverkas av enskilda dimensioneringsparametrar har inte varit klarlagt och inte heller hur olika kombinationer av parameterval påverkar biofiltrets totala reningseffekt.

Denna rapport presenterar en dimensioneringsmetodik för biofilter som relaterar biofiltrets ytbehov dels till hur stor andel av årsavrinningen som ska renas och dels till anläggningsspecifika parametrar, till exempel hur stor yta som avrinner till biofiltret, vilken infiltrationskapacitet biofiltret har samt hur stort uppdämningsdjupet ovanpå filterbädden är.

Dimensioneringsmetodiken som presenteras redogör även för hur biofiltrets totala reningseffekt kan uppskattas om filterbäddens förmåga att avskilja föroreningar är känd.

Dimensioneringsmetodiken baseras på det teoretiska ramverk som presenterades i rapporten "Hydrologisk dimensionering av buffertmagasin för dagvatten" (Pramsten 2018). Eftersom abstraktionsnivån i den rapporten var relativt hög har det funnits ett behov av att redogöra för tankegångarna på ett mer lättillgängligt sätt. Det är syftet med denna framställning.

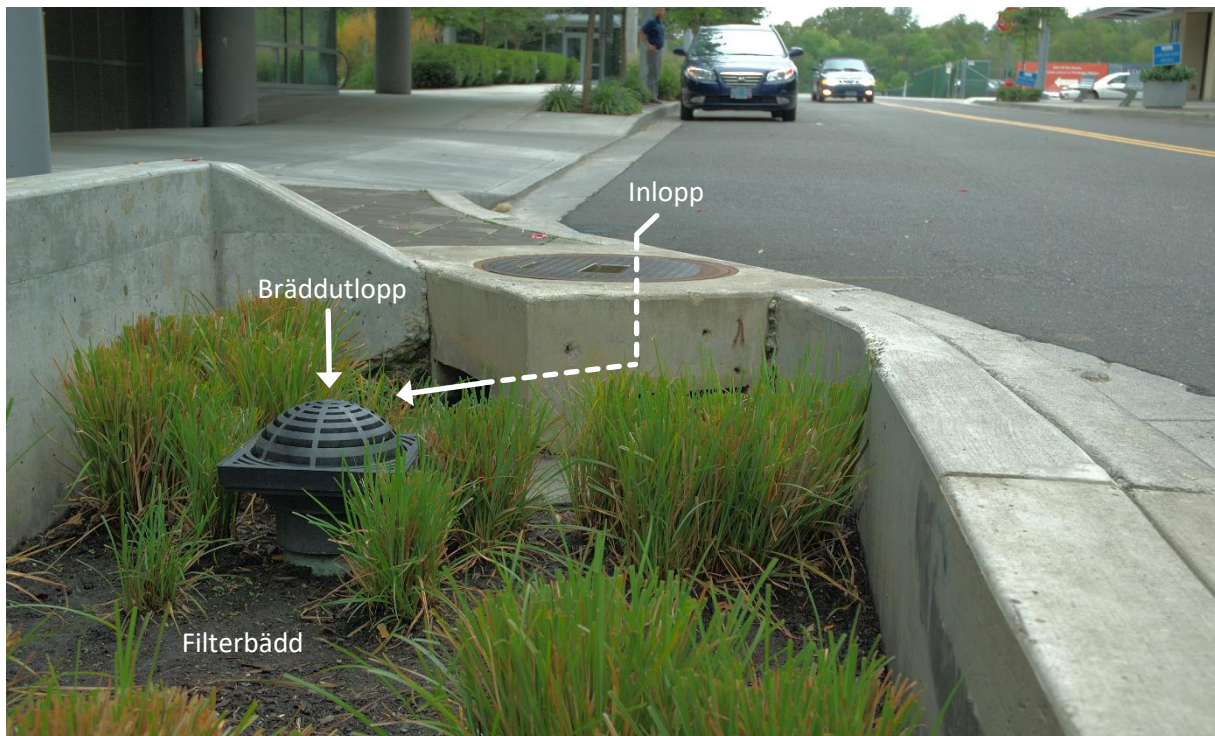
Dimensioneringsmetodiken gör inte anspråk på att ge en fullständig bild av alla delprocesser som pågår i ett biofilter. Den syftar istället till att vara ingenjörsmässig i det att den försöker beskriva biofiltret tillräckligt väl för att kunna dimensionera det med utgångspunkt från ett fåtal utvalda parametrar vilka torde vara väsentliga i dimensioneringssammanhang och som också torde vara möjliga att fastställa eller uppskatta. Metodiken ger en förenklad beskrivning av en mycket komplex verklighet, men inte lika förenklad som de tumregler som hittills har använts.

Dimensioneringsmetodiken bör kunna bidra till att öka såväl den konceptuella förståelsen av hur enskilda dimensioneringsparametrar påverkar ett biofilters funktion som den kvantitativa förmågan att förutse den sammantagna effekten av en given uppsättning dimensioneringsparametrar.

För att underlätta vid praktisk dimensionering har de viktigaste dimensioneringssambanden samlats i ett formelblad som biläggs rapporten som ett appendix.

2 Biofilter för dagvattenrening

Biofilter, eller regnbäddar som de ibland kallas, är nedsänkta infiltrationsytor som anläggs i syfte att rena dagvatten. Reningen av dagvattnet sker genom att vatten infiltrerar genom biofiltrets filterbädd varvid föroreningar och näringsämnen fastläggs i filtermaterialet, eller tas upp av växter. Biofilter kan utformas på olika sätt men infiltrationsytan är vanligen nedsänkt för att möjliggöra uppdamning av vatten ovanpå filterbädden. Vatten som inte ryms i biofiltret bräddas förbi och renas ej.

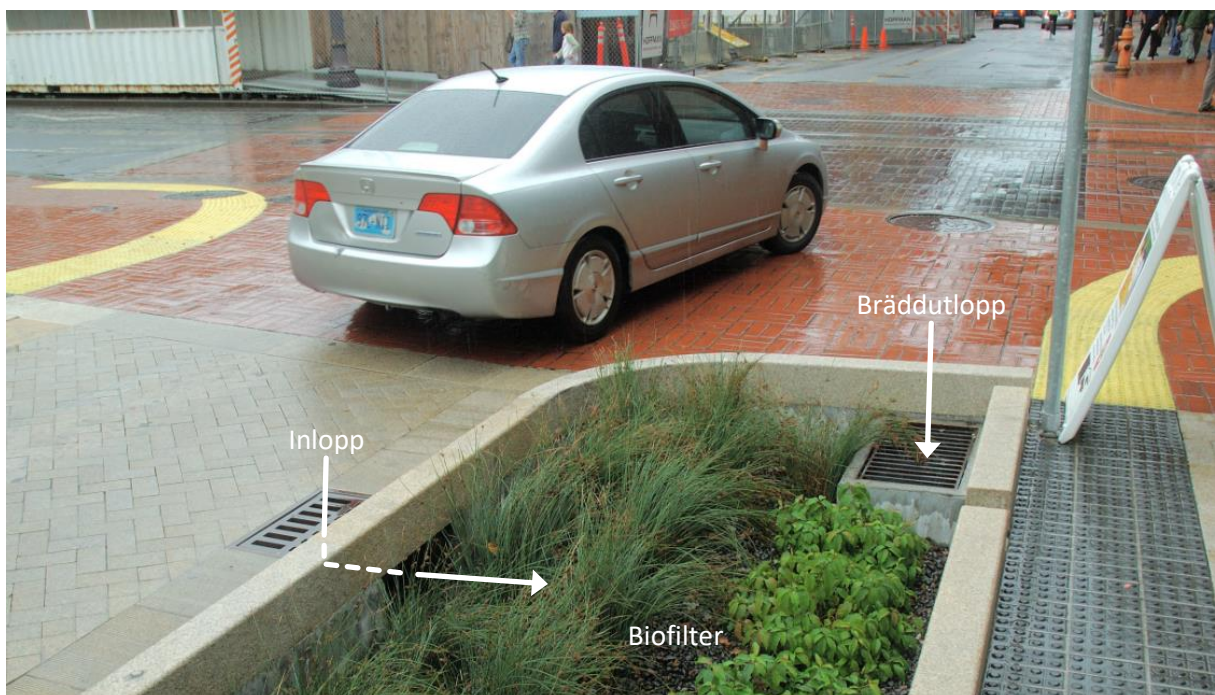


Figur 1 Biofilter med sandfångsbrunn vid inloppet och bräddutlopp i form av en kupolsil.

Det är viktigt att utforma inloppet till ett biofilter på ett sådant sätt att vattnet naturligt rinner in i filtret och inte förbi det. Det är också viktigt att biofiltrets botten är plan och inte lutar, eftersom möjligheten att dämma upp vatten ovanpå filterbädden då minskar drastiskt. Marken kring biofiltret kan dock luta så länge denna höjdskillnad kan tas upp av de sarger som normalt omger filtret.



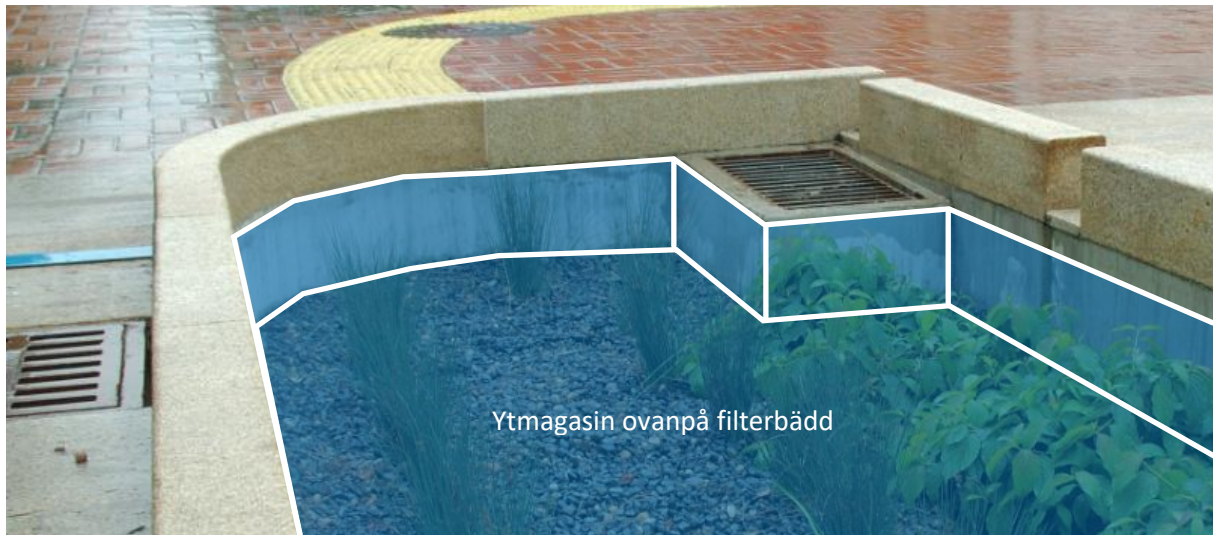
Figur 2 Biofilter med stenskravel som erosionsskydd vid inloppet och bräddutlopp i form av en slits i kantstenen. Filtret är plant och omgivande nivåskillnader tas upp av filtrets sarger.



Figur 3 Biofilter med sandfångsbrunn vid inloppet och bräddutlopp i form av en gallerbrunn.

2.1 Biofiltrets ytmagasin och dess funktion

Genom nedsänkning av filterytan i förhållande till omgivande mark möjliggörs en uppdamning av vatten ovanpå filterbädden. Uppdamning sker när tillrinningen till biofiltret är större än infiltrationskapaciteten genom filterbädden. Blir uppdamningen för stor bräddas det vatten som inte ryms.

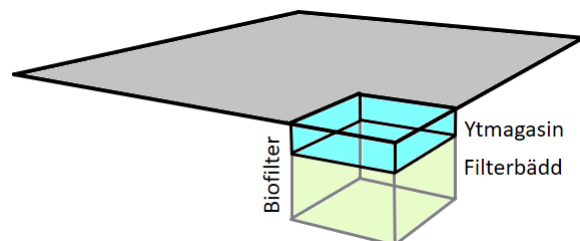


Figur 4 Illustration av ytmagasinet ovanpå filterbädden i ett biofilter.

För att inte riskera okontrollerad bräddning förses biofiltret vanligen med ett ordnat bräddutlopp som ligger högre än filterbäddens yta men lägre än inloppet till filtret. För att säkerställa god infiltrationskapacitet bör filterbädden dessutom vara dränerad i underkant, vilket kan ordnas genom ett dränerande skikt under filterbädden som avvattnas via en uppsamlade dräneringsledning.

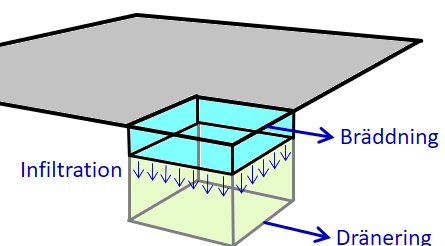
Funktionellt kan man dela in ett biofilter i två delar: ytmagasin och filterbädd.

Det är i filterbädden som själva reningen sker medan ytmagasinet nyttjas för lagring av vatten som ännu inte har hunnit infiltrera. Detta ska inte tolkas som att ytmagasinet saknar funktion för reningen. Det är tvärtom en mycket viktig del i det dynamiska system som ytmagasinet och filterbädden tillsammans utgör.



Vatten som bräddas förbi biofiltret renas inte och ju mer som bräddas desto lägre blir anläggningens totala reningseffekt. Filterbädden är en viktig komponent i biofiltret som avgör hur rent vattnet som passerar genom filtret blir. Ytmagasinet är en annan viktig komponent som tillsammans med filterbäddens infiltrationskapacitet avgör hur stor andel av vattnet som passerar filtret och renas.

För att systemet som helhet ska fungera väl måste det råda balans mellan infiltrationskapaciteten hos filterbädden och lagringskapaciteten i ytmagasinet. Att rena allt vatten som tillrinner är sällan en rimlig målsättning, men däremot att rena en tillräckligt stor andel av vattnet och att tillåta en mindre del att brädda.



2.2 Generell metodik för dimensionering av biofiltrets ytmagasin

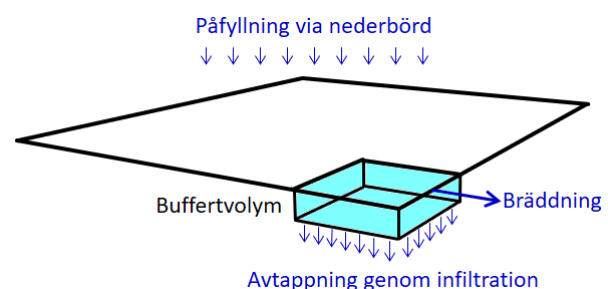
Om målsättningen med dimensioneringen av ett biofilter är att infiltrera och rena en viss andel av årsavrinningen räcker det inte att studera ett enskilt regntillfälle. Det duger heller inte att utgå från de intensitets- och varaktighetssamband som ofta används vid ledningsdimensionering eftersom dessa endast ger information om hur ofta regn med en viss intensitet och varaktighet uppträder, inte hur dessa regn fördelar sig i tiden. Dessutom beskriver intensitets- och varaktighetssambanden normalt bara lite större regnhändelser, med återkomsttider på några månader och uppåt. Detta spelar ingen roll vid ledningsdimensionering, där syftet är att klara av att hantera dessa större regn, men gör sambanden oanvändbara för dimensionering av biofilter eftersom även småregnen bidrar till årsavrinningen och därför måste beaktas vid dimensioneringen.

För att dimensionera ett biofilter som ska infiltrera och rena en viss andel av årsavrinningen måste istället en lång regnserie användas, gärna en som spänner över flera år (ju fler dess bättre). Vidare är det viktigt att tidsserien har registrerat nederbörden med tillräckligt hög upplösning, gärna i tidssteg kring fem minuter eller mindre. Genom att för varje tidssteg beräkna hur mycket vatten som tillförs biofiltrets ytmagasin från regnserien samt hur mycket vatten som under samma tidsperiod kan infiltrera ner genom filterbädden kan den aktuella fyllnadsgraden för ytmagasinet och eventuell åtföljande bräddning bestämmas. Detta är ett mycket omfattande beräkningsarbete och vid dimensionering har det dessutom den nackdelen att dimensionerna hos den undersökta anläggningen ännu inte är kända. Det kan lösas genom att inledningsvis anta anläggningsdimensioner och anläggningsparametrar som ter sig rimliga för att därefter utföra beräkningen och att se hur stor andel av årsavrinningen som infiltrerade och hur stor andel som bräddades. Avviker det erhållna resultatet från det önskade görs nya antaganden varefter beräkningsproceduren upprepas. Tyvärr medför detta att det erforderliga beräkningsarbetet blir än mer omfattande.

Det finns emellertid ett enklare sätt att närma sig dimensioneringsproblematiken. Man kan en gång för alla systematiskt genomföra de stegvisa beräkningar som beskrivs ovan och därefter sammanfatta resultaten på ett lättillgängligt och användbart sätt. En sådan systematisk genomräkning, som är tillämplig vid dimensionering av biofilter, har gjorts och redovisas i rapporten "Hydrologisk dimensionering av buffertmagasin för dagvatten" (Pramsten 2018).

I rapporten introduceras det abstrakta begreppet buffertmagasin eller buffertvolym. En buffertvolym är en volym som syftar till att fördröja dagvattenflöden och fördela ut dem i tiden, så att en given andel av den totala avrinningen kan omhändertas och renas i efterföljande anläggningssteg.

Ett biofilters ytmagasin kan betraktas som en buffertvolym som fylls på vid nederbörd och avtappas via infiltration genom filterbäddens överyta. Vatten som inte ryms i ytmagasinet bräddas. Genom att använda de samband som härletts och utvecklats i ovan nämnda rapport kan biofilter dimensioneras utan omfattande stegvisa beräkningar med långa regnserier.



Teorin bakom sambanden och resonemangen som buffertmetodikens bygger på kommer bara att beskrivas i korthet här, men det kan vara värt att nämna att teorin är tillämplig på fler anläggnings typer än bara biofilter. Den som vill veta mer uppmanas att läsa ovan nämnda rapport där teorin härleds och utvecklas.

3 Dimensionerande regndjup

Den hydrologiska effektiviteten för en buffertvolym anger hur stor andel av årsavrinningen som kan omhändertas och renas i efterföljande anläggningssteg. Resterande andel av årsavrinningen bräddar.

Med dimensionerande regndjup avses det regndjup som momentant behöver kunna magasineras i buffertvolymen för att en given hydrologisk effektivitet ska uppnås.

Pramsten (2018) har visat att det regndjup som en buffertvolym med konstant avtappningskapacitet måste kunna inrymma för att uppnå en given hydrologisk effektivitet entydigt kan bestämmas med utgångspunkt från buffertvolymens tömningstid och att detta kan uttryckas med följande samband:

$$d_r = C_e \left(\sqrt{\tau} - \frac{\tau}{20} - \frac{6-C_e}{20} \right) \quad (\text{ekvation 1})$$

$$\text{där } \frac{1}{6} \leq \tau \leq 12$$

och d_r är dimensionerande regndjup [mm]

C_e är en konstant som anger hydrologisk effektivitet

τ är tömningstiden för buffertvolymen [h]

Med tömningstid avses den tid som fordras för att tömma hela buffertvolymen under förutsättning att inget nytt vatten tillförs under tömningen.

Den hydrologiska effektivitetskonstanten C_e som ingår i ekvation 1 beror av hur stor andel av årsavrinningen som ska omhändertas. Konstanten väljs med ledning av tabell 1.

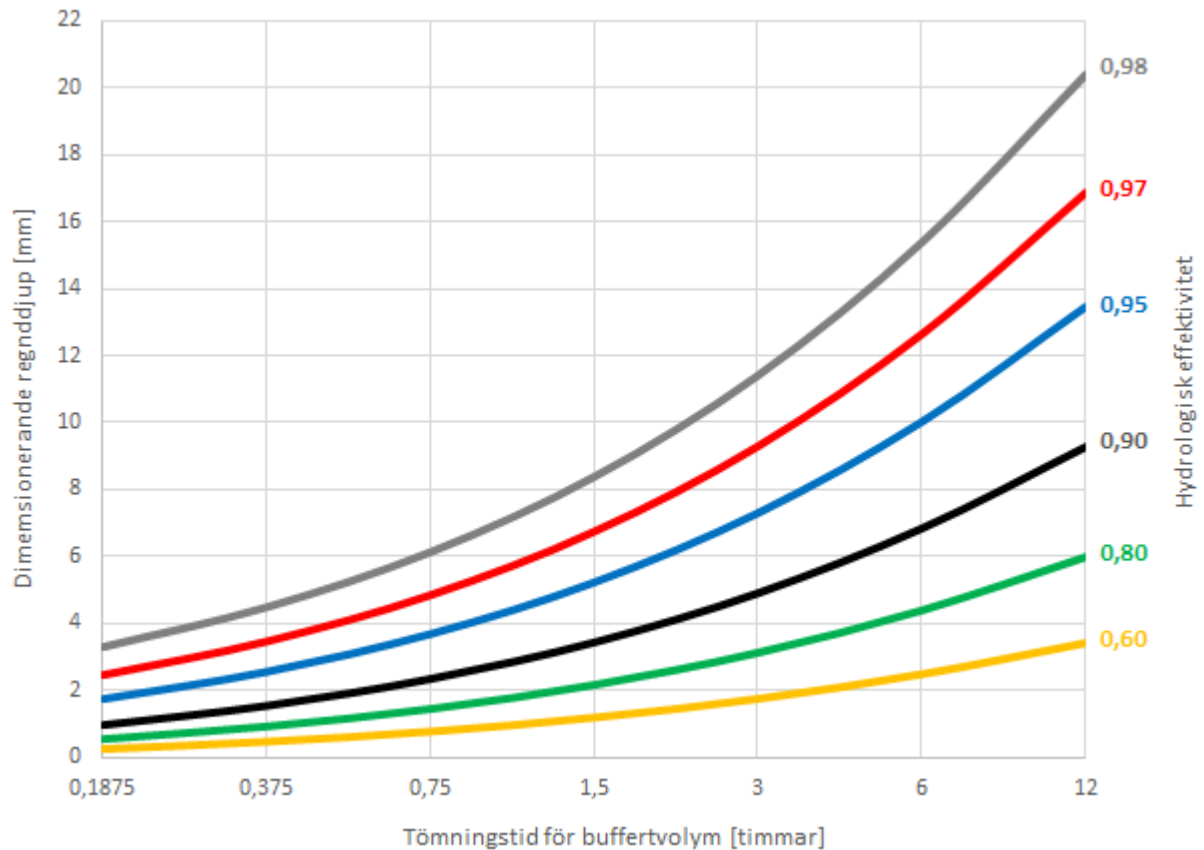
Tabell 1 Värden på den hydrologiska effektivitetskonstanten C_e (Pramsten 2018).

Hydrologisk effektivitet	Dimensionerande värde för C_e
98 %	7,00
97 %	5,90
95 %	4,80
90 %	3,40
80 %	2,25
60 %	1,30

Värdena i tabell 1 är konservativt valda utifrån analys av regnserier motsvarande 245 stationsår. Värdena är framtagna för att gälla för svenska förhållanden, från Skåne till Mälardalen, men kan troligen användas även längre norrut i landet.

I figur 5 ges en grafisk representation av ekvation 1 med de dimensionerande värden som anges i tabell 1. Regndjups- och tömningstidssamband som dessa är lika grundläggande för dimensionering av anläggningar avsedda för att omhänderta och rena en viss andel av årsavrinningen som intensitets- och varaktighets samband är för dimensionering av ledningar och utjämningsmagasin.

Det som gör sambandet som uttrycks i ekvation 1 och figur 5 så användbart är att det för en given hydrologisk effektivitet kan beräkna dimensionerande regndjup för många olika anläggningstyper med många tänkbara kombinationer av anläggningsdimensioner och anläggningsparametrar, allt med utgångspunkt från en enda parameter: tömningstiden. Sambandet sammanfattar det dynamiska och komplexa system som buffertvolymen representerar på ett enkelt och användbart sätt.



Figur 5 Dimensionerande regndjup för buffertvolym med konstant avtappning, där den hydrologiska effektiviteten anger hur stor andel av årsavrinningen som ska omhändertas och renas i efterföljande anläggningssteg (Pramsten 2018). Regndjupen är konservativt valda och gäller för svenska nederbördsförhållanden, från Skåne till Mälardalen.

Ur figur 5 kan utläsas att en buffertvolym som ska omhänderta och rena en mindre andel av årsavrinningen kan dimensioneras för ett mindre regndjup än en buffertvolym som ska omhänderta en större andel. Detta är rimligt och väntat.

Vidare framgår det av figuren att en buffertvolym som töms snabbt kan dimensioneras för ett mindre regndjup än en buffertvolym som töms långsammare. Detta är också rimligt vid närmare eftertanke eftersom en volym som töms snabbare också blir tillgänglig för ny lagring snabbare, vilket i sin tur minskar risken för efterföljande bräddning.

Ett biofilters ytmagasin kan, som tidigare nämnts, betraktas som en buffertvolym. Dimensionerande regndjup för ytmagasinet kan därmed beräknas med det samband som uttrycks i ekvation 1 och illustreras i figur 5.

Figur 5 tydliggör att det inte går att dimensionera ett biofilters ytmagasin med utgångspunkt från generella tumregler eller fixa volymkrav om syftet med dimensioneringen är att i biofiltret rena en viss andel av den årliga avrinningen. Dimensioneringen av biofiltret måste istället relateras till ytmagasinet tömningstid eftersom denna avgör vilket dimensionerande regndjup som krävs för att uppnå den önskade hydrologiska effektiviteten.

4 Övergripande dimensionering av filteryta

Det dimensionerande regndjupet som erhålls med ekvation 1 kan antingen användas direkt vid dimensionering av erforderlig yta för ett biofilters ytmagasin eller bakas in i för ändamålet särskilt anpassade formler. I syfte att tydliggöra hur det dimensionerande regndjupet används i formlerna presenteras båda angreppssätten nedan. För praktiska beräkningar rekommenderas dock de anpassade formlerna i avsnitt 4.2 och 4.3.

4.1 Stegvis beräkning med utgångspunkt från dimensionerande regndjup

I exemplet nedan används det dimensionerande regndjup som erhålls med ekvation 1 för vidare dimensionering av ytmagasin och filteryta. Syftet är, som nämnts, att tydliggöra hur det dimensionerande regndjupet används i formlerna som presenteras i avsnitt 4.2 och 4.3.

Problem: Ett biofilter ska anläggas och ersätta en del av en hårdgjord torgyta som är 1000 m² stor. Biofiltret ska dimensioneras för att omhänderta 90 procent av årsavrinningen från torget och filterbädden ska ha en infiltrationshastighet motsvarande 50 mm/h. Vilken yta kräver biofiltret om djupet på ytmagasinet ska vara 100 mm?

Lösning: För att omhänderta 90 procent av årsavrinningen väljs den hydrologiska effektivitetskonstanten C_e till 3,40 enligt tabell 1.

Genom att dividera djupet på ytmagasinet med infiltrationshastigheten erhålls tömningstiden:

$$\tau = \frac{100 \text{ mm}}{50 \text{ mm/h}} = 2 \text{ h}$$

Insättning av C_e och tömningstiden i ekvation 1 ger det dimensionerande regndjupet:

$$d_r = 3,40 \left(\sqrt{2} - \frac{2}{20} - \frac{6-3,40}{20} \right) = 4,0 \text{ mm}$$

Den dimensionerande buffertvolymen fås genom att multiplicera det dimensionerande regndjupet med arean på ytan som bidrar med avrinning vid regn:

$$V_m = 0,0040 \text{ m} \cdot 1000 \text{ m}^2 = 4 \text{ m}^3$$

Ytan som biofiltret måste ha fås genom att dividera den dimensionerande buffertvolymen med djupet på ytmagasinet:

$$A_m = \frac{4 \text{ m}^3}{0,1 \text{ m}} = 40 \text{ m}^2$$

Svar: Biofiltret måste vara 40 m² stort.

4.2 Formelberäkning med utgångspunkt från både hårdgjord yta och filteryta

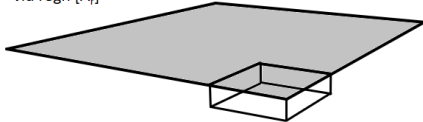
Beräkningsgången i föregående avsnitt sammanfattas nedan i en samlad formel som i ett steg beräknar den filteryta som krävs för att ett biofilter ska kunna infiltrera en given andel av årsavrinningen. Indata som krävs är arean på ytan som bidrar med avrinning vid regn, ytmagasinet djup samt infiltrationshastigheten. Formeln gäller för biofilter med som har ytmagasin med tömningstider mellan 10 minuter och 12 timmar (Pramsten 2018).

Formel för dimensionering av biofilter med utgångspunkt från den totala ytan (A_r) som bidrar med avrinning till biofiltret vid regn, i vilken inräknas såväl hårdgjord yta som den yta biofiltret upptar:

$$A_m = \frac{C_e A_r}{d_m} \left(\sqrt{\frac{d_m}{f_c}} - \frac{d_m}{20 f_c} - \frac{6 - C_e}{20} \right) \quad (\text{ekvation 2})$$

$$\text{där } \frac{1}{6} \leq \frac{d_m}{f_c} \leq 12$$

Yta som bidrar med avrinning
vid regn [A_r]



och A_m är ytmagasinet bottenarea [m^2]

C_e är den hydrologiska effektivitetskonstanten (se tabell 1)

A_r är arean på ytan som bidrar med avrinning vid regn [m^2]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]



Figur 6 Illustration av de geometriska magasinparametrarna i ekvation 2 och ekvation 3.

Problem: Samma problemställning som i avsnitt 4.1

Lösning: Insättning av givna parametrar i ekvation 2 ger:

$$A_m = \frac{3,40 \cdot 1000}{100} \left(\sqrt{\frac{100}{50}} - \frac{100}{20 \cdot 50} - \frac{6 - 3,40}{20} \right) = 40 \text{ m}^2$$

Svar: Biofiltret måste vara 40 m^2 stort.

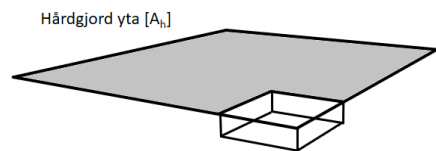
4.3 Formelberäkning med utgångspunkt från enbart hårdgjord yta

Beräkningarna i avsnitt 4.1 och 4.2 utgår från den totala ytan som bidrar med avrinning till biofiltret vid regn (A_r). I denna yta inräknas både hårdgjord yta och den yta som biofiltret självt kommer att uppta. Om vi istället vill utgå från bara den hårdgjorda ytan (A_h) kan nedanstående formel användas. Indata som krävs är arean på den anslutna hårdgjorda ytan, ytmagasinet djup samt infiltrationshastigheten. Formeln gäller för biofilter som har ytmagasin med tömningstider mellan 10 minuter och 12 timmar (Pramsten 2018).

Formel för dimensionering av biofilter med utgångspunkt från den hårdgjorda ytan (A_h) som bidrar med avrinning till biofiltret vid regn, i vilken den yta som biofiltret upptar ej medräknas:

$$A_m = \frac{A_h}{c_e \left(\sqrt{\frac{d_m}{f_c} - \frac{d_m}{20f_c} - \frac{6-C_e}{20}} \right)^{-1}} \quad (\text{ekvation 3})$$

$$\text{där } \frac{1}{6} \leq \frac{d_m}{f_c} \leq 12$$



och A_m är ytmagasinet bottenarea [m^2]

A_h är arean på den anslutna hårdgjorda ytan [m^2]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

C_e är den hydrologiska effektivitetskonstanten (se tabell 1)

f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

Problem: Ett biofilter ska anläggas i anslutning till en hårdgjord torgyta som är 960 m^2 stor. Biofiltret ska dimensioneras för att omhänderta 90 procent av årsavrinningen från torget och filterbädden ska ha en infiltrationshastighet motsvarande 50 mm/h . Vilken yta kräver biofiltret om djupet på ytmagasinet ska vara 100 mm ?

Lösning: Insättning av givna parametrar i ekvation 3 ger:

$$A_m = \frac{960}{3,40 \left(\sqrt{\frac{100}{50} - \frac{100}{20 \cdot 50} - \frac{6-3,40}{20}} \right)^{-1}} = 40 \text{ m}^2$$

Svar: Biofiltret måste vara 40 m^2 stort.

4.4 Jämförelse mellan de olika beräkningsmetoderna för dimensionering av filteryta

Beräkningsexemplen för dimensionering av filteryta som presenterats i avsnitt 4.1–4.3 är i grunden identiska. I samtliga fall har vi en totalyta på 1000 m^2 över vilken nederbörd faller. Med givna förutsättningar blir den hårdgjorda ytan i samtliga fall 960 m^2 medan biofiltret kräver en yta på 40 m^2 . Resultatet av beräkningarna blir alltså desamma oavsett vilken av beräkningsmetoderna som används. Val av beräkningsmetod styrs av vad som är givet i det enskilda fallet.

5 Detaljdimensionering av filterbädd

Generellt rekommenderas att filterbädden i ett biofilter byggs upp av homogena sandbaserade filtermaterial med djup på 0,4–0,7 meter och en hydraulisk konduktivitet kring 50–300 mm/h, vilket förväntas ge en god avskiljning av många föroreningar (Larm, Blecken, 2019).

Avskiljningsförmågan hos filterbädden beror dels på vilken förorening som ska avskiljas och dels på filtermaterialets kemiska och fysiska egenskaper. Att fastställa avskiljningsförmågan teoretiskt med utgångspunkt från ett fåtal enkla parametrar låter sig knappast göras. Förväntad avskiljningsförmåga för olika filtermaterial måste istället fastställas genom laboratorie- eller fältförsök.

Föreliggande dimensioneringsmetodik säger därför ingenting om hur valet av filtermaterial påverkar föroreningsavskiljningen i det vatten som infiltrerar genom filterbädden. Dimensioneringsmetodiken redogör bara för hur biofiltret som helhet måste dimensioneras under förutsättning att filterbädden har en viss avskiljningsförmåga och en viss hydraulisk konduktivitet.

5.1 Användning av Darcys lag för detaljdimensionering av filterbädd

Infiltrationshastigheten hos filterbädden beror av dess mäktighet och dess hydrauliska konduktivitet i samverkan med uppdämningsnivån i ytmagasinet ovanpå filterbädden. I teorin måste därför filterbädden dimensioneras med hänsyn till dessa parametrar för att säkerställa den infiltrationshastighet som dimensioneringen av ytmagasinet och infiltrationsytan i avsnitt 4 förutsätter. I praktiken är det dock sällan lönt att särskilja infiltrationshastigheten från den hydrauliska konduktiviteten eftersom skillnaden mellan dem ofta ligger inom felmarginalen för bestämning av dessa parametrar.

I syfte att ge en sammanhängande teoretisk bild av hur infiltrationshastigheten i ett biofilters beror av filterbäddens hydrauliska konduktivitet redovisas ändå några användbara samband som utgår från Darcys lag. Dessa kan vid behov användas för att detaljräkna på filterbädden.

Darcys lag beskriver vätskors flöde genom porösa material. Lagen säger i sin grundläggande form att flödet genom materialet är proportionellt mot tryckändringen per längdenhet räknat över materialet.

$$Q = KA \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad (\text{Darcys lag})$$

där Q är flödet genom materialet [m^3/h]

K är hydraulisk konduktivitet för materialet [mm/h]

A är arean på materialet tvärs flödesriktningen [m^2]

Δh är tryckdifferensen som driver flödet [mm]

Δl är materialets längd i flödesriktningen [mm]

Flödet genom ett biofilter kan beräknas med nedanstående ekvation. Ytmagasinet antas här vara fyllt till hälften vilket ger en skattning av medelflödet genom filtret (flödet varierar med fyllnadsgraden).

$$Q_f = K_f A_m \frac{d_f + \frac{d_m}{2}}{d_f} \quad (\text{ekvation 4})$$

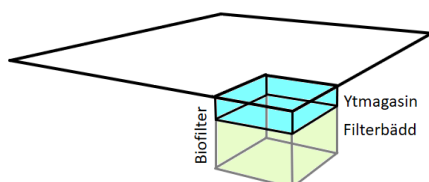
där Q_f är flödet genom biofiltret [m^3/h]

K_f är hydraulisk konduktivitet för filtermaterialet [mm/h]

A_m är arean på biofiltret [m^2]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

d_f är filterbäddens djup ovan dräneringsskiktet [mm]



5.2 Beräkning av dimensionerande infiltrationshastighet för filterbädden

Flödet genom biofiltret kan i ekvation 4 ersättas med produkten av filterarean och infiltrationshastigheten:

$$A_m f_c = K_f A_m \frac{d_f + \frac{d_m}{2}}{d_f}$$

Genom att dividera båda leden med A_m erhålls:

$$f_c = K_f \frac{d_f + \frac{d_m}{2}}{d_f} \quad (\text{ekvation 5})$$

där f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

K_f är hydraulisk konduktivitet för filtermaterialet [mm/h]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

d_f är filterbäddens djup ovan dräneringsskiktet [mm]

Ekvation 5 kan användas för att beräkna infiltrationshastigheten hos ett biofilter om filtermaterialet har en given hydraulisk konduktivitet och filtrets höjdgeometri är känd. Resultatet kan användas som indata i ekvation 2 och ekvation 3.

Problem: Ett filtermaterial som ska användas i ett biofilter har en hydraulisk konduktivitet på 45 mm/h. Hur stor blir biofiltrets infiltrationshastighet om filterbädden ska vara 450 mm djup och det ovanpåliggande ytmagasinet ska vara 100 mm djupt?

Lösning: Insättning av givna parametrar i ekvation 5 ger:

$$f_c = 45 \frac{450 + \frac{100}{2}}{450} = 50 \text{ mm/h}$$

Svar: Infiltrationshastigheten blir 50 mm/h.

5.3 Beräkning av dimensionerande hydraulisk konduktivitet för filterbädden

Om vi löser ut K_f ur ekvation 5 får vi:

$$K_f = f_c \frac{d_f}{\left(d_f + \frac{d_m}{2}\right)} \quad (\text{ekvation 6})$$

där K_f är hydraulisk konduktivitet för filtermaterialet [mm/h]

f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

d_f är filterbäddens djup ovan dräneringsskiktet [mm]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

Ekvation 6 kan användas för att beräkna den hydrauliska konduktivitet som ett filtermaterial med en given höjdgeometri måste ha för att biofiltret som helhet ska uppnå en viss infiltrationshastighet.

Problem: Ett biofilter ska anläggas med en 450 mm djup filterbädd och ett ovanpåliggande ytmagasinet som är 100 mm djupt. Vilken hydraulisk konduktivitet behöver filtermaterialet ha för att biofiltrets infiltrationshastighet ska bli 50 mm/h?

Lösning: Insättning av givna parametrar i ekvation 6 ger:

$$K_f = 50 \frac{450}{\left(450 + \frac{100}{2}\right)} = 45 \text{ mm/h}$$

Svar: Den hydrauliska konduktiviteten ska vara 45 mm/h.

5.4 Beräkning av dimensionerande djup för filterbädden

Om vi löser ut d_f ur ekvation 5 får vi:

$$d_f = \frac{d_m}{2\left(\frac{f_c}{K_f} - 1\right)} \quad (\text{ekvation 7})$$

där d_f är filterbäddens djup ovan dräneringsskiktet [mm]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

K_f är hydraulisk konduktivitet för filtermaterialet [mm/h]

Ekvation 7 kan användas för att beräkna det djup som ett filtermaterial med en given hydraulisk konduktivitet måste ha för att biofiltret som helhet ska uppnå en viss infiltrationshastighet.

Problem: Ett biofilter ska anläggas med ett 100 mm djupt ytmagasin ovanpå ett filtermaterial med en hydraulisk konduktivitet på 45 mm/h. Hur djup behöver filterbädden vara om biofiltrets infiltrationshastighet ska vara 50 mm/h?

Lösning: Insättning av givna parametrar i ekvation 7 ger:

$$d_f = \frac{100}{2\left(\frac{50}{45} - 1\right)} = 450 \text{ mm}$$

Svar: Filterbädden behöver vara 450 mm djup.

6 Beräkning av reningseffekt

Ett biofilters reningseffekt kan uttryckas genom dess förmåga att fastlägga föroreningar i filterbädden. Reningseffekten för en given förorening kan därför uttryckas som den andel av föroreningen som fastläggs i biofiltret i förhållande till den totala tillförseln av samma förorening.

Andelen fastlagda föroreningar i ett biofilter kan beräknas genom att multiplicera andelen föroreningar som infiltrerar ned i filterbädden med andelen föroreningar som fastläggs i bädden:

$$R_e = H_e R_f \quad (\text{ekvation 8})$$

där R_e är biofiltrets totala fastläggningsgrad

H_e är biofiltrets hydrologiska effektivitet

R_f är filterbäddens fastläggningsgrad

Ekvation 8 kan användas för att beräkna den totala fastläggningsgraden i ett biofilter.

Problem: Ett biofilter har dimensionerats för att rena 90 procent av årsavrinningen från en hårdgjord yta. Filterbädden förmår att avskilja två tredjedelar av fosfor i det vattnet som infiltrerar genom filtret. Hur stor andel av den fosfor som årligen avrinner med vattnet från den hårdgjorda ytan fastläggs i biofiltret?

Lösning: Den hydrologiska effektiviteten är 0,90 och filterbäddens fastläggningsgrad är 0,67. Insättning av givna parametrar i ekvation 8 ger:

$$R_e \geq 0,90 \cdot 0,67 = 0,60$$

Svar: Biofiltrets fastlägger 60 procent av fosfor.

Ekvation 8 kan efter omstuvning även användas för att beräkna den hydrologiska effektivitet som krävs av ett biofilter för att uppnå en given fastläggningsgrad.

Problem: Ett biofilter ska dimensioneras för att rena 60 procent av den fosfor som årligen avrinner med vattnet från en hårdgjord yta. Filterbädden som ska användas i biofiltret förmår att avskilja två tredjedelar av fosfor i vattnet som infiltrerar. Vilken hydrologisk effektivitet måste biofiltret dimensioneras för?

Lösning: Biofiltrets totala avskiljningsgrad ska vara 0,60 och filterbäddens avskiljningsgrad är 0,67. Omstuvning och insättning av givna parametrar i ekvation 8 ger:

$$H_e = \frac{R_e}{R_f} = \frac{0,60}{0,67} = 0,90$$

Svar: Den dimensionerande hydrologiska effektiviteten för biofiltret blir 0,90.

7 Frågor och svar

Nedan följer ett antal frågor som lyfts i olika sammanhang när dimensioneringsmetodiken som presenteras i denna rapport har diskuterats. Frågorna redovisas med korta svar och tillhörande motiveringar.

7.1 Ska avrinningskoefficienter användas i beräkningarna?

Nej, avrinningskoefficienter ska inte användas i beräkningarna. Hela arean av den anslutna hårdgjorda ytan ska tas med i beräkningarna. Anledningen till detta är att de vätningsförluster som kan väntas uppstå på hårdgjorda ytor redan har medräknats i härledningen av sambandet för det dimensionerande regndjupet i ekvation 1.

7.2 Ska grönytor inkluderas i beräkningarna?

Nej, grönytor ska ej tas med i beräkningarna. Härledningen som ligger bakom sambandet för det dimensionerande regndjupet i ekvation 1 utgår från att bara hårdgjorda ytor bidrar till avrinningen. Anledningen till detta är att grönytor normalt sett inte bidrar till ytavrinning, utom vid mycket stora regn. Deras bidrag till ytavrinningen är i de flest fall försumbar på årsbasis och den lilla ytavrinning de möjligen skulle kunna ge är svår att kvantifiera.

7.3 Tar dimensioneringsmetodiken hänsyn till vinterförhållanden och snösmältning?

Nej, dimensioneringsmetodiken tar inte hänsyn till vinterförhållanden och snösmältning. Detta torde dock inte påverka metodikens generella tillämpbarhet på något avgörande sätt. För ytterligare information se bakgrundsrapporten som beskriver härledningen av metodiken (Pramsten 2018).

7.4 Kan hänsyn tas till ett i framtiden förändrat klimat vid dimensioneringen?

Ja, hänsyn till ett i framtiden förändrat klimat kan tas genom att multiplicera konstanten C_e med en lämpligt vald klimatfaktor. En faktor kring 1,3 torde kunna vara lämplig med hänsyn till den spridning i resultat som de underliggande regnserierna uppvisar (Pramsten 2018).

7.5 Kan hänsyn tas till igensättning av filtermaterialet tas vid dimensioneringen?

Ja, hänsyn till igensättning av filtermaterialet kan tas genom att vid dimensioneringen reducera den ansatta infiltrationshastigheten till den nivå som kan tänkas gälla då filtret har satt igen.

7.6 Kan biofilter med lutande botten dimensioneras med metodiken?

Nej, dimensioneringsmetodiken är inte anpassad för biofilter med lutande botten eftersom metodiken förutsätter konstant avtappning från ytmagasinet. Om filterytan lutar översvämmas olika delar av filterytan succesivt i takt med stigande vattennivåer i ytmagasinet. Detta medför att den aktiva infiltrationsytan ökar med stigande vattennivåer och därmed även avtappningen genom filtret. Avtappningen blir således inte konstant, vilket är en förutsättning för användningen av metodiken. Vidare förutsätter metodiken att ytmagasinet djup är konstant över hela filterbädden vilket inte heller är fallet vid lutande filtertytor. Trots detta kan metodiken användas för att göra konservativa uppskattningar av erforderlig anläggningsyta vid mycket svagt lutande filterbäddar. Detta genom att använda djupet i ytmagasinet grundaste del i beräkningarna.

7.7 Kan ytmagasin vars yta är större än filterbädden dimensioneras med metodiken?

Ja, så länge filterbädden är plan går det att använda dimensioneringsmetodik, men det kräver lite mer komplicerade formler än de som hittills redovisats i denna rapport.

Om ytmagasinet är utformat med såväl filterbädd som ogenomsläppliga ytor på samma, plana nivå kan följande formler användas för att beräkna erforderlig area för ytmagasinet (Pramsten 2018):

$$A_m = f_c A_f \frac{(1 + \sqrt{1 - 4\alpha\beta - 2\alpha\beta})}{2\alpha^2} \quad \text{där } \frac{1}{6} \leq \frac{1000V_m}{f_c A_f} \leq 12$$

$$\text{och } \alpha = \left(\frac{f_c A_f}{C_e A_r} + \frac{1}{20} \right) \\ \beta = \frac{6 - C_e}{20}$$

A_m är arean på biofiltrets ytmagasin [m^2]

f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

A_f är filterbäddens area [m^2]

C_e är den hydrologiska effektivitetskonstanten

A_r är arean på ytan som bidrar med avrinning vid regn [m^2]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

Om ytmagasinet har en mer komplicerad utformning med sluttande ogenomsläppliga ytor ovanför den plana filterbädden, eller med ogenomsläppliga ytor på en högre nivå än filterbädden, kan följande formler användas för att beräkna erforderlig volymen för ytmagasinet (Pramsten 2018):

$$V_m = f_c A_f \frac{(1 + \sqrt{1 - 4\alpha\beta - 2\alpha\beta})}{2000\alpha^2} \quad \text{där } \frac{1}{6} \leq \frac{1000V_m}{f_c A_f} \leq 12$$

$$\text{och } \alpha = \left(\frac{f_c A_f}{C_e A_r} + \frac{1}{20} \right) \\ \beta = \frac{6 - C_e}{20}$$

V_m är volymen i biofiltrets ytmagasin [m^3]

f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

A_f är filterbäddens area [m^2]

C_e är den hydrologiska effektivitetskonstanten

A_r är arean på ytan som bidrar med avrinning vid regn [m^2]

7.8 Kan föroreningar som perkolerar till omgivande jord räknas in i reningseffekten?

Ja, föroreningar som överförs till omgivande jord via perkolation kan räknas in i reningseffekten under förutsättning att det är känt hur mycket av det infiltrerade vattnet som perkolerar, vilket det sällan är.

Vidare bör det vara klart att spridningen av föroreningar till omgivande jord är harmlös eftersom dessa föroreningar i egentlig mening inte har avskilts i anläggningen. De har bara avskilts från det aktuella dagvattenflödet. De transporteras vidare med perkolerande vattnet och kan fastläggas i den omgivande jorden (och bli markföroreningar), följa med markvattnet mot lägre liggande dräneringar eller avloppsrör (och på den vägen nå sjöar och vattendrag) eller följa med ned till grundvattnet (för att långt senare dyka upp som ytvatten igen).

Om föroreningar som överförs till omgivande jord via perkolation ska räknas in i reningseffekten får avskiljningen av föroreningar två komponenter: dels fastläggning av föroreningar i filterbädden (för det vatten som passerar denna) och dels utläckage till omgivande jordmaterial (för det vatten som efter passage genom filterbädden perkolerar ut från biofiltret istället för att nå dräneringen).

Avskilt i biofiltret = fastlagt i filterbädden + perkolerat till omgivande jord

Eller mer formellt uttryckt:

$$R_e = H_e R_f + H_e (1 - R_f) P_f \quad (\text{den första termen motsvarar ekvation 8})$$

där R_e är biofiltrets totala avskiljningsgrad

H_e är biofiltrets hydrologiska effektivitet

R_f är filterbäddens avskiljningsgrad

P_f är perkolerad andel av infiltrationen genom filtret

I brist på information om hur stor andel av det infiltrerade vattnet som perkolerar eller huruvida föroreningsspridningen till omgivande jord är harmlös eller ej duger det ofta att använda fastläggningen av föroreningar i filterbädden (ekvation 8) som en konservativ och enkel skattning av avskiljningsgraden.

7.9 Vilken flödesutjämnande effekt ger ett biofilter som dimensionerats för rening?

Flödesutjämnningen som erhålls vid dimensionerande regn är troligen liten om biofiltret har dimensionerats för rening. Vid ett dimensionerande regn kommer ytmagasinet snabbt att fyllas och därefter blir filtrets flödesutjämnande effekt mycket begränsad.

En mer djuplodande undersökning av biofilters förmåga att utjämna flöden återfinns i rapporten "Simulerade effekter av trög avvattning" (Scherling, Svensson, Sörelius, 2020).

7.10 Är det meningsfullt att räkna när det finns så många osäkerhetsfaktorer?

Det är en relevant fråga om det över huvud taget är meningsfullt att räkna på biofilter i enlighet med den beskrivna dimensioneringsmetodiken när det finns så många osäkerhetsfaktorer, särskilt avseende filterbäddens genomsläpplighet och dess förmåga att fastlägga föroreningar.

En lika relevant fråga är vad alternativet till en sådan beräkning skulle kunna vara? Tumregler som inte tar hänsyn till dessa parametrar är knappast ett bättre alternativ.

Att vissa grundläggande parametrar kan vara svåra att uppskatta är inte ett skäl till att vid dimensioneringen låta bli att använda den teoretiska förståelse vi har av hur dessa parametrar relaterar till och påverkar varandra. Denna teoretiska förståelse måste dock användas med förnuft och omdöme, till exempel genom att göra känslighetsanalyser som tydliggör vilken effekt olika parameterintervall har.

Den beskrivna dimensioneringsmetodiken baseras på i huvudsak fem inbördes beroende parametrar:

1. Hur stor andel av årsavrinningen som ska renas.
2. Hur stor yta som avrinner till biofiltret.
3. Hur stor yta som biofiltret upptar
4. Vilken infiltrationskapacitet biofiltret har.
5. Hur djupt ytmagasinet ovanpå filterbädden är.

Det är svårt att tänka sig att en dimensioneringsmetodik för biofilter skulle kunna ge meningsfulla och trovärdiga svar om den inte på något sätt tar hänsyn till hur dessa fem parametrar samverkar.

7.11 Räcker det inte att använda Darcys lag för att dimensionera filterytan?

Det är sällan praktiskt möjligt att dimensionera ytan för ett biofilter avsett för dagvattenrening enbart med utgångspunkt från Darcys lag.

Nedan redogörs kort för bakgrunden till att denna fråga ibland ställs, samt skälen till att dimensionering av biofilter för dagvattenrening, utöver Darcys lag, även kräver buffertvolymberäkningar.

Ekvation 4 grundar sig på Darcys lag. Genom att multiplicera båda leden i ekvationen med tiden under vilken infiltrationen pågår kan följande uttryck erhållas:

$$V_t = K_f A_m \frac{d_f + \frac{d_m}{2}}{d_f} t \quad \text{där } V_t \text{ är volymen som infiltrerar under infiltrationstiden } t$$

Genom att därefter lösa ut A_m fås följande uttryck:

$$A_m = \frac{V_t d_f}{K_f \left(d_f + \frac{d_m}{2} \right) t} \quad \text{(ekvation 9)}$$

där V_t är volymen som infiltrerar under infiltrationstiden t [m^3]
 K_f är hydraulisk konduktivitet för filtermaterialet [mm/h]
 A_m är arean på biofiltret [m^2]
 d_f är filterbäddens djup ovan dräneringsskiktet [mm]
 d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]
 t är tiden under vilken infiltrationen pågår [h]

Ekvation 9 kan ge sken av att vara användbar för ytdimensionering av biofilter eftersom arean på biofiltret (A_m) står i vänsterledet och kan beräknas med utgångspunkt från parametrarna i högerledet. Genom att i högerledet välja infiltrationstiden (t) till den tid det tar att tömma ytmagasinet kan det tyckas som om arean på biofiltret (A_m) borde kunna beräknas.

Problemet är att vi i högerledet i ekvation 9 måste kunna ange ytmagasinet volym (V_t) som i sin tur beror av vilken hydrologisk effektivitet vi vill uppnå. Denna volym är normalt sett inte känd, utan en del av det vi försöker att räkna ut.

Problematiken framgår tydligt om vi ersätter ytmagasinet volym (V_t) med produkten av ytmagasinet area och djup ($A_m \cdot d_m$) i ekvation 9:

$$A_m = \frac{A_m d_m d_f}{K_f \left(d_f + \frac{d_m}{2} \right) t}$$

Det framgår nu att A_m förekommer på båda sidorna om likhetstecknet. Genom att dividera högerledet med A_m kan parametern visserligen elimineras på denna sida likhetstecknet men den försvinner då även från vänsterledet:

$$1 = \frac{d_m d_f}{K_f \left(d_f + \frac{d_m}{2} \right) t}$$

Ytmagasinet area (A_m) som var det vi ville beräkna med ekvation 9 har nu helt försvunnit ur uttrycket. Ekvation 9 kan därför inte användas för ytdimensionering av biofilter, såvida inte ytmagasinet volym är en redan känd parameter, vilket den sällan är vid praktisk dimensionering.

Det är här beräkningsmetodiken för buffertvolym kommer in i bilden: den kan fastställa erforderligt yt- och volymbehov för ytmagasinet om syftet med biofiltret är att infiltrera och rena en viss andel av årsavrinningen.

8 Referenser

Blecken, Godecke (2016). Kunskapssammanställning dagvattenrening. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport 2016-05.

Larm, Thomas; Blecken, Godecke (2019). Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport 2019-20.

Pramsten, Joakim (2018). Hydrologisk dimensionering av buffertmagasin för dagvatten. Stockholm Vatten och Avfall.

Scherling, Mathias von; Svensson, Gilbert; Sörelius, Helene (2020). Simulerade effekter av trög avvattnings. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport 2020-1.

Formelblad för dimensionering av biofilter och regnbäddar

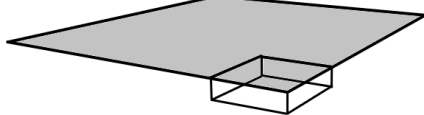
Den hydrologiska effektivitetskonstanten C_e som ingår i formlerna nedan beror av vilken hydrologisk effektivitet som eftersträvas. Konstanten väljs med ledning av nedanstående tabell.

Hydrologisk effektivitet	Dimensionerande värde för C_e
98 %	7,00
97 %	5,90
95 %	4,80
90 %	3,40
80 %	2,25
60 %	1,30

Dimensionering av biofilter med utgångspunkt från den totala ytan (A_r) som bidrar med avrinning till biofiltret vid regn, i vilken inräknas såväl hårdgjord yta som den yta biofiltret upptar:

$$A_m = \frac{C_e A_r}{d_m} \left(\sqrt{\frac{d_m}{f_c}} - \frac{d_m}{20f_c} - \frac{6-C_e}{20} \right) \quad \text{där } \frac{1}{6} \leq \frac{d_m}{f_c} \leq 12$$

Yta som bidrar med avrinning vid regn [A_r]



och A_m är ytmagasinet bottenarea [m^2]

C_e är den hydrologiska effektivitetskonstanten (se tabell)

A_r är arean på ytan som bidrar med avrinning vid regn [m^2]

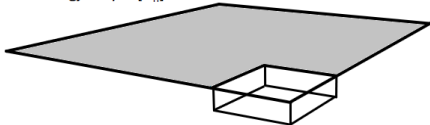
d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

Dimensionering av biofilter med utgångspunkt från den hårdgjorda ytan (A_h) som bidrar med avrinning till biofiltret vid regn, i vilken den yta som biofiltret upptar ej medräknas:

$$A_m = \frac{A_h}{\frac{d_m}{C_e \left(\sqrt{\frac{d_m}{f_c}} - \frac{d_m}{20f_c} - \frac{6-C_e}{20} \right)} - 1} \quad \text{där } \frac{1}{6} \leq \frac{d_m}{f_c} \leq 12$$

Hårdgjord yta [A_h]



och A_m är ytmagasinet bottenarea [m^2]

A_h är arean på den anslutna hårdgjorda ytan [m^2]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

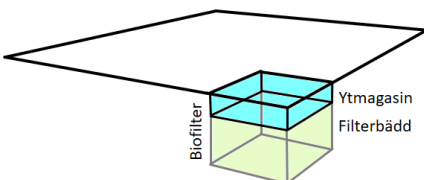
C_e är den hydrologiska effektivitetskonstanten (se tabell)

f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

Infiltrationshastigheten i formlerna ovan kan väljas till ett erfarenhetsmässigt lämpligt värde, varvid dimensioneringen av själva filterbädden kan göras i ett senare skede (se nästa sida).

Alternativt kan infiltrationshastigheten beräknas med utgångspunkt från data för den aktuella filterbädden om dessa parametrar redan har valts:

$$f_c = K_f \frac{d_f + \frac{d_m}{2}}{d_f} \quad (\text{Darcys lag})$$



där f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]

K_f är hydraulisk konduktivitet för filtermaterialet [mm/h]

d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

d_f är filterbäddens djup ovan dräneringsskiktet [mm]

Dimensionering av filterbädd

Den hydrauliska konduktiviteten för filtermaterialet i biofiltret kan beräknas med utgångspunkt från biofiltrets infiltrationshastighet och filtrets höjdgeometri:

$$K_f = f_c \frac{d_f}{\left(d_f + \frac{d_m}{2}\right)} \quad (\text{Darcys lag})$$

där K_f är hydraulisk konduktivitet för filtermaterialet [mm/h]
 f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]
 d_f är filterbäddens djup ovan dräneringsskiktet [mm]
 d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]

Djupet som ett filtermaterial med en given hydraulisk konduktivitet måste ha kan beräknas med utgångspunkt från biofiltrets infiltrationshastighet och ytmagasinet djup:

$$d_f = \frac{d_m}{2\left(\frac{f_c}{K_f} - 1\right)} \quad (\text{Darcys lag})$$

där d_f är filterbäddens djup ovan dräneringsskiktet [mm]
 d_m är ytmagasinet djup ovan filterbädden [mm]
 f_c är infiltrationshastigheten [mm/h]
 K_f är hydraulisk konduktivitet för filtermaterialet [mm/h]

Beräkning av reningseffekt

Fastläggningsgraden för biofiltret som helhet kan uttryckas som fastläggningen i filterbädden räknat på det vatten som infiltrerar i bädden:

$$R_e = H_e R_f \quad \text{där } R_e \text{ är biofiltrets totala fastläggningsgrad}$$

H_e är biofiltrets hydrologiska effektivitet
 R_f är filterbäddens fastläggningsgrad

Beräkning av erforderlig hydrologisk effektivitet

Den hydrologiska effektivitet som krävs för att ett biofilter ska uppnå en viss total fastläggningsgrad kan beräknas med utgångspunkt från filterbäddens fastläggningsgrad.

$$H_e = \frac{R_e}{R_f} \quad \text{där } H_e \text{ är biofiltrets hydrologiska effektivitet}$$

R_e är biofiltrets totala fastläggningsgrad
 R_f är filterbäddens fastläggningsgrad

Stockholm Vatten och Avfall är en samhällsbyggare i framkant som driver och utvecklar vatten- och avfallstjänster med miljöfokus. Varje dag, året runt förser vi 1,4 miljoner stockholmare med rent och gott kranvatten, renar avloppsvatten och ser till att avfallet tas om hand. Tillsammans med invånare, företag och andra intressenter arbetar vi för att Stockholm ska bli världens mest hållbara stad.



Stockholm Vatten och Avfall

Tel 08-522 120 00

svoa@svoa.se

www.svoa.se

En del av Stockholms stad