



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 18 039

Examensarbete 30 hp
Februari 2019

Dimensionering och utformning av dagvattendammar

Kajsa Forsberg

REFERAT

Dimensionering och utformning av dagvattendammar

Kajsa Forsberg

Dagvatten som avrinner från urbana områden ansamlas i dagvattensystem där dagvattendammar är en typ av lösning för att hantera flöde samt ge en reningseffekt. Examensarbetet har gått ut på att utföra en litteraturstudie för att sammanställa kunskap och litteratur kring dagvatten och rening med dagvattendammar. Sammanställd kunskap och samband har sedan används som grund för att skapa ett Excel-baserat beräkningsverktyg specifik för dagvattendammar. Genom att lägga in data stegvis ger beräkningsverktyget resultat angående den utformade dammens reningseffekt, vilket mäts i avskiljningsgrad av suspenderat material (SS), fosfor (P), koppar (Cu) och zink (Zn). Avskiljningen av SS har i beräkningsverktyget uppskattats och beräknas utifrån två metoder som tar hänsyn till dammens hydraulik utifrån dimensioner och utformning, inkommande koncentration av SS och dammens volym i förhållande till dess avrinningsområde. Ytterligare en metod har använts för att uppskatta avskiljningen av olika fraktioner av SS. Avskiljningen av andra ämnen har på två olika sätt uppskattats utifrån andelen som är partikulärt bunden och avskiljningen av SS. Resultatet av beräkningsverktygets beräkningar har sedan jämförts med sex utvalda svenska dammar som är väldokumenterade. Resultatet har även jämförts med resultat framtagna i programmet StormTac för samma dagvattendammar. Resultatet visar att beräkningsverktyget ger relativt bra uppskattning av flöde och föroreningshalter i det inkommande dagvattnet men inte lyckas förutse de stora variationerna i dagvattnet. Både beräkningsverktygets resultat och resultatet från StormTac visar generellt lägre avskiljningsgrad för SS i jämförelse med de uppmätta avskiljningsgraderna. Även avskiljningsgraden av P, Cu och Zn underskattas av beräkningsverktyget i jämförelse med uppmätta resultat från de utvalda dammarna. Däremot kan det observeras att resultatet av beräkningsverktyget generellt följer samma trend som resultat av StormTac och de uppmätta halterna.

Nyckelord: Dagvatten, dagvattendamm, hydraulisk effektivitet, avskiljningsgrad, reningseffekt.

Institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten och landskapslära, Uppsala universitet, Villavägen 16 SE-752 36 Uppsala

ABSTRACT

Dimensioning and design of storm water ponds

Kajsa Forsberg

Storm water runoff in urban areas will be collected in storm water systems and one type of solution to receive a flow and pollution reduction is storm water ponds. This study includes a literature study that compiles knowledge and literature about storm water and treatment of storm water by ponds. Compiled information and equations describing runoff and processes in storm water ponds have been used as base for creating an Excel based calculation tool specific for storm water ponds. By entering information about a storm water pond as input to the tool step by step it provides an estimated result regarding the pollution reduction efficiency of the incoming storm water. The tool estimates the reduction efficiency for suspended solids (SS), phosphorus, (P), copper (Cu) and zinc (Zn). The reduction efficiency of SS is determined in the tool by using two different methods that includes input data of the pond hydraulics depending on its design, incoming concentration of SS and the pond volume relative to runoff area. The tool also estimates the reduction efficiency of SS by particle fraction. Reduction of P, Cu and Zn is estimated in two methods by using the particle bound and the reduction efficiency of SS. The created tool has thereafter been applied on six well documented ponds located in Sweden. The estimated results by the tool is thereafter compared to the documented results regarding incoming flow, pollution concentration and reduction efficacy. The estimated tool is also compared with results from StormTac, which is a program for design of storm water facilities. The result indicates that the tool estimates the incoming flow and concentration relatively well but that it is complicated to estimate the big variations in storm water. Both the tool and StormTac generally estimates lower reduction efficacy of SS than the actual for all selected ponds. The reduction efficiency of P, Cu and Zn is also underestimated by the tool compared to the actual values. However, it can be observed that the estimated result follow the same trend as the actual values and result from StormTac.

Keywords: Stormwater, stormwater ponds, hydraulic efficiency, reduction efficacy

Department of Earth Sciences; Air, Water and Landscape Sciences, Uppsala University, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden.

FÖRORD

Detta examensarbete är utfört inom civilingenjörsprogrammet Miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet och motsvarar 30 hp. Arbetet har utförts för WRS Water Revival Systems Uppsala under handledning av Hannes Öckerman. Roger Herbert vid Institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära vid Uppsala universitet har varit ämnesgranskare för arbetet. Examensarbetet har utöver finansiering från WRS Water Revival Systems Uppsala även haft medfinansiering från Kretslopp och vatten, Göteborgs stad, Miljösamverkan Stockholms län, Norrköping Vatten och Avfall, Sollentuna Energi & Miljö, Täby kommun, Samhällsutvecklingskontoret och Upplands-Bro kommun.

Handledare:	Hannes Öckerman, WRS Water Revival Systems Uppsala
Ämnesgranskare	Roger Herbert, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet
Finansiärer:	Kretslopp och vatten, Göteborgs stad Miljösamverkan Stockholms län Norrköping Vatten och Avfall Sollentuna Energi & Miljö Täby kommun, Samhällsutvecklingskontoret Upplands-Bro kommun

Copyright © Kajsa Forsberg och Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.
UPTEC W 18 039, ISSN 1401–5765
Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2018.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Det vatten som vid regn inte kan sjunka in i marken eller avdunsta till atmosfären kommer att avrinna längs med markytan. I stadsmiljö och där en större andel av markytan är hårdgjord kommer det vara en större volym regnvatten som avrinner. Detta benämns dagvatten. Dagvatten kommer på grund av avrinning på stadsmiljöns hårda ytor där föroreningar från exempelvis avgaser, bildäck och luftföroreningar samlats förorenas. För att hantera dagvattnet, dels förhindra översvämningar och dels motverka att föroreningar sprider sig till vattendag, sjöar och hav, kan olika typer av dagvattenanläggningar skapas. Dagvattendammar är en typ av dagvattenanläggning som har en öppen vattenyta där det avrinnande regnvattnet kan samlas och renas. Reningsprocesser i dagvattendammar innebär sedimentering av partiklar och upptag av näringsämnen. Sedimenteringen i dagvattendammar kan styras genom att konstruera dem på ett sätt som sänker flödes hastigheten genom dammen och skapar bra spridning av det inkommande vattnet. Konstruktionen av dagvattendammar görs genom dimensionering och utformning.

Examensarbetet inkluderar en litteraturstudie med samlad kunskap och ekvationer för att beskriva hur en dagvattendamm renar dagvatten och vilka parametrar som påverkar vilket har vart grunden vid skapandet av ett Excel-baserat beräkningsverktyg med specifikt för dagvattendammar. Beräkningsverktyget består av nio stycken flikar som stegvis beräknar och uppskattar en dagvattendammens reningsförmåga utifrån olika inparametrar, exempelvis storlek avrinningsområde, dimensioner av dagvattendammen, utformning. Beräkningsverktyget beräknar och uppskattar avskiljningen av lösta partiklar (SS) genom att använda tre metoder, två som använder dammens inkommande halt av SS, spridningen av inkommande vatten i dammen och dammens storlek i förhållande till avrinningsområdets storlek och en metod som beräknar avskiljningen av olika storlekar av partiklar vilket beror av hur dessa olika storlekar sjunker till botten med olika hastighet. Reningen av fosfor, koppar och zink har dels uppskattats genom att använda den förväntade reningen av SS och den andel som är bunden till partiklar dels genom att använda den inkommande halten SS och dammens storlek i förhållande till avrinningsområdet.

Det skapade beräkningsverktyget har sedan används på sex stycken utvalda dagvattendammar som har dokumenterade undersökningar av vattenflöde, föroreningshalter och rening. Jämförelse mellan beräkningsverktygets resultat för de sex dammarna och de verkliga uppmätta resultaten visar att beräkningsverktyget ger en ganska bra uppskattning av vattenflöde och halt i det inkommande dagvattnet men att dessa också är svåra att uppskatta. Jämförelse av reningen visar att beräknad rening i beräkningsverktyget är lägre än den verkliga för båda metoderna. Resultatet har även jämförts med resultat från programmet StormTac. Dessa resultat visar också lägre värden än de verkliga uppmätta. Resultatet från beräkningsverktyget beskriver enligt jämförelse med dessa sex utvalda dagvattendammar lägre värden men följer samma trend som resultat från StormTac och uppmätt rening.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	SYFTE.....	1
1.2	AVGRÄNSNINGAR.....	2
2	TEORI	3
2.1	DAGVATTEN	3
2.1.1	<i>Föroreningssammansättning</i>	3
2.1.2	<i>Riktvärden</i>	5
2.1.3	<i>Avrinning</i>	5
2.1.4	<i>Framtida klimatanpassningar</i>	8
2.2	DAGVATTENDAMMAR	8
2.2.1	<i>Reningsprocesser i dagvattendammar</i>	8
2.2.2	<i>Belastning</i>	10
2.2.3	<i>Hydraulik</i>	11
2.2.4	<i>Specifik dammarearea och dammvolym</i>	17
2.3	VEGETATION I DAGVATTENDAMMAR.....	18
2.3.1	<i>Vegetationstyper</i>	18
2.3.2	<i>Vegetationens inverkan på hydrauliska effektivitet</i>	19
2.4	AVSKILJNINGSGRADER.....	20
2.5	BRÄDDNING AV INFLÖDE.....	23
2.6	DRIFT OCH UNDERHÅLL.....	23
2.7	STORMTAC	24
3	METOD	24
3.1	LITTERATURSTUDIE.....	24
3.2	SAMMANSTÄLLNING AV SAMBAND OCH EKVATIONER	25
3.3	UTVALDA DAGVATTENDAMMAR OCH STUDIEBESÖK	25
3.3.1	<i>NOS-dammarna</i>	28
3.3.2	<i>Kungsängsdammen, Uppsala</i>	30
3.3.3	<i>Bäckaslöv våtmarksanläggning</i>	30
3.4	FRAMTAGANDE BERÄKNINGSVERKTYG	31
3.5	JÄMFÖRELSE MED UTVALDA DAMMAR	35
4	RESULTAT	35
4.1.1	<i>Sammanställning utvalda dagvattendammar</i>	35
4.2	JÄMFÖRELSE UPPMÄTT FLÖDE OCH KONCENTRATION	36
4.3	HYDRAULIK I DAMMARNAS.....	37
4.4	AVSKILJNINGSGRADER SS.....	38
4.5	JÄMFÖRELSE STORMTAC.....	43
4.6	LAGRING SS I DAMMEN	44
4.7	AVSKILJNING AV FRAKTIONER	45
4.8	AVSKILJNING ÖVRIGA ÄMNEN.....	45
5	DISKUSSION	47
5.1	HYDRAULIK	47
5.2	AVSKILJNING	47
5.3	UTVECKLINGEN AV VERKTYGET	48
6	SLUTSATS	49
7	REFERENSER	51
	BILAGA A BERÄKNINGSVERKTYG	54

1 INLEDNING

Nederbörd som avrinner från urbana områden med hårdgjorda ytor definieras som dagvatten och innehåller föroreningar från atmosfärisk deposition och ytor inom avrinningsområdet. Det förorenade dagvattnet kan behandlas genom olika dagvattenlösningar. Ett sätt att behandla dagvatten är att låta vattnet renas i en dagvattendamm. Behandlingen går ut på att flödes hastigheten hos dagvattnet sänks vilket möjliggör att partiklar och andra föroreningar som är partikulärt bundna kan sedimentera och avsättas till dammens botten. Utöver sedimentering av partiklar som är den huvudsakliga reningen av dagvattnet i dagvattendammar sker även en biologisk rening tack vare vegetation och levande organismer i dammen. Genom att dimensionera och utforma dagvattendammar på lämpligt sätt kan avskiljningen av föroreningar och därmed reningen av vattnet förbättras. Dimensionering inkluderar egenskaper såsom dammens längd, djup, yta samt vattnets omsättningstid.

Det finns i dagsläget stora mängder av praktisk kunskap och litteratur angående dagvattendammars funktion. Beräkningsverktyget StormTac som används för dagvattenberäkningar är baserat på mätdata med varierande pålitlighet och är inte skapat specifikt med avseende på dagvattendammar. Det saknas en konkret och koncis instruktion om hur dagvattendammar bör dimensioneras och utformas utifrån erfarenheter om reningseffekt och uppföljningar från befintliga studier under svenska förhållanden.

1.1 SYFTE

Syftet är att utreda funktionen hos dagvattendammar baserat på förhållandet mellan avskiljningsgraden (R) av föroreningar och dammars dimensioner och utformning. Sammanställd litteratur och kunskap används därefter för att skapa ett användarvänligt beräkningsverktyg. Beräkningsverktyget ska utifrån vissa parametrar som beskriver dammens dimensioner och utformning beräkna dammens funktion med avseende på dess förmåga att avskilja suspenderade partiklar (SS), fosfor (P), koppar (Cu) och zink (Zn). Beräkningsverktyget ska vara enkelt att använda och ge en ungefärlig uppskattning av vilken dagvattensammansättning och flöde som belastar dagvattendammen, hur dammens utformning påverkar spridningen av det inkommande vattnet i dammen samt hur detta kommer att påverka dammens förmåga att rena vattnet.

Data från sex utvalda dagvattendammar; Ladbrodammen, Myrängsdammen, Tibbledammen, Viby Gårds dammar, Kungsängsdammen och dammarna i Bäckaslöv våtmark ska implementeras i beräkningsverktyget för att utvärdera resultatet mot uppmätt in- och utgående föroreningskoncentration, flöde samt avskiljning. Samtliga dammar är välfungerande utifrån resultat av tidigare provtagningar.

Beräkningsverktyget är skapat för spridas till och användas av kommuner som äger dagvattendammar. De ska ha möjlighet att använda det för utvärdering av existerande dagvattendammar samt inför anläggning av nya dagvattendammar.

Examensarbetet förväntas besvara följande frågeställningar:

- Hur väl beskriver teoretiska samband och ekvationer avskiljningsgraden av föroreningar i dagvattendammar i jämförelse med uppmätt data från verkliga dammar?
- Hur påverkar dimensionering och utformning av en dagvattendamm dess reningsförmåga?
- Vilka parametrar är viktiga att ta hänsyn till när man dimensionerar och utformar en dagvattendamm?

1.2 AVGRÄNSNINGAR

Arbetet har för att inte omfatta för mycket information och på grund av tidsbegränsningen avgränsats med avseende på vilka ämnen som har tagits med i beräkningarna och urvalet av dagdammar som valts att inkluderas. Ämnen som har valts som parametrar är SS, P, Cu och Zn. Urvalet av dagvattendammarna är delvis avgränsat beroende av geografiskt avstånd samt att de valda dammarna är välstuderade och har långa provtagningsserier.

2 TEORI

Effektiviteten av behandlingen av dagvatten i dagvattendammar beror av dess föroreningsammansättning, avrinningsområdets egenskaper för inkommande vattenflöde, dagvattendammens storlek och utformning samt vegetationen i dammen. Alla dessa parametrar ger en sammanslagen effekt på dagdammens funktion att avskilja SS och andra föroreningar från dagvattnet. Detta kapitel inkluderar avrinnings påverkan på dagvatten med avseende på flöde och föroreningar samt processer och samband förknippade med dagvattendammar.

2.1 DAGVATTEN

Urbana områden har en större utbredning av hårdgjorda ytor vilket motverkar infiltration av vatten från nederbörd samt ökar avrinningen utmed markytan. Ansamlingen av vatten som inte avdunstar till luften eller infiltrerar till grundvattnet kommer istället att transporteras utmed markytan och definieras som dagvatten. Massbalansen för vatten anges (Persson, 1998)

$$P = E + R_{avrinning} + \Delta M \quad (1)$$

där P är nederbörden, E evaporationen, ΔM magasineringen i marken och $R_{avrinning}$ avrinnande vatten vilket i en urban miljö hanteras som dagvatten (Persson, 1998).

Dagvattnet transporteras och hanteras traditionellt i olika typer av ledningssystem där det vanligaste systemet är duplikatsystem. I ett duplikatsystem hanteras dagvatten separat utan att blandas med spillvatten från hushåll eller industri. Dräneringsvatten, från exempelvis husgrunder, kan kopplas till något av ledningssystemen. I äldre urbana delar används delvis fortfarande separata system där dagvatten transporteras i öppna diken till recipienten. I kombinerade system blandas dagvattnet med spillvatten och dräneringsvatten vilket innebär problem, på grund av höga fluktuationer i flödet, och har därför undvikits i Sverige sedan 60-talet (Persson, 1998).

2.1.1 Föroreningsammansättning

Sammansättningen av föroreningar i dagvatten kan härledas till den typ av aktivitet som markytan inom avrinningsområdet används för, exempelvis bostäder, parker, trafik eller industriell aktivitet (Griffin *et al.*, 1980). Föroreningar och partiklar som finns utspridda på markytan, exempelvis oljespill, tungmetaller, näringsämnen, stoft och gummirester kommer vid avrinning av nederbörd transporteras med dagvattnet vilket ger en föroreningsspredning till avrinningsområdets recipient. Vanliga föroreningar i dagvattnet är bland annat tungmetaller, näringsämnen som P och kväve (N) samt organiska ämnen. Dessa kan vara lösta i vattnet eller partikulärt bundna till SS (Persson, 1998). Att uppskatta fördelningen och förekomsten av föroreningar är komplicerat då

markanvändning kan variera mycket och spridning sker från diffusa källor (Griffin *et al.*, 1980).

Dagvattnets vattenkvalitet beror även på nederbördens karaktär, exempelvis intensitet och varaktighet, vilket gör att kvaliteten av det inkommande dagvattnet kan variera under avrinningstillfället. Hur föroreningar och partiklar avrinner ger koncentrationsvariationer i det inkommande dagvattnet och beror av nederbördens varaktighet och intensitet (Pramsten, 2010). Väderförhållanden och eventuella ansamlingar av föroreningar i avrinningsområdet under torrperioder har en relativt liten effekt på föroreningsinnehållet i dagvatten i förhållande till effekten av nederbördens varaktighet och intensitet. Responsten på nederbörden med avseende på flöde och föroreningshalter är tydligare när avrinningsområdet är mindre och har brantare lutning (Alias *et al.*, 2014).

Ofta ger halten av SS en indikation på föroreningshalter av andra ämnen som är partikulärt bundna (Persson, 1998) men att bedöma vattenkvaliteten utifrån innehållet av SS i dagvatten är inte helt tillförlitligt, framförallt när det kommer till N, eftersom att kväveföreningar har andra egenskaper för löslighet och adsorption till partiklar än till exempel tungmetaller. Detta leder till att olika ämnen har olika respons på nederbördens intensitet och varaktighet (Miguntanna *et al.*, 2013).

Halten N i dagvattnet beror av tillgången på markytan vid avrinning. N finns framförallt löst eller bundet till organiskt material och frigörs lätt redan vid nederbörd av låg regnintensitet. Halten N bör därför framförallt associeras med regnintensiteten eftersom en större intensitet frigör mer organiskt material. P är till stor del partikelbundet och avrinning av P är en transportberoende process som associeras till både nederbördens intensitet och varaktighet (Miguntanna *et al.*, 2013). P påträffas i dagvatten under hela året och inom alla typer av avrinningsområden men generellt i högre halter med avrinning inom jordbruksområden. Fosforhalten i dagvattnet ökar med ökad hydraulisk belastning och ökad mängd SS (Braskerud, 2002). Schablonvärden för föroreningssammansättningen i dagvatten, sammanställd utifrån uppmätta halter, från olika typer av områden presenteras i tabell 1 (Alm *et al.*, 2010).

Tabell 1 Schablonvärden för föroreningsinnehållet i dagvatten från olika typer av markanvändning (Alm *et al.*, 2010).

	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	SS
Markanvändning	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Parkering	0,1	1,1	30	40	140	0,45	15	4	140
Villaområde	0,2	1,4	10	20	80	0,5	4	6	45
Radhusområde	0,25	1,5	12	25	85	0,6	6	7	45
Flerfamiljshusområde	0,3	1,6	15	30	100	0,7	12	9	70
Centrumområde	0,28	1,9	20	22	140	1	5	8,5	100
Industriområde	0,3	1,8	30	45	270	1,5	14	16	100
Parkmark	0,12	1,2	6	15	25	0,3	3	2	49
Skogsmark	0,035	0,75	6	6,5	15	0,2	0,5	0,5	34
Jordbruksmark	0,22	5,3	9	14	20	0,1	1	0,5	100
Gräs- och ängsmark	0,2	1	6	15	30	0,3	2	0,5	45

2.1.2 Riktvärden

Riktvärden, vilka representerar rekommenderade gränsvärden för föroreningar vid utsläpp av dagvatten till recipient, presenteras i tabell 2. Riktvärdena har tagits fram av Regionala dagvattennätverket i Stockholms län och används av flertalet kommuner både inom och utom länet. Riktvärdena varierar beroende på var inom ett avrinningsområde utsläpp sker, samt recipientens karaktär.

Tabell 2 Riktvärden för dagvatten för Stockholm stad enligt Riktvärdes-gruppen (Alm et al., 2010).

	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	SS
Enhet	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Stockholm 1M - direkt utsläpp till mindre recipient	0,16	2	8	18	75	0,4	10	15	40
Stockholm 2M - uppströms utsläpp till mindre recipient	0,17 5	2,5	10	30	90	0,5	15	30	60
Stockholm 1S - direkt utsläpp till större recipient	0,2	2,5	10	30	90	0,45	15	20	50
Stockholm 2S - uppströms utsläpp till större recipient	0,25	3	15	40	125	0,5	25	30	75
Stockholm 3VU - uppströms utsläpp av verksamhetsutövare	0,25	3,5	15	40	150	0,5	25	30	100
Göteborg - Mycket känslig recipient	0,05	1,25	14	10	30	0,4	15	40	25
Göteborg - Övriga recipienter (målvärden)	0,15	2,5	-	22	60	-	-	-	60
Jönköping - Låga halter	<0,0 50	<1,2 5	<3	<9	<60	<0,3	-	-	-
Jönköping - Måttlig halter	0,05 - 0,10	1,25 -5,0	3-15	9-45	60- 300	0,3- 1,5	-	-	-
Jönköping - Höga halter	>0,1 00	>5,0	>15	>45	>300	>1,5	-	-	-
Järfälla - Ballstaån	0,08	-	3	9	15	0,3	8	6	40
Järfälla Mälaren, Säbysjön och Översjön	0,1	-	3	9	15	0,3	8	6	40
Järfälla - Igelbäcken	0,08	-	1,5	4,5	7,5	0,15	4	3	25
Falkenberg och Varberg	0,2	3	14	20	60	0,4	15	20	60
NSVA och Åstorps kommun	0,2	2	8	18	75	0,4	10	15	40

2.1.3 Avrinning

Mängden dagvatten som avrinner inom ett område beror av tillrinningsområdets karaktär. Avrinning kan antingen presenteras som en uppskattad avrinning för ett visst dimensionerat nederbördstillfälle eller som en medelavrinning sett till hela året. För att beräkna årsmedelavrinningen används årsmedelnederbörd medan dimensionerat flöde beräknas med s.k. den rationella metoden.

För båda metoderna krävs en uppskattning av hur väl nederbörden infiltrerar markytan. Detta uppskattas med en avrinningskoefficient, φ_n , som är specifik för varje typ av markanvändning. Det finns två typer av avrinningskoefficienter. Volymavrinningskoefficienter beskriver den avrunna volymen som andel av nederbörden från en yta sett till årsbasis och används för beräkningar av årsavrinning. För enskilda dimensionerande regn används (dimensionerande) avrinningskoefficienter som beskriver avrinningen från en yta för ett kortare nederbördstillfälle. Se tabell 3 för ett urval av olika markanvändningar och tillhörande volymavrinningskoefficienter (Alm *et al.*, 2010).

Tabell 3 Avrinningskoefficient för olika typer av markanvändning (Alm *et al.*, 2010).

Markanvändning	Avrinningskoefficient
	φ_n
Parkering	0,85
Villaområde	0,25
Radhusområde	0,32
Flerfamiljshusområde	0,45
Centrumområde	0,7
Industriområde	0,6
Parkmark	0,18
Skogsmark	0,05
Jordbruksmark	0,11
Gräs- och ängsmark	0,075

Kartering av avrinningsområdets delområden och tillhörande avrinningskoefficient ger en sammanvägd avrinningskoefficient, φ_S , som anges

$$\varphi_S = \frac{A_1 \varphi_1 + A_2 \varphi_2 + \dots + A_n \varphi_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \varphi_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)} \quad (2)$$

där A_n och φ_n är respektive områdes area och volymavrinningskoefficient för markanvändningen inom området (Tegelberg & Svensson, 2013). Avrinningsområdets reducerade hårdgjorda yta, A_{red} , beräknas (Svenskt vatten, 2016)

$$A_{red} = \varphi_S A_{tot} \quad (3)$$

Årsmedelavrinningen från ett avrinningsområde beräknas under antagandet att nederbörden inom den reducerade avrinningsarean ger en avrinningsvolym. Årsmedelavrinningen, $Q_{avrinning}$, anges

$$Q_{avrinning} = p \varphi_S A_{tot} = p A_{red} \quad (4)$$

Där A_{red} är den reducerade hårdgjorda ytan och p den korrigerade årsmedelnederbörden vilket är den uppmätta nederbörden korrigerad mot mätfel. Nederbörden i Sverige är generellt mellan 400-900 mm/år (Larm, 2000).

För att dimensionera dagvattendammar med avseende på uppehållstid kan ekvation (4) korrigeras med en faktor N_{dad} enligt Larm (2000)

$$Q_{dimmedel} = N_{dad} p A_{red} \quad (5)$$

Där N_{dad} är en faktor som används för att dimensionera flödet till dagvattendammen. Faktorn ansätts till vanligtvis till två men inom intervallet 1,0–2,5 (Larm, 2000).

Den rationella metoden beräknar det dimensionerade vattenflödet från avrinningsområdet för en viss nederbördsintensitet och regnvaraktighet. Ett dimensionerande flöde används till exempel för att dimensionerar ledningar och andra avledningsstråk för att se till att tillräcklig kapacitet finns vid kraftigare nederbördstillfällena. Det dimensionerade flödet ges av (Svenskt vatten, 2016)

$$Q_{dim} = i(t_r) \varphi_S A_{tot} \quad (6)$$

där φ_S är den sammanvägda avrinningskoefficienten, A_{tot} avrinningsområdets area (ha) och $i(t_r)$ är dimensionerad nederbördsintensitet (l/s). Den dimensionerade nederbördsintensiteten anges (Svenskt vatten, 2016)

$$i(t_r) = 190 \sqrt[3]{T} \frac{\ln(t_r)}{t_r^{0,98}} + 2 \quad (7)$$

där T är återkomsttiden för det dimensionerade nederbördsintensiteten (år) och t_r regnvaraktigheten (minuter). I den rationella metoden motsvarar regnvaraktigheten avrinningsområdets koncentrationstid. Koncentrationstiden definieras som den längsta transporttiden för nederbörd att transporteras till dammens inlopp från någon punkt belägen i avrinningsområdet. För att rationella metoden ska vara tillförlitlig bör markanvändningen, se tabell 3, inom hela avrinningsområdet vara av liknande typ. Dessutom bör transporttiderna från olika delar av avrinningsområdet inte variera allt för mycket (Svenskt vatten, 2016). Rationella metoden är enligt MBWCP (2006) tillförlitlig för avrinningsområden av någorlunda rektangulär form och som är mindre än 50 hektar. För större avrinningsområden är uppskattningen inte lika tillförlitlig eftersom avrinningsområdet har en större variation.

2.1.4 Framtida klimatanpassningar

I framtida klimat förväntas nederbörden öka i intensitet och kvantitet, vilket genererar ökande dagvattenflöden. Det innebär en större risk för att nedströms recipienter blir uppdämda och avrinningsområden som har låg lutning har ökad översvämningrisk. Därför bör bostadsområden inom dessa områden anpassas för att klara översvämningar. För att anpassa och dimensionera dagvattendammar för framtida klimat kan den rationella metoden utökas med en klimatfaktor k_f vilket ger

$$Q_{dim} = i(t_r) \varphi S A_{tot} k_f \quad (8)$$

Faktorn k_f rekommenderas vara minst 1,2 men anpassas efter regionala förutsättningar och förväntad livslängd hos anläggningen (Svenskt vatten, 2016).

2.2 DAGVATTENDAMMAR

För att förhindra det förorenade dagvattnet från att transporteras direkt ut i recipienten kan dagvattendammar fördröja avrinningen och behandla vattnet innan det släpps ut i vattendrag (Griffin *et al.*, 1980). Hantering av dagvatten med hjälp av dammar påbörjades på 1970-talet och har sedan dess ökat. Utformning och dimensionering av dagvattendammar bör styras beroende på om behovet är flödesutjämning av avrinnande dagvatten, rening genom avskiljning av partiklar eller näringsämnen eller en kombination av båda (Persson, 1998). Urbana bostadsområden och nybyggnadsområden bidrar generellt med en lägre föroreningsbelastning jämfört områden med industriverksamhet eller näringsrika markområden. De senare typerna bör därför prioriteras med avseende på rening medan urbana områden med bostäder ska prioriteras med avseende på översvämningar vid höga vattenflöden (Sønderup *et al.*, 2016).

2.2.1 Reningsprocesser i dagvattendammar

En dagvattendamm ska genom dess utformning och konstruktion skapa gynnsamma förhållanden för reningsprocesser av det inkommande dagvattnet. De reningsprocesser som behandlar vattnet är framförallt filtrering och sedimentation av partiklar men även växtupptag av näringsämnen och denitrifikation av kväveföreningar. Sedimentation är en fysisk reningsprocess medan växtupptag och denitrifikation är beroende av biologiska faktorer i dammen. Den biologiska reningen med vegetation bidrar till biologisk mångfald (Persson, 1998).

Avskiljning av partiklar med sedimentering i dagvattendammar sker genom att vattnets flödes hastighet minskar vilket möjliggör att partiklar sjunker till dammens botten. Sedimenterings hastigheten avgörs av partiklarnas storlek, form och densitet samt vattenflödet. Större partiklar, exempelvis sandpartiklar, avsätt i den initiala delen av dagvattendammen medan mindre partiklar som silt i större grad återfinns i sedimenten närmare utloppet (Braskerud, 2001). Sedimenterings hastigheten, v_s , anges som (Persson & Pettersson, 2006)

$$v_s = \frac{g}{18} (\rho_p - \rho_w) \frac{d_{partikel}^2}{\eta} \quad (9)$$

där ρ_p är partikeldensiteten (kg/ m^3), ρ_w vattendensiteten (kg/ m^3), d_p partikelstorleken (m) och η vattnets dynamiska viskositet (kg/sm) (Persson & Pettersson, 2006). Fördelningen av minerogena partikelfraktioner av SS, vilket inte inkluderar organiskt material, och motsvarande sedimentationshastighet presenteras i tabell 4 (MBWCP, 2006).

Tabell 4 Sedimentationshastigheter för olika minerogena partikelfraktioner av SS (MBWCP, 2006).

	Partikeldiameter	Sedimentations hastighet
Parameter	$d_{partikel}$	v_s
Enhet	μm	mm/s
Väldigt grov sand	2000	200
Grov sand	1000	100
Medium sand	500	53
Fin sand	250	26
Väldigt fin sand	125	11
Grov silt	62	2,3
Medium silt	31	0,66
Fin silt	16	0,18
Väldigt fin silt	8	0,04
Lera	4	0,011

Sedimentering är en reningsprocess som endast sker för föroreningar som är bundna till partiklar vilket kan förväntas vara tungmetaller, organiskt material, P, N och SS. De andelar som är lösta i vattnet och inte partikulärt bundna avskiljs inte genom sedimentation (Persson, 1998). Andelen av näringsämnen och metaller som är i löst fraktion i dagvatten baserat på svenska fallstudier i Stockholm redovisas i tabell 5 (Larm & Pirard, 2010).

Tabell 5 Procentuell andel lösta fraktioner av näringsämnen och metaller från svenska fallstudier samt från amerikanska data för Pb (Larm & Pirard, 2010).

P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni
24 %	-	10 %	36 %	33 %	51 %	34 %	49 %

Avskiljning av P genom sedimentation i dagvattendammar är signifikant oavsett den hydrauliska belastningens variation med säsong (Braskerud, 2002) och ligger generellt mellan 60–75 % (Miguntanna *et al.*, 2013). Om högre fosforkoncentrationer påträffas i det översta sedimentet än vad som kan vara erhållet från avrinningsområdets

fosforbelastning kan det bero på att vegetationen genom sina rötter tar upp P från djupare sediment som genom nedbrytning av biomassa tillförs de ytligaste sedimenten (Braskerud, 2002).

Sedimenterade organiska partiklar kommer efter sedimentationen att brytas ned och mineraliseras vilket kommer att frigöra mineraler och närsalter till vattnet. P mineraliseras generellt men kan vid vissa förhållanden lösas i vatten och därmed läcka från dammen (Persson, 1998). För att motverka läckage och upprätthålla dammens funktion bör regelbunden rensning av sediment ske.

Avskiljning med biologisk rening innebär att vegetation och organismer i dammar tar upp näringsämnen och organiskt material från dagvattnet för att få tillväxt av biomassa. Tillväxten av biomassa är säsongsberoende och därmed även näringsupptaget och den biologiska reningen. Då vegetationen säsongsvist dör och bryts ned frigörs de inbundna näringsämnena och för att få en nettoavskiljning krävs det rensning av biomassa. Under den kallare säsongen bevaras näringsämnena i vegetationens rötter vilket innebär att rensning av död biomassa inte har en stor avskiljningseffekt (Persson, 1998). Rensning bör därför ske i slutet av vegetationsperioden, det vill säga under sensommaren eller tidig höst.

Mängden av en förorening som stannar i en dagvattendamm är skillnaden mellan mängden som kommer med det inkommande vattnet och mängden i det utgående vattnet enligt Verstraeten & Poesen (2000):

$$M_{avsatt} = M_{inflöde} - M_{utflöde} \quad (10)$$

där M_{avsatt} är mängden avsatt av ett ämne och $M_{inflöde}$ samt $M_{utflöde}$ mängd i inflöde respektive utflöde. Ämnen som inkommer med dagvattnet till dagvattendammar förväntas antingen avsättas i dammen eller lämna dammen med det utgående vattnet. Avskiljningsgraden R beskriver andelen av inkommande mängd som avsätts och blir kvar i dammen och anges (Verstraeten & Poesen, 2000):

$$R = \frac{M_{inflöde} - M_{utflöde}}{M_{inflöde}} = \frac{M_{avsatt}}{M_{inflöde}} \quad (11)$$

2.2.2 Belastning

Avrinningens förhållande till den reducerade hårdgjorda ytan inom en damms avrinningsområde och dammen storlek ger en skildring av belastningen på dammen. En högre belastning innebär att dammen behöver rena mer på mindre yta (Persson, 1998). Flödesbelastningen, v_y , på en dagvattendamm anges (Gu *et al.*, 2017)

$$v_y = \frac{Q_{avrinning}}{A_{damm}} \quad (12)$$

där $Q_{avrinning}$ anger det inkommande flödet till dammen och A_{damm} dammens ytarea (Gu *et al.*, 2017). En större belastning erhålls genom ett ökande flöde och minskad dammareal.

2.2.3 Hydraulik

Hydrauliken i en dagvattendamm beskriver det inkommande vattnets spridning i dammen samt hur stor del av dammens volym som vattnet strömmar igenom, vilket kallas den effektiva volymen. Detta styrs till stor del av dammens utformning. Hur väl dammen sprider det inkommande vattnet i dammens volym definieras som dess hydrauliska effektivitet där en hög effektivitet innebär hög spridning. Den hydrauliska effektiviteten påverkas av dammens utformning med avseende på dess längdbreddförhållande, bottentopografin, placering av in- och utlopp samt barriärer. Dessa förhållanden avgör tiden det tar för vattnet att transporteras genom dammen, följaktligen tiden för behandling av vattnet, vilket definieras som dammens uppehållstid (Persson, 1998).

I verkligheten är hydrauliken ett komplext system att beskriva eftersom vattenflödet genom dammen varierar mellan laminärt, parallellt och turbulent flöde. Det matematiskt optimala strömningsmönstret är när allt vattnet strömmar parallellt, vilket definieras som plugg-flöde. Ett plugg-flöde är idealiskt då det ger bättre förhållanden för reningsprocesserna i dammen. Vid idealt plugg-flöde, vilket aldrig uppstår i verkliga dammar, är den hydrauliska effektiviteten lika med 1,0 (Persson, 1998). En dagvattendamm bedöms ha bra hydraulisk effektivitet då den har värden över 0,7 och värden mellan 0,5 och 0,7 anses ge acceptabel effektivitet. Om den hydrauliska effektiviteten beräknas vara under 0,5 är dammens hydraulik dålig (Jansons & Law, 2007). Beräkningen av hydraulisk effektivitet beskrivs senare i detta avsnitt.

Upphållstiden för vattnet i dammen under idealt pluggflöde definieras som dammens nominella uppehållstid, t_n , och anges (Jenkins & Greenway, 2005)

$$t_n = \frac{V_{damm}}{Q_{medel}} \quad (13)$$

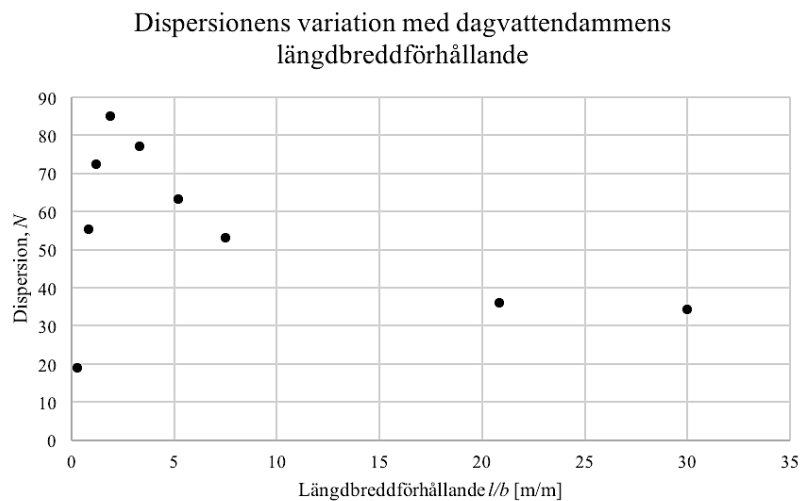
där V_{damm} är dammens volym, $Q_{avrinning}$ är årsmedelflödet genom dammen. Då plugg-flöde inte uppstår i verkliga dammar bör vattnets uppehållstid i dammen ses som en fördelning som varierar och inte ett värde (Jenkins & Greenway, 2005). Den dimensionerande uppehållstiden hos en dagvattendamm som beror av det dimensionerande flödet i ekvation (7) bör för dagvattendammar vara 12–24 timmar (Larm, 2000) baserad på erfarenheter från olika dagvattendammar i Sverige. Den effektiva volymkvoten, e , beror av den effektiva volymen och beskriver hur stor del av dammens volym som aktivt används för att behandla vattnet när det passerar dammen och anges (Persson, 2000)

$$e = \frac{t_{medel}}{t_n} = \frac{V_{eff}}{V_{damm}} \quad (14)$$

där t_{medel} och t_n är medel- respektive nominell uppehållstid. V_{eff} anger volymen som är aktiv i reningen och V_{damm} den totala volymen av dammen (Persson, 2000). Den effektiva volymkvoten kan utvecklas för att även inkludera en dispersionsfaktor som tar hänsyn till omblandning i dammen vilket ger en hydraulisk effektivitet, λ , och anges (Su *et al.*, 2009)

$$\lambda = e \left(1 - \frac{1}{N}\right) = \frac{t_{medel}}{t_n} \left(1 - \frac{t_{medel} - t_p}{t_{medel}}\right) = \frac{t_p}{t_n} \quad (15)$$

där e är den effektiva volymkvoten, $(1-1/N)$ dispersionen och t_p tiden för att uppnå maximala flödet i utloppet (Su *et al.*, 2009). När N ökar närmar sig flödet genom dammen plugg-flöde och den hydrauliska effektiviteten ökar. Hur faktorn N som påverkar dispersionen varierar med en dagvattendamms längd-breddförhållande illustreras i figur 1.

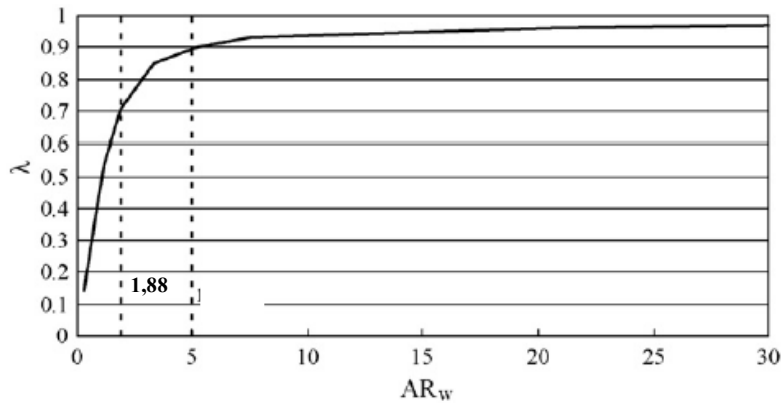


Figur 1 Dispersionens variation med längd-breddförhållandet hos dagvattendammar (Su *et al.*, 2009).

Avskiljningen av partikulära föroreningar ökar med ökad hydraulisk effektivitet och minskad flödesbelastning. För avskiljning av närsalter, framför allt N , gäller att flödesbelastningen är viktigare än den hydrauliska effektiviteten (Vikström *et al.*, 2004). En dammanläggning kan vid en begränsad yta förbättra sin avskiljning genom att förbättra dess hydrauliska effektivitet genom att optimera längd-breddförhållande, placering av in- och utlopp, bottentopografin samt implementering av barriärer (Persson, 1998).

Längd-breddförhållande

Dagvattendammens längd-breddförhållande och dess geometriska form påverkar hur vattnet fördelas i dammens volym och därmed dess hydrauliska effektivitet. När värdet på längd-breddförhållandet ökar närmar sig medelvärdet av den uppmätta uppehållstiden, t_{medel} , den nominella uppehållstiden, t_n , vilket betyder att ett plugg-flöde närmas, se figur 2 (Su *et al.*, 2009)



Figur 2 Den hydrauliska effektivitetens variation med längd-breddförhållande, AR_w , hos dammen. Vid ett längd-breddförhållande på 1,88:1 uppnås bra hydraulisk effektivitet på 0,7 (Su *et al.*, 2009)

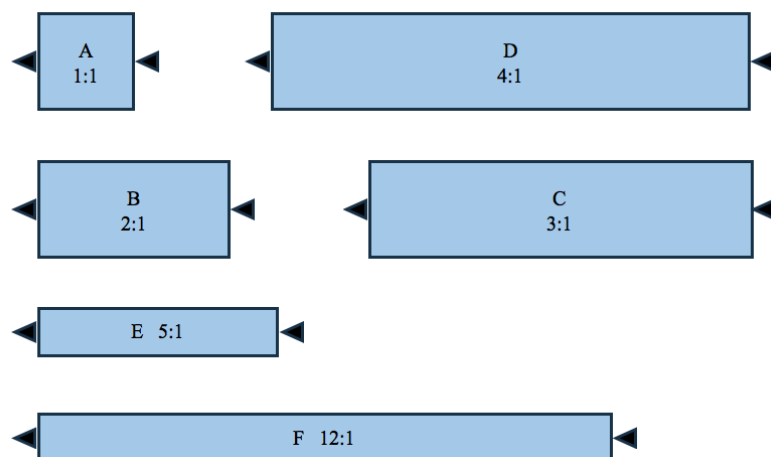
Vid ett längd-breddförhållande på 1,88:1 uppnås en bra hydraulisk effektivitet och för ett längd-breddförhållande på 5:1 överstiger den hydrauliska effektiviteten 0,9 (Su *et al.*, 2009). Vikström *et al.* (2004) presenterade samma korrelation, där ett längd-breddförhållande på 5:1 erhöill en hydraulisk effektivitet på 0,93. Enligt (Persson, 2000) är det kostnadseffektivaste längd-breddförhållandet 2:1.

Ett teoretiskt samband mellan dammens längd-breddförhållande och dess effektiva volymkvot, e , och därmed dess hydrauliska effektivitet ges av (Persson, 2000)

$$e = 0,84 \left(1 - \exp\left(-0,59 \frac{l}{b}\right) \right) \quad (16)$$

där e är den effektiva volymkvoten, l och b dammens längd respektive bredd (Persson, 2000)

Längdbredd-förhållande och tillhörande effektiv volymkvot, e , visas i figur 3 och tabell 6 (Su *et al.*, 2009).



Figur 3 Utformning och tillhörande längd-breddförhållande för dammar sett ovanifrån. (Ritad med inspiration av Su et al., 2009).

Tabell 6 Effektiv volymkvot, e , för olika längd-breddförhållanden i dagvattendammar med samma djup (Su et al., 2009).

Utformning	Effektiv volymkvot
-	e
A	0,44
B	0,79
C	0,86
D	0,88
E	0,92
F	1

In- och utlopp

Placeringen och funktionen av inlopp och utlopp till dammen påverkar hur det inkommande vattnet strömmar genom dammen och därmed dess hydrauliska effektivitet. Det inkommande vattnets hastighet avgör dess hastighet i dammen och därmed möjligheten för sedimentation av partiklarna i vattnet. En hög hastighet hos det inkommande vattnet innebär att partiklarna transporteras en längre sträcka innan de sedimenterar eller att de inte hinner sedimentera. Höga flöden kan också innebära en risk för genvägar genom dammen samt resuspension av sedimenterade partiklar. Energireduktionen vid inloppet och vattnets transportväg mellan in- och utlopp bör maximeras för att uppnå en så hög avskiljningsgrad som möjligt (Gu et al., 2017).

Su et al. (2009) studerade effekten av in- och utloppets placering på hydrauliken i en damm genom att undersöka rektangulära dammar med längd-breddförhållande 1,88:1 i tre olika kombinationer av placering, mittpunkt till mittpunkt, utspritt inlopp till mittcentrerat utlopp samt hör till hörn. Resultatet visar att ett utspritt inlopp och ett mittcentrerat utlopp förbättrar den effektiva volymkvoten från 0,71, som är mittpunkt

till mittpunkt, till 0,88. Placeringen hörn till hörn resulterade i en försämrad hydraulisk effektivitet till 0,65 (Su *et al.*, 2009). Persson (2000) presenterar liknande resultat för motsvarande utformning av dagvattendammar med längd-breddförhållande 2:1, se figur 4 och tabell 7. Avståndet mellan inlopp och utlopp ska vara minst 50 m men gärna upp till 80 m för att uppnå god hydraulisk effektivitet (Sønderup *et al.*, 2016).



Figur 4 Placering av olika typer av in- och utloppsett ovanifrån. (Ritad med inspiration av Persson, 2000).

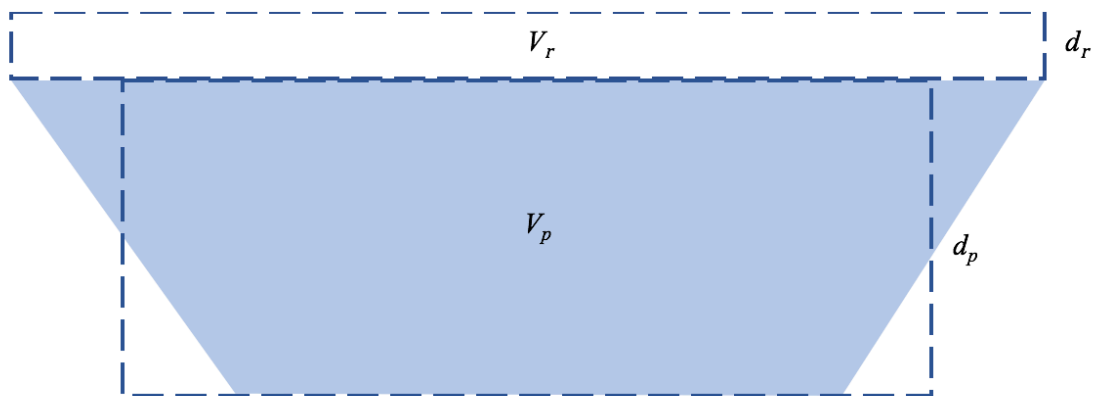
Tabell 7 Effektiv volymkvot, e , för utformning G och H (Persson, 2000).

Utformning	Effektiv volymkvot
-	e
G	0,74
H	0,89

Bottentopografi

Djupets variationer genom dammen beskrivs genom dess bottentopografi vilket kommer påverka vattnets strömningsmönster och flödes hastighet utmed botten. Genom utformningen av bottentopografien kan därmed den hydrauliska effektiviteten styras och föroreningsavskiljningen förbättras (Persson, 1998). Djupet påverkar avskiljningen av partiklars sedimentation genom att ett större vattendjup ger en lägre flödes hastighet och därmed längre uppehållstid. Däremot ger en för djup damm dålig hydraulisk effektivitet då vattnet inte strömmar genom hela vattenmassan. En grundare damm ger högre flödes hastighet vilket försvårar sedimenteringen men detta kan motverkas genom att förbättra den hydrauliska effektiviteten (Gu *et al.*, 2017). Enligt Vikström *et al.* (2004) har dock bottendjupet endast en marginell inverkan på avskiljningen då den sänkta hydrauliska effektiviteten på grund av djupet kompenseras av att uppehållstiden ökar med djupet vilket ger en låg totaleffekt på avskiljningen.

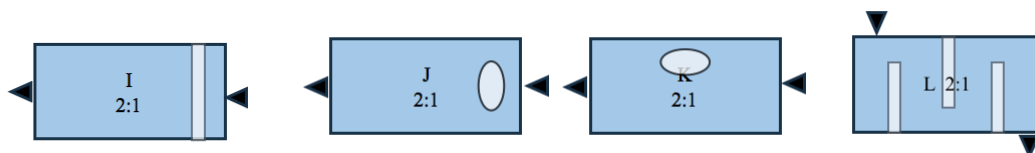
För effektiv sedimentering under dessa två omständigheter bör medelvattendjupet vara mellan 1,0 till 2,0 m exklusive grundare zoner med vegetation (Larm, 2000). Dammens djup bör anpassas beroende på vilken typ av avskiljning som dammen har i syfte att uppfylla. En dammanläggning med syfte att avskilja genom sedimentation av partiklar bör ha djupare delar medan dammar med syfte att rena vatten från P och N bör vara grundare och större till ytan för att gynna biologiska reningsprocesser och vegetationstillväxt. Genom att kombinera olika typer av djup kan avskiljningen med avseende på både partiklar och näringsämnen förbättras (Persson, 1998). En dagvattendamm som har möjlighet att höja sin vattennivå har utöver sitt permanenta djup, d_p , ett reglerdjup, d_r (Larm, 2000). Hur dessa förhåller sig till varandra och motsvarande volymer presenteras i figur 5.



Figur 5 Tvärsnitt av dagvattendamm med permanent och regler djup samt volym (Ritad av Kajsa Forsberg).

Barriärer

Barriärer som placeras i dammen påverkar vattnets strömmingsmönster genom dammen och på så vis ökas den hydrauliska effektiviteten utan att större markyta tas i anspråk. Barriärer i en damm kan utgöras av undervattensvallar, öar eller skiljeväggar. Dessa kan styra vattnets strömmingsmönster samt förhindra genvägar vilket ökar omblandningen och uppehållstiden i dammen (Sønderup *et al.*, 2016). Enligt Vikström *et al.* (2004) har en ellips-formad damm med längd-breddförhållande 1,75:1 och barriärer i form av en ö samt en undervattensvall en hydraulisk effektivitet på 0,96. Förslag på utformningar med barriärer och motsvarande effektiv volymkvot presenteras i figur 6 och tabell 8.



Figur 6 Utformning av dammar med olika typer av barriärer (Persson, 2000). Barriären i damm I illustrerar en undervattensbarriär. (Ritad med inspiration av Persson, 2000)

Tabell 8 Effektiv volymkvot för utformningar med barriärer (Persson, 2000).

Utformning	Effektiv volymkvot
-	e
I	0,93
J	0,96
K	0,73
L	1,0

Väderförhållanden

I dagvattendammar som har en utformning med djupare delar kan säsongsvariationer innebära temperaturskiktningar i vattnet, framförallt under sommar och vinter. Dessa temperaturskiktningar innebär en sämre omblandning av inkommande och befintligt vatten i dammen. Under den varmare säsongen kan det inkommande vattnet ha en lägre temperatur än det ytliga vattnet i dammen vilket orsakar det kalla vattnet att hamna på dammens botten och motverka omblandning. På vinterhalvåret har det inkommande vattnet en högre temperatur än det i dammen och det inkommande strömmar därför över det befintliga. Detta gör att uppehållstiden i dammen förkortas vilket i sin tur försämrar den hydrauliska effektiviteten (Persson, 1998).

Strömningsmönster hos dagvattendammar påverkas även av vindar då de skapar omblandning och turbulenta strömningar vilket har en negativ effekt på avskiljningsgraden med avseende på SS. Vinden kan motverka sedimenteringsprocessen och röra upp sedimenterade partiklar (Persson, 1998). Vindens riktning och styrka i förhållande till vattenströmmens riktning påverkar uppehållstiden i dammen som i sin tur påverkar reningseffekten. Om vinden motverkar och bromsar strömningshastigheten hos vattnet kan det öka uppehållstiden och därmed öka reningseffekten (Gu *et al.*, 2017). Vid planering av damm bör den därför placeras i längdriktningen vinkelrätt mot den vanligaste vindriktningen (Persson, 1998).

2.2.4 Specifik dammareal och dammvolymer

För att ge möjlighet till god avskiljning av föroreningar bör dammens yta i förhållande till avrinningsområdets hårdgjorda yta vara mellan 100 och 200 m²/ha_{red}, vilket motsvarar 1-2 % (Wu *et al.*, 1996). Detta ytförhållande benämns specifik dammareal. Persson & Pettersson (2006) anser däremot att den bör vara mellan 200–250 m²/ha_{red}. Om hänsyn tas till dammens hydrauliska effektivitet, bör den del av dammens area som aktivt bidrar till reningsprocesserna, definieras specifik effektiv dammareal, i förhållande till den reducerade hårdgjorda ytan vara 100-150 m²/ha_{red} vilket motsvarar 1–1,5 % (Persson & Pettersson, 2006). Förhållandet uppskattar dammens förmåga att ta emot det avrinnande flödet och kan ges av

$$\text{Specifik dammareal} = \frac{A_{damm}}{\varphi_s A_{avrinningsområde}} = \frac{A_{damm}}{A_{red}} \quad (17)$$

där A_{damm} är dammens area och A_{red} den reducerade hårdgjorda ytan av avrinningsområdet (Persson & Pettersson, 2006). Den specifika dammvolymer hos en damm anges av (Pramsten, 2010)

$$\text{Specifik dammvolymer} = \frac{V_{damm}}{\varphi_s A_{tot}} = \frac{V_{damm}}{A_{red}} \quad (18)$$

där V_{damm} är dammens volym. Enligt Persson & Pettersson (2006) motsvarar den andel av avskiljningsgraden av SS, som inte går att beskriva med den specifika dammvolymer, effekten av den hydrauliska effektiviteten hos dammen. Genom att

justera den specifika dammvolymer mot den andel av dammen som deltar aktivt i reningen av dammen och använda den effektiva volymen, V_{eff} , istället för den totala volymen V_{damm} erhålls den specifika effektiva volymen som rekommenderas vara inom intervallet 50 till 150 m³/ha_{red}. En specifik effektiv dammvolum över 150 m³/ha_{red} ger endast en marginell effekt på avskiljningsgraden (Pramsten, 2010).

2.3 VEGETATION I DAGVATTENDAMMAR

Vegetationen i en dagvattendamm bidrar till avskiljningen av föroreningar dels genom att påverka dammens hydrauliska effektivitet och dels genom att bidra till en biologisk rening. Ökad hydraulisk effektivitet med vegetation förbättrar förhållanden för sedimentering av SS och genom biologisk rening kan näringsämnen avskiljas. Vegetationen möjliggör även reduktion av organiska ämnen.

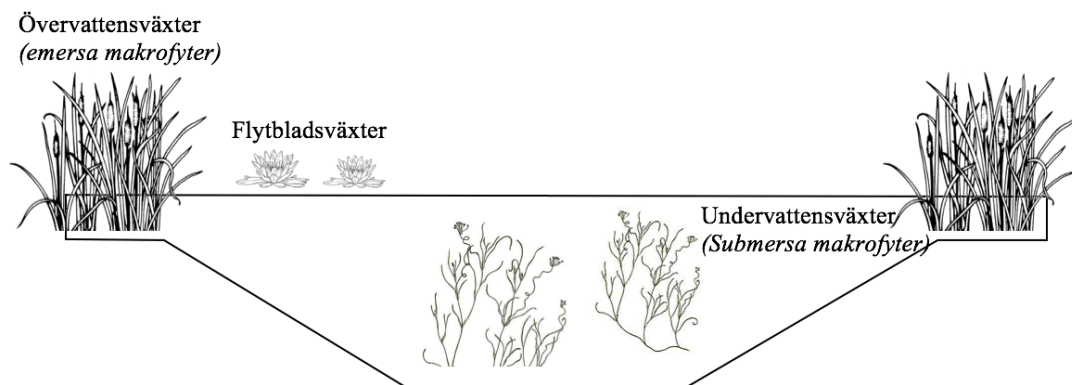
2.3.1 Vegetationstyper

Vegetationen i en dagvattendamm utgörs av tre typerna övervattenväxter (*emersa makrofyter*), undervattensväxter (*submersa makrofyter*) och flytbladsväxter. Beroende på typ av vegetation och art skiljer sig reningseffekten och den hydrauliska effektiviteten (Jenkins & Greenway, 2005).

- Övervattensväxter är växter som är rotade i dammens botten och har bladbiomassan ovanför vattenytan. De får på så vis näring och vatten genom rötterna medan de får tillgång till solljus ovan vattenytan. Kombinationen gör att de är snabbväxande och produktiva. Exempel på övervattensväxter är bladvass, bred- och smalkaveldun, sjösäv och jättegröe. Bladvass och kaveldun tillför mycket kol till vattnet vilket gynnar denitrifikation och kvävereduktion (Öckerman & Ridderstolpe, 2018). Bladvass kan trivas på vattendjup på maximal 1,5 m för sandiga bottenar och till 0,5 m för mjuka organogena bottenar, Bred- och smalkaveldun trivs på vattendjup mellan 0,1–0,5 m (Våtmarksgudien, 2016).
- Undervattensväxter finns helt under vattenytan med rötter som binder dem till botten och tar ofta upp näring direkt från vattnet. De har generellt mycket tunna blad som kan bilda täta skikt och nät i vattenmassan. Detta kan skapa en filtrerande effekt samt bidra till upptag och syresättning av vattenmassan i dagvattendammar. Undervattensväxters fotosyntes och andning missgynnas av grumligt vatten och skuggande övervattensvegetation. Exempel på undervattensväxter är slingor, vattenmöja, hornsäv, länke och vattenpest (Öckerman & Ridderstolpe, 2018). Dessa arter trivs på vattendjup mellan 0,6 och 1,5 m (Våtmarksgudien, 2016).
- Flytbladsväxter finns på vattenytan och har ibland rötter som binder de till botten. Då flytbladsväxter har näringsupptag från botten samt har fotosyntes och andning vid ytan har de endast en liten effekt på vattenrening. De kan även ha en negativ effekt på etablering av vegetation under vattenytan på grund av

skuggning. Exempel på flytbladsvegetation är näckros, gäddgnate och andmat (Öckerman & Ridderstolpe, 2018).

De olika typerna av vegetation och hur de kan växa och etablera sig i en dagvattendamm presenteras i figur 7.



Figur 7 Övervattens-, undervattens- och flytbladsvegetation i en damm. (Ritad med inspiration av Öckerman & Ridderstolpe, 2018).

2.3.2 Vegetationens inverkan på hydrauliska effektivitet

Vegetation i dagvattendammar reducerar flödes hastigheten hos vattnet genom dammen vilket ger en längre uppehållstid och möjlighet till sedimentering, vilket förbättrar avskiljningsgraden. Till viss del kan växtlighet i vatten även bidra med en filtrering (Gu *et al.*, 2017). Enligt Braskerud (2001) är vegetationens förmåga att förbättra avskiljningsgraden i en damm framförallt förknippat med reducerad turbulens och vattenhastigheten samt att en väletablerad vegetation i dammen har ett rotsystem som förhindrar att avsatta partiklar resuspenderas. Vegetation i dammen möjliggör en större yta för tillväxt av biofilm där partiklar kan adsorbera vilket också har en positiv effekt på avskiljningen. Organiskt material från biofilmen kan även öka flockbildningen och därmed öka sedimentationen.

Om vegetationen planeras eller etableras felaktigt kan det leda till att dammens reningsförmåga istället försämras. Det genomströmmande vattnet väljer alltid den väg genom dammen som innebär minst energiförlust. Om vegetationen gör att vattnet väljer genvägar genom att strömma genom en mindre volym av dammens totala volym innebär det att flödes hastigheten genom dammen ökar, uppehållstiden sänks och därmed försämras förutsättningarna för avskiljning (Braskerud, 2001).

Vid undersökning av utbredd vassvegetation utmed kantzonen (Jenkins & Greenway, 2005) visade det sig att uppehållstiden för vattnet som passerade genom zoner med vegetation blev längre. Däremot sänktes den hydrauliska effektiviteten eftersom mer vatten strömmade genom zonerna utan vegetation. Genom att placera vegetation i band från kant till kant vinkelrätt mot strömningsriktningen behöll dammen samma hydrauliska effektivitet som en damm helt utan vegetation, oavsett vilken densitet vegetationen har. Vegetationens densitet ökade uppehållstiden något (Jenkins & Greenway, 2005).

En hög avskiljning av SS sammanfaller med att den hydrauliska belastningen i dammen är hög. I en studie av Braskerud (2001) förbättras avskiljningen av SS i en dagvattendamm under fem år från nästan ingen rening till 66 % avskiljning av SS där den enda skillnaden i dammens funktion var att vegetationens utbredning ökade från 12 % till 52 %. En liknad utveckling observerades i ytterligare tre dammar (Braskerud, 2001).

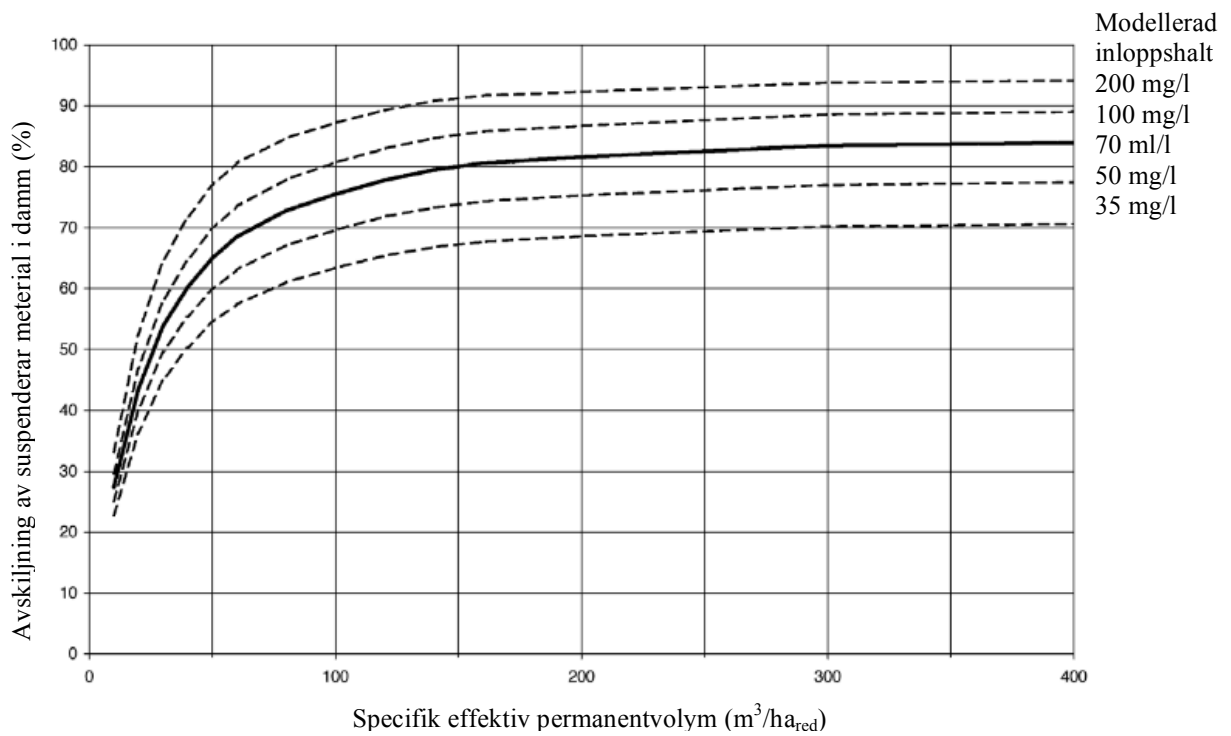
Förändringen i avskiljning av SS med vegetationens utbredning på dammarnas yta under sommar- och vintersäsong visar att avskiljningen generellt ökar med vegetationens utbredning. Den största effekten på avskiljningen av SS vid ökad vegetation under sommarsäsongen sker upp till 50 % utbredning och avtar sedan. Vintersäsongen inkluderar endast mätningar där vegetationen har en utbredning över 50 % vilket kan vara orsaken till att inget samband är observerbart. Efter 50 % utbredning är avskiljningen mer beroende av andra parametrar som den hydrauliska belastningen och inkommande halter av SS (Braskerud, 2001). Även Gu *et al.* (2017) har påvisat ett samband mellan vegetation och avskiljning av SS i små dammar med mellan 32 % och 42 % vid en vegetationsutbredning på 50 %. Vegetationens positiva effekt på avskiljningen utgörs framförallt av att den motverkar resuspension av sedimenterade partiklar. En väl etablerad vegetation med rötter i dammens botten ger en nästintill försumbar resuspension (Braskerud, 2001).

Typ av växtlighet i en dagvattendamm bör anpassas efter bottentopografin samt den typ av sediment och föroreningar som förväntas avsättas i olika delar av dammen. Dammens utformning bör inkludera djupare delar utan vegetation och grundare delar med utbredd vegetation. Vegetationen i de grundare delarna bör därför väljas efter art som är anpassad för det djupet och inte sprider sig till de djupare delarna. Även flytbladsvegetation bör undvikas i de djupare delarna (MBWCP, 2006).

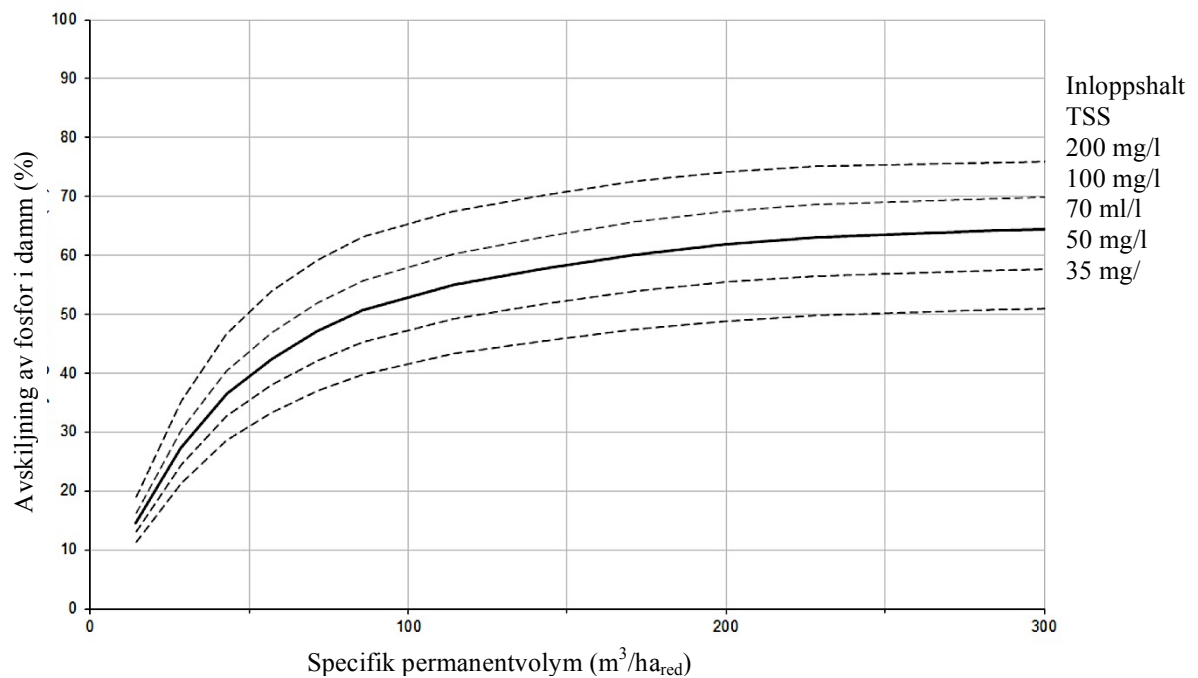
Vegetation som är enhetlig och likartad med avseende på placering och densitet reducerar strömningshastigheten på vattnet och ökar dess uppehållstid som på så vis kan förbättra avskiljningsgraden hos dammen. Reduktion av hastigheten vid mer komplexa vegetationssystem, för att efterlikna naturlig vegetation, i en damm är svårare att avgöra och kan variera kraftigare. Det är även svårare att bedöma inverkan av säsongsvariationer (Gu *et al.*, 2017).

2.4 AVSKILJNINGSGRADER

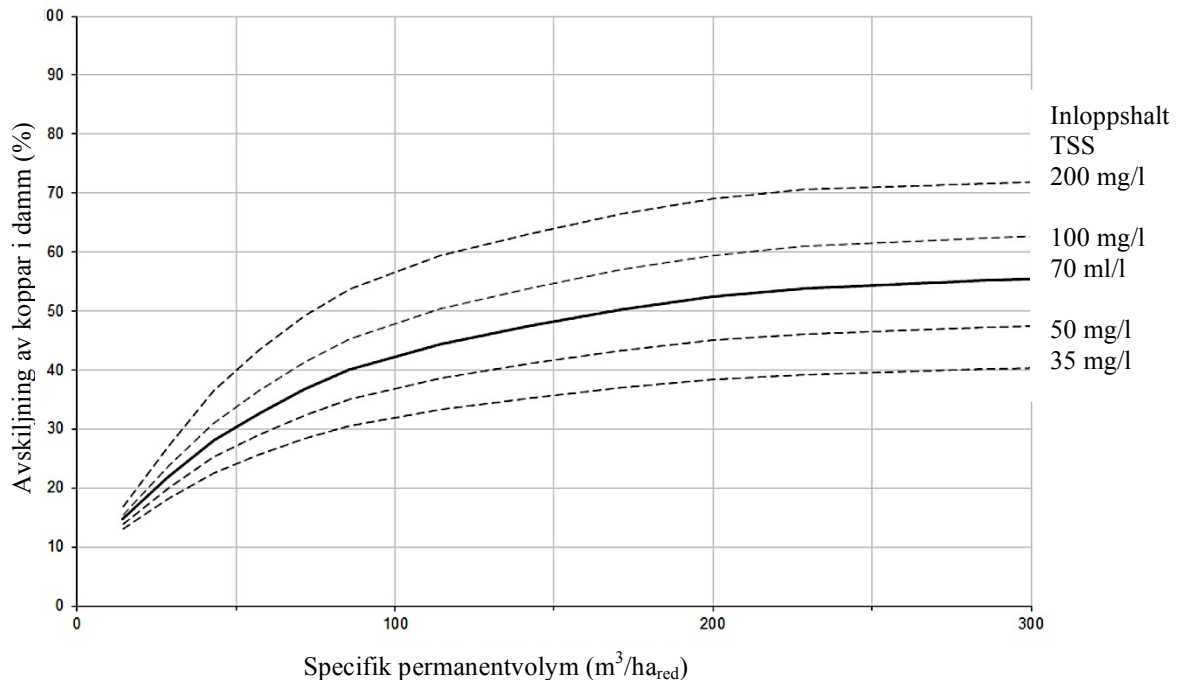
Avskiljningsgraden av SS i en dagvattendamm beror av flertal parametrar. Två dammar med samma utformning kan ha olika avskiljningsgrad beroende på halterna i det inkommande vattnet. En damm med lägre föroreningsbelastning kommer uppvisa en lägre avskiljning. De dammar som påvisar hög avskiljningsgrad är de som också har en högre belastning (Pramsten, 2010). Avskiljningsgraden av SS variation med den specifika effektiva dammvolymen och det inkommande dagvattnets koncentration av SS har modellerats i Pramsten (2010) och presenteras i figur 8. Avskiljningsgraden av P, Cu och Zn med den inkommande koncentrationen av SS och den specifika dammvolymen presenteras i figur 9, 10 och 11 (Pramsten, 2010).



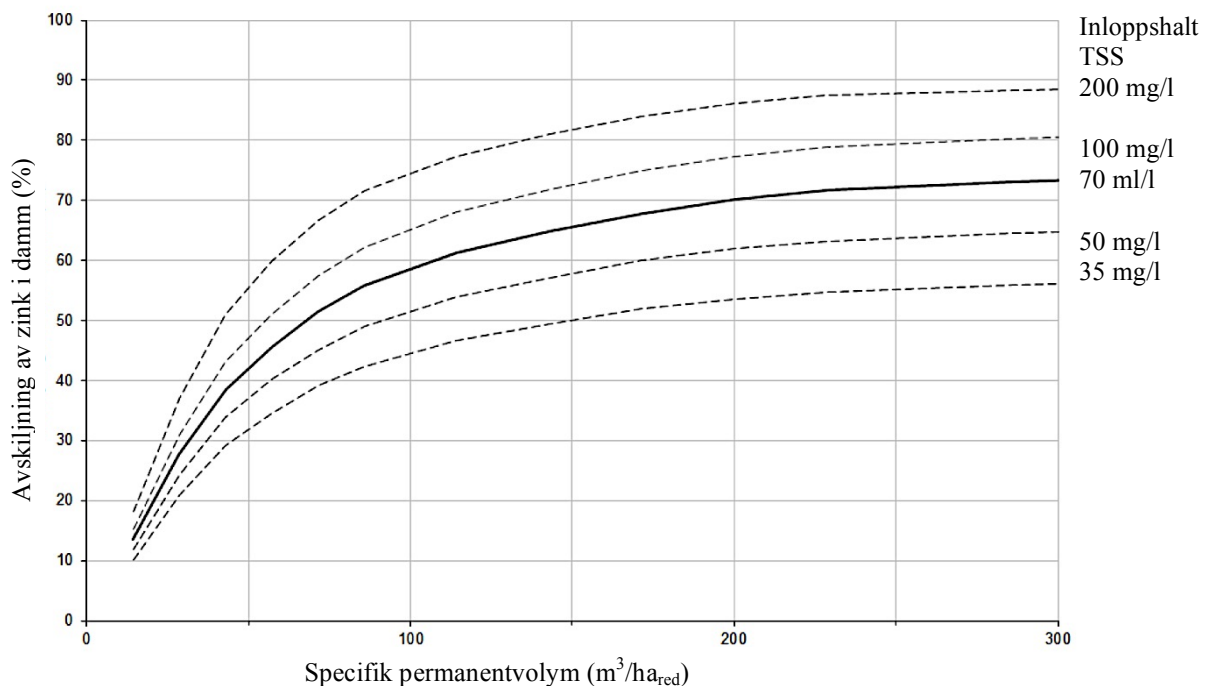
Figur 8 Avskiljningen av SS i dagvattendammar vid specifik effektiv dammvolym för olika koncentrationer i inkommande dagvatten (Pramsten, 2010). Figur används med tillstånd.



Figur 9 Avskiljningen av P med specifik dammvolym vid olika koncentrationer av SS i det inkommande vattnet (Pramsten, 2010). Figur används med tillstånd.



Figur 10 Avskiljningen av Cu med specifik dammvolym vid olika koncentrationer av SS i det inkommande vattnet (Pramsten, 2010). Figur används med tillstånd.



Figur 11 Avskiljningen av Zn med specifik dammvolym vid olika koncentrationer av SS i det inkommande vattnet (Pramsten, 2010). Figur används med tillstånd.

Avskiljningen av SS kan alternativt beräknas med en empirisk modell som beräknar dammens avskiljningsgrad utifrån dammens specifika dammvolym enligt (Verstraeten & Poesen, 2000)

$$R_{SS} = 100 \left(1 - \frac{I}{1 + 0,21 D \frac{V_{damm}}{A_{red}}} \right) \quad (19)$$

där V_{damm}/A_{red} är den specifika dammvolymer (m³/ha_{red}) och D (m) en konstant som beror av dammens specifika egenskaper och varierar mellan 0,046 till 1. Medelvärde för D för dagvattendammar är 0,1. För dagvattendammar i mindre avrinningsområden med större variation i avrinningens flöde samt dammar med magasineringmöjligheter bör D väljas närmare 1 (Verstraeten & Poesen, 2000).

För att beräkna avskiljningsgraden för olika partikelfraktioner av SS (tabell 4) när de passerar genom en dagvattendamm, kan följande ekvation användas (MBWCP, 2006)

$$R_{SS} = 1 - \left(1 + \frac{I}{n} \cdot \frac{v_s}{Q_{dim}/A_{damm}} \cdot \frac{(d_r + d_p)}{(d_r + d')} \right)^{-n} \quad (20)$$

där R_{SS} är avskiljningsgraden, v_s sedimentationshastigheten (m/s), Q_{dim} det dimensionerade flödet genom dammen (m³/s), A_{damm} dammens area, d_r djupet av reglervolymer, d_p djup av permanentvolum, d' djup för att uppnå sedimentation (1 m eller d_p , då $d_p < 1$ m) och n turbulensparametern som ges av (MBWCP, 2006)

$$n = \frac{I}{1 - \lambda} \quad (21)$$

där λ är den hydrauliska effektiviteten hos dammen (MBWCP, 2006).

2.5 BRÄDDNING AV INFLÖDE

För att hantera vattenflöden större än en damms kapacitet kan vatten ledas förbi dammen via en bräddningsfunktion och på så vis styra den hydrauliska belastningen på dammen. Mängden dagvatten som bräddas styrs av vattennivån vid inloppet. En bräddningsfunktion förbi dammen innebär att en andel av dagvattnet passerar obehandlat och påverkar därmed den totala avskiljningsförmågan. Däremot motverkar bräddning risken för resuspension av sediment i dammen genom att begränsa inflödet. Detta är framförallt en viktig aspekt i mindre dammar där det finns en risk att resuspenderade partiklar inte hinner sedimentera innan de når utloppet (Pramsten, 2010).

2.6 DRIFT OCH UNDERHÅLL

En damms funktion kommer att initialt att förbättras då vegetation etableras (Braskerud, 2001) men om den inte underhålls efter denna tidsperiod kommer dammens funktion att

försämras med dess ålder. En högre belastning av inkommande SS innebär generellt en större avskiljning och därmed en större ackumulering av sediment i dammen. För att undvika att näringsämnen läcker från dammen och sänker dess effektivitet behöver dammen underhållas genom rensning (Persson, 1998). Från avskiljningsgraden av SS förväntas volymen eller mängden avsatt sediment (V_s) vara (MBWCP, 2006)

$$V_s = A_{tot} R_{SS} L_{avrinningsområde} F \quad (22)$$

där A_{tot} är avrinningsområdets area, R_{SS} avskiljningsgraden av SS, $L_{avrinningsområde}$ är belastning av sediment från avrinningsområdet och F tömningsfaktorn vilket är tidsperioden mellan rensning av SS (MBWCP, 2006).

2.7 STORMTAC

StormTac är ett beräkningsverktyg för beräkning av flöden och föroreningar av dagvatten. Verktöget är skapat för att uppskatta flöden och föroreningar i dagvatten inom ett avrinningsområde baserat på empirisk mätdata. Det kan även beräkna förväntad rening i olika typer av dagvattenåtgärder. Reningen är beräknad som medelvärde av tillgänglig mätdata för respektive åtgärd. Mängden tillgänglig data som används för beräkningarna och därmed tillförlitligheten varierar beroende på typ av markanvändning och typ av åtgärd (Larm, 2018).

3 METOD

För att uppnå syftet med arbetet att ta fram ett beräkningsverktyg för att dimensionera och utforma dagvattendammar genomfördes initialt en omfattande litteraturstudie kring dagvatten och dagvattendammar för att sammanställa kunskap och samband mellan relevanta parametrar (t.ex. avskiljningsgrad och specifik dammvolymer). Resultatet av sambandstudien används därefter för att skapa ett Excel-baserat beräkningsverktyg som ger en uppskattning av funktionen hos en dagvattendamm av viss dimension och utformning. Efter framtagandet av beräkningsverktyget användes detta för att beräkna inkommande och utgående koncentration samt avskiljningsgrad av SS, P, Cu och Zn i sex stycken utvalda dagvattendammar. Resultatet av beräkningsverktyget jämfördes med data från tidigare dokumenterade provtagningar av de utvalda dammarna samt resultatet framtaget i StormTac.

3.1 LITTERATURSTUDIE

För att sammanställa nuvarande kunskap kring dagvatten och dagvattendammar genomfördes en först en litteraturstudie av huvudsakligen svensk litteratur men även till viss del internationell. I litteraturstudien samlades fakta, teorier och principer för hur avrinningsområdet till dammen påverkar dagvattendammars flöde och därmed rening genom avskiljning av föroreningar. Den inkluderade även teorier om hur dammens dimensioner och utformning påverkar dess reningseffektivitet med avseende på

sedimentering av SS samt hur koncentrationen av SS förhåller sig till koncentrationen av andra ämnen. En del av denna studie redovisades i kapitel 2, Teori.

3.2 SAMMANSTÄLLNING AV SAMBAND OCH EKVATIONER

Utifrån litteraturstudien sammanställdes ekvationer för att beskriva samband som uppskattar årsmedelavrinning från dammens avrinningsområde och föroreningsammansättning av det inkommande dagvattnet. För att beskriva dagvattendammens förmåga att rena det inkommande dagvattnet sammanställdes ekvationer och principer för dammens hydrauliska effektivitet utifrån dess dimensioner, utformning och vegetation i dammen vilket därefter associerades med avskiljningsgraden hos dammen. Då avskiljningsgraden hos en dagvattendamm är komplicerad att beskriva implementerades flera samband för att erhålla ett större intervall eller ett medelvärde av avskiljningsgraden.

Sambanden inkluderar endast förhållanden med avseende på SS då den tillgängliga litteraturen framför allt inkluderade SS och dessa samband är enklast att implementera. Andra ämnens egenskaper i en dagvattendamm är mer komplicerade att beskriva då de kan vara partikulärt bundna eller i löst form.

3.3 UTVALDA DAGVATTENDAMMAR OCH STUDIEBESÖK

De utvalda dammarna som inkluderas i detta arbete är fyra av de fem dagvattendammarna som ingick i Svenskt Vatten Utvecklings projekt "NOS-dagvatten – Uppföljning av dagvattenanläggningar i fem Stockholmskommuner" samt Kungsängsdammen och Bäckaslövs dagvattendammar. NOS-dammarna, Norrortskommuner i samverkan inkluderar fem dagvattendammar, är alla relativt nyanlagda förutom Tibbledammen som konstruerades under 1970-talet (Andersson *et al.*, 2012). Alla dagvattendammar valdes ut har vart i drift i minst åtta år och har från tidigare studier väldokumenterade provtagningsresultat av inkommande och utgående vatten med avseende på flöde och föroreningsinnehåll. Mätningar och provtagningar i samtliga dammar har genomförts med flödesproportionell provtagningsmetod vilket innebär att vattenprovtagningsfrekvensen bestämdes utifrån passerad vattenvolym vid in- och utlopp. Passerad vattenvolym och dess flödes hastighet beräknades från vattnets hastighet och nivå. När en bestämd volym passerat togs ett vattenprov vars analysresultat representerade ett medelvärde av den passerade vattenvolymen (Andersson *et al.*, 2012).

Analys av samlingsprover för NOS-dammarna är genomfört med ungefär två veckors mellanrum under cirka två år för respektive damm. Flödesmätningar och vattenprovtagningar påbörjades hösten 2007 och avslutades december 2009 för Myrängsdammen och Tibbledammen respektive sommaren 2010 för Ladbrodammen och Viby Gårds dammar (Andersson *et al.*, 2012). Provtagning vid Kungsängsdammen genomfördes under 22 veckor, från den 28 mars till den 28 augusti 2014 (Arnlund, 2015).

Provtagning och flödesmätningar i dagvattenanläggningen i Bäckaslöv har utförts vid tre tillfällen sedan driftstart, sommaren år 1997, januari till april år 2003 samt maj 2013 till april 2014 (Al-Rubaei *et al.*, 2016).

I slutskedet av litteraturstudien, den 10 och 13 oktober 2017, genomfördes studiebesök till totalt sex stycken olika dagvattendammar, fem i Stockholmsregionen samt en i Uppsala. Kungsängsdammen besöktes i Uppsala och de fem dagvattendammarna i Stockholmsregionen var Ladbrodammen i Upplands-Väsby, Myrängsdammen i Täby, Steninge våtmark i Sigtuna, Tibbledammen i Upplands-Bro och Viby Gårds dammar i Sollentuna. Dagvattendammen i Steninge exkluderades senare eftersom denna damm hade en stor andel bräddning samt tillrinning efter dammarna vilket gav svårjämförliga data. Bland annat var det svårt att associera storleken på avrinningsområdet och dammens dimensioner med avskiljningsgraden i dammen då i princip all litteratur baseras på dagvattendammar med liten eller ingen bräddning. Bäckaslöv dagvattendamm i Växjö som även är inkluderad i examensarbetet besöktes ej på grund av avståndet.

Samtliga utvalda dammar har tidigare undersökts med flödesproportionell provtagning och har långa serier av data för in- och utgående koncentrationer av föroreningar och flöden vilket ligger till grund för urvalet. Undersökningarna är väldokumenterade och dagvattendammarna har vart i drift under några år.

Vid studiebesöket inspekterades dagvattendammarnas funktion okulärt med avseende på in- och utlopp, spridning av vattnet i dammen och vegetationens utbredning. På plats vid studiebesöket var även representant från respektive kommun för att ytterligare ge kunskap om dagvattendammarna. I samband med studiebesöket genomfördes en kontroll av de ursprungliga planritningar samt en uppskattning av dammarnas ungefärliga längd och bredd utifrån kartbilder.

Bilder från några av dagvattendammarna vid studiebesöket presenteras i figur 12, 13, och 14.



Figur 12 Ladbrodammen syd- nordlig riktning (Foto Hannes Öckerman, används med tillstånd).



Figur 13 Tibbledammens norra del (t v) och södra del (t h). Foto Hannes Öckerman, används med tillstånd.



Figur 14 Viby Gårds dammar, inlopp (t v) och damm (t h). Foto Hannes Öckerman, används med tillstånd.

3.3.1 NOS-dammarna

Ladbrodammen, Upplands-Väsby

Anläggningen har varit i drift sedan år 2000. Dammens tillrinningsområde omfattar ca 200 hektar och har en sammanvägd avrinningskoefficient på 0,31 samt ett årsmedelflöde på 1 037 m³/dygn.

Dagvattenanläggningen består av en fördamm med vattendjup 1,3 m och en huvuddamm med vattendjup 0,8–1,3 m. Inkommande dagvatten kommer först in till fördammen och strömmar därefter vidare till huvuddammen via en vall av makadam. Vid höga flöden går vattnet via en översilningsyta och vid inflöden över 160 l/s används bräddning förbi dagvattendammen vilket innebär att cirka 25–30 % av årsavrinningen bräddas. Anläggningen har en projekterad yta på 5 500 m², en permanent volym på 3 700 m³ och en reglervolym på 500 m³. Dagvattendammens specifika dammareal är 0,89 %. Under provtagningsperioden 2009–2010 var uppmätt medelflöde 780 m³/dygn och uppmätt maxflöde 10 500 m³/dygn (Andersson *et al.*, 2012).

Anläggningen har en väldigt artrik vegetation med växtbeklädd kantzon och vattenväxter i dammarna. Vattenväxter täcker ytan till en tredjedel i fördammen och till två tredjedelar i huvuddammen. Översilningsytan är helt vegetationstäkt (Andersson *et al.*, 2012).

Myrängsdammen, Täby

Avrinningsområdet till Myrängsdammen omfattar 44 hektar och markanvändningen utgörs av cirka 90 % radhus- och villabebyggelse, 5 % flerbostadshus och 5 % skogsmark vilket ger en sammanvägd avrinningskoefficient på 0,25. Dagvattendammens area är cirka 1 250 m², längden 85 m och bredden varierar mellan 10 och 20 m. Dammen har två grundare partier, ca 0,3 m djupa, och är som djupast 0,8 m. Den specifika dammarealen är 1,16 %. Dammen har en växtbeklädd kantzon med ört- och vassvegetation och dess vattenyta är till hälften täckt av flytbladsvegetation. Dagvattendammen är anlagd intill en befintlig dagvattenledning och har vid inloppet en bräddningsfunktion som vid höga flöden leder obehandlat dagvatten till bräddningsdike (Andersson *et al.*, 2012).

Provtagningen i Myrängsdammen genomfördes 2007–2009. Under provtagningsperioden uppmättes medelflödet till 280 m³/dygn och maxflödet till 750 m³/dygn (Andersson *et al.*, 2012).

Tibbledammen, Upplands-Bro

Tibbledammen är ursprungligen en efterpoleringsdamm för avloppsvatten men övergick år 1973 till att vara en damm för dagvattenhantering. Den har ett avrinningsområde som omfattar 649 hektar och utgörs av 36 % skogsmark, 27 % ängsmark, 24 % villa- och radhusområden, 10 % flerbostadsområden, 2 % väg och parkeringsytor samt 1 % industrimark vilket ger en sammanvägd avrinningskoefficient på 0,17. Dammen har en yta på 5 700 m² och ett medelvattendjup på 1,5 m. Tibbledammens specifika dammareal är 0,52 %. Dammens kantzon har tät växtlighet som utgörs av våtmarksväxter och strandskog. Både vattenytan och vattenmassan har en stor mängd vegetation. Utloppet från dammen utgörs av ett dämmande skibord. Från utloppet går det behandlade vattnet vidare via ett dike till Tibbleviken i Mälaren. Utöver en mindre rensning i form av muddring som utfördes i början av 2000 talet har inget underhåll skett sedan år 1973 (Andersson *et al.*, 2012).

Provtagning av dammen genomfördes 2007-2009 och under provtagningsperioden uppmättes medelflödet till 4 300 m³/dygn och maxflödet till 50 300 m³/dygn (Andersson *et al.*, 2012).

Viby Gårds dammar i Sollentuna.

Anläggningen togs i drift 2002 och har ett avrinningsområde på cirka 140 hektar som omfattar 65 % villa- och radhusbebyggelse, 15 % skogsmark och 20 % åkermark vilket ger en sammanvägd avrinningskoefficient på 0,15 (Andersson *et al.*, 2012)

Dagvatten från avrinningsområdet ansamlas i ett dike vilket leder till ett skibord som utgör dammens inlopp. Efter inloppet följer tre alternativa vägar, till Slingerdammen, Fångstdammen eller en översilningsyta, som regleras beroende av vattenflödets storlek. Inflödet till den lägst belägna dammen, Slingerdammen, regleras av ett dämme med strypfunktion som vid höga flöden begränsar inflödet och tvingar vattnet via den uppströms belägna Fångstdammen. Fångstdammen och Slingerdammen är anslutna via ytterligare ett dämme med strypfunktion. Vid högvattenflöden och översvämningar sker en bräddning uppströms dammarna till den tredje alternativa vägen via ett bräddningsdike till översilningsytan. Översilningsytan går från bräddningsdiket ned till Slingerdammen vilket betyder att oavsett alternativ av väg genom anläggningen erhålls allt inkommande vatten i Slingerdammen. I Slingerdammen regleras utloppet av ett skibord (Andersson *et al.*, 2012).

Dammanläggningens vattenyta omfattar cirka 1 600 m² varav Slingerdammen, Fångstdammen och översilningsytan utgör 730 m², 240 m² respektive 500 m². Dammanläggningens specifika dammareal är 0,76 %. Anläggningens kantzoner har en kraftig strandvegetation. Slingerdammen har en helt täckt botten och vattenyta medan Fångstdammen domineras av vassvegetation (Andersson *et al.*, 2012).

Provtagning genomfördes mellan 2007 och 2010 och medelflöde och maxflöde under provtagningsperioden uppmättes till 760 m³/dygn respektive 8 100 m³/dygn (Andersson *et al.*, 2012).

3.3.2 Kungsängsdammen, Uppsala

Dagvattenanläggningen Kungsängsdammen är belägen sydost om centrala Uppsala och har varit i drift sedan år 2009. Avrinningsområdet till dammen omfattar 65 hektar och utgörs till stor del av industriell markanvändning vilket bedöms motsvara 39 hektar reducerad hårdgjord yta med en sammanvägd avrinningskoefficient på 0,60 (Arnlund, 2015).

Dagvattendammen har en oval utformning med en ö i mitten och omfattar en vattenyta på ca 10 000 m², ett medelvattendjup på ca 0,7 m och en reglervolym på ca 3 000 m³. Dammens dimensioner ger en specifik dammarea på 2,6 %. Inkommande obehandlat dagvatten transporteras från avrinningsområdet till inloppet av en dagvattenledning som via en stor kassun övergår till ett öppet dike som slutligen leder till dammen. Avståndet mellan inloppet och kassunens utlopp till diket är 400 m medan det öppna diket, som är uppdelat i två sektioner, är totalt 190 m långt. Diket har en bredd på 6 m. Anslutningen mellan diket och dammen utgörs av ett skibord och ett bräddningsdike direkt till recipienten Fyrisån för att hantera höga flöden. Flödet till bräddningsvägen styrs genom ett överfall. Utloppet från dammen regleras av en brunn som mynnar ut i Fyrisån (Arnlund, 2015).

3.3.3 Bäckaslöv våtmarksanläggning

Dagvattenanläggningen i Bäckaslöv har varit i drift sedan år 1994 och har ett avrinningsområde på 320 hektar som utgörs av 40 % bostadsområde, 59 % industri- och handelsområde samt övriga ytor med infrastruktur och grönytor. Ungefär 140 hektar bedöms utgöras av hårdgjord yta vilket motsvarar 44 % av det totala avrinningsområdet och ger en avrinningskoefficient på 0,44.

Anläggningen inkluderar en initial sedimentationsdamm i två delar som övergår till en meandrande våtmark. Sedimentationsdammarna utgör en yta på 18 000 m² och har ett medelvattendjup på 1,6 m. Sedimentationsdammens specifika dammarea är 1,29 %. Utformningen av dagvattendammarna har funktionen att uppnå en initial försedimentering av grovt material i den första dammen som sedan ansluts till den större dammen genom en kulvert. Den andra dammen har en ö, längd 77 m och bredd 32 m, utplacerad för att uppnå bättre hydraulisk effektivitet. Inloppet till den första dammen och utloppet från den nedre dammen utgörs av två kulvertar. Dammen är dimensionerad för tvåårsflöden på 2 500 m³/dygn. Våtmarken nedströms dammen omfattar 5 hektar, är 800 m lång och har ett utflöde som kontrolleras med ett överfall. Från våtmarken transporteras det behandlade vattnet via en å till Bergundasjön. Sedan 1994 har endast underhåll i form av rensning utförts i den första dammen vid fyra tillfällen medan den andra dammen och våtmarken är orörda sedan driftens start.

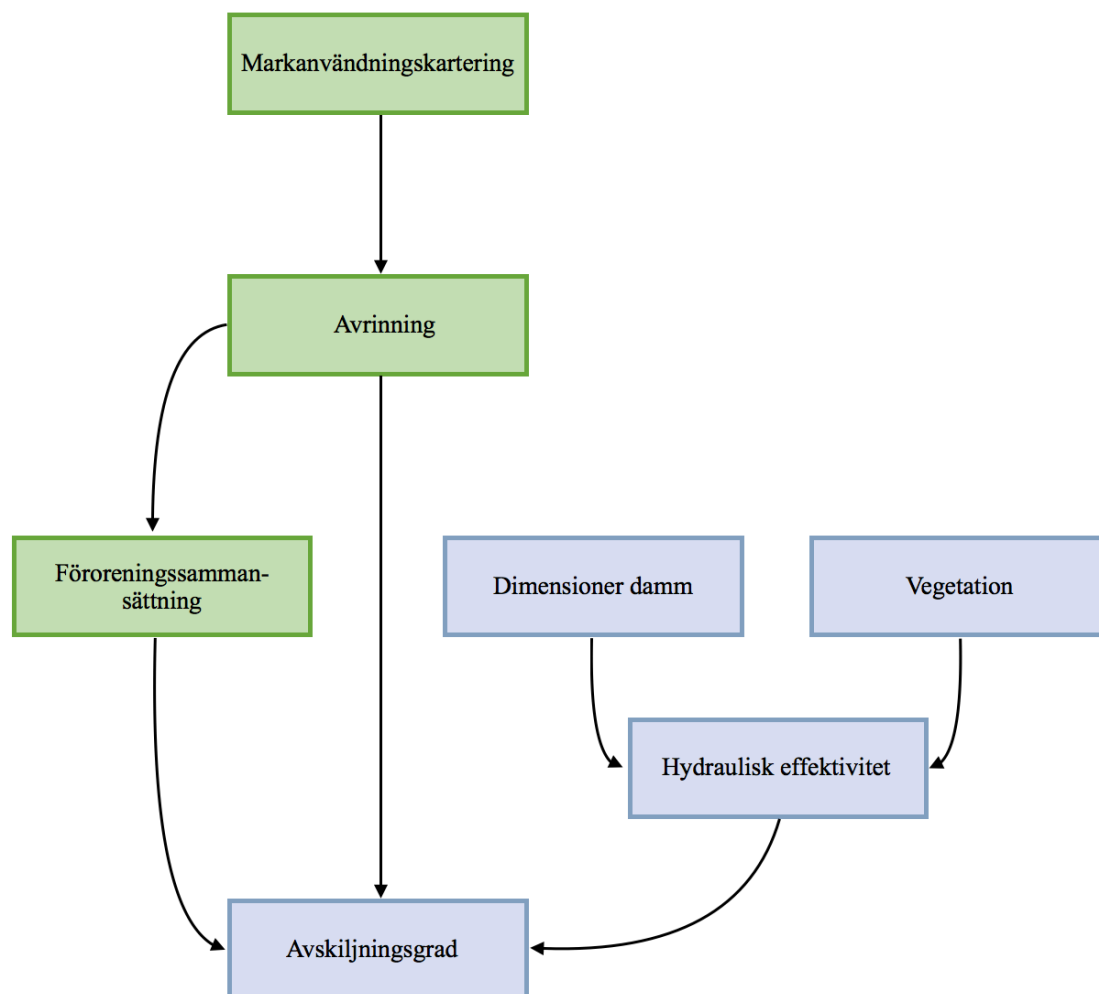
Provtagning Bäckaslöv

Provtagning av dagvattenanläggningen i Bäckaslöv har genomförts år 1997, 2003 samt 2013–2014. Vid samtliga provtagningar har samma mätpunkter i anläggningen använts; inloppet till den första dammen, kulverten mellan den andra dammen och våtmarken samt utloppet från våtmarken till ån. Studien 2003 inkluderar endast mätningar av dagvattendammens in- och utlopp (Al-Rubaei *et al.*, 2016).

- Studie sommaren 1997. Studien utfördes mellan 14 juni och 10 juli 1997 och omfattade anläggningens fördröjnings- och reningseffektivitet samt biodiversitet (Al-Rubaei *et al.*, 2016).
- Studie januari till april 2003, från den 12 januari till den 6 april och omfattade bara provtagning i dammens in- och utlopp för att kontrollera dess reningseffektivitet vintertid. Vattenproverna analyserades med avseende på SS samt metallerna Pb, Cd, Cu och Zn (Al-Rubaei *et al.*, 2016).
- Studie maj 2013 till april 2014. Studien utfördes under ett års tid i samtliga tre mätpunkter. Vattenproverna togs flödesproportionellt för specifika volymer vid respektive mätpunkt, 1 500 m³ vid dammen inlopp, 750 m³ vid dammens utlopp respektive 500 m³ vid våtmarkens utlopp. Under undersökningsperioden noterades 53 nederbördstillfällen varav 13 av dessa ingick i provtagning och vattenkvalitetsanalys. Vattenkvalitetsanalysen omfattade analys med avseende på SS, TP, TN samt totala och lösta metallhalterna Pb, Cd, Cu, Ni och Zn (Al-Rubaei *et al.*, 2016).

3.4 FRAMTAGANDE BERÄKNINGSVERKTYG

När litteraturstudien genomförts implementerades ekvationer och principer som beskrivits i kapitel 2, Teori, i ett Excel-baserat beräkningsverktyg som ger en uppskattning av hur dagvattendammars dimensioner och utformning påverkar dess rening, se Bilaga A. Ekvationerna som beskriver de sammanställda sambanden användes stegvis och delades in i kategorier vilka fick representera olika steg av processen; markanvändningskartering, avrinning, dagvattnets föroreningssammansättning, dammens dimensioner, vegetation i dammen, hydraulisk effektivitet, avskiljning SS, avskiljning SS fraktioner och avskiljning P, Cu och Zn, se figur 15. Under varje flik skapades celler för indata och celler med ekvationer för att erhålla resultat av beräkningar. Utöver det adderades tre ytterligare flikar för datasammanställning av de utvalda dammarna, riktvärden och referenser.



Figur 15 Metod för framtagandet av beräkningsverktyg. Gröna rutor representerar processer i avrinningsområdet och blå rutor processer i dagvattendammen.

Resultat från litteraturen i form av rekommendationer och principer för vissa indata och resultat, exempelvis specifik dammareal och dammvolymer, dammdjup, hydraulisk effektivitet och dimensionerande uppehållstid har placerats i beräkningsverktyget som kommentarer för att underlätta användandet.

I beräkningsverktyget, se Bilaga A, har celler med indata och resultat färgkodats för att förenkla användandet. Celler som kräver indata färgmarkerades med grått och resultat av beräkningar i beräkningsverktyget är färgmarkerades grönt. Flikarna är indelade i instruktioner, gul färg, beräkningar för avrinningsområdet, grön färg, beräkningar för dagvattendammen, blå färg, samt bilagor med data, grå färg. Flikarna namngavs till försättsblad och därefter med nummer 1–9 för att illustrera steg i beräkningarna. Flikar med bilagor i beräkningsverktyget namngavs B1-B3. För att underlätta navigering mellan flikarna används hyperlänkar i form av pilar i varje fliks överkant.

Flikarna och hur de används presenteras steg för steg nedan:

1. Markanvändningskartering – Den första fliken i beräkningsverktyget skapades för att med ekvation (2) och (3) utföra en markanvändningskartering för olika typer av markanvändning. Genom att ange area för respektive markanvändning,

A_n , med motsvarande volymavrinningskoefficient, φ_n , givna i tabell 2 i beräkningsverktyget, se Bilaga A figur A3, beräknas den totala arean, A_{tot} , genom att addera samtliga delareor och den sammanvägda avrinningskoefficienten, φ_S , med genom att använda funktionen *produktsumma* i Excel. A_{tot} och φ_S användes därefter för att beräkna den reducerade hårdgjorda ytan, A_{red} enligt ekvation (3). För användare som inte vill använda markanvändningskartering i beräkningsverktyget finns tabell 1 i beräkningsverktyget där användaren själv kan fylla i värden som senare ska användas för fortsatta beräkningar.

2. Avrinning – Resultatet från markanvändningskarteringen, A_{red} , användes i nästa steg tillsammans med indata för att beräkna avrinningen till dammen. För att beräkna årsmedelavrinningen i avrinningsområdet, $Q_{avrinning}$, till dammen användes ekvation (4) där årsmedelnederbörden, p , anges som indata. En klimatfaktor, k_f , lades till för att ge möjlighet att justera $Q_{avrinning}$ till framtida avrinning. Ytterligare två indata adderades för att beräkna det dimensionerade medelflödet, $Q_{dimmedel}$, enligt ekvation (5). Bräddning inkluderas för att ge användaren möjlighet att leda en andel av flödet förbi dagvattendammen. Även $Q_{dimmedel}$ beräknas med klimatfaktor för klimatanpassning.
3. Föroreningsammansättning - Denna flik i beräkningsverktyget skapades med avseende att ge en uppfattning om koncentration och mängd av föroreningar i det inkommande dagvattnet. En lista i form av en *kombinationsruta* skapades i Excel för att göra det möjligt för användaren att välja mellan att använda egna värden eller använda beräknade värden från markanvändningskartering och schablonvärden. Funktionen *kombinationsruta* i Excel ger som resultat ett nummer som motsvarar det valda alternativet i listan. Detta nummer kombineras med funktionen *om* i Excel som är kopplad till en lista för att ange rätt cellvärde. Listalternativ och tillhörande nummer döljs i beräkningsverktyget.

De beräknade mängderna av respektive ämne beräknades från årsmedelnederbörden, p , markanvändnings-karteringen och tillhörande schablonvärden för respektive förorening. Beräknad föroreningsmängd från respektive delområde summerades genom att använda funktionen *produktsumma* i Excel till en total föroreningsammansättning från avrinningsområdet. I fliken adderades även möjligheten att jämföra de inkommande koncentrationerna av föroreningar med olika riktvärden för utsläpp av dagvatten som används av kommuner i Sverige. Genom ytterligare en *kombinationsruta* kan riktvärden från olika regioner väljas för jämförelse.

4. Dimensioner damm – I denna flik adderades celler för att lägga in längd l , bredd b , medeldjup, d_p och reglerdjup d_r för den önskade dammen. Det skapades även möjligheten att ange en egen dammarean, A_{damm} i en lista om dammens utformning avviker från en ungefärlig rektangulär form. Utifrån dessa indata skapades celler som beräknar dammens permanenta volym V_p , reglervolym V_r och maxvolym V_{max} . I denna flik skapades även celler som beräknar dammens storlek förhållande till avrinningsområdets storlek, den specifika dammarean och dammvolymen, enligt ekvation (17) och (18). Utöver detta beräknades en hydraulisk flödesbelastning enligt ekvation (12).

5. Vegetation – Växtligheten i dammen har enligt litteraturstudien en påverkan på dammens funktion men då det är svårt att kvantitativt uppskatta dess effekt i ett konkret samband. Denna flik innehåller således information och rekommendationer angående vegetation i dagvattendammar. Förklarande bilder och figurer skapades för att förtydliga rekommendationerna. Fliken innehåller även information om vilka typer av arter som är lämpliga och hur dessa bör etableras.
6. Hydraulisk effektivitet – Denna flik använder uppgifter om dammens dimensioner som indata för att beräkna dammens längd-breddförhållande som vidare kan användas för att beräknas dammens effektiva volymkvot, e , enligt ekvation (16). Parametern e användes därefter för att beräkna den hydrauliska effektiviteten, λ , genom att inkludera en dispersionsfaktor enligt ekvation (15). Värdet av N i dispersionsfaktorn angavs enligt dammens längd-breddförhållande, se figur 1. Som alternativ till denna beräkning skapade en lista som uppskattar e genom att användaren får välja alternativ utformning och längd-breddförhållande från en lista. Listan är skapad som en *kombinationsruta* där val av utformning resulterar i ett värde på e .

I fliken beräknades även den nominella uppehållstiden, t_n , enligt ekvation (13) och medeluppehållstiden, t_{medel} , som är justerad för hydrauliken i dammen enligt ekvation (14). Dessutom beräknades en dimensionerande uppehållstid som tar hänsyn till parametern N_{dad} .

7. Avskiljning SS – avskiljningsgraden av SS bestäms utifrån två olika metoder en uppskattades till R_{SS1} och en beräknades till R_{SS2} , se figur 8 respektive ekvation 19. För att uppskatta R_{SS1} krävs inkommande koncentration SS, $C_{SS, in}$, som hämtades från flik ”3. Föroreningssammansättning” och den effektiva specifika dammvolymer som är en produkt av den specifika dammvolymer, flik ”4. Dimensioner damm”, och den effektiva volymkvoten, e , från ”6. Hydraulisk effektivitet”. Dessa indata visas som resultat och kan i kombination med figur 8 ge en avskiljningsgrad. Avskiljningsgraden beräknades även med ekvation (19) vilket ger en alternativ avskiljningsgrad, R_{SS2} . Denna ekvation använder den specifika dammvolymer samt en dammspecifik parameter, D , som indata. Värdet av D ansattes i beräkningsverktyget till 0,1 då detta i källan angavs som ett medelvärde för dagvattendammar.

Den beräknade avskiljningsgraden användes därefter tillsammans med den inkommande mängden SS för att beräkna hur stor lagringen av SS i dammen enligt ekvation (22).

8. Avskiljning fraktioner SS – i denna flik användes ekvation (21) och (22) för att uppskatta hur avskiljningen av olika fraktioner av SS skiljer sig. Sambandet beskriver hur dammens area, A_{damm} , permanenta medeldjup, d_p , reglerdjup, d_r , och hydrauliska effektivitet λ tillsammans med olika dimensionerande flöden, Q_{dim} , och olika sedimentationshastigheter, v_s , enligt tabell 4.
9. Avskiljning P, Cu, Zn - avskiljningen av SS användes för att erhålla en uppskattning av avskiljningen den partikulärt bundna andelen av P, Cu och Zn med tabell 5. Avskiljningen uppskattade även med från figur 9, 10 och 11.

Flikarna B1–B3 lades till beräkningsverktyget som bilagor för att spara data om de utvalda dammarna, riktvärden och referenser. Hela beräkningsverktyget förutom enstaka celler som kräver indata låstes sedan för att skydda och förhindra att det förändras på ett felaktigt sätt.

3.5 JÄMFÖRELSE MED UTVALDA DAMMAR

I nästa steg användes det skapade beräkningsverktyget för att uppskatta funktionen hos de sex utvalda dammarna. Sammanställd information om dagvattendammarna fördes in i beräkningsverktyget som indata enligt metodföljden ovan. Avrinningsområdets mark-användningskartering och dimensionerna av dammarna hämtades från tidigare undersökningar medan dammarnas längd och bredd uppskattades från kartbilder. För Bäckaslöv användes endast indata för dammarna och inte våtmarken. Dammanläggningen i Steninge, Märsta, exkluderats på grund av att endast en liten del av det avrinnande dagvattnet från dammens avrinningsområde passerar dagvattendammen samt att det sker en tillrinning av vatten efter dammanläggningen. Detta har orsakat missvisande provtagningsresultat och försvårade användandet av dessa i detta projekt. För att utvärdera resultatet ytterligare applicerades detta även i StormTac (Larm, 2018). StormTac är ett kommersiellt beräkningsverktyg för transport av föroreningar i dagvatten, effekter på recipient och dimensionering av dagvattenanläggningar. Genom StormTac beräknades inkommande och utgående koncentrationer samt avskiljningsgraden för SS, P, Cu och Zn vilket sedan jämfördes med beräkningsverktygets resultat och det uppmätta resultatet.

För att undersöka det verkliga värdet av D i ekvation (19) för respektive damm genomfördes en kurvanpassning mot de uppmätta avskiljningsgraderna. Kurvanpassningen utfördes i Excel genom att använda den inbyggda *Problemlösaren*. Denna funktion ansätter det verkliga värdet D för att anpassa det beräknade värdet av R_{SS2} till det uppmätta.

4 RESULTAT

Resultatet av examensarbetet inkluderar det framtagna beräkningsverktyget och en jämförelse och utvärdering av dess resultat med uppmätta resultat från de sex utvalda dagvattendammarna. Jämförelsen presenteras med avseende på inkommande flöde och föroreningssammansättning, utgående föroreningssammansättning och avskiljning med avseende på SS, P, Cu och Zn.

4.1 SAMMANSTÄLLNING UTVALDA DAGVATTENDAMMAR

En sammanställning av information och data för de sex utvalda dagvattendammarna presenteras i tabell 9. I fortsatta beräkningar är endast Bäckaslövs dammar inkluderade och inte våtmarken.

Tabell 9 Sammanställning av data för de utvalda dagvattendammarna.

	Para- meter	Enhet	Ladbro- dammen	Myrängsda mmen	Tibbledam men	Viby Gårds dammar	Kungsängs dammen	Bäckaslöv damm
Plats	-	-	Upplands- Väsby	Täby	Upplands- Bro	Sollentuna	Uppsala	Växjö
Driftstart	-	år	2003	2003	1973	2002	2009	1994
Provtagnings- period	-	-	2007 – 2010	2007 – 2009	2007 – 2009	2007 – 2010	28/3–28/8 2014	1997,2003, 2013–2014
Area	A_{tot}	ha	201	44	649	140	65	320
avrinnings- område								
Sammanvägd avrinnings- koeff	φ_S	-	0,31	0,25	0,17	0,15	0,6	0,44
Reducerad hårdgjord yta	A_{red}	ha	62,3	11,0	110,3	21,0	39,0	140,0
Dammyta	A_{damm}	m ²	5 500	1 300	6 000	1 600	10 000	18 000
Permanent medeldjup	d_p	m	1,05	0,7	1,5	0,8	0,7	1,6
Permanent volym	V_p	m ³	3 700	910	8 700	1 280	7 000	28 800
Längd	l	m	35	15	45	12	100	100
Bredd	b	m	155	75	150	100	155	236
Uppmätt medelflöde	$Q_{in\ uppmätt}$	m ³ / dygn	780	280	4 300	760	509	2040

4.2 JÄMFÖRELSE UPPMÄTT FLÖDE OCH KONCENTRATION

Inkommande koncentration och vattenflöde för de sex utvalda dagvattendammarna jämförs med de beräknade parametrarna för samma dagvattendammar som beräknas i steg 2 och 3 i metoden och presenteras i tabell 10 och 11.

Tabell 10 Beräknad avrinning (beräkningsverktyget) och uppmätt inflöde till dagvattendammarna.

	Beräknad avrinning	Uppmätt medelflöde	Avvikelse
Parameter	$Q_{avrinning}$	$Q_{in\ uppmätt}$	-
Enhet	m ³ /dygn	m ³ /dygn	%
Ladbrodammen	1093	780	40
Myrängsdammen	193	280	-31
Tibbledammen	1935	4300	-55
Viby Gård	351	760	-54
Kungsängsdammen	684	509	34
Bäckaslöv damm	2469	2040	21

Tabell 11 Inkommande beräknad koncentration (från beräkningsverktyget) och uppmätt koncentration av SS, P, Cu och Zn.

	$C_{in\ beräknad}/$ $C_{in\ uppmätt}$	Enhet	Ladbro- dammen	Myrängsd- ammen	Tibble- dammen	Viby Gård	Kungsängs- dammen	Bäckaslöv damm
SS	<i>beräknad</i>	mg/l	64,6	48,0	61,1	58,9	100	85,9
	<i>uppmätt</i>	mg/l	121	31,0	79,0	57,9	114	187
	<i>avvikelse</i>	%	-47	55	-23	2	-12	-54
P	<i>beräknad</i>	mg/l	0,246	0,216	0,227	0,201	0,300	0,272
	<i>uppmätt</i>	mg/l	0,21	0,057	0,168	0,38	0,186	0,32
	<i>avvikelse</i>	%	17	279	35	-47	61	-15
Cu	<i>beräknad</i>	µg/l	25,1	21,6	27,3	20,2	45,0	38,5
	<i>uppmätt</i>	µg/l	23,8	8,3	16,5	11,0	23,0	41,3
	<i>avvikelse</i>	%	5	160	65	84	96	-7
Zn	<i>beräknad</i>	µg/l	94,5	83,1	94,5	57,8	270	220
	<i>uppmätt</i>	µg/l	99,2	131	98,1	44,5	160	318
	<i>avvikelse</i>	%	-5	-37	-4	30	69	-31

Jämförelse mellan uppmätt och beräknat inflöde till dagvattendammarna visar att det beräknade resultatet för samtliga dammar förutom Tibbledammen och Vibygårds dammar avviker mest mot det uppmätta medelflödet. Den beräknade föroreningsammansättning avviker framförallt från de uppmätta halterna vid Myrängsdammen men varierar generellt mycket.

4.3 HYDRAULIK I DAMMARNAS

Dagvattendammarnas hydraulik uppskattas från dimensionerna som sammanställts och redovisas i tabell 9. Då beräkningsverktyget möjliggör två alternativ för att erhålla dammens effektiva volymkvot presenteras det beräknade värdet på e i tabell 12 och det uppskattade från figur 3, 4 och 6 i tabell 13. Dispersionsfaktorn för varje damm har bestämts utifrån figur 6.

Tabell 12 Beräknade längd-breddförhållande, effektivvolymkvot och hydraulisk effektivitet för de utvalda dammarna. Dispersionsfaktorn har uppskattats utifrån figur 6.

Parameter	Längdbredd- förhållande	Effektiv volymkvot	Dispersions- faktor	Hydraulisk effektivitet
Parameter	l/b	e	N	λ
Ladbrodammen	4,6	0,78	69	0,77
Myrängsdammen	5,0	0,80	67	0,79
Tibbledammen	3,6	0,74	75	0,73
Viby Gård	9,1	0,84	50	0,82
Kungsängsdammen	1,6	0,50	78	0,49
Bäckaslöv damm	2,4	0,63	82	0,62

Tabell 13 Effektiv volymkvot utifrån dammarnas utformning.

	Vald form för dammarna	Effektiv volymkvot damm
Parameter	-	<i>e</i>
Ladbrodammen	D	0,88
Myrängsdammen	E	0,92
Tibbledammen	C	0,86
Viby Gård	F	1
Kungsängsdammen	K	0,73
Bäckaslöv damm	K	0,73

Resultatet av de olika effektiva volymkvoterna varierar mellan de två alternativen där den effektiva volymkvoten från figur 3, 4 och 6 genererar högre värden på samma damm, förutom för Ladbrodammen.

4.4 AVSKILJNINGSGRADER SS

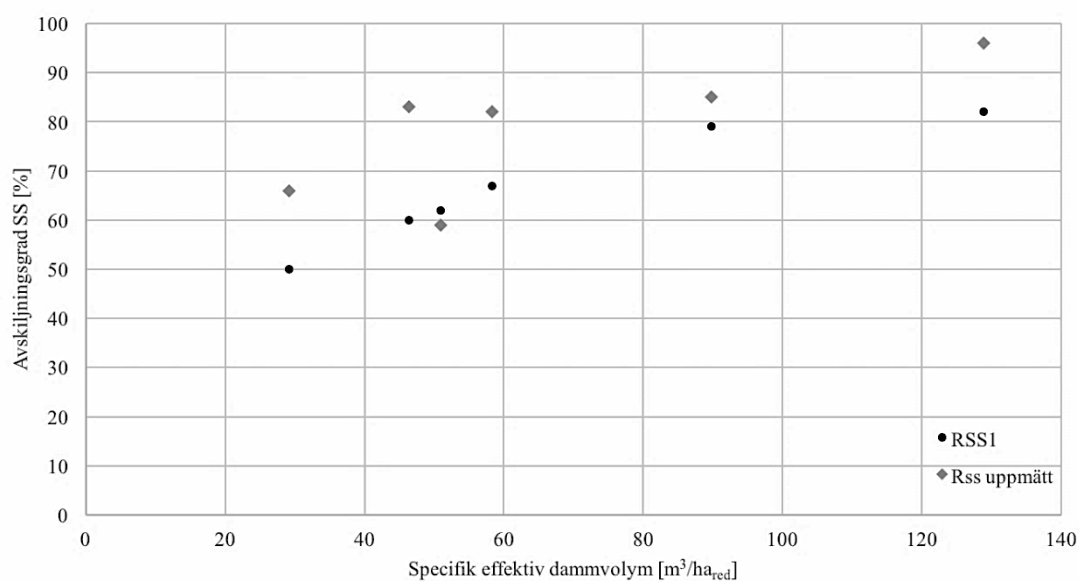
Avskiljningsgraderna av SS som används i beräkningsverktygets steg 7 presenteras som en uppskattad avskiljningsgrad, R_{SS1} , vilken erhålls från figur 8 och en beräknad avskiljningsgrad, R_{SS2} från ekvation (19). Avskiljningsgraden SS bedöms därmed utifrån två olika metoder. Beräkningsverktygets avskiljningsgrad jämförs med de uppmätta avskiljningsgraderna.

Resultatet av den uppskattade avskiljningsgraden, R_{SS1} , presenteras i tabell 14 och figur 16.

Tabell 14 Uppskattad avskiljningsgrad av SS, R_{SS1} , för de utvalda dagvattendammarna.

	Inkommande konc. SS dagvatten	Specifik effektiv volym	Uppskattad avskiljnings- grad SS
Parameter	$C_{in, SS}$	V_{eff}/A_{red}	R_{SS1}
Enhet	mg/l	m^3/ha_{red}	%
Ladbrodammen	65	46	61
Myrängsdammen	48	51	60
Tibbledammen	61	58	67
Viby Gård	62	29	50
Kungsängs- dammen	100	90	79
Bäckaslöv damm	86	129	82

Uppskattad avskiljningsgrad SS, R_{SS1} och uppmätt avskiljningsgrad SS för specifik effektiv dammvolum



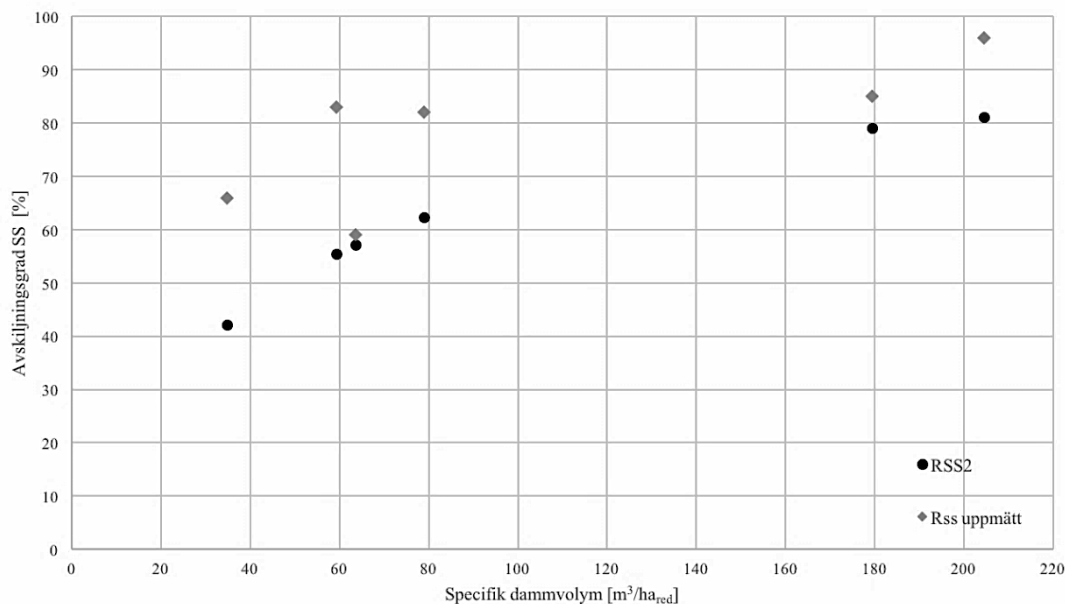
Figur 16 Avskiljningsgrad SS, R_{SS1} , samt uppmätt avskiljning för specifik effektiv dammvolum.

Resultatet av den beräknade avskiljningen av SS, R_{SS2} , presenteras i tabell 15 och figur 17 där även de uppmätta avskiljningsgraderna presenteras. Avskiljningsgraderna i tabell 15 är beräknade med dammspecifika parametern, D , ansatt till dess medelvärde 0,1.

Tabell 15 Beräknad avskiljningsgrad (beräkningsverktyget) vid specifik dammvolym.

	Specifik dammvolym	Beräknad avskiljningsgrad SS
Parameter	V_{damm}/A_{red}	R_{SS2}
Enhet	m^3/ha_{red}	%
Ladbrodammen	59	55
Myrängsdammen	64	57
Tibbledammen	79	62
Viby Gård	37	43
Kungsängs- dammen	179	79
Bäckaslöv damm	205	81

Beräknad avskiljningsgrad SS, R_{SS2} , för specifik dammvolym



Figur 17 Avskiljningsgrad SS, R_{SS2} , samt uppmätt avskiljning för specifik effektiv dammvolym.

Respektive dagvattendamm har enligt kurvanpassning av ekvation (19) mot uppmätt avskiljningsgrad ett värde på D enligt tabell 16. Värdet på parametern D som enligt litteraturen varierar kan vara mellan 0,046-1 och har medelvärdet 0,1 avviker mest från medelvärdet för Ladbrodammen och Bäckaslöv damm.

Tabell 16 Dammspecifika parametern D för dammarna för det uppmätta avskiljningsgraden enligt kurvanpassning.

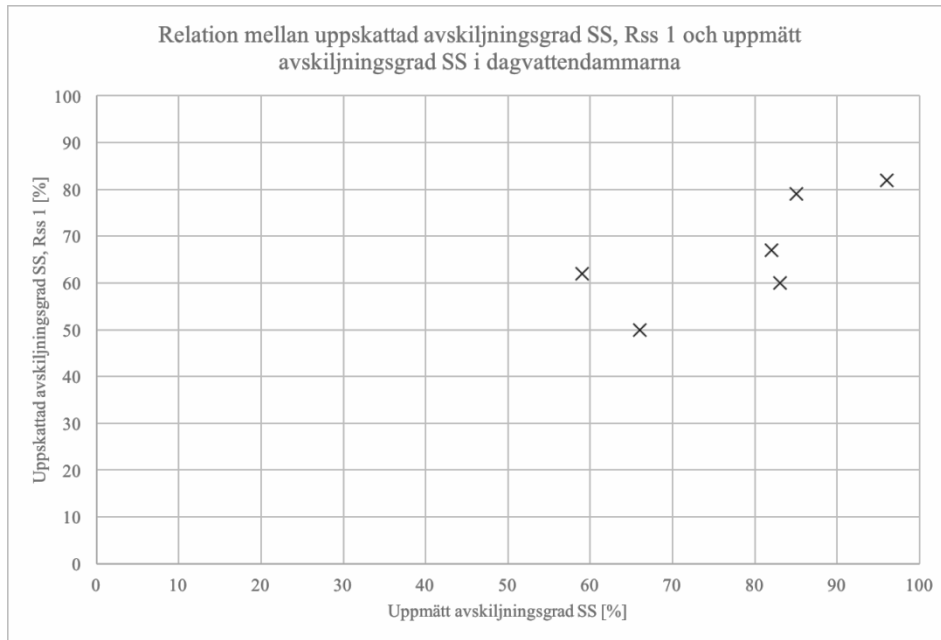
Dammspecifik parameter	
Parameter	D
Enhet	-
Ladbrodammen	0,39
Myrängsdammen	0,11
Tibbledammen	0,28
Viby Gård	0,25
Kungsängsdammen	0,15
Bäckaslöv damm	0,56

Resultatet av avskiljningsgraderna av SS från beräkningsverktyget, R_{SS1} och R_{SS2} , samt medelvärdet av dessa jämförs med den uppmätta avskiljningen av SS vilket presenteras i tabell 17.

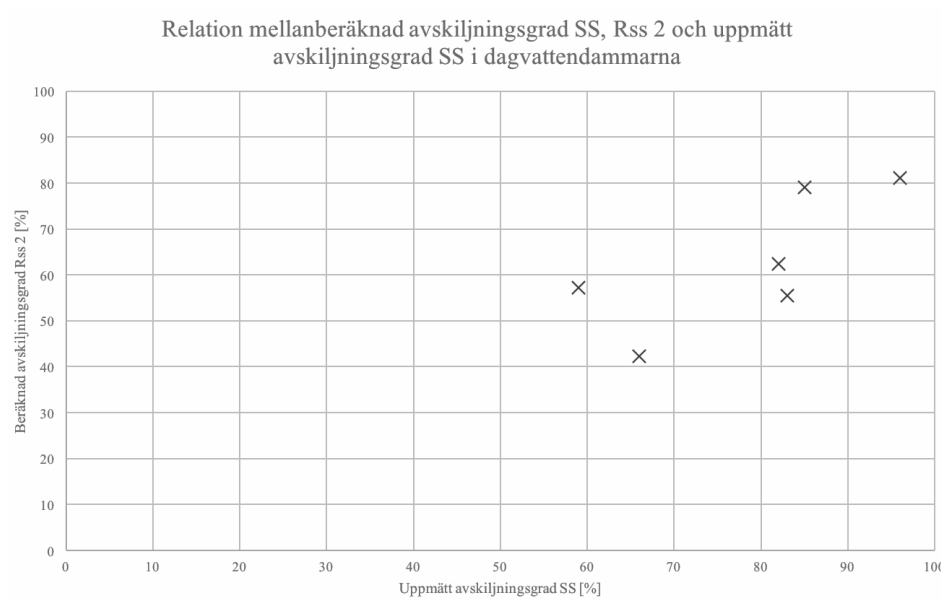
Tabell 17 Resultat av uppskattad (från figur 8), beräknad (från ekvation 19) avskiljning av SS samt medelvärdet av dessa tillsammans med de uppmätta avskiljningsgraderna av SS.

Parameter	Uppskattad avskiljningsgrad SS	Beräknad avskiljningsgrad SS	Medelavskiljning SS	Uppmätt avskiljning av SS
	R_{SS1}	R_{SS2}	$R_{SS\ medel}$	$R_{SS1\ uppmätt}$
Enhet	%	%	%	%
Ladbrodammen	60	55	58	83
Myrängsdammen	62	57	60	59
Tibbledammen	67	62	65	82
Viby Gård	50	4	46	66
Kungsängsdammen	79	79	79	85
Bäckaslöv damm	82	81	82	96

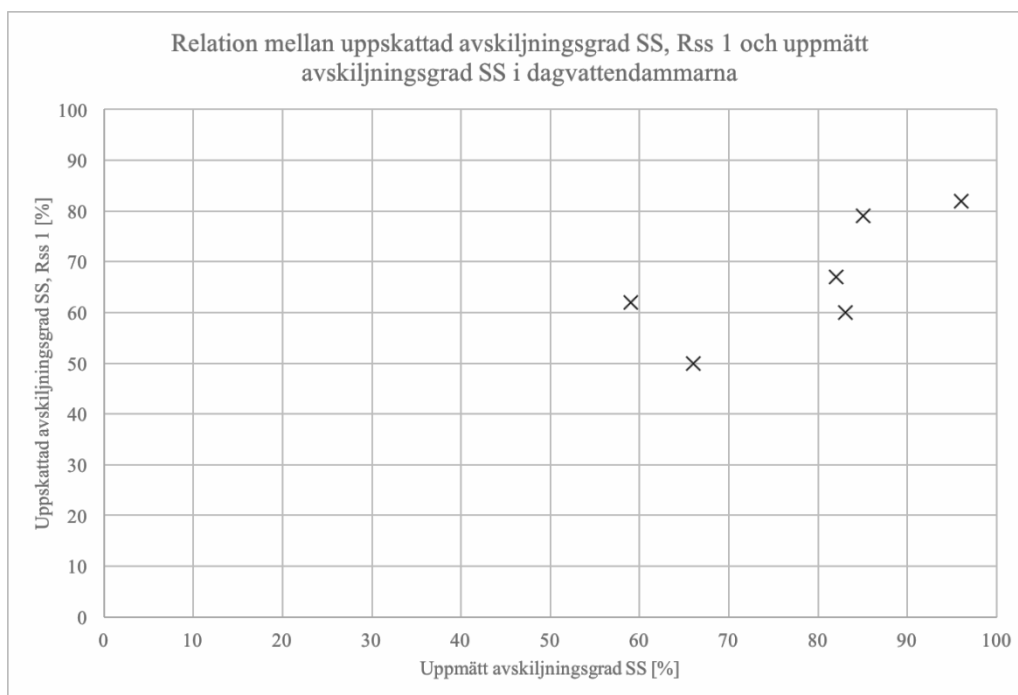
Resultatet visar att samtliga beräknade och uppskattade avskiljningsgrader av SS från beräkningsverktyget ger lägre värden än de uppmätta värdena. Beräkningsverktyget ger mest korrekt uppskattning av avskiljningen i Myrängsdammen och Kungsängsdammen. Resultatet för Ladbrodammen och Viby Gårds dammar ger störst avvikelse med den uppmätta. Relationen mellan R_{SS1} , R_{SS2} och den uppmätta avskiljningen av SS samt relationen mellan R_{SS1} och R_{SS2} illustreras i figur 18, 19, och 20.



Figur 18 Relation mellan den uppskattade avskiljningsgraden av SS, R_{SS1} , och den uppmätta avskiljningsgraden av SS för de utvalda dagvattendammarna.



Figur 19 Relation mellan den beräknade avskiljningsgraden av SS, R_{SS2} , och den uppmätta avskiljningsgraden av SS för de utvalda dagvattendammarna.



Figur 20 Relation mellan den uppskattade avskiljningen av SS, R_{SS1} , och den beräknade avskiljningen av SS, R_{SS2} , för de utvalda dagvattendammarna.

Relationen mellan R_{SS1} och R_{SS2} mot den uppmätta avskiljningen för de utvalda dammarna är ungefär lika där det som tidigare observerat avviker mest för Ladbrodammen och Viby Gårds dammar. Resultaten i beräkningsverktyget korrelerar bra mot varandra.

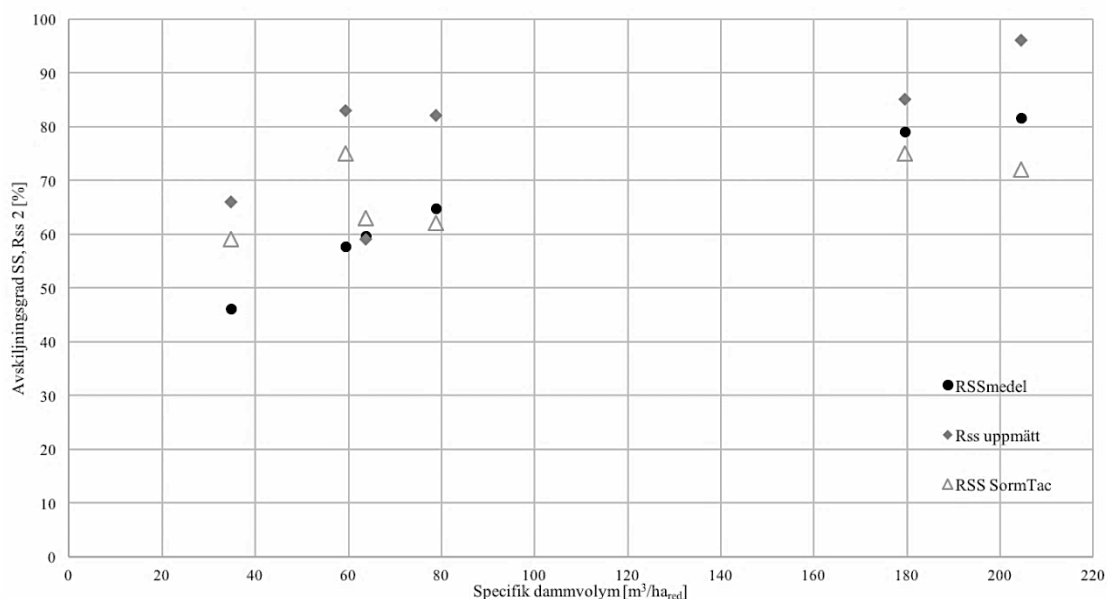
4.5 JÄMFÖRELSE STORMTAC

En jämförelse av beräkningsverktygets medelavskiljning, den uppmätta avskiljningen och beräknad avskiljning i StormTac presenteras i tabell 18 och figur 21.

Tabell 18 Jämförelse av beräkningsverktygets resultat uppmätt och StormTacs resultat med avseende på avskiljning av SS i de utvalda dammarna.

Parameter	Medelavskiljning SS $R_{SSmedel}$	Uppmätt avskiljning av SS $R_{SSuppmätt}$	Avskiljningsgrad StormTac $R_{SSstormTac}$
Enhet	%	%	%
Ladbrodammen	58	83	75
Myrängsdammen	60	59	63
Tibbledammen	65	82	62
Viby Gård	46	66	59
Kungsängsdammen	79	85	75
Bäckaslöv damm	82	96	72

Avskiljningsgrad för Rss medel, Rss StormTac och uppmätt avskiljning SS



Figur 21 Avskiljningsgraden av SS variation med den specifika dammvolymen för beräkningsverktygets medel, uppmätt och StormTac för de utvalda dagvattendammarna.

Jämförelse mellan beräkningsverktygets medelavskiljning, $R_{SS\text{medel}}$, den uppmätta avskiljningen och beräknad avskiljning i StormTac visar att även resultatet från StormTac ger lägre avskiljningsgrad än den uppmätta i fem av fallen. För Myrängsdammen är beräknad avskiljning i paritet med uppmätt avskiljning.

4.6 LAGRING SS I DAMMEN

Avskiljning av SS i dammen över tid innebär en lagring av avsatta massor i dagdammarna, enligt ekvation (22), vilket presenteras i tabell 19.

Tabell 19 Beräknad lagring av avsatt SS i dagvattendammarna efter 10 år.

	Belastning SS	Avskiljning	Beräknad lagring av SS i damm
Parameter	$M_{in, SS}$	$M_{avsatt, SS}$	M_{SS}
Enhet	kg SS/år	kg SS/år	kg
Ladbrodammen	25 745	10 878	108 776
Myrängsdammen	3 379	1 365	13 652
Tibbledammen	43 162	15 247	152 474
Viby Gård	7 906	4 261	42 615
Kungsängsdammen	24 960	5 238	52 376
Bäckaslöv damm	77 407	14 275	142 754

4.7 AVSKILJNING AV FRAKTIONER

Avskiljningen av fraktioner av SS med avseende på grov och fin sand och silt samt lera, enligt ekvation (20), presenteras för olika dimensionerande flöden som beräknats enligt rationella metoden för Kungsängsdammen presenteras i tabell 20. Även det dimensionerande medelflödet för Kungsängsdammen presenteras. Sedimentationshastigheterna för de olika fraktionerna erhålls ur tabell 4.

Tabell 20 Avskiljning av fraktioner av SS för olika dimensionerande flöden.

Parameter	Avskiljning fraktioner								
	$d_{partikel}$	v_s	$Q_{dimmedel}$	Q_{dim} ($T=1$ mån)	Q_{dim} ($T=6$ mån)	Q_{dim} ($T=1$ år)	Q_{dim} ($T=2$ år)	Q_{dim} ($T=5$ år)	Q_{dim} ($T=10$ år)
Enhet	µm	mm/s	%	%	%	%	%	%	%
Grov sand	1000	100	100	100	100	100	100	100	100
Fin sand	250	26	100	100	100	100	100	100	100
Grov silt	62	2,3	100	100	100	100	100	100	100
Fin silt	16	0,18	100	100	100	99	99	98	98
Lera	4	0,011	100	85	73	67	60	51	45

Resultatet visar att även för ett 10-års regn kommer Kungsängsdammen ha en 100 % avskiljning av grov och fin sand samt för grov silt. Avskiljningen av fin silt och lera försämras vid högre återkomsttid.

4.8 AVSKILJNING ÖVRIGA ÄMNEN

Avskiljning av den partikulärt bundna andelen av P, Cu och Zn utifrån tabell 5 och avskiljningen av SS presenteras i tabell 21. Avskiljning av samma ämnen utifrån inkommande koncentration SS och den specifika dammvolymer enligt figur 10–12 presenteras i tabell 22. Den uppmätta avskiljningen av P, Cu och Zn presenteras i tabell 23.

Tabell 21 Avskiljning partikulärt bundet P, Cu och Zn

	R_P	R_{Cu}	R_{Zn}
Enhet	%	%	%
Partikelbundet	24	34	49
Ladbrodammen	14	20	28
Myrängsdammen	14	20	29
Tibbledammen	16	22	32
Viby Gård	11	16	23
Kungsängs- dammen	19	27	39
Bäckaslöv damm	20	28	40

Tabell 22 Avskiljning av P, Cu och Zn utifrån inkommande koncentration SS och specifik dammvolym samt avskiljning i figurer 10-12.

	Konc. SS i inkommande dagvatten	Specifik dammvolym	P uppskattad avskiljning	Cu uppskattad avskiljning	Zn uppskattas avskiljning
Parameter	$C_{in, SS}$	V_{damm}/A_{red}	R_P	R_{Cu}	R_{Zn}
Enhet	mg/l	m ³ /ha _{red}	%	%	%
Ladbrodammen	65	59,4	45	34	45
Myrängsdammen	48	63,6	40	30	40
Tibbledammen	61	78,9	48	37	50
Viby Gård	59	34,8	29	22	28
Kungsängs- dammen	100	179	68	59	76
Bäckaslöv damm	86	205	65	55	73

Tabell 23 Uppmätta avskiljningsgrader för P, Cu och Zn.

Parameter	R_P uppmätt	R_{Cu} uppmätt	R_{Zn} uppmätt
Enhet	%	%	%
Ladbro dammen	27	54	53
Myrängsdammen	31	32	48
Tibbledammen	66	52	59
Viby gård	62	34	70
Kungsängsdammen	56	78	84
Bäckaslöv Damm	89	91	90

Resultatet visar att även för P, Cu och Zn ger beräkningsverktygets avskiljningsgrader lägre värden än resultaten från de uppmätta värdena. Avskiljningen av den partikulärt bundna andelen är betydligt mindre än den uppmätta avskiljningen.

5 DISKUSSION

5.1 HYDRAULIK

Enligt teorin ger en hög hydraulisk effektivitet en bra avskiljningsgrad av SS vilket innebär att de utvalda dammarna bör ha en hög hydraulisk effektivitet. Hur den hydrauliska effektiviteten påverkar dammens avskiljningsförmåga är dock svår att fastställa utifrån beräkningsverktygets resultat. Den beräknade hydrauliska effektiviteten för dammarna utgår från dammarnas längd-breddförhållande och ekvation (16) som maximalt kan ge en effektiv volymkvot på 0,84, vilket i vissa fall är lägre än motsvarande värden angivna i tabell 13. Den beräknade effektivitetskvoten tar inte heller hänsyn till eventuella barriärer och öar i dammen vilket även det har en stor effekt på spridningen i dammen. Den baseras dessutom på en dispersionsfaktor som i detta beräkningsverktyg ej har beräknats genom simuleringar utan erhålls från längd-breddförhållandet i andra studier. Däremot är värdena på effektiva volymkvoten från tabell 13 i vissa fall orimligt höga då det i verkliga dammar är osannolikt att det inkommande dagvattnet sprids i hela dammens volym. Det positiva med den beräknade effektiva volymkvoten är att den inte överskattar dammens förmåga att sprida vattnet i dammen.

5.2 AVSKILJNING

Dagvattendammar är komplexa system där avskiljningsgraden beror av en stor mängd parametrar, både parametrar som varierar över tid men även parametrar som beror av dammens dimensioner och utformning. Detta medför att avskiljningsgraden är väldigt svår att uppskatta och komplicerad att empiriskt beräkna. Däremot är det vid dimensionering och utformning av en dagvattendamm viktigt att skapa så optimala förhållanden som möjligt även om den teoretiska avskiljningen från beräkningsverktyget innehåller stora osäkerheter på grund av osäkerheter i exempelvis hydraulisk effektivitet. Även mätningar av den uppmätta avskiljningsgraden kan innehålla osäkerheter.

Då samtliga dammar har en relativt hög avskiljning av SS är det svårt att få en uppfattning om hydraulikens inverkan på avskiljningsgraden. Den teoretiska hydrauliska effektiviteten varierar medan det är en liten spridning på avskiljningsgraden. För att se en trend behöver även dammar med dålig hydraulik undersökas med avseende på avskiljning. Trenden är svår att uppfatta men rimligtvis bör avskiljningsgraden minska om den hydrauliska effektiviteten, och därmed den effektiva volymen, minskar. Resultaten visar att väldigt olika utformningar kan ge en god avskiljning. Resultaten (figur 17) stödjer dock tidigare rekommendationer att den specifika dammvolymen bör vara mellan 100 och 250 m³/ha_{red} för hög rening. Den specifika effektiva dammvolymen som beror av dammens hydraulik bör enligt resultatet i figur 18 vara över 60 m³/ha_{red} för att uppnå en hög avskiljning av SS. Däremot har flera av dammarna specifika dammareor och dammytor lägre än det rekommenderade intervallet. Resultatet från de framtagna avskiljningsgraderna i beräkningsverktyget, R_{SS1} och R_{SS2} samt medelvärdet av dem är lägre jämfört med de verkliga uppmätta avskiljningsgraderna för SS alla. För dessa sex utvalda dagvattendammar underskattar beräkningsverktyget deras reningsförmåga.

Att avskiljningen av den partikulärt bundna delen av ämnena P, Cu och Zn är betydande lägre än de uppmätta avskiljningsgraderna indikerar att reningen i dammen även innefattar avskiljning av lösta ämnen. Det kan även bero på att den partikulärt bundna andelen inte presenterar det verkliga fallet för fördelningen mellan partikulärt och löst. Resultatet överensstämmer med teorin att det inte är tillförlitligt att anta att endast den partikulärt bundna andelen avsätts eller avskiljs i dagvattendammar.

Det är svårt att koppla ihop specifik dammarea med avskiljningen när det sker en betydande bräddning av vattenflöden förbi dammen. Det innebär att den specifika dammarea ger missvisande låga värden mot den verkliga belastningen på dagvattendammen, vilket är fallet för exempelvis Ladbrodammen. Däremot är det ett tydligt samband.

Uppmätta värden för dagvattendammarna som ingår i NOS-dammarna är uppmätta cirka två gånger i månaden över en tvåårsperiod och bör därför vara en relativt säker uppskattning av årsmedelvärden för in- och utgående koncentration, flöde och avskiljning. De uppmätta värdena i Bäckaslöv har utförts under en ettårsperiod och bör därför också ge en relativt bra beskrivning. Provtagning av Kungsängsdammen genomfördes mellan den 28/3 och den 28/8 2014 vilket innebär att inga mätningar över vintersäsongen är inkluderade vilket kan vara en orsak till att den uppmätta avskiljningen av SS är väldigt hög. Provtagningsperioden inkluderar den period då vegetationen i dammen kan antas vara som mest etablerad.

Att en dagvattendamm har en låg hydraulisk effektivitet behöver inte innebära en dålig avskiljning. Den hydrauliska effektiviteten kan bara mer eller mindre minska den specifika effektiva arean. Är dagvattendammen tillräckligt stor kan dammen ha god rening oavsett. Med tiden då den avsatta volymen av SS ökar kommer den specifika effektiva dammvolymer att minska eftersom en mindre andel av dammens permanentvolum är aktiv i reningen. De utvalda dagvattendammarna verkar utifrån studiebesöket fortfarande ha en relativt god reningsförmåga.

Teori om vegetationen i dagvattendammar har i beräkningsverktyget endast presenterats som information och rekommendationer vilket innebär att denna parameter inte har inkluderats i den beräknade eller uppskattade avskiljningen. Om vegetationen inkluderats i beräkningarna bör den för de utvalda dammarna förbättrat avskiljningsförmågan enligt teorin.

Dagvattendammar kan skapas på ett sätt som bidrar till biologisk mångfald och förbättra landskapsbilden. I en stadsmiljö kan detta vara ett vackrare alternativ än andra dagvattenlösningar då dagvattendammar bidrar med en öppen vattenspegel. Vatten lockar till sig djurliv och skapar en levande miljö. Dagvattendammars flödesreglering, estiska värden, lokal klimatreglering och luftrening bidrar till ekosystemtjänster och mervärden.

5.3 UTVECKLINGEN AV VERKTYGET

Beräkningsverktyget som framtagits ger enligt jämförelsen med de utvalda dammarnas uppmätta värden underskattad avskiljningsgrad av SS, P, Cu och Zn. Underskattningen av avskiljningen kan tänkas bero på en bristfällig uppskattning av den hydrauliska effektiviteten vilket även beror av vegetationen i dammen. Då vegetationen inte

inkluderas kan detta vara en av orsakerna. Underskattningen kan även tänkas bero på att de utvalda dammarnas avskiljning är hög. En förklaring till att den uppmätta avskiljningen är hög kan bero på att inkommande halter är höga. Om inkommande koncentration är hög blir också avskiljningen stor eftersom det finns en större mängd som kan avsättas. Om den inkommande koncentrationen däremot är väldigt låg uppnås inte samma avskiljning. Några av de utvalda dammarna, Kungsängsdammen och Bäckaslöv, har en hög inkommande koncentration av SS vilket kan vara en anledning till att de också har en väldigt hög avskiljning.

För att förbättra förhållandet mellan dammen och tillrinningsområdet skulle det vara bättre att undersöka dammvolymer i förhållande till den avrinnande volymen istället för avrinningsområdets reducerade area. På så vis kan förhållandet ta större hänsyn till den geografiska platsen även om det är svårt att få en uppfattning av avrinningsvolymen. Avrinningsvolymen är dock mer komplicerad att uppskatta.

Istället för att presentera lagringen som en mängd skulle det vara mer användbart för användaren av beräkningsverktyget att få ett resultat på den avsatta mängdens sedimentdjup i förhållande till dammens. För att genomföra detta behövs en uppskattning av halten organiskt material i SS samt en uppskattning av hur stor del av dammens som förväntas bistå till sedimentering. Lagringen skulle även kunna användas vidare för att uppskatta minskningen av volym i dammen och därmed en försämrad hydraulik över tid.

För att förbättra beräkningsverktyget och göra det enklare att använda för användaren skulle beräkningsverktyget kunna justeras för att automatiskt föreslå dimensionering och utformning för att uppnå önskad rening av dagvattnet baserat på dess inkommande koncentration.

6 SLUTSATS

Det framtagna beräkningsverktyget med sammanställd litteratur och samband ger utifrån en dagvattendamms utformning, dimensioner och avrinningsområdets egenskaper uppfattning om en dagvattendamms inkommande dagvatten, hydraulik och avskiljning av SS, P, Cu och Zn i dammen. Uppställda frågeställningar för arbetet besvaras nedan:

- Beräkningsverktyget ger relativt god uppfattning om de inkommande föroreningshalterna och det inkommande flödet. Både beräknade och uppmätta inkommande halter visar att föroreningssammansättningen i dagvatten varierar kraftigt. Den uppmätta avskiljningen av SS för vissa dammar är anmärkningsvärt högre än förväntat utifrån beräkningsverktygets resultat. Det innebär att beräkningsverktyget för de utvalda dammarna underskattar reningen av SS. Även avskiljningen av P, Cu och Zn är högre i verkligheten än enligt beräkningsverktyget.
- Hydrauliken i en dagvattendamm är en uppskattning som är relativt svår att implementera på riktiga dammar på ett enkelt sätt. Dock är det viktigt att ta hänsyn till en damms hydraulik eftersom det kan ha en stor effekt på hur det inkommande vattnet sprids i dammen.

- Dagvattendammar är komplexa system där avskiljningsgraden beror av en stor mängd parametrar, både parametrar som varierar över tid men även parametrar som beror av dammens dimensioner och utformning. Resultatet visar att det finns ett samband mellan reningseffekten och dagvattendammens storlek i förhållande avrinningsområdet. Hydrauliken är en faktor som bör påverka även om den är svår att uppskatta och implementera i verkligheten på ett enkelt sätt. Skillnaden mellan den uppmätta och beräkningsverktygets avskiljningsgrad kan bero på att vissa dammar har en hög inkommande koncentration vilket ger en hög avskiljning. Det kan även för vissa av dammarna också bero på att det sker en bräddning av det inkommande vattnet vilket ger missvisande värden för den specifika dammvolymer.

7 REFERENSER

- Alias, N., Liu, A., Egodawatta, P. & Goonetilleke, A. (2014). Sectional analysis of the pollutant wash-off process based on runoff hydrograph. *Journal of Environmental Management*, 134(Supplement C), pp 63–69.
- Alm, H., Banach, A. & Larm, T. (2010). *Förekomst och rening av prioriterade ämnen, tungmetaller samt vissa övriga ämnen i dagvatten*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling. (2010-06). Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2010-06.pdf [2017-09-11].
- Al-Rubaei, A., Engström, M., Viklander, M. & Blecken, G. (2016). *Långtidsfunktionen hos en 19-årig dagvattenvåtmark*. Stockholm: Svenskt Vatten AB. (2016–14). Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2016-14.pdf [2017-10-21].
- Andersson, J., Owenius, S. & Stråe, D. (2012). *SVU-rapport 2012-02: NOS-dagvatten – Uppföljning av dagvattenanläggningar i fem Stockholmskommuner*. Stockholm: Svenskt Vatten. (2012-02). Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2012-02 [2017-10-21].
- Arlund, J. (2015). *Uppföljning av Kungsängsdammen - Flödes proportionell provtagning av metaller och organiska föroreningar under mars - augusti 2014*. Uppsala: Uppsala vatten och avfall AB. Tillgänglig: https://www.uppsalavatten.se/Global/Uppsala_vatten/Dokument/Rapporter%20och%20redovisningar/Examensarbeten/2014_Jonathan_Arlund.pdf [2017-10-30].
- Braskerud, B. (2001). The influence of vegetation on sedimentation and resuspension of soil particles in small constructed wetlands. *Journal of Environmental Quality*, (30), pp 1447–1457.
- Braskerud, B. (2002). Factors Affecting Phosphorus Retention in Small Constructed Wetlands Treating Agricultural Non-Point Source Pollution. *Ecological Engineering*, 19, pp 41–61.
- Griffin, D. M., Randall, C. & Grizzard, T. J. (1980). Efficient design of stormwater holding basins used for water quality protection. *Water Research*, 14(10), pp 1549–1554.
- Gu, L., Dai, B., Zhu, D. Z., Hua, Z., Liu, X., Duin, B. van & Mahmood, K. (2017). Sediment modelling and design optimization for stormwater ponds. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 42(1), pp 70–87.
- Jansons, K. & Law, S. (2007). The hydraulic efficiency of simple stormwater ponds. *Rainwater and Urban Design 2007*, p 452.
- Jenkins, G. A. & Greenway, M. (2005). The hydraulic efficiency of fringing versus banded vegetation in constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 25(1), pp 61–72
- Larm, T. (2000). *Watershed-based design of stormwater treatment facilities : model*

development and applications. Diss. Institutionen för anläggning och miljö. Tillgänglig: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-3103>. [2001-03-15].

Larm, T. *Method description – StormTac*. (2018). Tillgänglig: http://www.stormtac.com/?page_id=2049. [2018-01-22].

Larm, T. & Pirard, J. (2010). *Utredning av föroreningsinnehållet i Stockholm dagvatten*. Stockholm: Sweco AB. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdf1/rapporter/dagvatten/fororeningsinnehall_dagvatten.pdf [2017-09-11].

Maria Vikström, Lars-Göran Gustafsson, Jonas German & Gilbert Svensson (2004). *Dagvattendammars avskiljningsförmåga - påverkande faktorer och metodik för bedömning*. Stockholm: Svenskt Vatten. (2004–11). Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2004-11.pdf [2017-09-10].

MBWCP (2006). *Technical design guidelines for south east Queensland*. Water sensitive urban design. (Version 1). Tillgänglig: <http://waterbydesign.com.au/techguide/> [2017-08-30].

Miguntanna, N. P., Liu, A., Egodawatta, P. & Goonetilleke, A. (2013). Characterising nutrients wash-off for effective urban stormwater treatment design. *Journal of Environmental Management*, 120(Supplement C), pp 61–67.

Persson, J. (1998). *Utformning av dammar: En litteraturstudie med kommentarer om dagvatten-, polerings- och miljödammars. Andra upplagan*. Göteborg: Chalmers. (B:64).

Persson, J. (2000). The Hydraulic Performance of Ponds of Various Layouts. *Urban Water*, 2, pp 243–250.

Persson, J. & Pettersson, T. (2006). *Dagvattendammars*. Borlänge. (2006:1). Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/3738/1/Persson_2006_115_dagvattendammars_fr%C3%A5n_n%C3%A4tet.pdf [2017-09-28].

Pramsten, J. (2010). Avskiljningsförmåga hos dagvattendammars i relation till dammvolym, bräddflöde och inkommande föroreningshalt. *Vatten*, 2010(2), pp 99–111.

Su, T.-M., Yang, S.-C., Shih, S.-S. & Lee, H.-Y. (2009). Optimal design for hydraulic efficiency performance of free-water-surface constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 35(8), pp 1200–1207.

Svenskt vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem*. Stockholm: Svenskt Vatten. (P110).

Sønderup, M. J., Egemose, S., Hansen, A. S., Grudinina, A., Madsen, M. H. & Flindt, M. R. (2016). Factors affecting retention of nutrients and organic matter in stormwater ponds. *Ecohydrology*, 9(5), pp 796–806.

Tegelberg, L. & Svensson, G. (2013). *Utvärdering av Svenskt Vattens rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienter*. Stockholm: Svenskt Vatten. (2013-05).
Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2013-05.pdf [2017-11-08].

Verstraeten, G. & Poesen, J. (2000). Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield. *Progress in Physical Geography; London*, 24(2), pp 219–251.

Våtmarksguiden (2016). Vegetation som gynnar reningen. Tillgänglig:
<http://vatmarksguiden.se/projekt/vegetation-som-gynnar-reningen/>. [2017-10-16].

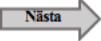
Wu, J. S., Holman, R. E. & Dorney, J. R. (1996). Systematic Evaluation of Pollutant Removal by Urban Wet Detention Ponds. *Journal of Environmental Engineering*, 122(11), pp 983–988.

Öckerman, H. & Ridderstolpe, P. (2018). *Idéutformning och förprojektering av dagvattendamm*. Uppsala: Ljusdal Energi. (WRS rapport 2017-1128-A).

BILAGA A BERÄKNINGSVERKTYG

	A	B	C	D	E	F
2			BERÄKNINGSVERKTYG FÖR DIMENSIONERING OCH UTFORMNING AV			
3			DAGVATTENDAMMAR			
4			2018-05-20			
5			Kajsa Forsberg			
6			Examensarbete för Civilingenjörsprogrammet Miljö- och vattenteknik, Uppsala universitet			
7						
8			Syftet med examensarbetet och detta beräkningsverktyg är att utreda funktionen hos			
9			dagvattendammar baserat på förhållandet mellan avskiljningsgraden (R) av föroreningar			
10			och dammars dimensioner och utformning. Beräkningsverktyget baseras på sammanställd			
11			kunskap och samband från litteratur vilket presenteras i examensarbets rapport.			
12			Beräkningsverktyget ska utifrån vissa parametrar som beskriver dammens dimensioner			
13			och utformning beräkna dammens funktion med avseende på dess förmåga att avskilja			
14			suspenderade partiklar (SS), Fosfor (P), Koppar (Cu) och Zink (Zn). Syftet med			
15			beräkningsverktyget är även att fungera som hjälp vid utformning av nya			
16			dagvattendammar eller vid utvärdering av befintliga dagvattendammar.			
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
			KONTAKTUPPGIFTER			
12		Skapat av:	Handledare:			
13		Kajsa Forsberg	Hannes Öckerman			
14		forsberg.kajsa@gmail.com	Hannes@wrs.se			
15		076 1134680	073 3833788			
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						

Figur A 1 Försättsblad till beräkningsverktyg.

	A	B	C	D	E	F	G
1	INSTRUKTIONER FÖR BERÄKNINGSVERKTYG DAGVATTENDAMMAR						
2	Beräkningsverktyget för att uppskatta dagvattendammars reningsfunktion utifrån dess dimensioner och avrinningsområde genomförs genom stegen 1 - 9 nedan. Stegen nedan representerar flikar i beräkningsverktyget. Grönmarkerade flikar innefattar avrinningsområdet, blåa flikar dammens egenskaper och övriga flikar är gråmarkerade. Celler som kräver indata till beräkningsverktygets är markerade med grått medan celler med resultat är markerade i grönt.						
3							
4							
5							
6	1 Kartering	Utför en markanvändningskartering av avrinningsområdet för att uppskatta dess avrinningskoefficient och reducerade hårdgjorda yta. Om detta redan har genomförts, fyll i data överst på sidan. Genom kartering erhålls avrinningskoefficient, ϕ_{SS} och reducerad area A_{red} .					
7							
8	2 Avrinning	Uppskatta tillkommande dagvattenflöde till dammen genom att uppskatta årsmedelavrinningen, $Q_{avrinning}$. Dammens dimensionerande flöde, $Q_{dim\ medel}$, beräknas genom att välja klimatfaktor, antal gånger årsmedelflöde och bräddning förbi dammen.					
9							
10	3 Förorenings-sammansättning	Utifrån karteringen av avrinningsområdet samt årsmedelavrinning, $Q_{avrinning}$, uppskattas en föroreningsammansättning baserat på schablonvärden. Den förväntade föroreningsammansättningen kan jämföras med valda riktvärden för utsläpp av dagvatten som används i Sverige.					
11							
12	4 Dimensioner damm	Dammens dimensioner anges. Inparametrar är längd, bredd, djup och eventuellt reglerdjup. Om dammens area avviker från en rektangulär form väljs en egen area. Utifrån dammens angivna dimensioner beräknas en specifik dammareo och dammvoly m samt dammens hydrauliska belastning.					
13							
14	5 Vegetation	Rekommendationer för hur vegetationen ska etableras i en damm.					
15							
16	6 Hydraulisk effektivitet	Utifrån dammens angivna dimensioner uppskattas en effektiv volymkvot, e , och en hydraulisk effektivitet, λ , i dammen. Uppskattning av dammens nominella uppehållstid, t_{ss} , och medeluppehållstid, t_{medel} , under årsmedelavrinning. Ger även en dimensionerande uppehållstid för dimensionerande medelflöde t_{dim} .					
17							
18	7 Avskiljningsgrad SS	Avskiljningsgraden av suspenderat material, R_{SS} , hos den definierade dammen uppskattas och beräknas genom två olika metoder. Lagringen av SS i dammen beräknas utifrån den beräknade avskiljningsgraden.					
19							
20	8 Avskiljningsgrad SS fraktioner	Avskiljningsgraden av SS i olika fraktioner för olika dimensionerande flöden in till dagvattendammen.					
21							
22	9 Avskiljning P, Cu, Zn	Avskiljningsgraden av P, Cu och Zn beräknas utifrån avskiljningen av SS och andelen som förväntas vara partikelbundet. Avskiljningen kan även uppskattas från den inkommande koncentrationen SS och dammens specifika dammvoly m.					
23							
24	B1 BILAGA 1 - Utvalda dammar	Data, fakta och resultat av sex stycken undersökta dagvattendammar.					
25							
26	B2 BILAGA 2 - Riktvärden	Riktvärden för föroreningar i dagvatten i olika regioner av Sverige.					
27							
28	B3 BILAGA 3 - Referenser	Referenslista					
29							
30							
31							
32							
33							

Figur A 2 Instruktioner för beräkningsverktyg.

	A	B	C	D	E	F																																																																					
	← Föregående					→ Nästa																																																																					
1	1. Markanvändningskartering av avrinningsområde till dammen.																																																																										
2	Om markanvändningskartering redan har utförts, fyll i area, A_{tot} och sammanvägd																																																																										
3	avrinningskoefficient, φ_S i tabell 1. Annars, använd tabell 2 för att få fram dessa																																																																										
4	inparametrar.																																																																										
5																																																																											
6	TABELL 1 - RESULTAT MARKANVÄDNINGSKARTERING																																																																										
7	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Indata/Resultat</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Avrinningsområdet area</td> <td>A_{tot}</td> <td>ha</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Sammanvägd avrinningskoefficient (vald eller enligt Tabell 2)</td> <td>φ_S</td> <td>-</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>Reducerad hårdgjord yta (vald eller enligt Tabell 2)</td> <td>A_{red}</td> <td>ha_{red}</td> <td>39</td> </tr> </tbody> </table>							Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Avrinningsområdet area	A_{tot}	ha	65	Sammanvägd avrinningskoefficient (vald eller enligt Tabell 2)	φ_S	-	0,60	Reducerad hårdgjord yta (vald eller enligt Tabell 2)	A_{red}	ha _{red}	39																																																					
	Parameter	Enhet	Indata/Resultat																																																																								
Avrinningsområdet area	A_{tot}	ha	65																																																																								
Sammanvägd avrinningskoefficient (vald eller enligt Tabell 2)	φ_S	-	0,60																																																																								
Reducerad hårdgjord yta (vald eller enligt Tabell 2)	A_{red}	ha _{red}	39																																																																								
8																																																																											
9																																																																											
10																																																																											
11																																																																											
12																																																																											
13	TABELL 2 - MARKANVÄDNINGSKARTERING AV AVRINNINGSMRÅDE FÖR BERÄKNING AV REDUCERAD AREA																																																																										
14	Beräkna avrinningsområdets sammanvägda avrinningskoefficient, φ_S , och reducerad hårdgjord yta, A_{red} , genom att ange area av respektive markanvändning, n . Volymavrinningskoefficienterna, φ_n , är baserade på årlig avrinning.																																																																										
15	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Typ av markanvändning</th> <th>Volymavrinningskoefficient</th> <th>Area markanvändning n</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>n</td> <td>φ_n</td> <td>A_n</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>ha</td> </tr> <tr> <td>Väg (5 000 ÅDT)</td> <td>0,85</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Väg (15 000 ÅDT)</td> <td>0,85</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Väg (30 000 ÅDT)</td> <td>0,85</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Parkering</td> <td>0,85</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Villaområde</td> <td>0,25</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Radhusområde</td> <td>0,32</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Flerfamiljshusområde</td> <td>0,45</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Fritidshusområde</td> <td>0,25</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Koloniområde</td> <td>0,2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Centrumområde</td> <td>0,7</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Industriområde</td> <td>0,6</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Parkmark</td> <td>0,18</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Atmosfärisk deposition</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Skogsmark</td> <td>0,05</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Jordbruksmark</td> <td>0,11</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Gräs- och ängsmark</td> <td>0,075</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Våtmark</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Totalt</td> <td>-</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Sammanvägd avrinningskoefficient</td> <td>φ_S</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>Reducerad hårdgjord yta</td> <td>A_{red}</td> <td>39,0</td> </tr> </tbody> </table>						Typ av markanvändning	Volymavrinningskoefficient	Area markanvändning n	n	φ_n	A_n	-	-	ha	Väg (5 000 ÅDT)	0,85	0	Väg (15 000 ÅDT)	0,85	0	Väg (30 000 ÅDT)	0,85	0	Parkering	0,85	0	Villaområde	0,25	0	Radhusområde	0,32	0	Flerfamiljshusområde	0,45	0	Fritidshusområde	0,25	0	Koloniområde	0,2	0	Centrumområde	0,7	0	Industriområde	0,6	65	Parkmark	0,18	0	Atmosfärisk deposition	1	0	Skogsmark	0,05	0	Jordbruksmark	0,11	0	Gräs- och ängsmark	0,075	0	Våtmark	1	0	Totalt	-	65	Sammanvägd avrinningskoefficient	φ_S	0,60	Reducerad hårdgjord yta	A_{red}	39,0
Typ av markanvändning	Volymavrinningskoefficient	Area markanvändning n																																																																									
n	φ_n	A_n																																																																									
-	-	ha																																																																									
Väg (5 000 ÅDT)	0,85	0																																																																									
Väg (15 000 ÅDT)	0,85	0																																																																									
Väg (30 000 ÅDT)	0,85	0																																																																									
Parkering	0,85	0																																																																									
Villaområde	0,25	0																																																																									
Radhusområde	0,32	0																																																																									
Flerfamiljshusområde	0,45	0																																																																									
Fritidshusområde	0,25	0																																																																									
Koloniområde	0,2	0																																																																									
Centrumområde	0,7	0																																																																									
Industriområde	0,6	65																																																																									
Parkmark	0,18	0																																																																									
Atmosfärisk deposition	1	0																																																																									
Skogsmark	0,05	0																																																																									
Jordbruksmark	0,11	0																																																																									
Gräs- och ängsmark	0,075	0																																																																									
Våtmark	1	0																																																																									
Totalt	-	65																																																																									
Sammanvägd avrinningskoefficient	φ_S	0,60																																																																									
Reducerad hårdgjord yta	A_{red}	39,0																																																																									
16																																																																											
17																																																																											
18																																																																											
19																																																																											
20																																																																											
21																																																																											
22																																																																											
23																																																																											
24																																																																											
25																																																																											
26																																																																											
27																																																																											
28																																																																											
29																																																																											
30																																																																											
31																																																																											
32																																																																											
33																																																																											
34																																																																											
35																																																																											
36																																																																											
37																																																																											
38																																																																											

Figur A 3 Flik nummer 1 i beräkningsverktyget med markanvändningskartering för avrinningsområdet.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J																													
1	← Föregående								→ Nästa																														
2	2. Avrinning från området till dammen																																						
3																																							
4	Avrinningsområdets markanvändningskartering används för att beräkna medelavrinningen, $Q_{avrinning}$, samt uppskatta ett dimensionerande inflöde, $Q_{dim\ medel}$, till dammen utifrån parametrarna nederbörd, klimatfaktor och antal gånger årsmedelflödet som ansätts nedan. Bräddning av inflöde till dagvattendammen kan justeras.																																						
5																																							
6																																							
7	RESULTAT FRÅN MARKANVÄNDNINGSKARTERING																																						
8	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Resultat</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>Area avrinningsområde</td> <td>A_{tot}</td> <td>ha</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Sammanvägd avrinningskoefficient</td> <td>ϕ_s</td> <td>-</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Reducerad hårdgjordyta</td> <td>A_{red}</td> <td>ha_{red}</td> <td>39</td> </tr> </tbody> </table>											Parameter	Enhet	Resultat	9	Area avrinningsområde	A_{tot}	ha	65	10	Sammanvägd avrinningskoefficient	ϕ_s	-	0,60	11	Reducerad hårdgjordyta	A_{red}	ha _{red}	39										
	Parameter	Enhet	Resultat																																				
9	Area avrinningsområde	A_{tot}	ha	65																																			
10	Sammanvägd avrinningskoefficient	ϕ_s	-	0,60																																			
11	Reducerad hårdgjordyta	A_{red}	ha _{red}	39																																			
12																																							
13	AVRINNING OCH INFLÖDE TILL DAGVATTENDAMM																																						
14	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Indata</th> <th>Kommentarer</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>Årsmedelnederbörd</td> <td>p</td> <td>mm/år</td> <td>640</td> <td>Korrigerad för mätfel.</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>Klimatfaktor</td> <td>k_f</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>För att anpassa dammens dimensioner för framtida klimatförändringar utökas det dimensionerade flödet med k_f. Ansätts till 1 för ingen klimatanpassning.</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>Antal gånger årsmedelflöde</td> <td>N_{dam}</td> <td>-</td> <td>2</td> <td>Ansätts till 2 eller alternativt inom intervallet 1,0 - 2,5 för dagvattendammar.</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>Bräddning. Andel av flöde som passerar förbi dammen</td> <td>$Bräddning$</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>Ansatt mellan 0 och 1 där 0 innebär ingen bräddning. Genom att applicera en bräddning sänks inflödet till dammen och flödesbelastningen vilket ger en ökad avskiljningsgrad av SS.</td> </tr> </tbody> </table>											Parameter	Enhet	Indata	Kommentarer	15	Årsmedelnederbörd	p	mm/år	640	Korrigerad för mätfel.	16	Klimatfaktor	k_f	-	1	För att anpassa dammens dimensioner för framtida klimatförändringar utökas det dimensionerade flödet med k_f . Ansätts till 1 för ingen klimatanpassning.	17	Antal gånger årsmedelflöde	N_{dam}	-	2	Ansätts till 2 eller alternativt inom intervallet 1,0 - 2,5 för dagvattendammar.	18	Bräddning. Andel av flöde som passerar förbi dammen	$Bräddning$	-	0	Ansatt mellan 0 och 1 där 0 innebär ingen bräddning. Genom att applicera en bräddning sänks inflödet till dammen och flödesbelastningen vilket ger en ökad avskiljningsgrad av SS.
	Parameter	Enhet	Indata	Kommentarer																																			
15	Årsmedelnederbörd	p	mm/år	640	Korrigerad för mätfel.																																		
16	Klimatfaktor	k_f	-	1	För att anpassa dammens dimensioner för framtida klimatförändringar utökas det dimensionerade flödet med k_f . Ansätts till 1 för ingen klimatanpassning.																																		
17	Antal gånger årsmedelflöde	N_{dam}	-	2	Ansätts till 2 eller alternativt inom intervallet 1,0 - 2,5 för dagvattendammar.																																		
18	Bräddning. Andel av flöde som passerar förbi dammen	$Bräddning$	-	0	Ansatt mellan 0 och 1 där 0 innebär ingen bräddning. Genom att applicera en bräddning sänks inflödet till dammen och flödesbelastningen vilket ger en ökad avskiljningsgrad av SS.																																		
19																																							
20	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>l/s</th> <th>m³/dygn</th> <th>Kommentarer</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>21</td> <td>Årsmedelavrinning</td> <td>$Q_{avrinning}$</td> <td></td> <td>7,9</td> <td>683,8</td> <td>Årsmedelavrinning av dagvatten inom dammens avrinningsområde. Justeras efter klimatfaktor.</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>Dimensionerande medelflöde till damm</td> <td>$Q_{dim\ medel}$</td> <td></td> <td>15,8</td> <td>1367,7</td> <td>Medelflöde som används för att dimensionera dagvattendammen. Justeras efter klimatfaktor, N_{dam} och bräddning.</td> </tr> </tbody> </table>											Parameter	Enhet	l/s	m ³ /dygn	Kommentarer	21	Årsmedelavrinning	$Q_{avrinning}$		7,9	683,8	Årsmedelavrinning av dagvatten inom dammens avrinningsområde. Justeras efter klimatfaktor.	22	Dimensionerande medelflöde till damm	$Q_{dim\ medel}$		15,8	1367,7	Medelflöde som används för att dimensionera dagvattendammen. Justeras efter klimatfaktor, N_{dam} och bräddning.									
	Parameter	Enhet	l/s	m ³ /dygn	Kommentarer																																		
21	Årsmedelavrinning	$Q_{avrinning}$		7,9	683,8	Årsmedelavrinning av dagvatten inom dammens avrinningsområde. Justeras efter klimatfaktor.																																	
22	Dimensionerande medelflöde till damm	$Q_{dim\ medel}$		15,8	1367,7	Medelflöde som används för att dimensionera dagvattendammen. Justeras efter klimatfaktor, N_{dam} och bräddning.																																	
23																																							
24																																							


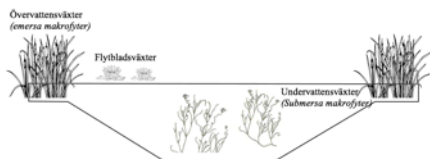
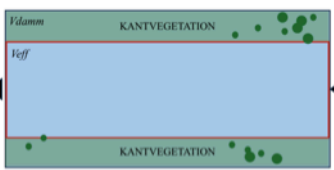
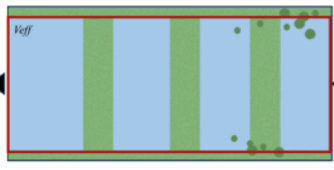
Figur A 4 Flik nummer 2 i beräkningsverktyget med avrinningsberäkningar för avrinningsområdet.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Q
1	← Föregående Nästa →														
2	3. Föroreningssammansättning avrinnande dagvatten														
3															
4	Sammansättning av föroreningar i det inkommande dagvattnet till dagvattendammen kan antingen fyllas i direkt i Tabell 3 eller beräknas utifrån														
5	schablonvärden i Tabell 4 och markanvändningskartering i flik 1. Resultatet, tabell 5, redovisar inkommande koncentration samt mängd. Resultatet kan														
6	jämföras med önskade riktvärden för utsläpp av dagvatten som tillämpas i Sverige.														
7	Välj att använda egna uppmätta inkommande koncentrationer eller beräkna halter från markanvändningskartering.														
8	<input type="button" value="Beräkna halter (Tabell 4)"/>														
9															
10															
11															
12	TABELL 5 - FÖRORENINGSSAMMANSÄTTNING ENLIGT TABELL 3 ELLER 4.														
13	Belastning per år	Enhet	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	SS	olja		
14		kg/år	74,88	449,28	7,488	11,232	67,392	0,3744	3,4944	3,9936	0,01747	24960	624		
15			mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l		
16	Inkommande koncentration		0,3	1,8	30	45	270	1,5	14	16	0,07	100	2,5		
17															
18	RIKTVÄRDEN														
19	Välj riktvärden nedan	Enhet	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	SS	Olja		
20		mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l		
21	Stockholm 2M - uppströms ut		0,18	2,50	10	30	90	0,50	15	30	0,07	60	0,70		
22															
23															
24															
25	TABELL 3 - EGEN FÖRORENINGSSAMMANSÄTTNING														
26	Egen belastning	Enhet	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	SS	olja		
27		kg/år	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
28			mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l		
29	Egen inkommande halt		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
30															
31	TABELL 4 - SCHABLONVÄRDEN FÖR BERÄKNAD FÖRORENINGSSAMMANSÄTTNING (Alm et al., 2010).														
32	Markanvändning		P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	SS	olja		
33	Standardvärden		mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l		
34	Väg (5 000 ÅDT)		0,14	1,7	14	31	62	0,24	1	1,2	0,06	79	0,17		
35	Väg (15 000 ÅDT)		0,2	2	21	59	116	0,3	2,6	2,5	0,06	95	0,5		
36	Väg (30 000 ÅDT)		0,24	2,4	31	72	197	0,44	5	4,4	0,06	115	1,02		
37	Parkeringsområde		0,1	1,1	30	40	140	0,45	15	4	0,05	140	0,8		
38	Villaområde		0,2	1,4	10	20	80	0,5	4	6	0,015	45	0,4		
39	Radhusområde		0,25	1,5	12	25	85	0,6	6	7	0,02	45	0,6		
40	Flerfamiljshusområde		0,3	1,6	15	30	100	0,7	12	9	0,025	70	0,7		
41	Fritidshusområde		0,2	3,3	5	20	80	0,5	2	5	0,015	50	0,1		
42	Koloniområde		0,15	5	5	15	50	0,2	0,2	1	0,012	38	0,1		
43	Centrumområde		0,28	1,9	20	22	140	1	5	8,5	0,05	100	1,5		
44	Industriområde		0,3	1,8	30	45	270	1,5	14	16	0,07	100	2,5		
45	Parkmark		0,12	1,2	6	15	25	0,3	3	2	0,02	49	0,2		
46	Atmosfärisk deposition vattenyta		0,032	1,5	3	5	30	0,11	0,17	0,4	0,01	0	0		
47	Skogsmark		0,035	0,75	6	6,5	15	0,2	0,5	0,5	0,005	34	0,1		
48	Jordbruksmark		0,22	5,3	9	14	20	0,1	1	0,5	0,005	100	0,15		
49	Gräs- och ängsmark		0,2	1	6	15	30	0,3	2	0,5	0,005	45	0,2		
50	Våtmark		0,05	0,9	6	7,5	13	0,15	0,15	0,5	0,005	16	0,1		
51															
52															

Figur A 5 Flik nummer 3 i beräkningsverktyget med föroreningsberäkningar för dagvatten inom avrinningsområdet.

	A	B	C	D	E	F	G	H																																																												
1	← Föregående								Nästa →																																																											
2	4. Dimensionering av dagvattendamm																																																																			
3	Fyll i dammens önskade längd, bredd, permanent djup och eventuellt reglerdjup för att erhålla dammens																																																																			
4	längdbreddförhållande, area och volym. Om dammens area avviker från den beräknade kan en egen area väljas.																																																																			
5	Dagvattendammens relation till avrinningsområdet beskrivs av den specifika dammarean och dammvolyms samt hydraulisk																																																																			
6	DIMENSIONER																																																																			
7	Önskade dimensioner för dagvattendamm																																																																			
8																																																																				
9	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Indata/Resultat</th> <th>Kommentar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Längd damm</td> <td>l</td> <td>m</td> <td>155</td> <td>Ungefärlig medellängd av dammen från inlopp till utlopp.</td> </tr> <tr> <td>Bredd damm</td> <td>b</td> <td>m</td> <td>100</td> <td>Ungefärlig bredd av dammen.</td> </tr> <tr> <td>Längdbreddförhållande</td> <td>l/b</td> <td>-</td> <td>1,6</td> <td>Dagvattendamm rekommenderas ha längdbreddförhållande > 1,88.</td> </tr> <tr> <td>Dammens permanenta medeldjup</td> <td>d_p</td> <td>m</td> <td>0,7</td> <td>Medeldjupet i dammen bör vara 1 - 2 m exklusive grundare delare med vegetation.</td> </tr> <tr> <td>Reglerdjup</td> <td>d_r</td> <td>m</td> <td>0,30</td> <td>Reglerdjupet innebär den möjliga nivåhöjningen av dammen över dess permanentdjup.</td> </tr> <tr> <td>Egen uppmätt area</td> <td>A_{damm}</td> <td>m²</td> <td>10000</td> <td>Fyll alternativ area om dammens form avviker från rektangulär form.</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Välj att använda area utifrån längd och bredd alternativt ange egen area</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Ange egen dammarean</td> <td>A_{damm}</td> <td>m²</td> <td>10000</td> </tr> <tr> <td>Permanent volym damm</td> <td>V_p</td> <td>m³</td> <td>7000</td> <td>Beräknas utifrån vald dammarea och medeldjup.</td> </tr> <tr> <td>Regelervolym damm</td> <td>V_r</td> <td>m³</td> <td>3000</td> <td>Beräknas från vald dammarea och reglerdjup. Innebär att dammen har möjlighet att öka vattendjupet och på så sätt magasinera vatten.</td> </tr> <tr> <td>Maximal dammvolyms</td> <td>V_{max}</td> <td>m³</td> <td>10000</td> <td>Permanent dammvolyms och regelervolym.</td> </tr> </tbody> </table>									Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Kommentar	Längd damm	l	m	155	Ungefärlig medellängd av dammen från inlopp till utlopp.	Bredd damm	b	m	100	Ungefärlig bredd av dammen.	Längdbreddförhållande	l/b	-	1,6	Dagvattendamm rekommenderas ha längdbreddförhållande > 1,88.	Dammens permanenta medeldjup	d_p	m	0,7	Medeldjupet i dammen bör vara 1 - 2 m exklusive grundare delare med vegetation.	Reglerdjup	d_r	m	0,30	Reglerdjupet innebär den möjliga nivåhöjningen av dammen över dess permanentdjup.	Egen uppmätt area	A_{damm}	m ²	10000	Fyll alternativ area om dammens form avviker från rektangulär form.	Välj att använda area utifrån längd och bredd alternativt ange egen area						Ange egen dammarean	A_{damm}	m ²	10000	Permanent volym damm	V_p	m ³	7000	Beräknas utifrån vald dammarea och medeldjup.	Regelervolym damm	V_r	m ³	3000	Beräknas från vald dammarea och reglerdjup. Innebär att dammen har möjlighet att öka vattendjupet och på så sätt magasinera vatten.	Maximal dammvolyms	V_{max}	m ³	10000	Permanent dammvolyms och regelervolym.
	Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Kommentar																																																																
Längd damm	l	m	155	Ungefärlig medellängd av dammen från inlopp till utlopp.																																																																
Bredd damm	b	m	100	Ungefärlig bredd av dammen.																																																																
Längdbreddförhållande	l/b	-	1,6	Dagvattendamm rekommenderas ha längdbreddförhållande > 1,88.																																																																
Dammens permanenta medeldjup	d_p	m	0,7	Medeldjupet i dammen bör vara 1 - 2 m exklusive grundare delare med vegetation.																																																																
Reglerdjup	d_r	m	0,30	Reglerdjupet innebär den möjliga nivåhöjningen av dammen över dess permanentdjup.																																																																
Egen uppmätt area	A_{damm}	m ²	10000	Fyll alternativ area om dammens form avviker från rektangulär form.																																																																
Välj att använda area utifrån längd och bredd alternativt ange egen area																																																																				
	Ange egen dammarean	A_{damm}	m ²	10000																																																																
Permanent volym damm	V_p	m ³	7000	Beräknas utifrån vald dammarea och medeldjup.																																																																
Regelervolym damm	V_r	m ³	3000	Beräknas från vald dammarea och reglerdjup. Innebär att dammen har möjlighet att öka vattendjupet och på så sätt magasinera vatten.																																																																
Maximal dammvolyms	V_{max}	m ³	10000	Permanent dammvolyms och regelervolym.																																																																
10																																																																				
11																																																																				
12																																																																				
13																																																																				
14																																																																				
15																																																																				
16																																																																				
17																																																																				
18																																																																				
19																																																																				
20																																																																				
21																																																																				
22																																																																				
23																																																																				
24																																																																				
25																																																																				
26																																																																				
27																																																																				
28	SPECIFIK DAMMAREA OCH DAMMVOLYM																																																																			
29	Den specifika dammarean och specifika dammvolyms beräknas för att uppskatta belastningen på dammen. Den specifika dammarean rekommenderas vara 100 - 250 m ² /ha _{regl} vilket motsvarar 1 - 2,5 %.																																																																			
30																																																																				
31																																																																				
32	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Resultat</th> <th>Rekommenderade värden</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Specifik dammarea</td> <td>A_{damm}/A_{regl}</td> <td>%</td> <td>2,6</td> <td>1 - 2,5 %</td> </tr> <tr> <td>Specifik dammvolyms</td> <td>V_{damm}/A_{regl}</td> <td>m³/ha_{regl}</td> <td>179,5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>									Parameter	Enhet	Resultat	Rekommenderade värden	Specifik dammarea	A_{damm}/A_{regl}	%	2,6	1 - 2,5 %	Specifik dammvolyms	V_{damm}/A_{regl}	m ³ /ha _{regl}	179,5																																														
	Parameter	Enhet	Resultat	Rekommenderade värden																																																																
Specifik dammarea	A_{damm}/A_{regl}	%	2,6	1 - 2,5 %																																																																
Specifik dammvolyms	V_{damm}/A_{regl}	m ³ /ha _{regl}	179,5																																																																	
33																																																																				
34																																																																				

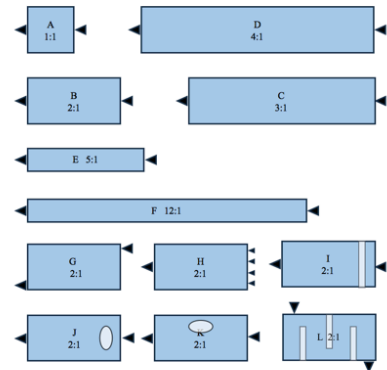
Figur A 6 Flik nummer 4 i beräkningsverktyget med dimensionering av dagvattendamm.

	A	B	C	D	E	F	G																
1	← Föregående							Nästa →															
2	5. Vegetation																						
3	REKOMMENDATIONER FÖR ETABLERING AV VEGETATION I DAGVATTENDAMMAR																						
4	<p>Vegetation i en dagvattendamm har en bromsande och filtrerande effekt på det strömmande vattnet vilket innebär att partiklar kan sedimentera till botten och fastna på växternas blad och stammar.</p>  <p>Växtligheten i en dagvattendamm bör anpassas efter dammens topografi för att motverka att vegetationen sprider sig på ett sätt som försämrar dammens funktion. Vegetation utvalda för grundare delar ska inte etablera sig till djupare delar.</p>  <p>Vegetationen motverkar resuspension av avsatta partiklar på dammens botten genom etablering av rötter.</p> <p>Vid planering av damm bör den placeras i längdriktningen vinkelrätt mot den vanligaste vindriktningen.</p>  <p>Vegetationens effekt på en damms avskiljningsgrad uppskattas genom dess påverkan på dammens hydrauliska effektivitet. Vegetationens utbredning innebär en minskad effektiv volym då vattnet väljer vägar förbi vegetationen.</p> <p>Undvik att vegetationen i dammens kantzon sprider sig till andra delar av dammen då det innebär att den effektiva volymen, den del av dammvolymen som deltar i reningen av vattnet, reduceras eftersom vattnet passerar genom en mindre volym.</p>  <p>Vegetation i dagvattendammar bör etableras i band från kant till kant och av jämn täthet för att ge större spridning och inte orsaka genvägar vilket har en negativ effekt på den hydrauliska effektiviteten.</p>																						
11	TYP AV VEGETATION I DAGVATTENDAMMAR																						
12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Typ av vegetation</th> <th>Information</th> <th>Djup</th> <th>Exempel på växtarter</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Övertvattensvegetation</td> <td>Snabbväxta och produktiva. Tillför mycket kol till vattenmassan vilket gynnar denitrifikation och kvävereduktion.</td> <td>0 - 1,5 m sandbotten, 0 - 0,5 för organogena bottenar</td> <td>Bladvass, bred- och smalkaveldun och sjösäv.</td> </tr> <tr> <td>Undervattensvegetation</td> <td>Kan bilda skikt och nät som ha en filtrerande effekt och bidrar till att upptag av föroreningar och syresättning av vattenmassan.</td> <td>0,6 - 1,5 m</td> <td>Slingor, nate, vattenmöja, hornsäv, vattenpest.</td> </tr> <tr> <td>Flytbladsväxter</td> <td>Har en relativt låg effekt på reningen av vatten. Kan skugga för annan vegetation.</td> <td>Flyter vid ytan</td> <td>Näckros, gäddnate med rötter och andmat som flyter fritt</td> </tr> </tbody> </table>							Typ av vegetation	Information	Djup	Exempel på växtarter	Övertvattensvegetation	Snabbväxta och produktiva. Tillför mycket kol till vattenmassan vilket gynnar denitrifikation och kvävereduktion.	0 - 1,5 m sandbotten, 0 - 0,5 för organogena bottenar	Bladvass, bred- och smalkaveldun och sjösäv.	Undervattensvegetation	Kan bilda skikt och nät som ha en filtrerande effekt och bidrar till att upptag av föroreningar och syresättning av vattenmassan.	0,6 - 1,5 m	Slingor, nate, vattenmöja, hornsäv, vattenpest.	Flytbladsväxter	Har en relativt låg effekt på reningen av vatten. Kan skugga för annan vegetation.	Flyter vid ytan	Näckros, gäddnate med rötter och andmat som flyter fritt
Typ av vegetation	Information	Djup	Exempel på växtarter																				
Övertvattensvegetation	Snabbväxta och produktiva. Tillför mycket kol till vattenmassan vilket gynnar denitrifikation och kvävereduktion.	0 - 1,5 m sandbotten, 0 - 0,5 för organogena bottenar	Bladvass, bred- och smalkaveldun och sjösäv.																				
Undervattensvegetation	Kan bilda skikt och nät som ha en filtrerande effekt och bidrar till att upptag av föroreningar och syresättning av vattenmassan.	0,6 - 1,5 m	Slingor, nate, vattenmöja, hornsäv, vattenpest.																				
Flytbladsväxter	Har en relativt låg effekt på reningen av vatten. Kan skugga för annan vegetation.	Flyter vid ytan	Näckros, gäddnate med rötter och andmat som flyter fritt																				
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							

Figur A 7 Flik nummer 5 i beräkningsverktyget med beskrivning av parametern vegetation i dagvattendammar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N																								
1	← Föregående Nästa →																																					
2	6. Hydraulisk effektivitet																																					
3	Uppskattningen av hur stor del av dammens volym som är aktiv vid reningen beskrivs med den effektiva volymen, V_{eff} och beror av dammens effektiva volymkvot, e , och den hydrauliska effektivitet, λ . Dessa parametrar kan uppskattas enligt figur eller beräknas enligt nedan. Resultat från 2. Avrinning, 4. Dimensioner damm och den hydrauliska effektiviteten används för att uppskatta uppehållstiden i																																					
4	Välj hydraulisk effektivitet från figur, se Alternativ 1 och figur 1 eller beräkna den genom att använda Alternativ 2 nedan. Valt resultat placeras som indata nedan för fortsatta beräkningar.																																					
5																																						
6																																						
7																																						
8	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Indata/Resultat</th> <th>Kommentar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hydraulisk effektivitet</td> <td>λ</td> <td>-</td> <td>0,72</td> <td>Den hydrauliska effektiviteten i dagvattendammar anses vara bra för $\lambda > 0,7$ och acceptabel för $0,7 < \lambda > 0,5$. Hydraulisk effektivitet $\lambda < 0,5$ ger dålig hydraulik.</td> </tr> <tr> <td>Effektiva volymkvoten</td> <td>e</td> <td>-</td> <td>0,73</td> <td>Beskriver andelen av dammens volym som är aktiv vid rening.</td> </tr> <tr> <td>Effektiv volym</td> <td>V_{eff}</td> <td>m^3</td> <td>5110</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Kommentar	Hydraulisk effektivitet	λ	-	0,72	Den hydrauliska effektiviteten i dagvattendammar anses vara bra för $\lambda > 0,7$ och acceptabel för $0,7 < \lambda > 0,5$. Hydraulisk effektivitet $\lambda < 0,5$ ger dålig hydraulik.	Effektiva volymkvoten	e	-	0,73	Beskriver andelen av dammens volym som är aktiv vid rening.	Effektiv volym	V_{eff}	m^3	5110						
Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Kommentar																																			
Hydraulisk effektivitet	λ	-	0,72	Den hydrauliska effektiviteten i dagvattendammar anses vara bra för $\lambda > 0,7$ och acceptabel för $0,7 < \lambda > 0,5$. Hydraulisk effektivitet $\lambda < 0,5$ ger dålig hydraulik.																																		
Effektiva volymkvoten	e	-	0,73	Beskriver andelen av dammens volym som är aktiv vid rening.																																		
Effektiv volym	V_{eff}	m^3	5110																																			
9																																						
10	ALTERNATIV 1 - UTFORMNING																																					
11	Ange val av utformning på dagvattendamm efter figur																																					
12	<table border="1"> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> K</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>														<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
13	Effektiv volymkvot damm för vald utformning av damm																																					
14	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>e</td> <td>-</td> <td>0,73</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														e	-	0,73																					
e	-	0,73																																				
15																																						
16																																						
17																																						
18																																						
19																																						
20																																						
21	ALTERNATIV 2 - BERÄKNAD HYDRAULISK EFFEKTIVITET																																					
22	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Indata/Resultat</th> <th>Kommentar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Längdbreddförhållande</td> <td>l/b</td> <td>-</td> <td>1,6</td> <td>Erhålls från dammens längd och bredd</td> </tr> <tr> <td>Effektiv volymkvot för längdbreddförhållande</td> <td>e</td> <td>-</td> <td>0,50</td> <td>bidder för olika utformningar och hyd effektivitet</td> </tr> <tr> <td>Antal volympaket i dammen vid simulering. (tanks-in serie)</td> <td>N</td> <td>-</td> <td>78</td> <td>Ansätts automatiskt utifrån dammens längdbreddförhållande</td> </tr> <tr> <td>Beräknad hydraulisk effektivitet för längdbreddförhållande i damm</td> <td>λ</td> <td>-</td> <td>0,49</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Kommentar	Längdbreddförhållande	l/b	-	1,6	Erhålls från dammens längd och bredd	Effektiv volymkvot för längdbreddförhållande	e	-	0,50	bidder för olika utformningar och hyd effektivitet	Antal volympaket i dammen vid simulering. (tanks-in serie)	N	-	78	Ansätts automatiskt utifrån dammens längdbreddförhållande	Beräknad hydraulisk effektivitet för längdbreddförhållande i damm	λ	-	0,49	
Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Kommentar																																			
Längdbreddförhållande	l/b	-	1,6	Erhålls från dammens längd och bredd																																		
Effektiv volymkvot för längdbreddförhållande	e	-	0,50	bidder för olika utformningar och hyd effektivitet																																		
Antal volympaket i dammen vid simulering. (tanks-in serie)	N	-	78	Ansätts automatiskt utifrån dammens längdbreddförhållande																																		
Beräknad hydraulisk effektivitet för längdbreddförhållande i damm	λ	-	0,49																																			
23																																						
24																																						
25																																						
26																																						
27																																						
28																																						
29	UPPEHÅLLSTID																																					
30	Upphållstiden för dagvattnet i dammen beror av inkommande flöde vilket varierar med nederbörd men kan uppskattas utifrån avrinningen vilket ger dammens nominella uppehållstid, t_n . Korrigering av den nominella uppehållstiden för dammens utformning ger medeluppehållstiden, t_m och uppehållstiden för det dimensionerande flödet korrigerad för dammens utformning ges av dimensionerande uppehållstid t_{dim}																																					
31	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Resultat</th> <th>Kommentar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nominella uppehållstiden för årsmedelavrinning</td> <td>t_n</td> <td>timmar</td> <td>246</td> <td>Teoretisk uppehållstid för vatten i dammen vid årsmedelavrinning.</td> </tr> <tr> <td>Medeluppehållstid</td> <td>t_m</td> <td>timmar</td> <td>179</td> <td>Upphållstid korrigerad med effektiva volymkvoten.</td> </tr> <tr> <td>Dimensionerande uppehållstid</td> <td>t_{dim}</td> <td>timmar</td> <td>90</td> <td>Upphållstid för $Q_{dim\ medel}$, korrigerad med den effektiva volymkvoten och bör vara mellan 12 och 48 timmar.</td> </tr> </tbody> </table>														Parameter	Enhet	Resultat	Kommentar	Nominella uppehållstiden för årsmedelavrinning	t_n	timmar	246	Teoretisk uppehållstid för vatten i dammen vid årsmedelavrinning.	Medeluppehållstid	t_m	timmar	179	Upphållstid korrigerad med effektiva volymkvoten.	Dimensionerande uppehållstid	t_{dim}	timmar	90	Upphållstid för $Q_{dim\ medel}$, korrigerad med den effektiva volymkvoten och bör vara mellan 12 och 48 timmar.					
Parameter	Enhet	Resultat	Kommentar																																			
Nominella uppehållstiden för årsmedelavrinning	t_n	timmar	246	Teoretisk uppehållstid för vatten i dammen vid årsmedelavrinning.																																		
Medeluppehållstid	t_m	timmar	179	Upphållstid korrigerad med effektiva volymkvoten.																																		
Dimensionerande uppehållstid	t_{dim}	timmar	90	Upphållstid för $Q_{dim\ medel}$, korrigerad med den effektiva volymkvoten och bör vara mellan 12 och 48 timmar.																																		
32																																						
33																																						
34																																						
35																																						
36																																						

FIGUR 1. PRINCIPUTFORMNING AV DAGVATTENDAMMAR



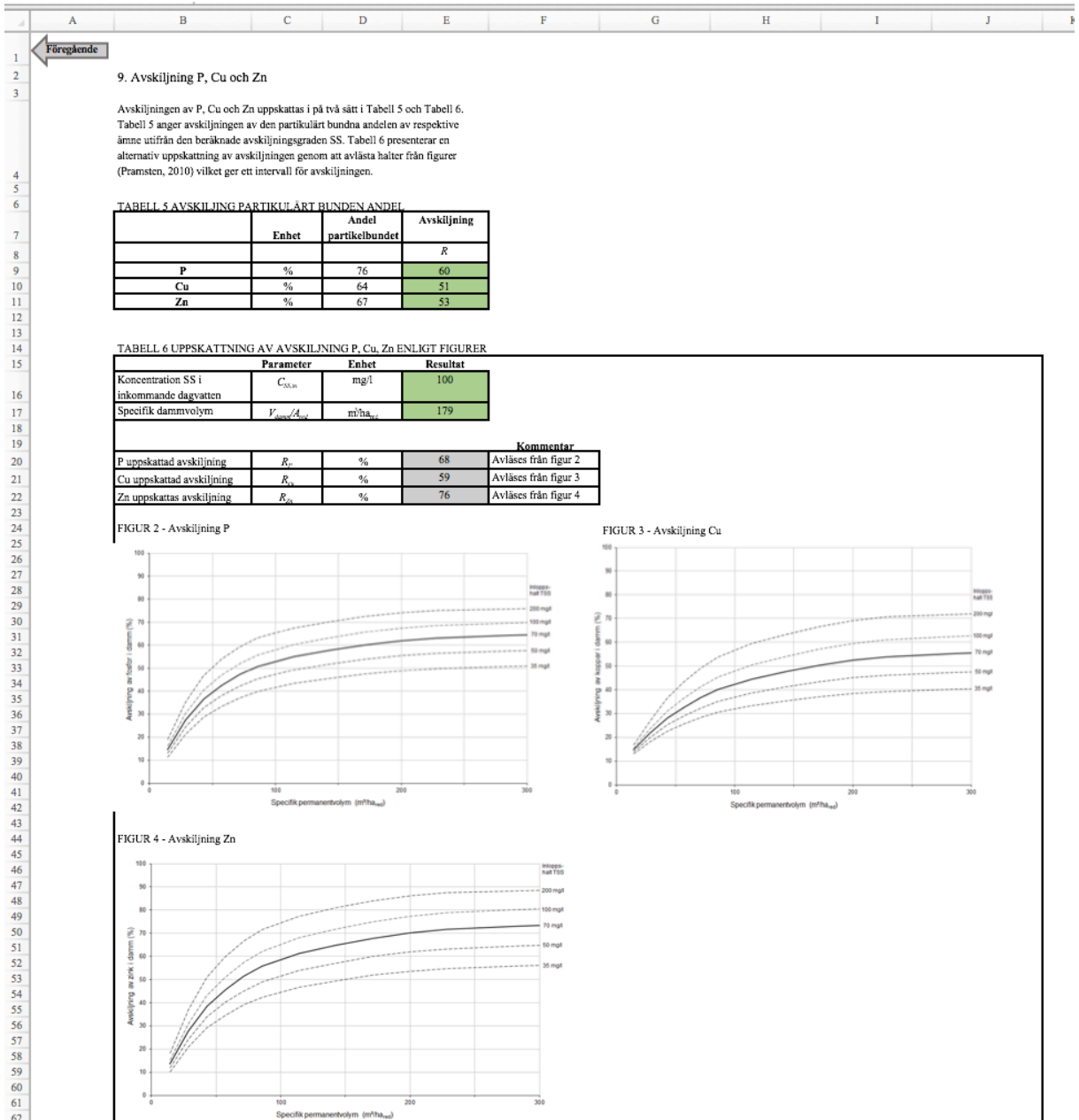
Figur A 8 Flik nummer 6 i beräkningsverktyget med hydrauliska beräkningar.

	A	B	C	D	E	F	G	H																							
1	← Föregående								→ Nästa																						
2	7. Avskiljningsgrader SS																														
3	Avskiljningsgraden uppskattas med två olika metoder, R_{SS1} och R_{SS2} . Medelvärdet av de två resultaten för avskiljningsgraden används sedan för att beräkna lagringen av SS i dammen.																														
4																															
5																															
6	UPPSKATTAD AVSKILJNINGSGRAD, R_{SS1}																														
7	Avläs dagvattendammens avskiljningsgrad av SS utifrån inkommande koncentration av SS samt specifik effektiv permanent dammvolum i figur (Pramsten, 2010).																														
8																															
9	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th></th> <th>Kommentar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>Koncentration SS i inkommande dagvatten</td> <td>$C_{SS,in}$</td> <td>mg/l</td> <td>100,0</td> <td>Från beräknad föroreningsammansättning</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Specifik effektiv permanent volym</td> <td>V_{eff}/A_{red}</td> <td>m^3/ha_{red}</td> <td>131,0</td> <td>Från beräknad hydraulisk effektivitet och reducerad avrinningsarea</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Avskiljningsgrad SS</td> <td>R_{SS1}</td> <td>%</td> <td>80</td> <td>Avläses från figur nedan</td> </tr> </tbody> </table>									Parameter	Enhet		Kommentar	10	Koncentration SS i inkommande dagvatten	$C_{SS,in}$	mg/l	100,0	Från beräknad föroreningsammansättning	11	Specifik effektiv permanent volym	V_{eff}/A_{red}	m^3/ha_{red}	131,0	Från beräknad hydraulisk effektivitet och reducerad avrinningsarea	12	Avskiljningsgrad SS	R_{SS1}	%	80	Avläses från figur nedan
	Parameter	Enhet		Kommentar																											
10	Koncentration SS i inkommande dagvatten	$C_{SS,in}$	mg/l	100,0	Från beräknad föroreningsammansättning																										
11	Specifik effektiv permanent volym	V_{eff}/A_{red}	m^3/ha_{red}	131,0	Från beräknad hydraulisk effektivitet och reducerad avrinningsarea																										
12	Avskiljningsgrad SS	R_{SS1}	%	80	Avläses från figur nedan																										
13																															
14																															
15																															
16																															
17																															
18																															
19																															
20																															
21																															
22																															
23																															
24																															
25																															
26																															
27																															
28	BERÄKNAD AVSKILJNINGSGRAD, R_{SS2}																														
29	Avskiljningsgraden av SS utifrån den specifika dammvolumen (Verstraeten & Poesen, 2000).																														
30																															
31	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>31</td> <td>Specifik dammvolum</td> <td>V_{damm}/A_{red}</td> <td>m^3/ha_{red}</td> <td>179</td> <td>Erhålls från flik 4. Dimensioner</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>Dammspecifik parameter</td> <td>D</td> <td>-</td> <td>0,10</td> <td>Medelvärde för dagvattendammar 0,1.</td> </tr> <tr> <td>33</td> <td>Beräknad avskiljningsgrad SS</td> <td>R_{SS2}</td> <td>%</td> <td>79</td> <td>Beräknad utifrån specifik dammvolum och D.</td> </tr> </tbody> </table>								31	Specifik dammvolum	V_{damm}/A_{red}	m^3/ha_{red}	179	Erhålls från flik 4. Dimensioner	32	Dammspecifik parameter	D	-	0,10	Medelvärde för dagvattendammar 0,1.	33	Beräknad avskiljningsgrad SS	R_{SS2}	%	79	Beräknad utifrån specifik dammvolum och D.					
31	Specifik dammvolum	V_{damm}/A_{red}	m^3/ha_{red}	179	Erhålls från flik 4. Dimensioner																										
32	Dammspecifik parameter	D	-	0,10	Medelvärde för dagvattendammar 0,1.																										
33	Beräknad avskiljningsgrad SS	R_{SS2}	%	79	Beräknad utifrån specifik dammvolum och D.																										
34																															
35																															
36	LAGRING AV SS I DAMMEN																														
37	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>37</td> <td>Belastning SS</td> <td>$A_{vinningsområd}$ e</td> <td>kg SS/år</td> <td>24960</td> <td>Erhålls från föroreningsammansättning och årsmedelavrinning</td> </tr> <tr> <td>38</td> <td>Tid för lagring</td> <td>F</td> <td>år</td> <td>10</td> <td>Tidsperiod utan att någon form av rensning utförs.</td> </tr> <tr> <td>39</td> <td>Beräknad lagring av SS i damm</td> <td>$M_{lagring}$</td> <td>kg</td> <td>198472</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								37	Belastning SS	$A_{vinningsområd}$ e	kg SS/år	24960	Erhålls från föroreningsammansättning och årsmedelavrinning	38	Tid för lagring	F	år	10	Tidsperiod utan att någon form av rensning utförs.	39	Beräknad lagring av SS i damm	$M_{lagring}$	kg	198472						
37	Belastning SS	$A_{vinningsområd}$ e	kg SS/år	24960	Erhålls från föroreningsammansättning och årsmedelavrinning																										
38	Tid för lagring	F	år	10	Tidsperiod utan att någon form av rensning utförs.																										
39	Beräknad lagring av SS i damm	$M_{lagring}$	kg	198472																											
40																															

Figur A 9 Flik nummer 7 i beräkningsverktyget med beräkningar av avskiljningsgrad SS.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K																																																																																
1	← Föregående											→ Nästa																																																																															
2	8. Beräknad avskiljning fraktioner SS																																																																																										
3	Avskiljningen av SS beräknas för respektive partikelfraktion som inkommer med det obehandlade dagvattnet samt för olika dimensionerande flöden för att illustrera hur avskiljningen av olika fraktioner kan förväntas bero av olika flöden.																																																																																										
4	BERÄKNAD AVSKILJNING FRAKTIONER SS																																																																																										
5	Avskiljningsgraden för olika fraktioner av SS beräknad utifrån hydraulisk effektivitet, sedimentationshastighet, ytelastning för dimensionerat flöde samt dammens djup och sedimentationsdjup (MBWCP, 2006).																																																																																										
6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Enhet</th> <th>Indata/Resultat</th> <th>Kommentar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Turbulensparameter</td> <td>n</td> <td>-</td> <td>3,6</td> <td>Turbulensparametern beräknas utifrån dammens hydrauliska effektivitet</td> </tr> <tr> <td>Nederbördsvaraktighet (koncentrationstid)</td> <td>t_r</td> <td>minuter</td> <td>20,0</td> <td>Längsta transporttiden för nederbörd inom avrinningsområdet till dammen.</td> </tr> <tr> <td>Djup för sedimentation</td> <td>d'</td> <td>m</td> <td>0,7</td> <td>Konstant som används vid beräkning av avskiljning. Ansätts till 1 m eller till d_p om $d_p < 1m$.</td> </tr> </tbody> </table>											Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Kommentar	Turbulensparameter	n	-	3,6	Turbulensparametern beräknas utifrån dammens hydrauliska effektivitet	Nederbördsvaraktighet (koncentrationstid)	t_r	minuter	20,0	Längsta transporttiden för nederbörd inom avrinningsområdet till dammen.	Djup för sedimentation	d'	m	0,7	Konstant som används vid beräkning av avskiljning. Ansätts till 1 m eller till d_p om $d_p < 1m$.																																																													
Parameter	Enhet	Indata/Resultat	Kommentar																																																																																								
Turbulensparameter	n	-	3,6	Turbulensparametern beräknas utifrån dammens hydrauliska effektivitet																																																																																							
Nederbördsvaraktighet (koncentrationstid)	t_r	minuter	20,0	Längsta transporttiden för nederbörd inom avrinningsområdet till dammen.																																																																																							
Djup för sedimentation	d'	m	0,7	Konstant som används vid beräkning av avskiljning. Ansätts till 1 m eller till d_p om $d_p < 1m$.																																																																																							
7	RATIONELLA METODEN																																																																																										
8	Återkomsttid	T	år	0,08	0,50	1	2	5	10																																																																																		
9	Dimensionerande flöde	Q_{dim}	l/s	1256	2219	2776	3477	4691	5891																																																																																		
10	AVSKILJNING PARTIKEL FRAKTIONER SS																																																																																										
11	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Parameter</th> <th colspan="2">Partikel-diameter</th> <th colspan="2">Sedimenta-tionshastighet</th> <th colspan="6">Avskiljningsgrad för fraktioner av SS i dagvattendammen vid olika dimensionerade flöden</th> </tr> <tr> <th>$d_{partikel}$</th> <th>v_s</th> <th>$Q_{dim\ medel}$</th> <th>Q_{dim} (T=1 månad)</th> <th>Q_{dim} (T=6 månader)</th> <th>Q_{dim} (T=1 år)</th> <th>Q_{dim} (T=2 år)</th> <th>Q_{dim} (T=5 år)</th> <th>Q_{dim} (T=10 år)</th> </tr> <tr> <th>Enhet</th> <th>μm</th> <th>mm/s</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grov sand</td> <td>1000</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Fin sand</td> <td>250</td> <td>26</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Grov silt</td> <td>62</td> <td>2,3</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Fin silt</td> <td>16</td> <td>0,18</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>99</td> </tr> <tr> <td>Lera</td> <td>4</td> <td>0,011</td> <td>100</td> <td>90</td> <td>77</td> <td>71</td> <td>64</td> <td>54</td> <td>47</td> </tr> </tbody> </table>											Parameter	Partikel-diameter		Sedimenta-tionshastighet		Avskiljningsgrad för fraktioner av SS i dagvattendammen vid olika dimensionerade flöden						$d_{partikel}$	v_s	$Q_{dim\ medel}$	Q_{dim} (T=1 månad)	Q_{dim} (T=6 månader)	Q_{dim} (T=1 år)	Q_{dim} (T=2 år)	Q_{dim} (T=5 år)	Q_{dim} (T=10 år)	Enhet	μm	mm/s	%	%	%	%	%	%	%	Grov sand	1000	100	100	100	100	100	100	100	100	Fin sand	250	26	100	100	100	100	100	100	100	Grov silt	62	2,3	100	100	100	100	100	100	100	Fin silt	16	0,18	100	100	100	100	100	100	99	Lera	4	0,011	100	90	77	71	64	54	47
Parameter	Partikel-diameter		Sedimenta-tionshastighet		Avskiljningsgrad för fraktioner av SS i dagvattendammen vid olika dimensionerade flöden																																																																																						
	$d_{partikel}$	v_s	$Q_{dim\ medel}$	Q_{dim} (T=1 månad)	Q_{dim} (T=6 månader)	Q_{dim} (T=1 år)	Q_{dim} (T=2 år)	Q_{dim} (T=5 år)	Q_{dim} (T=10 år)																																																																																		
Enhet	μm	mm/s	%	%	%	%	%	%	%																																																																																		
Grov sand	1000	100	100	100	100	100	100	100	100																																																																																		
Fin sand	250	26	100	100	100	100	100	100	100																																																																																		
Grov silt	62	2,3	100	100	100	100	100	100	100																																																																																		
Fin silt	16	0,18	100	100	100	100	100	100	99																																																																																		
Lera	4	0,011	100	90	77	71	64	54	47																																																																																		
12																																																																																											
13																																																																																											
14																																																																																											
15																																																																																											
16																																																																																											
17																																																																																											
18																																																																																											
19																																																																																											
20																																																																																											
21																																																																																											
22																																																																																											
23																																																																																											
24																																																																																											
25																																																																																											
26																																																																																											
27																																																																																											
28																																																																																											

Figur A 10 Flik nummer 8 i beräkningsverktyget med beräkning av avskiljning fraktioner SS.



Figur A 11 Flik nummer 9 i beräkningsverktyget med beräkning av avskiljning av fosfor, koppar och zink.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	BILAGA 1 - Utvalda dammar												
2	FAKTA UTVALDA DAMMAR												
3		Parameter	Enhet	Ladbro-dammen	Myrängs-dammen	Tibble-dammen	Viby Gårds	Kungsängs-dammen	Bäckaslöv Dam				
4	Plats			Upplands-Väsby	Täby	Upplands-Bro	Sollentuna	Uppsala	Växjö				
5	Driftstart	-	-	2003	2003	1973	2002		1994				
6	Avrinningsområde	Atot	ha	201	44	649	140	65	320				
7	Sammanvägd avrinningskoefficient	φ^s	-	0,31	0,25	0,17	0,15	0,6	0,44				
8	Reducerad hårdgjord yta	Ared	ha	62,3	11,0	110,3	21,0	39,0	140,0				
9	Dammyta	Adamm	ha	0,55	0,13	0,6	0,16	1	1,8				
10	Medeldammdjup	d	m	1,05	0,7	1,5	0,8	0,7	1,6				
11	Permanent volym	Vp	m3	3700	910	8700	1280	7000	28800				
12	Reglervolym	Vr	m3	500	0	1570	0	3000	0				
13	Bredd damm	b	m	35	15	45	12	100	100				
14	Längd damm	l	m	155	75	150	100	155	236				
15	Uppmätt medelinflöde	Qm	m3/dygn	780	280	4300	760	508,8	2039,7				
16	Uppmätt medelutflöde	Qut	m3/dygn	780	280	4300	760	562	1386,4				
17	Uppmätt max. dygnsinflöde	Qmax	m3/dygn	10500	750	50300	8080	2922					
18	Uppmätt ytbelastning för medelutflöde		mm/dygn	142	215	717	475	51	113				
19	Teoretisk upphållstid (fr uppmätt medelinflöde)	t _{uppmätt}	dygn	4,7	3,3	2,0	1,7	13,8	14,1				
20	UPPMÄTTA AVSKILJNINGSGRADER												
21	Uppmätt avskiljning	Parameter	Enhet	Ladbro-dammen	Myrängs-dammen	Tibble-dammen	Viby gård	Kungsängs-dammen	Bäckaslöv Dam				
22	Provtagningsperiod	-	-	2007-2010	2007-2009	2007-2009	2007-2010	28/3-28/8 2014	1997	2003	2013/2014		
23	Suspenderat	Rss uppmätt	%	83	59	82	66	85	86	61	96		
24	Tot-Nivåe	RN uppmätt	%	27	5	47	44	41	25	-	59		
25	Tot-Fosfor	RP uppmätt	%	27	31	66	62	56	58	-	89		
26	Koppar	Rcu	%	54	32	52	34	78	61	56	91		
27	Zink	Rzn	%	53	48	59	70	84	73	53	90		
28	Kadmium	Rcd	%	-6	46	39	57	74	95	69	90		
29	Krom	Rcr uppmätt	%	70	45	72	60	80	-	-	-		
30	Nickel	Rni uppmätt	%	57	20	54	26	65	-	-	-		
31	Bly	Rpb	%	74	53	76	56	87	84	55	96		
32	UPPMÄTT AVSKILJNINGSLÄNGD												
33	Provtagningsperiod	-	-	2007-2010	2007-2009	2007-2009	2007-2010	28/3-28/8 2014	1997	2003	2013/2014		
34	Susp	Mss	kg	38999	3472	233522	12813	9864,4	134159,0				
35	Tot-N	MN	kg	216	23	2061	647	9,23	1052,0				
36	Tot-P	MP	kg	20	3,62	349	63	114,4	218,0				
37	Koppar	Mcu	kg	5448	542	30	1357	1,992	28,2				
38	Zink	Mzn	kg	20032	12	201	8011	18,629	208,0				
39	Kadmium	Mcd	kg	-3	7	209	27	0,025	0,1				
40	Krom	Mcr	kg	2042	260	14846	443	0,564	-				
41	Nickel	Mni	kg	1345	105	8965	267	0,784	-				
42	Bly	Mpb	kg	1972	205	15052	508	0,750	10,5				
43	Klorid	Mcl	kg	5407	-359	3890	834		-				

Figur A 12 Flik B1 i beräkningsverktyget med data för utvalda dagvattendammar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	BILAGA 2 - Lokala riktvärden för dagvatten																					
2		P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	SS	OHj	BaP	PCB	TBT	MTBE	Bensen	TOC	CODMn	As		
3		mg L-1	mg L-1	µg L-1	µg L-1	µg L-1	µg L-1	µg L-1	µg L-1	µg L-1	mg L-1	mg L-1	µg L-1	µg L-1	µg L-1	µg L-1	µg L-1	mg L-1	mg L-1	µg L-1		
4	1	Stockholm 1M - direkt utsläpp till mindre recipient	0,16	2	8	18	75	0,4	10	15	0,03	40	0,4	0,03	-	-	-	-	-	-	-	
5	2	Stockholm 2M - uppströms utsläpp till mindre recipient	0,175	2,5	10	30	90	0,5	15	20	0,07	60	0,7	0,07	-	-	-	-	-	-	-	
6	3	Stockholm 1S - direkt utsläpp till större recipient	0,2	2,5	10	30	90	0,45	15	20	0,05	50	0,5	0,05	-	-	-	-	-	-	-	
7	4	Stockholm 2S - uppströms utsläpp till större recipient	0,25	3	15	40	125	0,5	25	30	0,07	75	0,7	0,07	-	-	-	-	-	-	-	
8	5	Stockholm 3VU - uppströms utsläpp av verksamhetsutövare	0,25	3,5	15	40	150	0,5	25	30	0,1	100	1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	
9	6	Göteborg 3Vestiskt Källnings recipient	0,05	1,25	14	10	30	0,4	15	40	0,05	25	1	0,05	0,014	0,001	500	10	12	-	15	
10	7	Göteborg Övriga recipienter (inkl. värden)	0,15	2,5	-	22	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	8	Jönköping Låga halter	<0,050	<1,25	<3	<9	<60	<0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<12	
12	9	Jönköping Mätliga halter	0,050-0,100	1,25-5,0	3,15	9,45	60-300	0,3-1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12-16	
13	10	Jönköping Höga halter	>0,100	>5,0	>15	>45	>300	>1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>16	
14	11	Järfälla Bålsjöan	0,08	-	3	9	15	0,3	8	6	0,04	40	0,5	0,05	-	-	-	-	-	-	-	
15	12	Järfälla Millaren, Sjöbyssjön och Översjön	0,1	-	3	9	15	0,3	8	6	0,04	40	0,5	0,05	-	-	-	-	-	-	-	
16	13	Järfälla Jägelbacken	0,08	-	3	9	15	0,3	8	6	0,04	40	0,5	0,05	-	-	-	-	-	-	-	
17	14	Falkenberg och Varberg	0,2	3	14	20	60	0,4	15	20	0,05	60	1	0,05	0,014	0,001	500	10	12	-	15	
18	15	NSVA och Åstorp kommun	0,2	2	8	18	75	0,4	10	15	0,03	40	5	0,03	-	-	-	-	-	-	-	
19	20	REFERENSER RIKTVÄRDEN																				
21	21	1 Riktvärdesgruppen, 2009. <i>Förelägg till riktvärden för dagvattenutsläpp</i> . Stockholm: Regionplane- och trafikkontoret, Stockholms läns lanting, Regionala dagvattenverket i Stockholms län.																				
22	22	Används bl.a. i Stockholm, av Uppsala Vatten och av MälarenEnergi																				
23	23	2 Miljöförvaltningen Göteborgs stad, 2013. <i>Miljöförvaltningens riktvärden och riktvärden för utsläpp av förorenat vatten till recipient och dagvatten</i> , reviderad 2013. Göteborg, Nr. R2013:10.																				
24	24	3 Kretslopp och Vatten, 2016. <i>PM: Reningskrav för dagvatten</i> . Göteborgs stad.																				
25	25	4 Hälsoförvaltningskommun, 2009. <i>Dagvatten - policy och handlingsplan</i> , fastställt av kommunfullmäktige 2009-01-29.																				
26	26	5 Järfälla kommun, 2016. <i>Riktlinjer för dagvattenhantering</i> . Antagen av kommunfullmäktige 2016-12-12.																				
27	27	Riktvärden för föroreningar på dagvatten bedöms utifrån recipientens känslighet.																				
28	28	6 Falkenbergs kommun, Varbergs kommun och VIVAB, 2017. <i>Dagvattenanvisningar för Falkenbergs och Varbergs kommuner</i> .																				
29	29	7 NSVA och Åstorp kommun, 2015. <i>Dagvattenanvisningar Åstorp kommun - Bilaga 3: Riktvärden för dagvattenutsläpp i kommunerna Båstad, Bjuv, Helsingborg, Landskrona, Svalöv och Åstorp</i> .																				
30	30	Antagen av kommunfullmäktige 2016-12-12.																				

Figur A 13 Flik B2 i beräkningsverktyget med lokala riktvärden för dagvatten.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1										
2		BILAGA 3 - Referenser								
3										
4										
5		Alm, H., Banach, A. & Larm, T. (2010). <i>Förekomst och rening av prioriterade ämnen, tungmetaller samt vissa övriga ämnen i dagvatten</i> [online]. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling. (2010-06).								
6										
7		MBWCP (2006). <i>Technical design guidelines for south east Queensland</i> [online]. Water sensitive urban design. (Version 1).								
8										
9		Pramsten, J. (2010). Avskiljningsförmåga hos dagvattendammar i relation till dammvolymer, bräddflöde och inkommande föroreningshalt. <i>Vatten</i> , 2010(2), pp 99–111.								
10										
11		Verstraeten, G. & Poesen, J. (2000). Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield. <i>Progress in Physical Geography: London</i> , 24(2), pp 219–251.								
12										
13										
14										

Figur A 14 Flik B3 i beräkningsverktyget med referenser för ekvationer och information.