

AVSKILJNINGSFÖRMÅGA HOS DAGVATTENDAMMAR I RELATION TILL DAMMVOLYM, BRÄDDFLÖDE OCH INKOMMANDE FÖRORENINGSHALT

Reduction efficiency in stormwater ponds in relation to
pond volume, overflow and inflow pollutant concentration

av JOAKIM PRAMSTEN, SWECO Environment AB, Box 34044, 10026 Stockholm
e-post: joakim.pramsten@sweco.se



Abstract

This article puts forward the idea that the reduction efficiency in a stormwater pond to a great extent can be explained by three parameters related to the pond:

- The size of the pond in relation to its catchment area
- The relative size of the possible overflow past the pond
- The mean concentration of suspended solids in the incoming flow

To support the thesis field data from twelve Swedish stormwater ponds is presented. Data and results are presented for suspended solids, lead, copper, phosphorus and nitrogen. In addition zinc, chromium, nickel and cadmium have also been studied with similar results. A correlation between relative pond size and reduction efficiency has been demonstrated for all substances examined after accounting for overflow. A correlation has also been demonstrated between reduction of suspended solids and reduction of metals and nutrients.

A simple numerical model has been established in an attempt to estimate how different incoming concentrations of suspended solids and different overflow situations might affect the reduction. The input required by the model are relative pond size, size of possible overflow and mean concentration of suspended solids in the incoming water. The model has been validated by field data from the examined ponds with fairly good result.

Key words – stormwater, pond, treatment, pollution reduction, volume, overflow, sedimentation, suspended solids, metals, nutrients

Sammanfattning

I denna artikel framförs tesen att en dagvattendamms förmåga att avskilja föroreningar till stor del kan förklaras av tre dammspecifika parametrar:

- storleken på dammen i förhållande till dess tillrinningsområde
- den relativa storleken på eventuell bräddning av flöden förbi dammen
- det inkommande flödets medelhalt av suspenderat material

För att underbygga tesen redovisas fältdata från tolv svenska dagvattendammar som har undersökts med flödesproportionell provtagning. I artikeln presenteras data och resultat för suspenderat material, bly, koppar, fosfor och kväve. Utöver dessa föroreningar har även zink, krom, nickel och kadmium studerats med liknande resultat. Ett samband mellan relativ dammstorlek och avskiljning har kunnat påvisas för samtliga studerade föroreningar efter att hänsyn tagits till bräddflöden. Ett samband har även kunnat påvisas mellan avskiljning av suspenderat material och avskiljning av metaller och näringsämnen.

En enkel numerisk modell har upprättats i ett försök att bedöma hur olika inloppshalter och bräddsituationer påverkar avskiljningen. Indata till modellen utgörs av relativ dammstorlek, dimensionerande bräddflöde och inkommande medelhalt av suspenderat material. Modellen har validerats mot fältdata från de undersökta dammarna med förhållandevis gott resultat.

Inledning

Dagvatten från tätorter utgör en betydande föroreningskälla för många recipienter. Sedan ett par decennier har en ökad medvetenhet om dagvattnets föroreningsinnehåll medfört att dagvattendammar allt oftare anläggs i syfte att motverka föroreningsspredning. Dimensionering och utvärdering av dagvattendammar sker emellertid många gånger på relativt lösa grunder. Ofta saknas en korrekt konceptuell förståelse av funktionen hos en dagvattendamm liksom en klar bild av vilka parametrar som påverkar avskiljningen i dammen. En dagvattendamm och dess tillrinningsområde utgör ett komplext system som är svårt att beskriva och modellera i detalj. Många processer pågår parallellt och på olika skalor. En modell som skall ta hänsyn till alla processer i en damm och dess tillrinningsområde måste med nödvändighet bli mycket komplex. Modellen kommer dessutom att kräva en stor mängd platsspecifika indata som i de flesta fall inte finns tillgängliga. Mot bakgrund av detta inses att en detaljerad modellbeskrivning av en damm och dess tillrinningsområde i normalfallet knappast låter sig göras. Kraftigt förenklade bedömningsmetoder måste därför tillgripas om en uppskattning av en damms avskiljningsförmåga skall kunna göras till en rimlig kostnad.

Syfte och målsättning

Huvudsyftet med denna artikel är att visa att det finns ett tydligt samband mellan en dagvattendamms relativa storlek och dess förmåga att avskilja föroreningar. Artikeln syftar även till att belysa hur en damms avskiljningsförmåga påverkas av inloppshalten av suspenderat material liksom av bräddning av flöden förbi dammen. Vidare syftar artikeln till att redogöra för en enkel numerisk modell som kan användas för att uppskatta avskiljningsförmågan hos en godtycklig damm.

Dagvattendammars funktion

Den primära och absolut viktigaste avskiljningsprocessen i en dagvattendamm utgörs av gravimetrisk separation (Persson & Pettersson, 2006). Partiklar som har högre densitet än vatten sjunker till botten medan olja och andra lättare föroreningar stiger till ytan. Kolloidala partiklar och lösta ämnen kan inte avskiljas gravimetriskt utan kräver andra, sekundära processer, som överför föroreningarna till partiklar eller biomassa som i sin tur kan avskiljas ur vattenmassan, antingen genom gravimetrisk separation eller genom skörd. Partiklarna i dagvatten är vanligen små vilket medför att de sedimenterar relativt långsamt (Pettersson, 1999). För att kunna göra en korrekt bedömning av en dagvattendamms för-

måga att avskilja föroreningar är det därför viktigt att förstå hur vattenombytet i en damm sker. När det regnar strömmar obehandlat dagvatten in i dammens uppströmsände. Detta resulterar i en höjning av vattenytan i dammen, vilket i sin tur leder till att överskottsvatten rinner ut i dammens nedströmsände. I början av ett regn består utflödet enbart av vatten som tillförts dammen vid tidigare regn eftersom vatten från det pågående regnet ännu inte nått dammens utlopp. Vattnet som rinner ut i början av ett regn är således relativt rent. Om regnet är tillräckligt volymrikt kommer vatten från det pågående regnet med tiden att tränga fram till utloppet. Hur rent detta vatten har hunnit bli på vägen genom dammen avgörs av dess uppehållstid i dammen som i sin tur beror av dammens storlek i förhållande till den aktuella tillrinningen. När regnet slutar upphör i princip tillrinningen till dammen och det vatten som finns i dammen blir kvar där till nästa regn. Av resonemanget framgår att dammvolymen i förhållande till den förväntade tillrinningen har stor betydelse för en dagvattendamms avskiljningsförmåga. Det är huvudsakligen den långvariga fördröjningen mellan regnen som bidrar till reningen i en dagvattendamm. En uppskattning som gjorts är att mer än 90 % av avskiljningen av föroreningar sker mellan regntillfällena (Pettersson, 1999). En reningsdamm bör alltså dimensioneras så att den kan hålla kvar en så stor andel av nederbörden som möjligt i väntan på nästa regn.

Uppföljning av dagvattendammar

Reningseffekten i en dagvattendamm kan utvärderas genom provtagning på inkommande och utgående vatten. Eftersom en stor del av reningen sker mellan regnen måste provtagningen pågå under en längre period som innefattar flera på varandra följande regn (Pettersson, 1999). Vidare måste provtagningen vara flödesproportionell eftersom föroreningshalterna i dagvatten ofta varierar kraftigt över tiden. Genom att göra massbalansberäkningar på inkommande och utgående föroreningsmängder kan dammens långsiktiga avskiljningsförmåga bestämmas. I Sverige har endast ett fåtal anläggningar följts upp på ett sätt som gör det möjligt att med någorlunda säkerhet uttala sig om deras avskiljningsförmåga över längre tid (Persson & Pettersson, 2006). Internationellt finns det mer data att tillgå men det är ofta svårt att få fram uppgifter om de utvärderade anläggningarnas utformning och den genomförda provtagningens kvalitet.

För att kunna dra några generella slutsatser från uppföljning av enskilda dammar måste resultaten sättas i relation till relevanta parametrar beträffande de undersökta dammarnas storlek, utformning och belastning.

En avgörande parameter för en damms förmåga att avskilja föroreningar är som tidigare nämnts dammens storlek i förhållande till tillrinningen. Tillrinningen bestäms i sin tur av nederbörden samt av storleken på de ytor som dammen tar emot vatten från. Inte bara ytornas storlek utan också deras beskaffenhet är av betydelse. En hårdjord yta bidrar till exempel med större flöden än en genomsläpplig yta.

Tidigare försök att härleda ett empiriskt samband mellan en damms förmåga att avskilja föroreningar och dess relativa storlek har gjorts av bland annat Pettersson (1999). Pettersson fann att dammar med en specifik area större än 250 m² per hektar hårdgjord yta inte verkade ha någon nämnvärt bättre avskiljningsförmåga än dammar med en specifik area i storleksordningen 200–250 m² per hektar hårdgjord yta. I en uppföljande studie som omfattade fler dammar föreslog Persson och Pettersson (2006) en modifierad ansats där hänsyn togs till dammarnas hydrauliska effektivitet. Den hydrauliska effektiviteten hos en damm är ett mått på dess förmåga att fördela vattnet jämnt över dammen så att hela vattenmassan utnyttjas. Med hjälp av den nya ansatsen kunde Persson och Pettersson visa på god avskiljningsförmåga för dammar med en specifik effektiv area i storleksordningen 100–150 m² per hektar hårdgjord yta medan mindre dammar uppvisade varierande avskiljningsförmåga utan tydlig koppling till deras relativa storlek. Larm och Hallberg (2008) har studerat avskiljningsförmågan hos både svenska och amerikanska dammar. Även denna studie visar på god avskiljningsförmåga för dammar som är stora i förhållande till flödesbelastningen medan mindre dammar uppvisar en mycket varierande avskiljningsförmåga.

En viktig parameter som hittills inte beaktats i tillräcklig omfattning när relationen mellan en damms avskiljningsförmåga och dess relativa storlek har studerats är det faktum att vissa dammar bräddar förbi flöden över en viss nivå. Dessa flöden passerar då vid sidan av dammen utan att renas. De flöden som leds in i dammen blir därmed mindre vilket minskar belastningen på dammen. Bräddning leder därför till en procentuellt ökad avskiljning av föroreningar internt i dammen. Denna förhöjda reningseffekt motverkas dock av att det vatten som leds förbi dammen inte renas alls. Även om dammens interna avskiljningsförmåga ökar med ökad bräddning minskar vanligen avskiljningsförmågan för systemet som helhet (se exempelvis Vikström m.fl., 2004). Ett undantag från detta kan vara om det föreligger en risk för att höga flöden virvlar upp redan avsatt material i dammen. Denna risk är vanligen störst nära inloppet. Är dammen tillräckligt stor torde det uppvirvlade materialet i allmänhet hinna sedimentera igen längre in i dammen. För dammar som är små i förhållande till sitt tillrinningsområde eller där risk för uppvirvling av mate-

rial i anslutning till utloppet föreligger kan en bräddning av stora flöden vara motiverad. Andra motiv till bräddning kan vara att pumpning fordras av nivåskäl.

Den reningseffekt som normalt redovisas för en damm avser det vatten som passerar genom dammen. Denna siffra säger inte så mycket om den inte sätts i relation till hur mycket vatten som bräddas förbi dammen. Även en damm som är liten i förhållande till sitt tillrinningsområde kan uppvisa en hög avskiljning för själva dammen förutsatt att en tillräckligt stor del av flödet bräddas förbi och ej belastar dammen. Med hänsyn till detta faller det sig naturligt att studera relationen mellan en dagvattendamms relativa storlek och dess totala förmåga att avskilja föroreningar, inklusive obehandlade bräddflöden.

Utvärdering av fältresultat

En sammanställning av reningseffekten hos tolv svenska dagvattendammar som utvärderats med flödesproportionell provtagning redovisas i tabell 1. För en av dammarna, Krubban, redovisas två reningseffekter. Denna damm består av tre seriekopplade dammar och reningseffekten har beräknats både för den första dammen (P1–P2) och för alla tre dammarna tillsammans (P1–P3). Uppskattade bräddflöden redovisas i tabell 2 tillsammans med den totala avskiljningsförmågan hos anläggningarna inklusive orenade bräddflöden. I tabell 3 redovisas permanentvolymen för respektive damm. Med permanentvolym avses här den totala vattenvolym som en damm kan hålla kvar vid torrväder. Tabell 3 listar även den reducerade arean för de studerade dammarnas tillrinningsområden. Med reducerad area avses den teoretiska area som fordras för att en yta, helt utan flödesförluster, skall ge upphov till en avrinning som motsvarar avrinningen från den verkliga ytan. I denna artikel representeras en damms tillrinningsområde i allmänhet av dess reducerade area. För att tydliggöra att det är reducerad area som avses kommer enheten hektar att försees med suffix: ha_{red}.

Det bör poängteras att tabell 2 och tabell 3 innehåller ett visst mått av godtycke. De bedömningar som ligger till grund för siffrorna har gjorts av olika personer i olika sammanhang och de har inte nödvändigtvis gjorts på ett enhetligt sätt. I några fall har motstridiga uppgifter förekommit och då har den källa som bedömts som mest tillförlitlig använts.

Genom att dividera permanentvolymen hos en damm med den reducerade arean hos dess tillrinningsområde erhålls dammens specifika permanentvolym. Den specifika permanentvolymen för de undersökta dammarna redovisas i tabell 4. Tabell 4 redovisar även längd- och breddförhållanden för de studerade dammarna baserade på författarens egna mätningar från flygfoton samt i en-

Tabell 1. Uppmätta inkommande medelhalter av suspenderat material och uppmätta reningseffekter för svenska dagvattendammar som utvärderats med flödesproportionell provtagning.

	Kommun	Inkommande halt SS (mg/l)	Avskiljning i damm					Referens
			SS	Pb	Cu	P	N	
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Kolardammen	Tyresö	–	–	81	60	76	–	Rydberg och Hammerström (2003) Mätperiod 1: mars/april 2001 – okt/nov 2001 Mätperiod 2: april 2002 – oktober 2002 Egen beräkning av medelvärde för 2001 – 2002
Lilla järnbrottsdammen	Göteborg	–	65	53	29	–	–	Persson och Pettersson (2009) Mätperiod: juli 1995 – juni 1996
Stora järnbrottsdammen	Göteborg	55	70	48	30	–	7	Pettersson (1999) Mätperiod: juli 1997 – juni 1998
Bäckaslöv (damm)	Växjö	71	60	64	26	–	–	Inkommande halt: Semadeni-Davies (2004) Avskiljning: Persson och Pettersson (2009) Mätperiod: juni 1997 – november 1997
Krubban (P1–P2)	Örebro	153	84	82	75	–	33	Pettersson (1999) Mätperiod: maj 1998 – juli 1998
Krubban (P1–P3)	Örebro	153	87	90	75	–	–	Inkommande halt: Pettersson (1999) Avskiljning: Persson och Pettersson (2009) Mätperiod: maj 1998 – juli 1998
Välendamarna	Göteborg	70	83	69	52	46	–4	Monteiro (2005) Mätperiod: 11 juni 2004 – 23 juni 2004
Vallbydammen	Västerås	–	–	26	51	78	67	Färm (2003) Mätperiod: 1999 – 2000
Sorbus (damm)	Stockholm	520	93	90	81	83	49	Aldheimer (2006). Mätperiod 1: 8 juni 2004 – 26 augusti 2004 Mätperiod 2: 18 mars 2005 – 31 maj 2005 Inloppshalt från egen beräkning över mätperioderna.
Ladbrodammen	Upplands Väsby	53	71	72	56	–	–	Alm, Banach och Larm (2010) Mätperiod: maj 2008 – april 2009
Myrängsdammen	Täby	33	54	53	32	31	5	Gunnarsson och Andersson (2010) Mätperiod: november 2007 – december 2009
Tibbledammen	Upplands-Bro	79	82	76	52	66	47	Gunnarsson och Andersson (2010) Mätperiod: oktober 2007 – december 2009
Viby Gårds dammar	Sollentuna	53	65	56	22	46	16	Gunnarsson och Andersson (2010) Mätperiod: oktober 2007 – december 2009

staka fall från ritningar. Den effektiva volymkvoten är ett mått på hur effektivt vattnet omsätts i en damm och kan beräknas med utgångspunkt från dammens längd och bredd (Thackston m.fl. 1987). Genom att korrigera den specifika permanentvolymen med den beräknade effektiva volymkvoten har dammarnas specifika effektiva permanentvolym uppskattats.

I figur 1 har den totala avskiljningen av suspenderat material inklusive bräddflöden avsatts mot de undersökta dammarnas specifika effektiva permanentvolym. Dammar med en specifik effektiv permanentvolym på

100–150 m³/ha_{red} uppvisar en avskiljningsförmåga kring 85–95 %. Detta överensstämmer väl med resultaten från de dammar som studerades av Persson och Pettersson (2006). För dammar med en specifik effektiv permanentvolym som är mindre än 100 m³/ha_{red} avtar avskiljningsförmågan snabbt med minskad dammvolum. Resultatet är inte oväntat och ligger i linje med resultat från modellstudier utförda av Pettersson (1999). Detta är dock första gången som detta samband på ett tydligt sätt har verifieras genom fältobservationer i Sverige – åtminstone såvitt författaren till denna artikel känner till.

Tabell 2. Reningseffekter för de studerade anläggningarna som helhet inklusive de flöden som årligen bedöms brädda förbi respektive damm.

	Avskiljning i damm inklusive brädd					Bräddad andel av tillrunnen årsvolym (%)	Referens för bräddflöde
	SS (%)	Pb (%)	Cu (%)	P (%)	N (%)		
Kolardammen	–	81	60	76	–		
Lilla järnbrottsdammen	65	53	29	–	–		
Stora järnbrottsdammen	54	37	23	–	5	23	Persson och Pettersson (2006)
Bäckaslöv (damm)	60	64	26	–	–		
Krubban (P1–P2)	84	82	75	–	33		
Krubban (P1–P3)	87	90	75	–	–		
Välendammarna	25	21	16	14	–1	70	Falk (2007)
Vallbydammen	–	26	51	78	67		
Sorbus (damm)	93	90	81	83	49		
Ladbrodammen	40	41	32	–	–	43	Egen beräkning baserad på data om pumpkapacitet in till dammen, 160 l/s, från Alm, Banach och Larm (2010)
Myrängsdammen	51	50	30	29	5	5	Egen skattning baserad på uppgifter från personlig kontakt med Andreas Jacobs, Täby kommun 2010.
Tibbledammen	82	76	52	66	47		
Viby Gårds dammar	65	56	22	46	16		

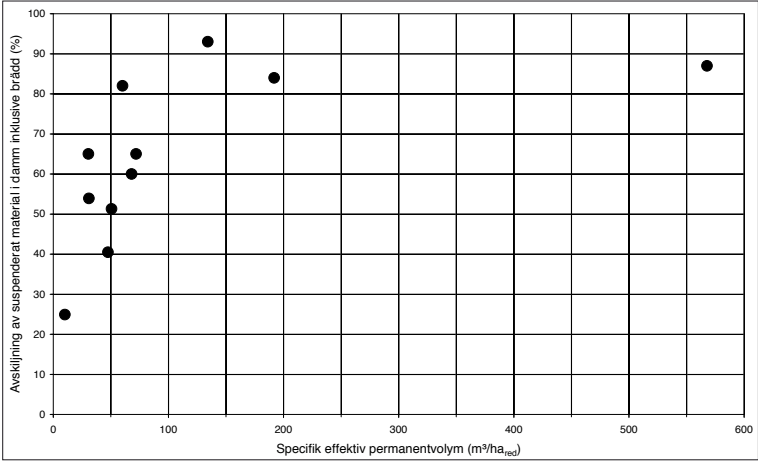
Föroreningshalter i inkommande flöde

Sambandet mellan en damms totala avskiljningsförmåga och dess relativa storlek är tyvärr inte så enkelt och entydigt som det kan te sig vid en första anblick av figur 1. Ett starkt förorenat dagvatten innehåller i allmänhet en större mängd lätt avskiljbara föroreningar jämfört med ett dagvatten som är mindre förorenat (Randal m.fl.,

1982). Vidare finns det en lägsta nivå under vilken ytterligare avskiljning av föroreningar normalt inte kan ske (Schueler & Holland, 2000). Detta innebär att två i övrigt likvärdiga dammar kan uppvisa olika grad av avskiljningsförmåga beroende på skillnader i det inkommande vattnets föroreningsinnehåll.

Genom att föra in flödesviktade medelhalter för inkommande suspenderat material i ett diagram som redo-

Figur 1. Uppmätt avskiljning av suspenderat material inklusive bräddflöden avsett mot specifik effektiv permanentvolym för respektive damm.



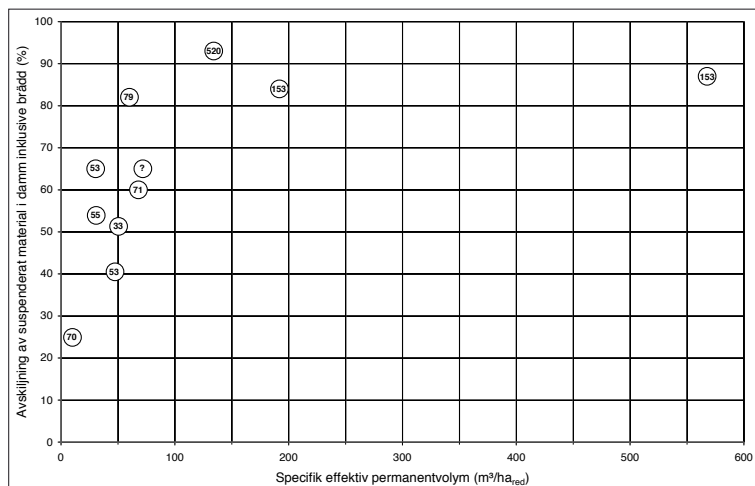
Tabell 3. Reducerad area för de studerade dammarnas tillringsområden samt permanentvolym för respektive damm.

	Tillrinningsområdets reducerade area (ha _{red})	Dammens permanentvolym (m ³)	Referens
Kolardammen	208	1 700	Reducerad area: Persson och Pettersson (2009) Volym: Larm (2010)
Lilla järnbrottsdammen	2,6	500	Pettersson (1999)
Stora järnbrottsdammen	160	6 000	Pettersson (1999)
Bäckaslöv (damm)	140	13 000	Area: Persson och Pettersson (2009) Volym: Falk (2007)
Krubban (P1–P2)	17	4 000	Area: Pettersson (1999) Volym: Egen skattning baserad på yt- och djupuppgifter från Pettersson (1999)
Krubban (P1–P3)	17	11 500	Pettersson (1999)
Välendamarna	60	725	Area: Monteiro (2005) Volym: Falk (2007)
Vallbydammen	4,3	700	Area: Persson och Pettersson (2009) Volym: Egen skattning baserad på yt- och djupuppgifter från personlig kontakt med Magnus Bergström, Mälar-energi 2010.
Sorbus (damm)	0,85	150	Aldheimer (2006)
Ladbrodammen	62	3 700	Alm, Banach och Larm (2010)
Myrängsdammen	11	700	Area: Andersson (2007) Volym: Egen skattning baserad på yt- och djupuppgifter från personlig kontakt med Jonas Andersson WRS 2010.
Tibbledammen	110	8 700	Alm, Banach och Larm (2010)
Viby Gårds dammar	20	730	Area: Egen skattning från kartunderlag samt uppgifter från Andersson (2010) Volym: Egen skattning baserad på kartunderlag samt djupuppgifter från personlig kontakt med Jonas Andersson WRS 2010.

Tabell 4. De studerade dammarnas specifika permanentvolym, längd-/breddförhållande, effektiva volymskvot och specifika effektiva permanentvolym.

	Specifik permanentvolym (m ³ /ha _{red})	Längd/Bredd	Effektiv volymskvot (%)	Specifik effektiv permanentvolym (m ³ /ha _{red})
Kollardammen	82	12	84	69
Lilla järnbrottsdammen	192	1	37	72
Stora järnbrottsdammen	38	7	83	31
Bäckaslöv (damm)	93	3,5	73	68
Krubban (P1–P2)	235	6	82	192
Krubban (P1–P3)	676	12	84	568
Välendamarna	12	11	84	10
Vallbydammen	163	5	80	130
Sorbus (damm)	176	4	76	134
Ladbrodammen	60	5	80	48
Myrängsdammen	64	5	80	51
Tibbledammen	79	4	76	60
Viby Gårds dammar	29	9	84	31

Figur 2. Uppmätt avskiljning av suspenderat material inklusive bräddföden avsatt mot specifik effektiv permanentvolym. I cirklarna redovisas inkommande medelhalt av suspenderat material.



visar avskiljningen avsatt mot den relativa volymen erhålls figur 2. Av figuren framgår att de dammar som har störst specifik effektiv permanentvolym också är de som belastas med de högsta inkommande halterna av suspenderat material. Den höga avskiljningsförmågan hos dessa dammar kan alltså tänkas bero både på dammarnas relativa storlek och på den höga föroreningsbelastningen som tillförs dammarna. Tyvärr saknas fältdata för att dra mer långtgående slutsatser kring dessa parametrars relativa betydelse för avskiljningen.

Modellansats

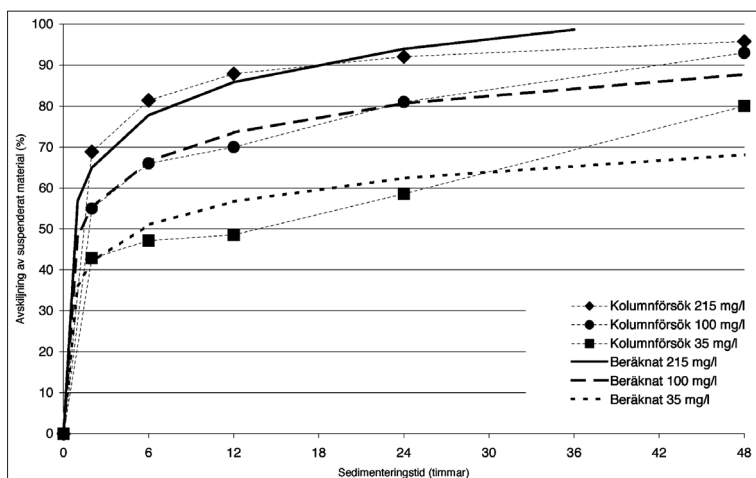
I brist på fältdata måste andra metoder tillgripas för att försöka finna svar på frågan om hur en dagvattendamms avskiljningsförmåga kan tänkas påverkas av det inkommande flödets föroreningshalt. För detta ändamål har en enkel numerisk modell upprättats. Modellen syftar till att översiktligt studera hur det oregelbundna, intermitenta flödet från en längre regnserie påverkar avskiljningen av suspenderat material i en damm. Den grundläggande modellansatsen bygger på andra dataunderlag än fältdata från de undersökta dammarna. Nedan beskrivs huvuddragen i modellansatsen i korthet. Detaljer av mindre betydelse för det övergripande resonemanget lämnas därhän. En sammanfattande modellöversikt ges i figur 10.

Indata till modellen utgörs av högupplösta nederbördsdata från Stockholm omfattande en tidsperiod av 20 år (Hernebring, 2006) samt av tre dammspecifika parametrar: specifik effektiv permanentvolym, dimensionerande bräddflöde och inloppshalt av suspenderat material. Alla dessa parametrar kan uppskattas med relativt enkla metoder: den specifika effektiva permanentvolymen erhålls genom att beräkna dammens effektiva

volym och dividera den med den reducerade arean för dammens tillrinningsområde, dimensionerande bräddflöde beräknas med utgångspunkt från utformning av eventuella bräddanordningar medan inloppshalten av suspenderat material bedöms med utgångspunkt från schablonvärden för tillrinningsområdets markanvändningar eller genom provtagning på plats.

Modellen utgår från det teoretiska flöde som genereras när den 20-åriga regnserien belastar en studerad damms tillrinningsområde. Tillrinningsområdet representeras i modellen av dess reducerade area. För varje tidssteg i regnserien erhålls en vattenvolym som tillförs dammen i dess uppströmsände. I dammens nedströmsände antas att motsvarande volym tappas ur. När hela den effektiva volymen i dammen har bytts ut registreras tiden som förflutit under den aktuella volymomsättningen. Denna tid antas motsvara medeluppehållstiden för den omsatta volymen. Genom att registrera medeluppehållstiden för samtliga volympaket som genereras av nederbördsserien erhålls en samling volympaket med individuella medeluppehållstider. För dammar med bräddfunktion kan en begränsning sättas på inkommande flöde. Flöden över denna nivå betraktas i modellen som bräddflöden och antas passera anläggningen utan rening.

Nästa steg i modelleringen syftar till att associera varje registrerad uppehållstid, och därmed varje volympaket, med en uppskattad reningseffekt. Underlag för detta har hämtats från Randal m.fl. (1982) som undersökt dagvatten från tre parkeringsplatser med avseende på föroreningsinnehåll och sedimenteringsegenskaper. Studien visade som väntat att avskiljningen av suspenderat material ökade med ökad initial halt samt med ökad sedimenteringstid. Resultat från Randals studie har här använts för att härleda en ekvation genom vilken den



Figur 3. Uppmätt och beräknad avskiljning av suspenderat material för olika initialhalter och sedimenteringstider (uppmätt avskiljning efter Randal m.fl. 1982).

förväntade reningseffekten för ett vattenpaket kan beräknas utifrån paketets initiala föroreningshalt samt dess uppehållstid. Tre av de sju proven i Randals undersökning valdes ut för detta ändamål (prov 2, 4 och 6). Dessa prov bedömdes som mest representativa både i fråga om föroreningshalter och med hänsyn till möjligheten att härleda ett entydigt matematiskt samband. Genom regressionsanalys togs en ekvation fram som med initialhalt och sedimenteringstid som indata levererar en förväntad reningseffekt som utdata. En uppfattning om hur utdata från den härledda ekvationen överensstämmer med bakomliggande provresultat kan erhållas ur figur 3.

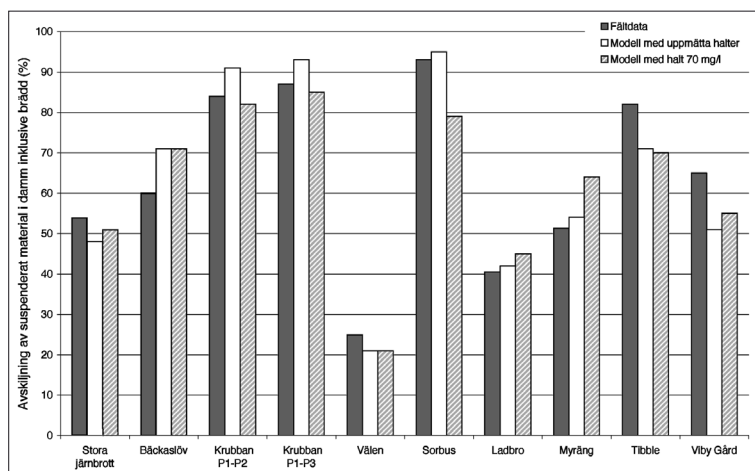
Med utgångspunkt från medelhalten av suspenderat material i vattnet som tillförs dammen samt från den tidigare beskrivna uppskattningen av medeluppehållstiderna för de volympaket som passerar dammen kan den förväntade avskiljningen för respektive volympaket beräknas. En nedre gräns för avskiljningen har satts vid 10 mg/l eftersom det bedöms som realistiskt att komma ner i lägre utgående halter än så (Schueler & Holland, 2000). Genom att beräkna den totala avskiljningen för samtliga volympaket och inkludera det bräddade, orenade flödet kan den långsiktiga avskiljningen av suspenderat material uppskattas.

Validering

För att validera modellen har den matats med indata från de undersökta dammarna i form av relativ dammvolum, dimensionerande bräddflöde och inkommande halter av suspenderat material. Två modelleringar gjordes för varje damm: en huvudmodellering och en referensmodellering. Vid huvudmodelleringen användes uppmätta halter av suspenderat material som indata och

vid referensmodelleringen användes medianhalten för samtliga dammar: 70 mg/l. Resultatet från modelleringarna redovisas i figur 4 tillsammans med uppmätta fältdata. Den första slutsatsen som kan dras av en jämförelse mellan fältdata och modellerade data är att de modellerade resultaten sammantaget uppvisar en relativt god överensstämmelse med fältdata med hänsyn taget till modellens enkelhet och föreliggande osäkerheter i indata. Det bör i sammanhanget poängteras att modellen ej har kalibrerats mot redovisade fältdata utan att den helt och hållet bygger på andra dataunderlag. Modellens bedöms därför beskriva de grundläggande processerna i en dagvattendamm på ett relativt korrekt sätt. Nästa steg i valideringen handlar om att bedöma huruvida huvudmodelleringens hänsyn till verkliga inloppshalter förbättrade modellresultatet jämfört med referensmodelleringen. För fyra dammar överensstämmer resultaten från huvudmodelleringen bättre med uppmätta fältdata än resultaten från referensmodelleringen. För tre till fyra dammar är förhållandet det omvända, beroende på om Krubban räknas som en eller två dammar. För de återstående två dammarna är modellresultaten likvärdiga. Den totala avvikelsen från fältdata är något mindre för huvudmodelleringen jämfört med referensmodelleringen. Värt att notera är också att huvudmodelleringen genererar betydligt bättre resultat än referensmodelleringen både för den damm som har den högsta inkommande halten av suspenderat material (Sorbus) och för den damm som har den lägsta halten (Myräng). Sammantaget tyder dessa iakttagelser på att hänsyn till inkommande halter i viss mån kan förbättra modellresultatet och därmed bidra till en bättre beskrivning av dammen. Det är dock svårt att med säkerhet särskilja brister i modellansatsen från osäkerheter i indata. För huvudmodelleringen är avvikelsen mellan fältdata och modelldata i de flesta fall

Figur 4. Jämförelse mellan uppmätt och modellerad avskiljning av suspenderat material. Modellresultat redovisas för indata i form av uppmätta halter samt för en referenshalt på 70 mg/l.

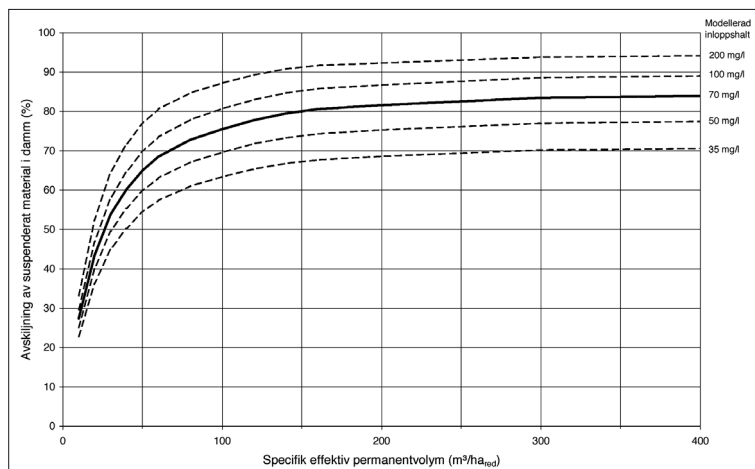


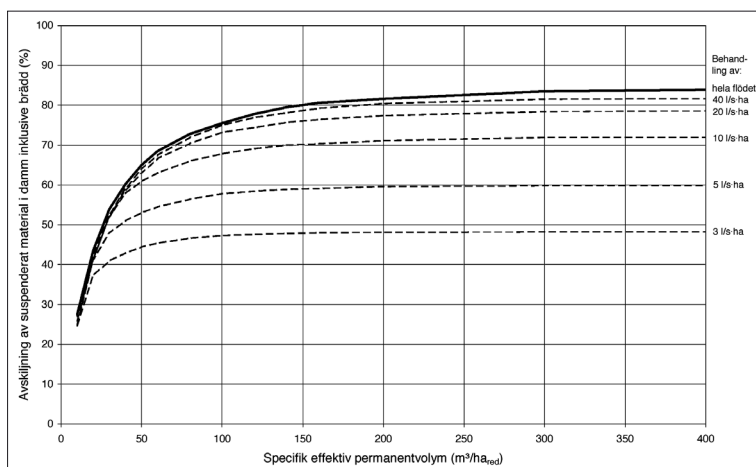
mindre än 10 procentenheter vilket bedöms var ett gott resultat. I ett fall uppgår avvikelsen till 15 procentenheter, det gäller Viby Gårds dammar som i fältundersökningarna uppvisar bättre avskiljningsförmåga än vid modelleringen. Den permanenta dammen i Viby Gård föregås av en fördamm och en stor översilningsyta som träder i kraft vid stora flöden. Dessa anläggningsdelar, som torde ha en positiv inverkan på dammens avskiljningsförmåga, beaktas ej i modellberäkningarna och detta kan vara en förklaring till modellens underskattning av denna damms avskiljningsförmåga.

Modellresultat

Även om inloppshaltens betydelse ej med säkerhet har kunnat verifieras mot fältdata finns det goda skäl att mer ingående studera hur effekten av olika inkommande föroreningshalter påverkar avskiljningen i modellansatsen. Genom att köra modellen med fem olika inloppshalter och en serie dammvolymer har diagrammet i figur 5 tagits fram. Ur diagrammet kan modellerad avskiljning av suspenderat material avläsas för olika inloppshalter och dammstorlekar. Av diagrammet framgår att avskilj-

Figur 5. Modellerad avskiljning av suspenderat material för olika inkommande halter av suspenderat material avsatt mot specifik effektiv permanentvolym (avser dammar utan bräddning).



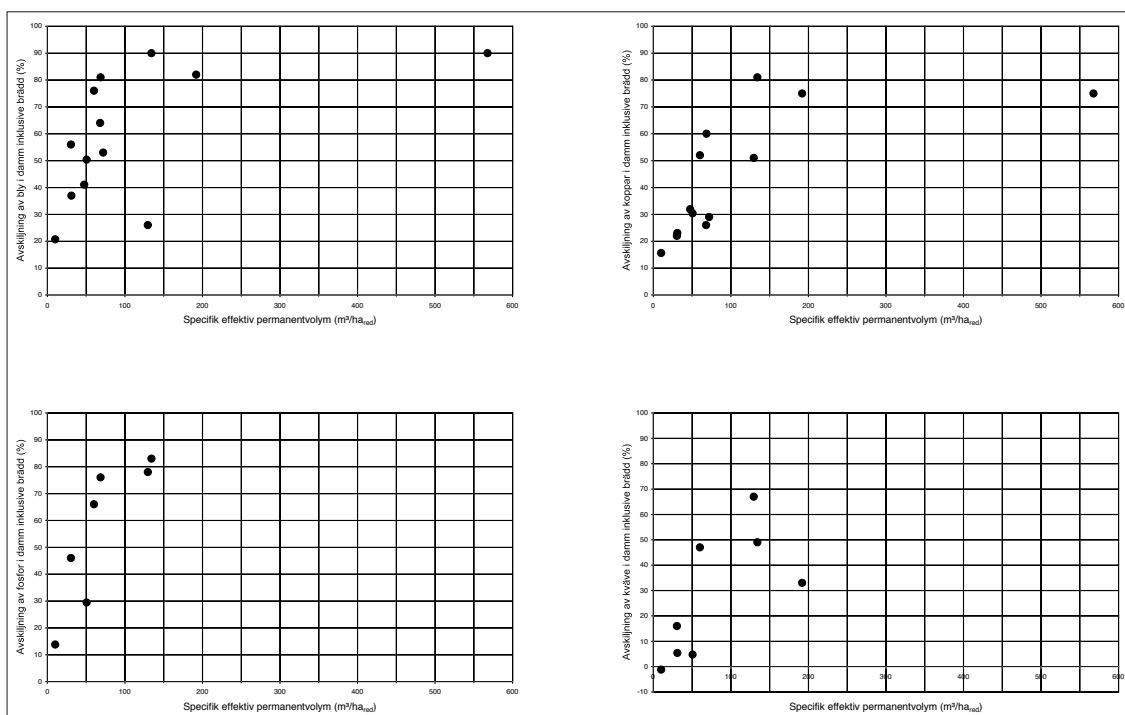


Figur 6. Modellerad avskiljning av suspenderat material vid olika dimensionerande bräddflöden avsett mot specifik effektiv permanentvolym (inkommande halt av suspenderat material = 70 mg/l).

ningsförmågan för samtliga inloppshalter i stort sett växer linjärt med dammens storlek upp till en specifik effektiv permanentvolym strax under 50 m³/ha_{red}. Därefter böjer kurvorna av så att ett givet volymtillskott ger allt mindre utbyte i form av ökad avskiljning. När den specifika effektiva permanentvolymen nått upp till

150 m³/ha_{red} har kurvorna i princip planat ut helt och ytterligare volymtillskott ger endast försumbar ökning av avskiljningen. En högre inkommande halt av suspenderat material ger som väntat en högre avskiljning.

Med hjälp av modellen kan även effekten av olika dimensionerande bräddflöden undersökas. Figur 6 redo-



Figur 7. Uppmätt avskiljning av bly, koppar, fosfor och kväve inklusive bräddföden avsett mot specifik effektiv permanentvolym för respektive damm.

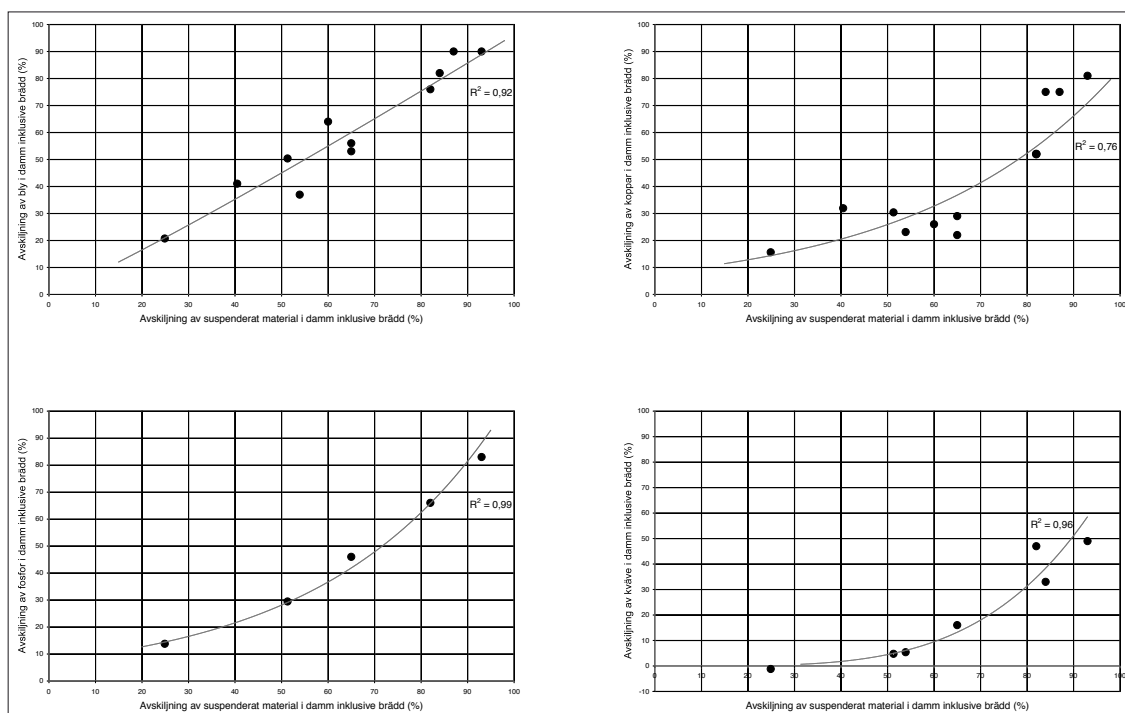
visar modellresultat för en serie sådana modellkörningar. Av figuren framgår att bräddning av specifika flöden större än $40 \text{ l/s} \cdot \text{ha}_{\text{red}}$ endast har marginell inverkan på den totala reningseffekten hos en anläggning medan bräddning av specifika flöden under $40 \text{ l/s} \cdot \text{ha}_{\text{red}}$ ger successivt minskad reningseffekt för anläggningen som helhet. Hjänsyn har ej tagits till risken för uppvirvling av redan avsatt material vilket kan ha betydelse, särskilt för dammar som är små i förhållande till sitt tillrinningsområde.

I sammanhanget bör några ord sägas om den använda nederbördsserien och dess inverkan på modellresultatet. Nederbördsserien är som tidigare nämnts hämtad från Stockholm och det är rimligt att anta att en regnserie från en annan del av landet skulle kunna ge ett annat resultat. För att undersöka detta har en känslighetsanalys utförts genom att även belasta modellen med regnserier från Göteborg respektive Malmö (Hernebring, 2006). Modellresultaten som erhålls från Göteborgsserien skiljer sig inte nämnvärt från resultaten som erhålls med Stockholmsserien. För Malmöserien beräknar modellen något lägre avskiljning än för serierna från Stockholm och Göteborg. I normalfallet är skillnaden ungefär tre procentenheter men för vissa dammkonfigurationer uppgår den till fem procentenheter.

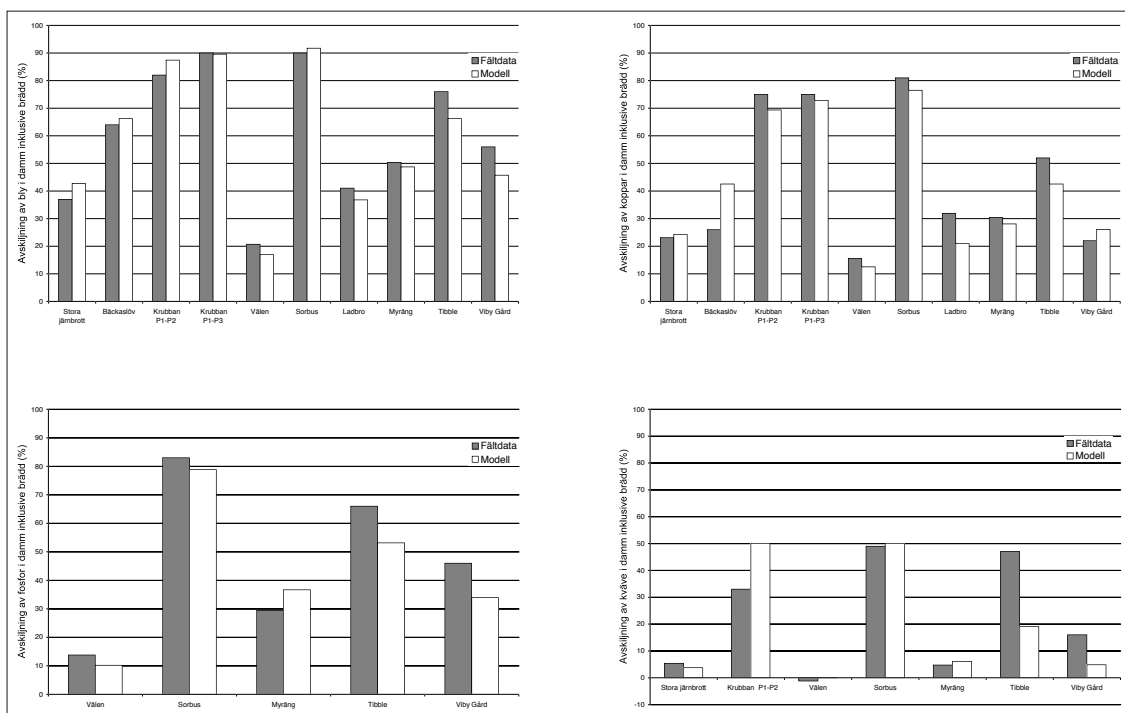
Avskiljning av metaller och näringsämnen

Hittills har resonemanget i denna artikel uppehållit sig kring avskiljningen av suspenderat material men även avskiljningen av andra föroreningar har studerats. I figur 7 har avskiljningen av bly, koppar, fosfor och kväve avsatts mot den specifika effektiva permanentvolymen för respektive damm. För samtliga studerade ämnen kan en korrelation mellan relativ dammstorlek och avskiljningsförmåga påvisas även om detta samband är mindre tydligt i fråga om kväve.

I figur 8 redovisas avskiljningen av bly, koppar, fosfor och kväve i förhållande till avskiljningen av suspenderat material. Ett tydligt samband kan utläsas: en hög avskiljning av suspenderat material ger en hög avskiljning även av andra föroreningar. Avskiljningen av suspenderat material bör alltså kunna användas för att bedöma avskiljningen av andra föroreningar. Genom regressionsanalys på fältdata har föroreningsspecifika ekvationer tagits fram med vilka avskiljningen av en given förorening kan beräknas med utgångspunkt från avskiljningen av suspenderat material. Dessa ekvationer har inkluderats i den numeriska modellen så att förväntad avskilj-



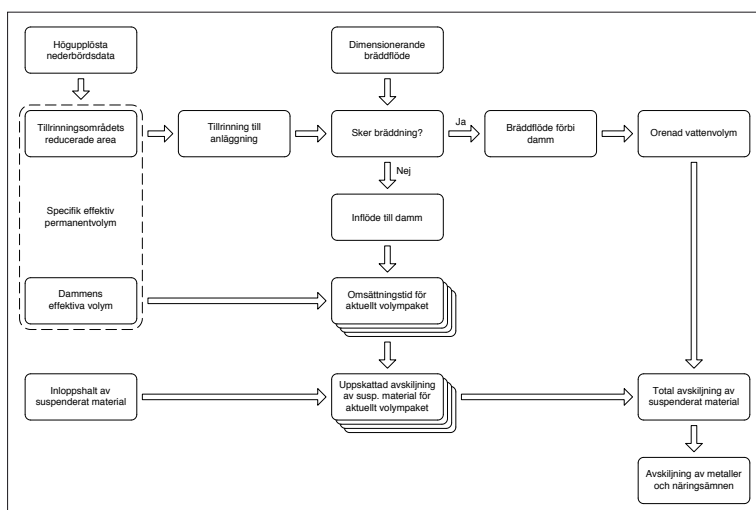
Figur 8. Uppmått avskiljning av bly, koppar, fosfor och kväve avsett mot uppmått avskiljning av suspenderat material.



Figur 9. Jämförelse mellan uppmätt och modellerad avskiljning av bly, koppar, fosfor och kväve.

ning av bly, koppar, fosfor och kväve beräknas från den uppskattade avskiljningen av suspenderat material. Resultatet redovisas i figur 9 tillsammans med uppmätta fältdata. En jämförelse mellan fältdata och modellresultat visar på en relativt god överensstämmelse för bly,

koppar och fosfor medan resultaten för kväve visar på en sämre, men inte obefintlig, överensstämmelse. Motsvarande beräkningar har även gjorts för zink, krom, nickel och kadmium med förhållandevis god överensstämmelse mellan fältdata och modellresultat.



Figur 10. Sammanfattande modellöversikt.

Slutsatser

Av de resultat och resonemang som redovisas i denna studie kan följande slutsatser dras:

- Avskiljningen av föroreningar i en dagvattendamm kan uppskattas relativt väl med utgångspunkt från dammens specifika effektiva permanentvolym, dimensionerande bräddflöde och inkommande medelhalt av suspenderat material.

- Den totala avskiljningsförmågan hos en dagvattendamm beror inte bara på avskiljningsförmågan hos dammen utan även på hur stor andel av det årliga flödet som faktiskt passerar genom dammen. Vid redovisning av en damms avskiljningsförmåga bör därför den totala avskiljningsförmågan för anläggningen anges snarare än avskiljningsförmågan hos själva dammen.

- En av de mest betydelsefulla parametrarna för att bedöma avskiljningsförmågan hos en dagvattendamm är dess förmåga att kvarhålla regn mellan olika regntillfällen. En parameter som väl fångar denna egenskap hos en damm är dess specifika effektiva permanentvolym beräknad med utgångspunkt från tillrinningsområdets reducerade area.

- Avskiljningsförmågan hos en dagvattendamm ökar i stort sett linjärt med ökad dammvolym upp till en specifik effektiv permanentvolym kring $50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{red}}$. Därefter ger ytterligare volymtillskott successivt mindre utbyte i form av ökad avskiljning. När den specifika effektiva permanentvolymen uppgår till $150 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{red}}$ eller mer leder ytterligare volymtillskott endast till försumbar ökning av avskiljningen.

- För att kunna bedöma avskiljningsförmågan hos en damm någorlunda korrekt fordras kunskap om hur mycket vatten som bräddas förbi dammen. Om det dimensionerande flödet in i dammen överskrider $40 \text{ l/s} \cdot \text{ha}_{\text{red}}$ kan effekten av en eventuell bräddning antas vara försumbar men vikten av att beakta bräddningen ökar ju mer inflödet till dammen stryps.

- Den inkommande medelhalten av suspenderat material bedöms ha stor betydelse för avskiljningsförmågan hos en dagvattendamm. För en given damm torde en högre inkommande halt av suspenderat material medföra en relativt sett högre avskiljning.

- Avskiljningen av metaller och näringsämnen är i hög grad relaterad till avskiljningen av suspenderat material. En hög procentuell avskiljning av suspenderat material medför därför i allmänhet även en hög procentuell avskiljning av metaller och näringsämnen.

Referenser

- Aldheimer, G. (2006) Sorbus – Reningsanläggning för dagvatten. Rapport 12 2006, Ledningsnät, Utveckling och Utredning, Stockholm Vatten.
- Alm, H. Banach, A. & Larm, T. (2010) Förekomst och rening av prioriterade ämnen, metaller samt vissa övriga ämnen i dagvatten. Rapport nr 2010-06, Svenskt Vatten Utveckling.
- Andersson J. (2007) Presentation av projektet Uppföljning av dagvattenanläggningar i fem norrortskommuner, WRS Uppsala AB. Tillgänglig på Internet: http://www.swedenviro.se/dagvatten/documents/Presentation_NOSdagvatten_071106.pdf [hämtad 2010-03-29].
- Falk, J. (2007) Erfarenheter av kommunala dagvattendamm. Rapport nr 2007-14, Svenskt Vatten Utveckling.
- Färm, C. (2003) Rening av dagvatten genom filtrering och sedimentation. Rapport nr 2003-16, VA-forsk.
- Gunnarsson, S. & Andersson, J. (2010) NOS-dagvatten: Uppföljning av dagvattenanläggningar i fem norrortskommuner, Halter och mängder t.o.m. december 2009, WRS Uppsala AB. Tillgänglig på Internet: <http://www.swedenviro.com/dagvatten/documents/ResultatNOSdagvatten100319.pdf> [hämtad 2010-03-29].
- Hernebring, C. (2006) 10års-regnets återkomst förr och nu – Regndata för dimensionering av VA-system i tätorter. Rapport nr 2006-04, VA-forsk. Sammanställning av regndata. Tillgängligt på Internet: <http://vav.griffel.net/vav.htm> [hämtad 2006-05-15]
- Larm, T. (2010) StormTac (version 2010-03). [Datorprogram]
- Larm, T. & Hallberg, M. (2008) Design methods for stormwater treatment – Site specific parameters. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
- Monteiro R. D. R. (2005) Pollutant removal efficiency in the Vålenviken stormwater ponds. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Persson, J. & Pettersson T. J. R. (2006) Dagvattendamm: om provtagning, avskiljning och dammhydraulik. Publikation 2006:115, Vägverket, Borlänge.
- Persson, J. & Pettersson T. J. R. (2008) Monitoring, sizing and removal efficiency in stormwater ponds. E-water, Official Publication of the European Water Association.
- Pettersson, T. J. R. (1999) Stormwater ponds for pollution reduction. Department of Sanitary Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Randal, W. C., Ellis, K., Grizzard J. T. & Knocke, W. R. (1982) Urban runoff removal by sedimentation, stormwater detention facilities. Proceedings from Conference on Stormwater Facilities, ASCE.
- Rydberg, A. (2003) Förlängd provtagning Kolardammen. Uppdrag 1702051000, SWECO VBB VIAK AB, Stockholm.
- Schueler, T. R. & Holland, H. K. (2000). The practice of watershed protection. Article 65 Irreducible pollutant concentrations discharged from stormwater practices. Watershed Protection Techniques 2(2): 396–372.
- Semadeni-Davies, A. (2004) Vinter vid Bäckaslöv våtmark – fallstudie från en dagvattendamm i Växjö kommun, Småland. Rapport nr 2004-14, VA-forsk.
- Thackston, E. L., Shields, F. D. Jr. & Schroeder, P. R. (1987) Residence time distributions of shallow basins. Environmental Engineering, Vol. 113, pp. 1319–1332.
- Vikström, M., Gustafsson, L.-G., German, J. & Svensson, G. (2004) Dagvattendammars avskiljningsförmåga – påverkande faktorer och metodik för bedömning. Rapport nr 2004-11, VA-forsk.

