



SLUTRAPPORT – NV-05802-20

UTVÄRDERING AV REGNBÄDDAR - TESTANLÄGGNINGAR VÄRMDÖVÄGEN

Per Egelberg och Susanna Wold, Scandinavian Tunneling and Civil Engineering AB
Granskat av Agata Wehlin och Sofia Åkerman, Nacka kommun

Sammanfattning

Med stöd från Naturvårdsverket har Scandinavian Tunneling and Civil Engineering AB på uppdrag av Nacka kommun, utfört en utvärdering av två regnbäddsanläggningar utifrån flödesfördröjning, volymreduktion och reningseffekt. Dagvatten från Värmdövägen rinner ned i regnbäddar med två olika substrat och ett träd planterat i varje. De två olika substrat som testats är växtjordar där anläggning 1 innehåller pimpsten uppblandat med grönkompost och sand och anläggning 2 innehåller biokol uppblandat med hönsgödsel och singel/makadam. Utvärderingen har bestått i att undersöka om något av substraten är mer effektivt än det andra avseende rening, fördröjning och volymreduktion av dagvatten. Vid testets start hade anläggningen i sig varit i drift cirka fyra månader, vilket betyder att näringsämnen och partiklar från anläggningen kan ha mobiliserats och transporterats ut från systemet, innan utvärderingen startades. Dagvattenflödets inlopp och utlopp tillsammans med halterna av näringsämnen, metaller, PAH:er och mikroplaster har mätts för regnbäddarna.

Regnbäddarna uppvisar en fördröjningseffekt av dagvattnet, där anläggning 1 med pimpstenssubstrat har tydligt längre fördröjning. Fördröjningens längd beror av regnets intensitet och varighet. De uppvisar också en reningseffekt som är selektiv för olika föroreningar, där den pimpstensbaserade jorden generellt är mer effektiv i jämförelse med den biokolsbaserade.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	6
1.1.	Bakgrund	6
1.2.	Syfte	12
1.3.	Mål	12
2.	Metod	13
2.1.	Konstruktion och provtagning	13
2.1.1.	Utrustning	18
2.2.	Förutsättningar	19
2.2.1.	Provtagningstillfällen	21
2.2.2.	Kompletterande mätningar	21
2.3.	Felkällor	24
2.3.1.	Tillrinningsareor	24
2.3.2.	Renovering GC-tunnel	25
2.3.3.	Träd	26
2.3.4.	Nederbördsräknare	28
2.3.5.	Provtagning	28
3.	Teori	29
3.1.	Fördröjning	29
3.2.	Volymreduktion	29
3.3.	Reningseffekt	30
3.4.	Modellerad rening med StormTac	30
4.	Resultat	33
4.1.	Lakning och rening av fosfor	33
4.2.	Lakning och rening av kväve	34
4.3.	Lakning och rening av metaller	35
4.4.	Reningseffekt PAH16	41
4.5.	Reningseffekt mikroplaster	42
4.6.	Vilket substrat renar effektivast?	42
4.7.	Årstids- och nederbördsvariationers påverkan på reningseffekten	43
4.8.	Differens mellan antagen yta och verklig volym.	43

4.9.	Flödesdifferens beroende på regnets längd och intensitet.....	46
4.10.	Fördröjning	49
5.	Diskussion.....	51
6.	Slutsatser.....	52
6.1.	Reningseffekt	52
6.2.	Fördröjning	52
6.3.	Volymreduktion.....	52
7.	Referenser	53
 Bilagor 54		
	Bilaga 1 – Datablad pimpstenssubstrat.....	54
	Bilaga 2 – Datablad biokolssubstrat	56
	Produktspecifikation	56
	EBC certifiering.....	57
	Analys av biokolssubstrat	58
	Bilaga 3 – Fullständig StormTac rapport	71
	Bilaga 4 – Jämförelse mellan resultat och StormTac	74
	Bilaga 5 – Årsmedelhalt.....	77
	Bilaga 6 – Reningseffekt i %.....	78
	Bilaga 7 – Total belastning in, ut och totalt avskild mängd.....	80
	Bilaga 8 – Referensvärde procent av teoretiskt flöde.....	81
	Bilaga 9 – Analysresultat och utvärdering av analyser.....	82

Figur 1 Karta över regnbäddarnas placering.	7
Figur 2 Översikt hela anläggningen med regnbäddar, anläggningar och provtagningsutrustning.	8
Figur 3 Typsektion anläggning och regnbädd. Provtagning inlopp samt flödesmätare bräddning finns endast vid regnbädd R1.	9
Figur 4 Schematisk bild över regnbäddarnas och fördröjningsmagasinets uppbyggnad.	10
Figur 5 Schematisk bild över regnbäddarnas och fördröjningsmagasinets uppbyggnad.	11
Figur 6 Antaget avrinningsområde, per regnbädd.	14
Figur 7 Rännstensbrunn i gata till respektive regnbädd.	15
Figur 8 Anläggning under konstruktion. Substrat i regnbädden och skärv runt om.	16
Figur 9 Skibord, flödesmätare (ultraljud) och provtagare i utlopp från anläggning.	16
Figur 10 Provtagningscontainer med nederbörds­mätare på taket.	17
Figur 11 Provtagare och kylskåp för samlingsprover.	18
Figur 12 Ansamlat sediment R1.	20
Figur 13 Utlopp bräddning R1 med nät och stenkross.	22
Figur 14 Bräddmätning R1 och R3.	22
Figur 15 Mätning flöde, inlopp R1. Givare och mikro-skibord.	23
Figur 16 Mätning flöde, inlopp. Översiktsbild med låda för teknisk utrustning.	24
Figur 17 Vy renovering GC-tunnel.	25
Figur 18 Sediment i R1 under renovering GC-tunnel.	26
Figur 19 Oxel i R1 död.	27
Figur 20 Oxel i R4 dålig vitalitet.	27
Figur 21 StormTac ritning av regnbäddarna.	31
Figur 22 Porositet växtjord pimpsten data i StormTac.	32
Figur 23 Porositet växtjord biokol data i StormTac.	32
Figur 24 Lakad mängd i (g) för total fosfor som P under de 11 provtagnings­stillfällena.	33
Figur 25 Lakning i (%) för total fosfor som P under de 11 provtagnings­stillfällena.	34
Figur 26 Lakad mängd i (g) för totalt kväve som N under de 11 provtagnings­stillfällena.	35
Figur 27 Lakning i (%) för totalt kväve som N under de 11 provtagnings­stillfällena.	35
Figur 28 Lakad mängd i (g) för arsenik, As under de 11 provtagnings­stillfällena.	36
Figur 29 Lakning i (%) för arsenik, As under de 11 provtagnings­stillfällena.	36
Figur 30 Rening, avskild mängd i (g) för zink, Zn under de 11 provtagnings­stillfällena.	37
Figur 31 Reningseffekt i (%) för zink, Zn under de 11 provtagnings­stillfällena.	37
Figur 32 Rening, avskild mängd i (g) för kadmium, Cd under de 11 provtagnings­stillfällena.	38
Figur 33 Reningseffekt i (%) för kadmium, Cd under de 11 provtagnings­stillfällena.	38
Figur 34 Rening, avskild mängd i (g) för bly, Pb under de 11 provtagnings­stillfällena.	39
Figur 35 Reningseffekt i (%) för bly, Pb under de 11 provtagnings­stillfällena.	39

Figur 36 Rening, avskild mängd i (g) för koppar, Cu under de 11 provtagningstillfällena.	40
Figur 37 Reningseffekt i (%) för koppar, Cu under de 11 provtagningstillfällena.	40
Figur 38 Rening, avskild mängd i (g) för PAH, summa 16 under de 3 provtagningstillfällena.	41
Figur 39 Reningseffekt i (%) för PAH, summa 16 under de 3 provtagningstillfällena.	41
Figur 40 Rening, avskild mängd i (antal) för svarta partiklar under de 3 provtagningstillfällena.	42
Figur 41 Reningseffekt i (%) för svarta partiklar under de 3 provtagningstillfällena.	42
Figur 42 Hjulspår och asfaltsyta Värmdövägen sett österut med regnbäddarna till höger i bild.	45
Figur 43 Antagen flödesriktning inom avrinningsområdet.	45
Figur 44 Observerad flödesriktning inom avrinningsområdet.	46
Figur 45 Nederbörd och flöde för ett kort lågintensivt regn på 2h.	47
Figur 46 Nederbörd och flöde för ett ihållande regn med växlande intensitet på 20h.	48
Figur 47 Exempel på nederbörd för specifikt nederbördstillfälle 2021-07-28.	49
Tabell 1 Anläggningsdata från Nacka kommun.	13
Tabell 2 Antaget avrinningsområde, per regnbädd.	14
Tabell 3 Datum för provtagningstillfällena. Fet text indikerar när PAH:er och mikroplaster provtogs.	21
Tabell 4 Jämförelse av föroreningskoncentration in mellan uppmätt och StormTac schablon vid 7000ÅDT.	30
Tabell 5 Avrinningsareor från underlag.	43
Tabell 6 uträkning teoretiskt flöde kontra uppmätt flöde provperiod 8.	44
Tabell 7 Referensvärde procent av teoretiskt flöde.	47
Tabell 8 Differens mellan teoretiskt flöde och uppmätt flöde vid ett lågintensivt regn.	47
Tabell 9 Differens mellan teoretiskt flöde och uppmätt flöde vid ett ihållande regn med växlande intensitet.	48
Tabell 10 Fördröjningsdata från fem undersökta nederbördstillfällena.	50

I. Inledning

I.1. Bakgrund

Nacka kommun använder regnbäddar för att fördröja och rena dagvatten, särskilt från allmän plats så som gator. För att få insikt kring regnbäddarnas effektivitet, framför allt ur ett reningsperspektiv, utvärderades regnbäddar med två olika substrat. Dessa substrat var en pimpstensbaserad jord och en biokolsbaserad jord då pimpsten och biokol används av flera jordleverantörer på marknaden idag. Projektet, som initierades av Nacka kommun, syftar till att få djupare kunskap om regnbäddarnas utformning och funktion, kopplad till effektivitet vad det gäller renings- och fördröjningseffekt med tiden.

Anläggningarnas placering baserades på att det inte fanns någon dagvattenrening på platsen utan dagvatten släpptes orenat direkt till dagvattennätet. Ytan lämpade sig även då det fanns teknisk infrastruktur i marken och en grönyta som inte nyttjades till något särskilt ändamål.

Båda substraten har dokumenterad fördröjningskapacitet, men har däremot inte deklarerat reningseffektivitet. Svenskt vatten [1] beskriver att det finns potential för rening i regnbäddar, men att det är substratberoende för vilken typ av förorening/ämne som önskas renas från dagvatten. Dimensionering av systemet är väldigt viktig. Vinnova projektet Grön-Nano har tagit fram en folder:

Rekommendationer för filtermaterial i dagvattenbiofilter [2]. Här beskrivs att substrat innehållande biokol inte påvisat metalladsorption, att kväve har renats men fosforrening har tvetydiga resultat. Däremot har mikroplaster renats. Om substrat med pimpsten står att inga studier för metallabsorption hittats, men att fosfor kan renas. Vidare beskrivs att det är begränsat med vetenskapliga studier där rening i regnbäddar som byggts upp med den här typen av substrat studerats.

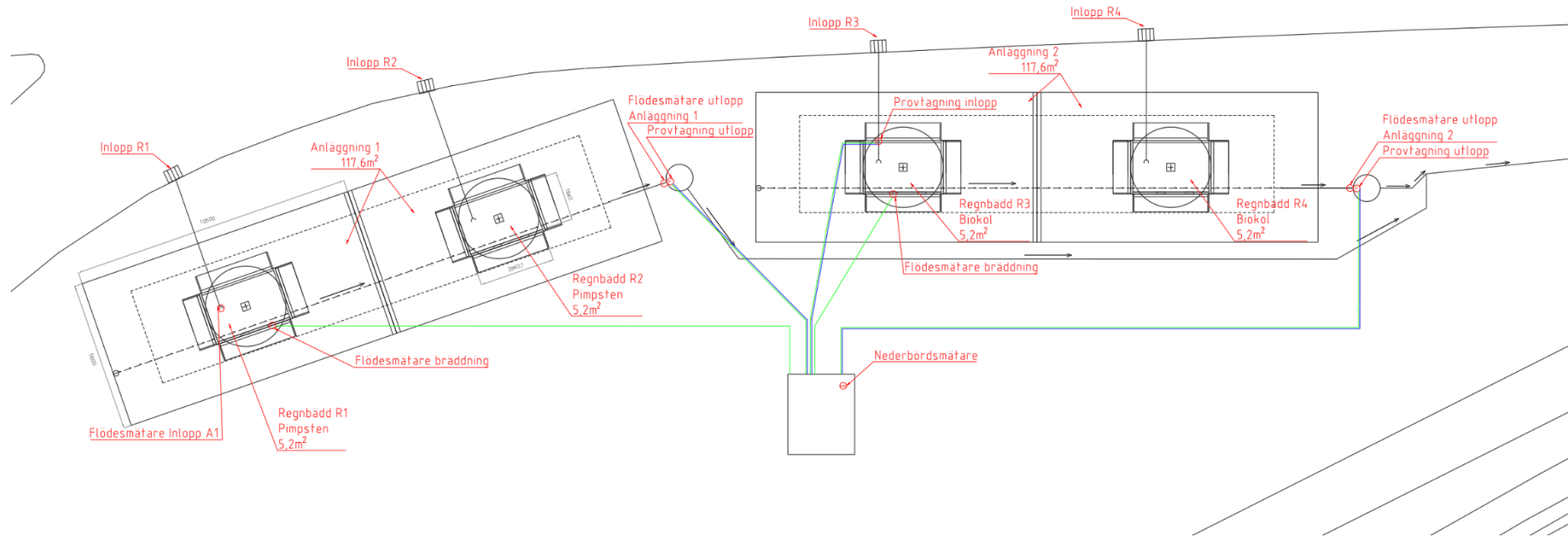
Genom regnbäddarnas utformning förväntas partiklar renas via fysikalisk filtrering, medan det är mer osäkert för lösta ämnen, eftersom kemisk sorption till substratytor är beroende av dess ytegenskaper. I fysikalisk filtrering fastnar partiklar i strukturen p.g.a. storlek. Genom fysikalisk filtrering kan rena partiklar fastna i strukturen, vilket även gäller för metaller som följer med partiklar. Sorption, dvs. att ämnen binder antingen kemiskt, eller elektrostatiskt till ytor, är specifik. Sorptionsjämvikter behöver en viss tid att ställa in sig, varför uppehållstiden av vatten i substraten bedöms utgöra en central roll för just sorption. Beroende på om sorptionen sker genom ytkomplexering, eller elektrostatiskt, är bindningen olika stark där den elektrostatiske bindningen är svagare. Vegetationen består till största delen av träden, där marktäckande växtlighet är minimal. Träden absorberar vatten och kan ta upp vissa föroreningar.

Nacka kommun har i egen regi projekterat och dimensionerat anläggningarna. Regnbäddarna (R1-4) är seriekopplade i två enheter där $R1+R2=$ Anläggning 1 är

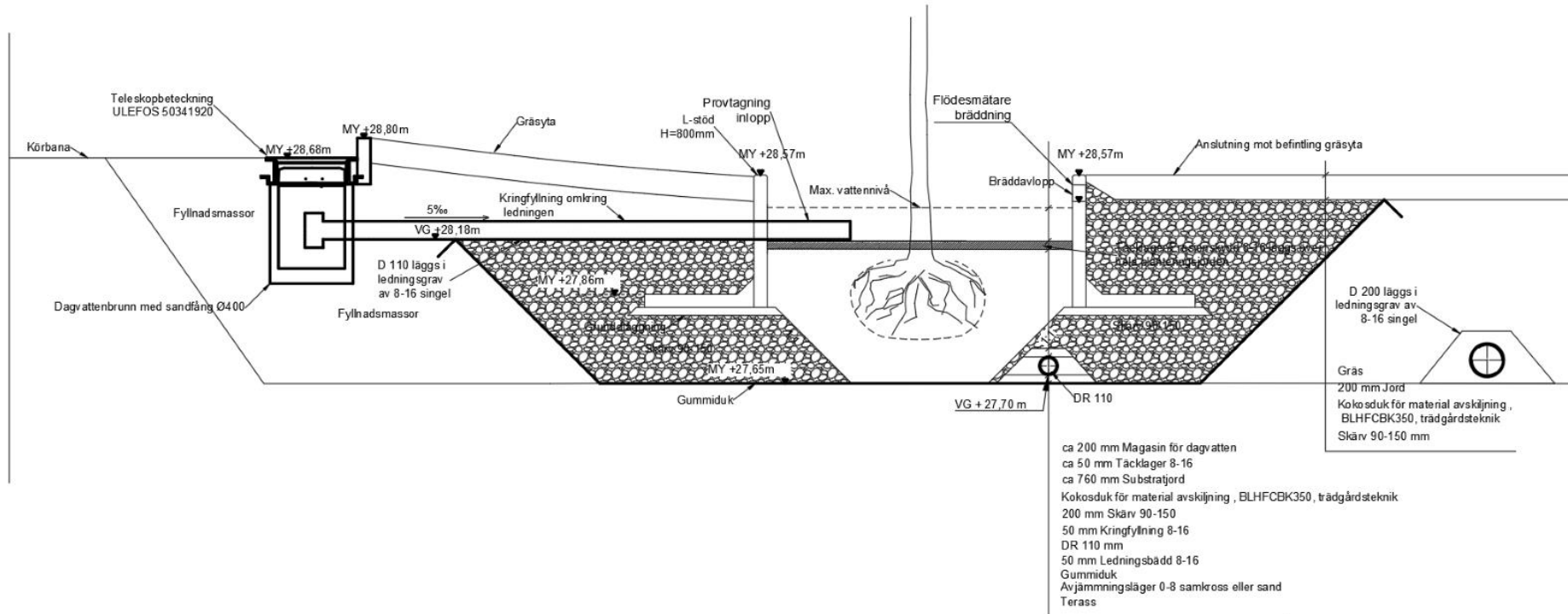
uppbyggd med ett pimpstensbaserat substrat och R3+R4=Anläggning 2 med ett biokolsbaserat substrat, *se Figur 2, Figur 3, Figur 4 och Figur 5*. Substratet som används i anläggning 1 är Hekla regnbädd från Bara Mineraler, *se Bilaga 1 – Datablad*, och substratet i anläggning 2 är Biokolsmakadam från Rödlunda gård, *se Bilaga 2 – Datablad biokolssubstrat*. I varje regnbädd står ett träd planterat, lind eller oxel. Träden är planterade i följande ordning: R1 oxel, R2 lind, R3 oxel, R4 lind. Anläggningarna avvattnar en medelstor korsning med påfartsramp på Värmdövägen i Nacka, *se Figur 1*.



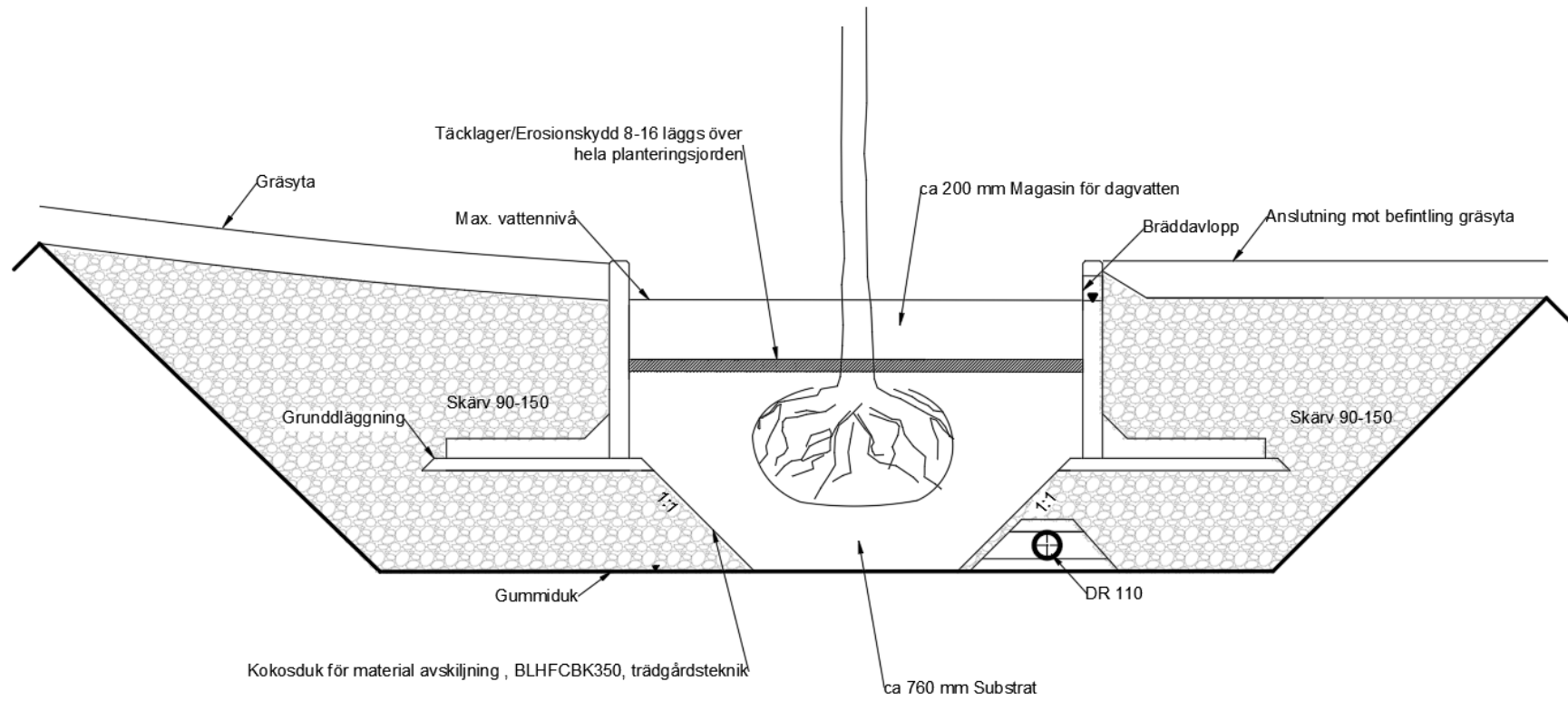
Figur 1 Karta över regnbäddarnas placering.



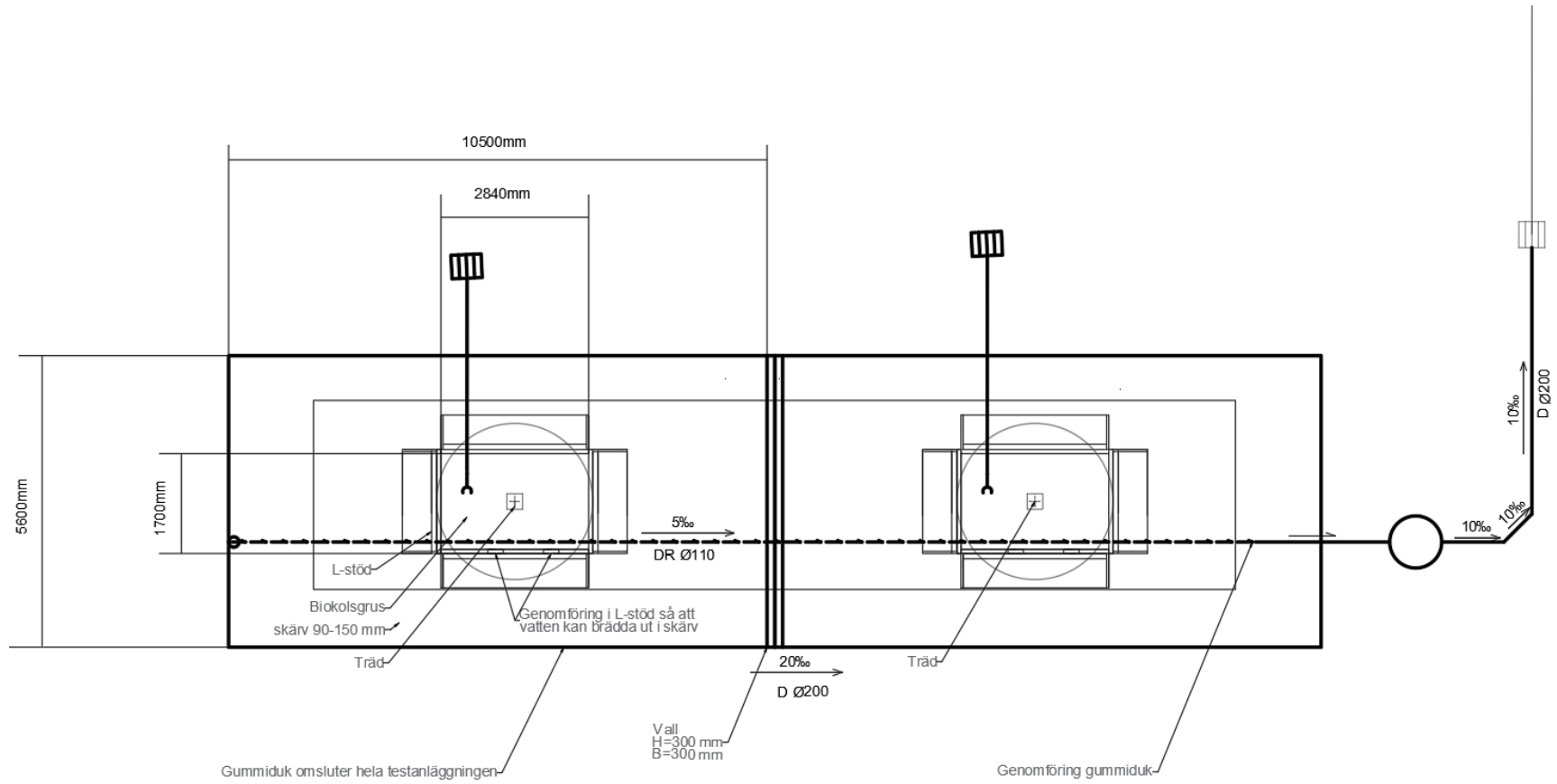
Figur 2 Översikt hela anläggningen med regnbäddar, anläggningar och provtagningsutrustning.



Figur 3 Typsektion anläggning och regnbädd. Provtagnings inlopp samt flödesmätare bräddning finns endast vid regnbädd R1.



Figur 4 Schematisk bild över regnbäddarnas och fördröjningsmagasinets uppbyggnad.



Figur 5 Schematisk bild över regnbäddarnas och fördröjningsmagasinets uppbyggnad.

1.2. Syfte

Syftet för projektet är att öka kunskapen hur de två studerade anläggningarna med pimpstens- och biokolssubstrat, med planterade träd, fungerar när det kommer till flödesfördröjning, volymsreduktion och dagvattenrening. Utifrån kunskaper och erfarenheter från detta projekt, kan regnbäddar designas bättre och optimeras utifrån Nacka kommuns behov.

1.3. Mål

Målet med projektet är att undersöka flödesfördröjningen, volymreduktionen och reningseffekten i de två olika substraten. De olika frågeställningarna som projektet avsett att ge svar på var:

- Föreligger det en risk för att de olika jordarna läcker fosfor och i sådant fall hur mycket under det initiala skedet efter anläggandet? (lakteter och skakteter finns framtagna på den obrukade jorden). *Se Bilaga 9 – Analysresultat och utvärdering av analyser*
- Vilken reningseffekt har jorden på dagvattnet avseende närsalter, tungmetaller (löst och totalt), PAH16 och mikroplaster?
- Hur ser årstidsvariationen ut avseende föroreningsförekomst och reningseffekt?
- Hur stor blir volymreduktionen över året?
- Hur mycket fördröjning har vi i systemet då de olika jordarna har olika genomsläpplighet?
- Resultaten avseende inloppshalter och belastning, utloppshalter och belastning samt reningseffekt jämförs med modellerade värden i StormTac. (Dimensioneringsdata, avrinningsområde, trafikintensiteter tillhandahålls av beställaren).

2. Metod

I följande rubriker beskrivs hur provtagningen av regnbäddarna är uppbyggt samt vilka förutsättningar och felkällor som funnits i projektet.

2.1. Konstruktion och provtagning

Regnbäddarna består av en betonglåda utan botten som är fylld med respektive substrat med ett tunt lager grus överst för att hålla kvar substraten vid högra flöden. Två regnbäddar står i ett gemensamt magasin fyllt med stenkross som främst fördröjer vatten, *se Figur 8*. Det gemensamma magasinet har en tät gummiduk i botten och ett utlopp till mätbrunnen. Tillrinningsareorna är beräknade av Nacka kommun, *se*

Tabell 2.

Grunddata för anläggningen uppbyggnad och dimensionering, *se Tabell 1*.

Tabell 1 Anläggningsdata från Nacka kommun.

Typ av yta	Benämning	Area	Avrinningskoefficient	Reducerad area	Regndjup 10 mm	Erforderlig fördröjningsvolym om 10 mm regn ska renas	Tillgänglig volym i regnbädd	10 mm renas	Regnbäddens area	Regnbädden utgör X % av Ared (2,5-7 % är normalt)	Mängd nederbörd som renas
		[m ²]	ϕ	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ³]	[ja/nej]	[m ²]	[%]	[mm]
Väg	R1	315	0,8	252	0,01	2,5	1,2	nej	6	2,4	4,8
Väg	R2	111	0,8	89	0,01	0,9	1,2	ja	6	6,8	13,5
Väg	R3	209	0,8	167	0,01	1,7	1,2	nej	6	3,6	7,2
Väg	R4	125	0,8	100	0,01	1,0	1,2	ja	6	6,0	12,0
Summa:		759		607		6,1					

Varje regnbädd har en egen rännstensbrunn i gata, *se Figur 7*. Växtjorden i anläggning 1 innehåller 40% pimpsten, 30% grönkompost och 30% sand och anläggning 2 innehåller 75 % makadam 2/6, 12,5% biokol och 12,5% hönsgödsel.



Figur 6 Antaget avrinningsområde, per regnbädd.

Tabell 2 Antaget avrinningsområde, per regnbädd.

Utlopp	Totalarea m ²	Inlopp	Tillrinningsarea m ²
Anläggning 1	423	R1	311
		R2	112
Anläggning 2	336	R3	207
		R4	129



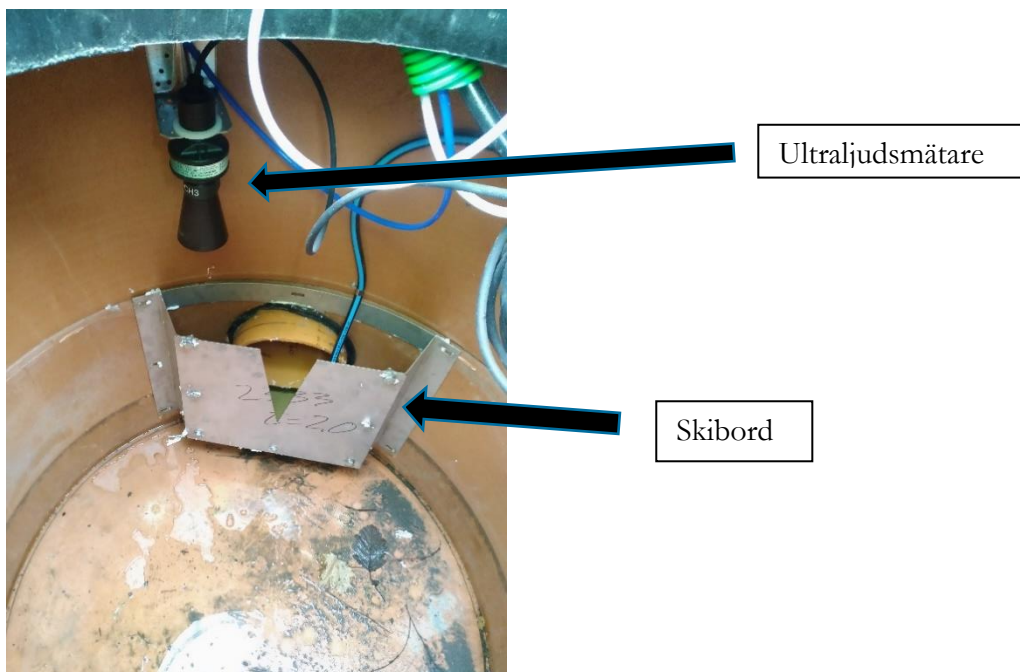
Figur 7 Rännstensbrunn i gata till respektive regnbädd.

Vattenprover har tagits i inlopp R3, *se Figur 6*, vilket styrdes av nederbördsräknare samt utlopp från anläggning 1 och 2 som var flödesstyrda, *se Figur 2*.

Uppsamlad dagvatten pumpades via slangar till provtagningscontainern, där samlingsproverna förvarades i glaskärl i kylskåp. Samtliga slangar och uppsamlingskärl utomhus i R3 försågs med värmekabel. Provtagningscontainern var uppvärmd till 10 °C och här var merparten av den tekniska utrustningen monterad, *se Figur 10 och Figur 11*.



Figur 8 Anläggning under konstruktion. Substrat i regnbädden och skärv runt om.



Figur 9 Skibord, flödesmätare (ultraljud) och provtagare i utlopp från anläggning.



Figur 10 Provtagningscontainer med nederbörds­mätare på taket.



Figur 11 Provtagare och kylskåp för samlingsprover.

2.1.1. Utrustning

Mätutrustningen som använts är:

Flödesmätare Brunnar och Bredd	Ultra 4 DB Mach 3
Provtagare	MAXX TP5 W
Nederbörds­mätare	MJK
Flödesmätare Inlopp	GWF Q-EYE
Datalogger	AYYEKA Wavelet
Temperatur sensorer	PO120

2.1.1.1. Flödesmätare utlopp, anläggning 1 och 2

Ultra 4 DB Mach 3 är en ultraljudsmätare som mäter vattennivå över skibord monterat i inloppsledningen i brunnen, *se Figur 9*. Provtagaren programmeras utifrån skibordets volym och form på v-utlopp och räknar automatiskt ut flödet.

2.1.1.2. Provtagare inlopp R1

MAXX TP5 W är en automatisk provtagare för fast montage som styrs av flödesmätarna i utlopp från anläggning 1 och 2, *se Figur 11*.

Provvolymen för enskilt prov är 50 ml. Provtagaren arbetar med vakuum och tryckluft för att suga vatten och blåsa rent slangen efter att prov är taget.

2.1.1.3. Nederbördsrätare

MJK nederbördsrätare är en uppvärmd rätare som även rätar snö (smälter det till vatten). Rätaren var monterad på mätcontainerns tak för att inte hamna i regnskugga. Varje puls från rätaren motsvarar 0,2mm nederbörd.

2.1.1.4. Flödesrätare inlopp R1

GWF Q-EYE är en liten ultraljudsrätare för montage i ledningar med liten diameter. Mikro-skibordet, *se Figur 9*, är av egen tillverkning då inget så litet finns att tillgå på marknaden.

2.1.1.5. Datalogger

AYYEKA Wavelet lagrar all data och skickar det till ett GSM-modem för uppladdning i molntjänst.

2.1.1.6. Temperatursensor

PO120 är en elektronisk temperatursensor som är kopplad till dataloggern.

2.2. Förutsättningar

Regnbäddarna kan ses som två svarta lådor, där jämförelser kan göras mellan flöden och halter som går in och ut i lådorna, men däremot kan inte detaljerade beskrivningar vad som händer inne i respektive låda tas ut. För att få ut den typen av detaljerad information, hade substraten och uppbyggnaden av bäddarna behövt varit precist beskriven. Parametrar som porositet, specifika ytor, sorptionskapacitet etc. hade krävts. Dessutom hade avrinningsytorna behövt vara väl definierade och förväntade förändringar med tid av regnbäddarna kända.

Flödena in i de två anläggningarna skiljer sig kraftigt, vilket gör att belastningen varierar, vilket kan påverka resultatet och reningseffekten. Anläggning 1 får högre flöde och belastning med föroreningar och partiklar än anläggning 2, *se Figur 6 och Figur 12*.



Figur 12 Ansamlat sediment R1.

26–27 maj 2021 inträffade en kraftig nederbördsperiod med skyfall vilken faller utanför anläggningarnas utloppskapacitet, ca: 7 l/s. Skyfallet var som mest intensivt ett 10- eller 20-årsregn, beroende på vilken tidsintervall det beräknas på.

2.2.1. Provtagningstillfällena

Initialt togs samlingsprover av vatten, över två veckor, men då det förekom längre torrperioder utan nederbörd, ändrades provtagningsfrekvensen till månadsprover. Detta för att fastställa att det fanns vatten att analysera och totalt togs 11 prover, se *Tabell 3*.

Tabell 3 Datum för provtagningstillfällena. Fet text indikerar när PAH:er och mikroplaster provtogs.

Provtagningstillfälle	Startdatum	Slutdatum
1	2020-12-08	2020-12-22
2	2020-12-22	2021-01-08
3	2021-01-08	2021-01-22
4	2021-01-22	2021-02-05
5	2021-02-05	2021-03-05
6	2021-03-05	2021-04-30
7	2021-04-30	2021-05-28
8	2021-05-28	2021-07-21
9	2021-07-21	2021-08-18
10	2021-08-18	2021-09-17
11	2021-09-17	2021-10-14

Provtagningskärnen på 10 liter fick inte överfyllas (svämma över) då analysen görs med flödesviktade halter. Provtagningsmängder har bestämts utifrån SMHI:s statistiska nederbördsobservationer. Under längre torrperioder har vattnet sparats till ett 2-månadersprov för att säkra att tillräcklig vattenmängd funnits för analys.

2.2.2. Kompletterande mätningar

Under projektets gång har behov av ytterligare mätningar uppkommit.

2020-12-04 till 2021-06-30 mättes bräddflödet i R1 och R3, se *Figur 13 och Figur 14*. R1 bräddade ofta och det bräddade vattnet passerade inte genom regnbädden utan rann direkt till krossmagasinet under. För att kunna räkna ut hur mycket av provvolymen som är bräddat vatten och därmed orenat behövdes en kompletterande mätning.

Bräddmätaren mäter nivå på vatten i regnbädden och är programmerad så att den räknar ut volymen vatten som passerar bräddutloppen. Programvaran för bräddmätaren tolkar det angivna utloppets storlek som ett tomt rör, men i regnbäddarna sitter ett finmaskigt nät för utloppet, för att inte löv och skräp skall rinna ner i krossmagasinet. Bakom nätet ligger stenfyllning. Nätet med igensättning och krossmassor begränsar flödet. Bedömningen har gjorts att det verkliga flödet motsvarar 50% av det teoretiska. Om vi inte gör denna justering kommer mängd bräddat vatten bli för stort.



Figur 13 Utlopp bräddning R1 med nät och stenkross.



Figur 14 Bräddmätning R1 och R3.

2021-07-01 till 2021-09-01 mättes flödet inloppet i R1, *se Figur 15 och Figur 16*, då den teoretiska tillrinningsarean inte verkade rimlig. Beräkningen görs utifrån nederbörd och flöde in till R1 och utifrån detta beräknades den verkliga tillrinningsarean. Nederbördsmätaren var tyvärr ur funktion denna tidsperiod så inga beräkningar kunde göras.



Figur 15 Mätning flöde, inlopp R1. Givare och mikro-skibord.



Figur 16 Mätning flöde, inlopp. Översiktsbild med låda för teknisk utrustning.

2.3. Felkällor

Under projektets gång har en del möjliga felkällor och osäkerheter framkommit, vilka beskrivs nedan och är viktiga att ha med sig när man läser rapporten och tolkar resultatet.

2.3.1. Tillrinningsareor

Under projektets gång framkom att tillrinningsareor till de olika regnbäddarna varierade med regnets intensitet. I vägbanan finns det hjulspår och vid lågintensiva regn rinner vattnet längs med hjulspåren (visuell observation) och inte i den tänka fallriktningen beskrivet i den teoretiska modellen. Vid intensivare regn fylls hjulspåren och vatten ”bräddar” över kanterna och rinner över hela asfaltsytan. Tillrinningsareor varierar alltså i storlek beroende på regnintensitet och vattnet tar olika flödesvägar vilket påverkar flödesberäkningarna och reningseffekten.

Den 4:e maj 2021 togs hål upp i kantstenen i påfartsrampen sydväst om anläggningen för att minska tillrinningsarean.

Detta gjordes då den var större än beräknat och också för att minimera störningarna från renoveringen av GC-tunnel. Förändringen i tillrinning har tagits med i beräkningarna. Den 10–11 maj 2021 byttes toppskiktet ut i R1 då det samlats mycket finsediment och infiltrationen minskat.

2.3.2. Renovering GC-tunnel

GC-tunneln under påfartsrampen sydväst om anläggningarna renoverades från april 2021 till augusti 2021 vilket påverkade anläggningarna, *se Figur 17*. Exempel på arbeten under perioden är betongfräsning, gjutning av betong, asfialläggning, omledning av trafik med ramper över refuger samt vattning av betong. Detta har påverkat flödet till anläggningen och även tillfört partiklar och ämnen som normalt inte kommer till anläggningen, *se Figur 18*.



Figur 17 Vy renovering GC-tunnel.



Figur 18 Sediment i R1 under renovering GC-tunnel.

2.3.3. Träd

Lind och oxel står i regnbäddarna. Träden kan tänkas ha kapacitet att rena dagvatten från t.ex. metaller som kan gå med vatten upp via trädens rötter.

Lindarna mår bra genom hela projektet medan oxlarna led av vattenbrist trots att samtliga träd stödbevattades med rent vatten utan näringstillägg genom vattensäckar under sommaren. 2021-08-18 hade linden i R2 dött och under sommaren hade linden i R4 endast en levande gren, men har efter det fått tillbaka livskraft *se Figur 19 och Figur 20.*



Figur 19 Oxel i R1 död.



Figur 20 Oxel i R4 dålig vitalitet.

2.3.4. Nederbördsräätare

Under perioden 2020-07-21 till 2020-08-08 (prov 9) var nederbördsräätaren ur funktion. Hålet där vatten dräneras ut var igensatt med ”fint skräp” och inga tillförlitliga nederbördsdata finns därför från denna period.

2.3.5. Provtagning

Vid ett tillfälle slogs mäutrustning ut av elfel på elnätet, troligtvis på grund av en ”strömspik”. Detta medförde att provtagarna automatiskt ställdes in på standardintervall för provtagning, och provtagningskärl översvämmades och vattnet kunde inte användas för vidare analys.

3. Teori

Vattenprover är tagna flödesproportionellt och halterna är flödesviktade. Då tillrinningsareor och flödesvägar varierar, är jämförelser under kortare perioder svåra att utföra. Resultaten tas därför ut från trender över längre tider.

Regnbädd R1 och R2 rinner ner i samma krossmagasin som bildar anläggning 1, varför den totala fördröjningen kan presenteras men inte separera fördröjningen i regnbäddarna och i krossmagasin. Det finns även två bräddavlopp i varje regnbädd som leder direkt ner i krossmagasinet, vilket gör att vid höga flöden passerar inte allt vatten igenom regnbädden.

Båda substraten har relativt snabb genomströmningshastighet, men det är endast R1 som bräddat. R1 får därmed större belastning av både föroreningar, flöde och mer sediment vilket medfört att översta lagret av pimstenssubstratet satt igen med fint sediment. Detta har i sin tur ökat bräddningen ytterligare då vatten haft svårt att tränga ned i bädden.

Flöde till anläggningarna beräknas utifrån tillrinningsarea och nederbörd. Flödet ut från anläggningarna mäts i respektive utlopp från anläggningarna. Inflöden är beräknade varför flödesreduktionen är approximativ och behäftad med en viss osäkerhet. Volymreduktionen i systemet är avdunstning från regnbädden och det vatten träden tar upp och evaporerar.

Bäddarna kan teoretiskt rena genom fysikalisk filtrering, dvs partiklar fastnar i substratets struktur, samt kemisk rening, där olika ämnen kan ha affinitet till substratytor och antingen sorbera genom elektrostatisk attraktion eller kemisk bindning. Den kemiska reningen är specifik för olika ämnen, eftersom de olika ämnena har olika affinitet till ytorna, och också binder på olika sätt. Med partiklar följer de flesta metaller, endast en liten del förekommer i löst form.

3.1. Fördröjning

Undersökningen syftar till att kvantifiera fördröjningen av flödet i båda typer av anläggningar samt att se om de skiljer sig åt i fördröjningskapacitet.

Fördröjningsprocessen förväntas vara uppbyggd av två steg, en del av fördröjningen sker i regnbädden och den andra i krossmagasinet i anläggningen. Vid höga flöden kan även en viss mängd dämmas upp till bräddavloppet i regnbädden, för att sedan filtreras ner i substratet.

3.2. Volymreduktion

Undersökning syftar till att se hur stor volymreduktion de olika anläggningarna uppvisar, och om de olika anläggningarna har olika kapacitet för flödesreduktion. Träden bedöms kunna ta upp signifikanta volymer vatten på längre sikt när de etablerat sig och växt sig större.

I dagsläget är de dock under etableringsfas och inte så stora vilket gör att upptaget via trädet nog inte är så stort. Även viss avdunstning borde kunna ske, dock är den troligtvis marginell, då arean av markytan är begränsad i storlek, ca 10 m²/anläggning.

3.3. Reningseffekt

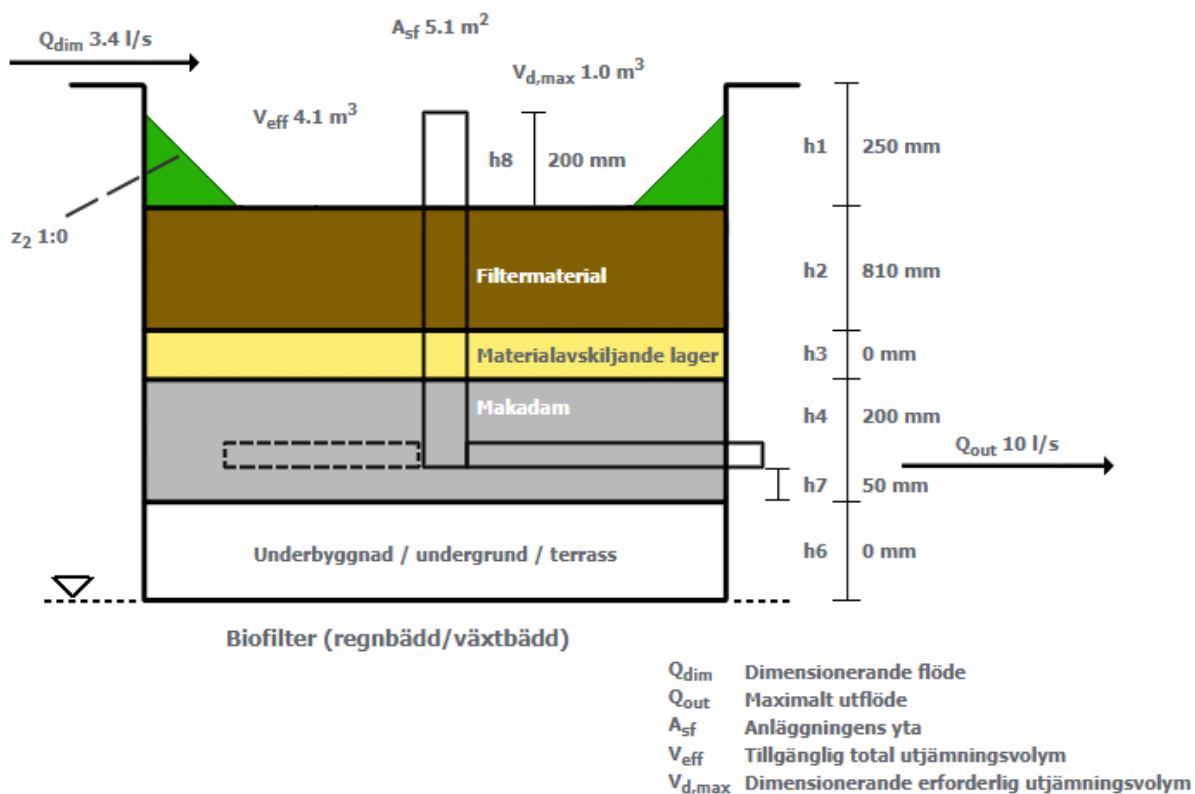
Undersökning syftar till att se hur stor reningseffekten är, och om de olika anläggningarna, med olika substrat skiljer sig i reningseffektivitet, samt om de är selektiva, dvs. om de lämpar sig bättre för vissa typer av föroreningar än andra. Utvärderingen syftar också till att undersöka om reningen varierar med årstid och tid, dvs. om reningseffektiviteten minskar med tid pga. igensättning, densitetsskiktningar eller att eventuella ytor i substraten blir kemiskt mättade. De faktiska uppmätta resultaten jämförs med teoretiska beräkningar i StormTac.

3.4. Modellerad rening med StormTac

En teoretisk beräkning har gjorts i StormTac för att kunna jämföra med de uppmätta värdena, *se Figur 21* som visar hur StormTac ser anläggningen. StormTac är ett modelleringsprogram för dagvattenanläggningar. I programmet bygger man upp olika tillrinningsområden, belastningar och dagvattenanläggningar. Programmet räknar ut flöden, reningseffekter, etc. baserat på forskningsrapporter. I beräkningarna har de uppmätta föroreningshalterna och flödena till anläggningen lagts in i stället för att använda de schablonvärden som är default i StormTac, *se Tabell 4*. Bakgrundsflödet har satts till 0,1/s då det är minimal risk för inläckage till anläggningen eftersom den är omsluten av en gummiduk. Dessutom rinner vattnet direkt in i anläggningen från gatan samtidigt som rinnsträckor och tid är väldigt korta. Det är minimal risk för inläckage till anläggningen då den är omsluten av en gummiduk. För fullständig StormTac rapport, *se Bilaga 3 – Fullständig StormTac rapport* och för jämförelse av reningseffekt i %, avskild mängd och utloppshalt efter rening, *se Bilaga 4 – Jämförelse mellan resultat och StormTac*.

Tabell 4 Jämförelse av föroreningskoncentration in mellan uppmätt och StormTac schablon vid 7000ÅDT.


Föroreningskoncentration in utan behandling (årsmedel) µg/l								
	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni
StormTac	150	2000	7,6	26	62	0,3	8,1	6,6
Uppmätt	113	1327	6,9	57	295	0,1	13,4	8,1




Figur 21 StormTac ritning av regnbäddarna.

Med StormTac kan reningseffekten av metaller, kväve och fosfor, PAH16 och andra föroreningar såsom antracen och pyren beräknas. Mikroplaster och vissa PAH:er ingår inte i databasen bakom StormTac, varför teoretiska rening inte kunnat tas fram för dessa ämnen.

Utifrån modelleringen förväntas metaller renas till en viss grad, där substratet med pimpsten är mer effektivt än substratet med biokol. Modelleringen indikerar att det finns en selektivitet, för vissa metaller, där särskilt zink sticker ut som en metall med hög reningseffekt i pimpstenssubstratet. Modelleringen pekar vidare på att båda substraten ska rena för både kväve och fosfor, där kväve ser ut att renas mer effektivt än fosfor, och precis som metaller, mer effektivt i pimpstenssubstratet. StormTac beräknar att PAH16 kan renas upp till 19 och 14 mg/år för pimpstens- och biokolssubstratet. För att få teoretiska modeller att spegla verkligheten så bra som möjligt skiljer sig några parametrar mellan anläggningarna. Då det i StormTac inte går att ändra värden för biofilter så har porositeten på filtermaterialet d.v.s. substratjord ändrats enligt informationen från databladet i *Bilaga 1 – Datablad och Bilaga 2 – Datablad biokolssubstrat*, se *Figur 22 och Figur 23*.

Porosity, filter media	P ₂	<input type="text" value="0.6"/>	0.25 (0.15-0.40)	Share of airfilled pores of the total volume after free drainage (depending on construction), affected by the distance to the groundwater or the drainage layer.
Porosity, coarse sand	P ₃	<input type="text" value="0.25"/>	0.25	Share of airfilled pores of the total volume. See above.
Porosity, macadam 	P ₄	<input type="text" value="0.4"/>	0.40 (0.30-0.45)	Share of airfilled pores of the total volume. See above.
Porosity, structural soil	P ₅	<input type="text" value="0.12"/>	0.12 (0.12-0.25)	Share of airfilled pores of the total volume. See above.

Figur 22 Porositet växtjord pimpsten data i StormTac

Porosity, filter media	P ₂	<input type="text" value="0.557"/>	0.25 (0.15-0.40)	Share of airfilled pores of the total volume after free drainage (depending on construction), affected by the distance to the groundwater or the drainage layer.
Porosity, coarse sand	P ₃	<input type="text" value="0.25"/>	0.25	Share of airfilled pores of the total volume. See above.
Porosity, macadam 	P ₄	<input type="text" value="0.4"/>	0.40 (0.30-0.45)	Share of airfilled pores of the total volume. See above.
Porosity, structural soil	P ₅	<input type="text" value="0.12"/>	0.12 (0.12-0.25)	Share of airfilled pores of the total volume. See above.

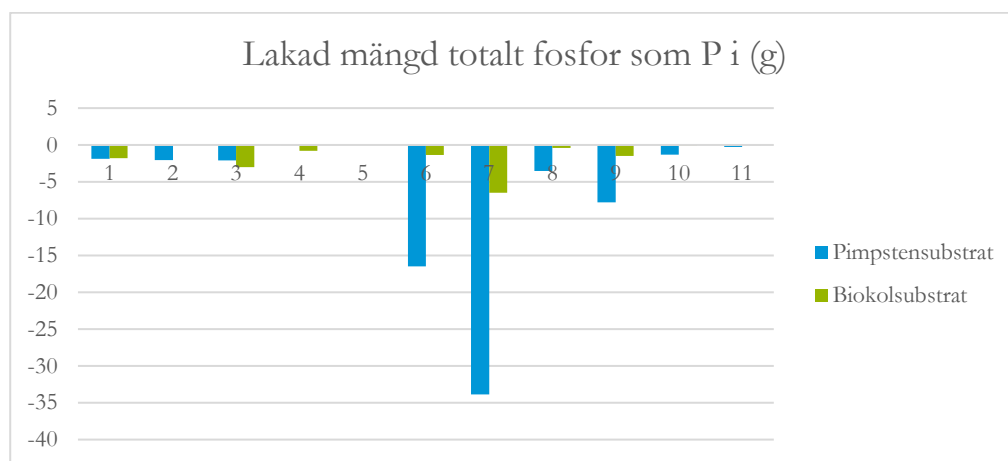
Figur 23 Porositet växtjord biokol data i StormTac

4. Resultat

I följande del presenteras resultaten av utvärderingen med fokus på rening, flödesfördröjning och volymreduktion.

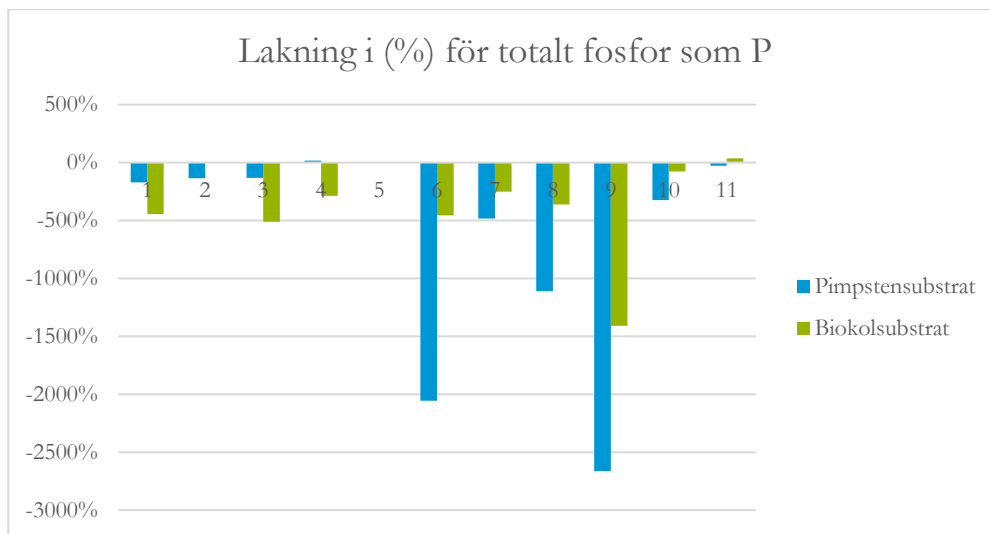
4.1. Lakning och rening av fosfor

Eftersom anläggningarna varit i drift i ett antal månader innan undersökningen påbörjades, kan frågan om fosfor lakat från bäddarna initialt inte besvaras. Utifrån undersökningens start går det dock att dra vissa slutsatser. Fosfor lakas ut i betydande mängder, vid kraftiga regn. Vid det kraftigaste regntillfället i maj, provtagningstillfälle 7 lakade substratet med pimpsten ut knappt 35 gram fosfor och substratet med biokol 6,5 g, se *Figur 24*.



Figur 24 Lakad mängd i (g) för total fosfor som P under de 11 provtagningstillfällena.

Att det lakar mer fosfor från pimpstenssubstratet man möjligen förklaras av att större mängder dagvatten passerat anläggningen. På en årsbasis har 468 % mer fosfor gått ut än kommit in med dagvatten i pimpstenssubstratet, jämfört med 418 % i biokolssubstratet, se *Figur 25*.



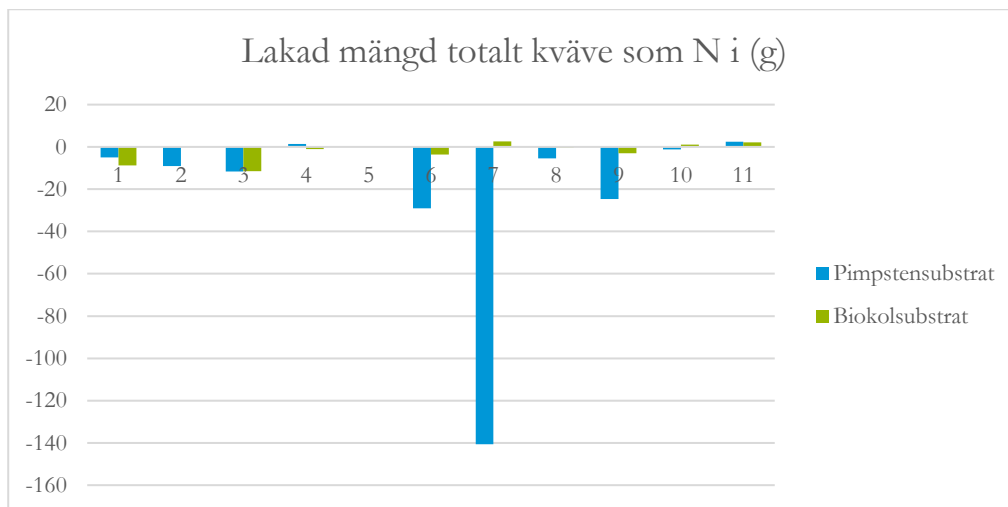
Figur 25 Lakning i (%) för total fosfor som P under de 11 provtagningsstillfällena.

Det finns inget som tyder på att all mobil fosfor från substraten lakat ut under tidsramen för projektet, med beaktande att projekttiden är relativt kort. Det går inte att säga om det finns rening så länge som lakmängderna är större än de som stannar kvar i bäddarna.

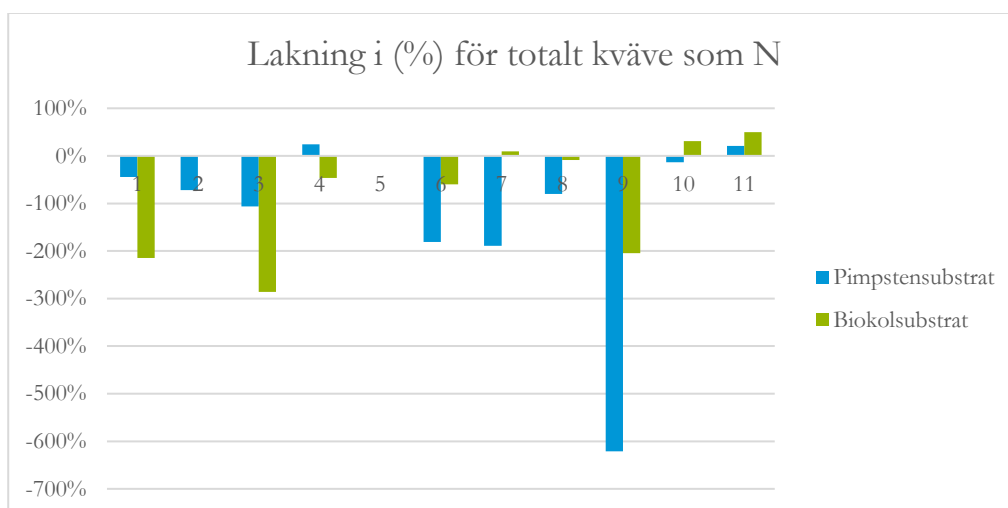
4.2. Lakning och rening av kväve

Kväve uppvisar samma mönster som fosfor, nämligen att lakning dominerar i systemet, om än med lägre halter än för fosfor, *se Figur 26 och Figur 27*.

Pimpstenssubstratet lakar betydande mängder jämfört med biokolssubstratet, och vid kraftiga regn är lakningen som störst. På årsbasis lakar pimpsten- mot biokolssubstratet, totalkväve 137% mot 81 %. Kväve förekommer som nitrat, nitrit och ammoniak/ammonium. Substraten renar för ammoniak/ammonium vid höga flöden. Om regnbäddarna renar för kväve, går inte att se. Lakningen dominerar fortfarande systemet.



Figur 26 Lakad mängd i (g) för totalt kväve som N under de 11 provtagningsstillfällena.



Figur 27 Lakning i (%) för totalt kväve som N under de 11 provtagningsstillfällena.

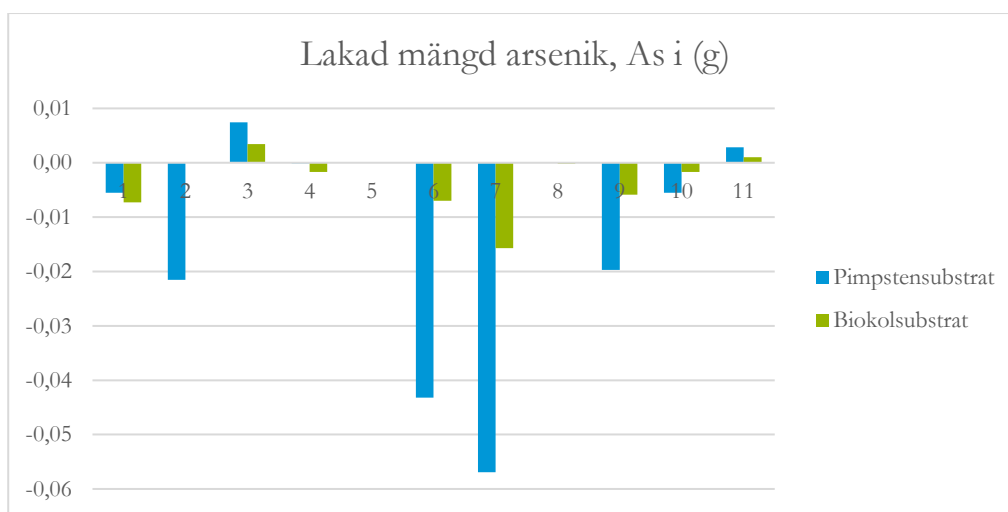
Lakningen av näringsämnen stämmer väl överens med Swecos slutsatser [3], se Bilaga 9 – *Analysresultat och utvärdering av analyser*, att mekanismen för lakning är liknande i de båda substraten. Hur mycket som lakas är relaterat till vilket innehåll av näringsämnen bäddarna haft från början fördelat mellan substrat och inblandat höns gödsel och grönkompost. Från resultaten i denna studie går det ej att utläsa vilken del av regnbäddarna näringsämnena kommer ifrån.

4.3. Lakning och rening av metaller

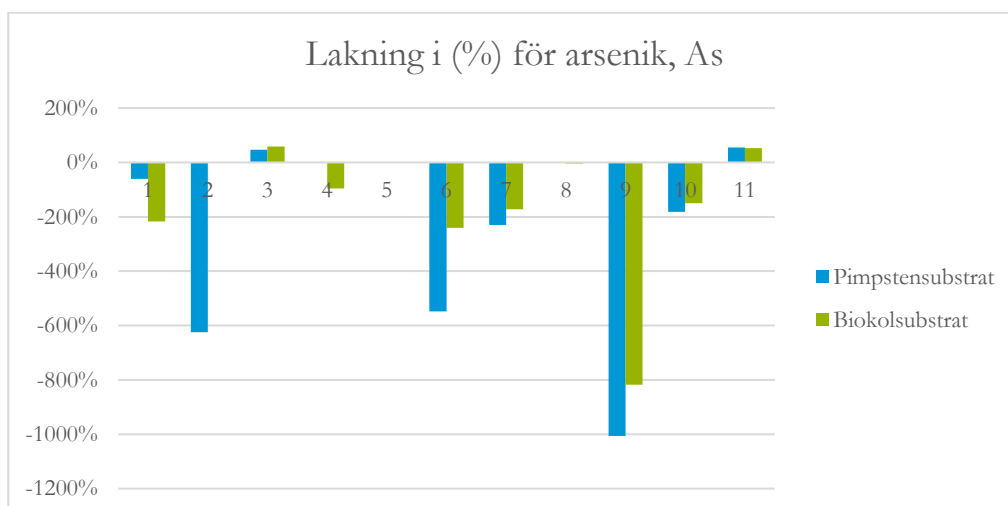
Hur metallerna beter sig i regnbäddarna med olika substrat varierar med metallernas speciering och kemi, dvs. hur metallerna binder till oorganiska och organiska partiklar samt substratets ytor.

Totalhalten metall i dagvattnet som går in i regnbäddarna är signifikant högre än i löst form, vilket stämmer väl överens med att metaller framför allt förekommer som bundna till partiklar. Utvärderingen av metallhalter är här utförd på totalhalter och inte löst metall.

Ett exempel på en metall som analyseras i utvärderingen är arsenik som bedöms förekomma i största del som arsenat negativt laddad i de pH som råder. På grund av den negativa laddningen kommer arsenat inte att binda till substratytorna vilka är nettonegativt laddade i det pH som råder, utan vara mobila och ta sig igenom systemet utan större fördröjning, se Figur 28 och Figur 29.

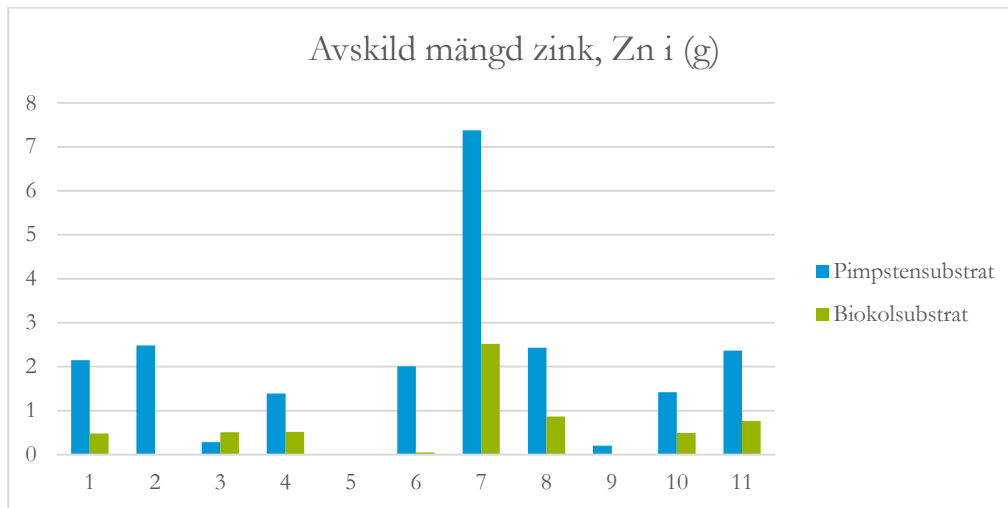


Figur 28 Lakad mängd i (g) för arsenik, As under de 11 provtagningsstillfällena.

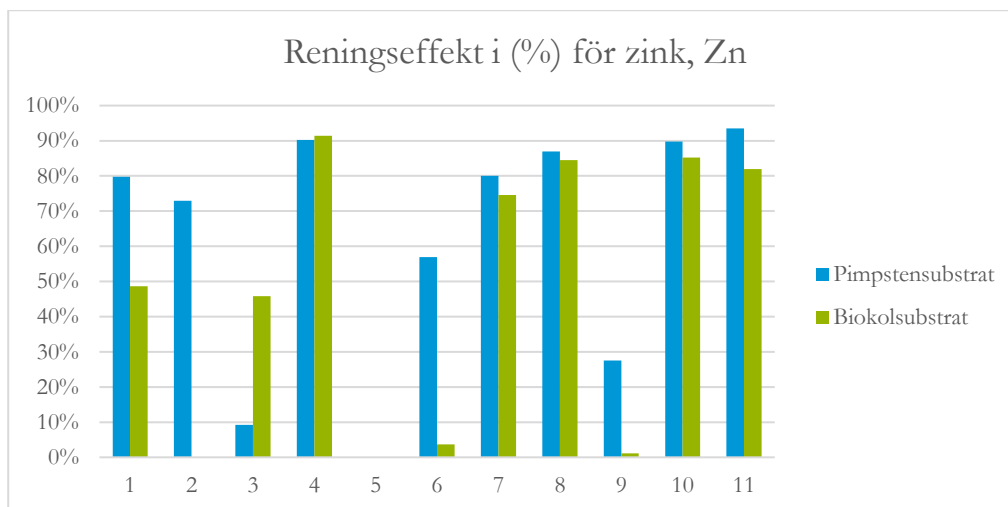


Figur 29 Lakning i (%) för arsenik, As under de 11 provtagningsstillfällena.

Den metall som effektivast renas är zink, med en reningseffekt på 71 % och 57 % över året i pimpstenssubstratet respektive biokolssubstratet, se Figur 30 och Figur 31.



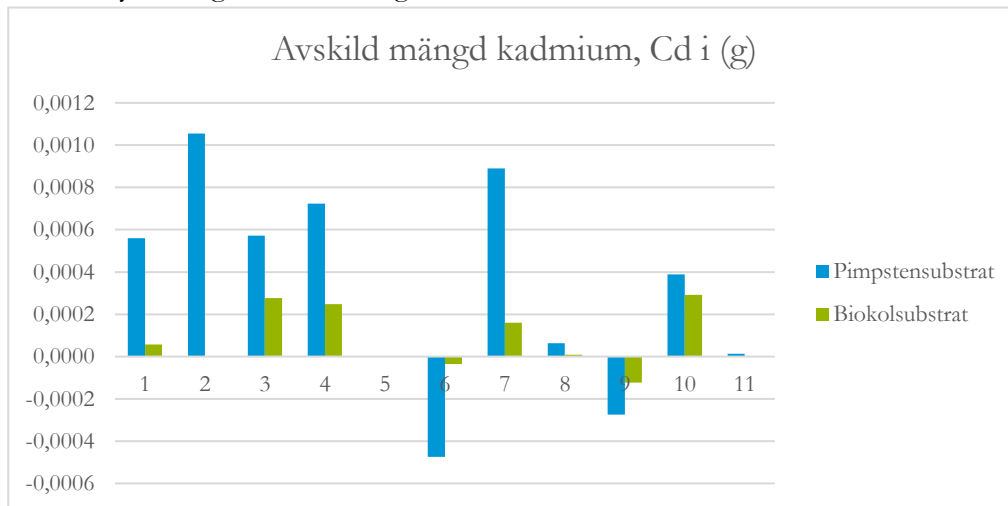
Figur 30 Rening, avskild mängd i (g) för zink, Zn under de 11 provtagningsstillfällena.



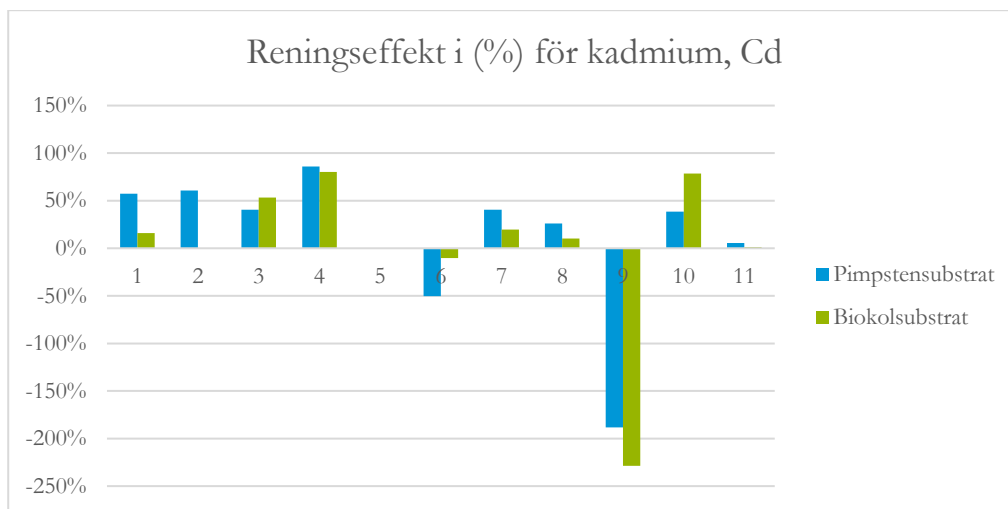
Figur 31 Reningseffekt i (%) för zink, Zn under de 11 provtagningsstillfällena.

Zink bedöms föreligga mest bundet till oorganiska och organiska partiklar, varför regnbäddarna relativt effektivt renar genom fysikalisk filtrering. Zink-halterna i dagvattnet ligger i spannet 130–527 µg/l och är därmed den metall som har högst koncentration i dagvattnet som går ned i regnbäddarna.

Cd ser ut att renas mest effektivt genom pimpstensbädden, där reningseffekten är 36 %, mot 2% i biokolsbädden, se Figur 32 och Figur 33. Men Cd-halterna under året är mycket låga varför reningseffekten bara skall ses som en indikation.



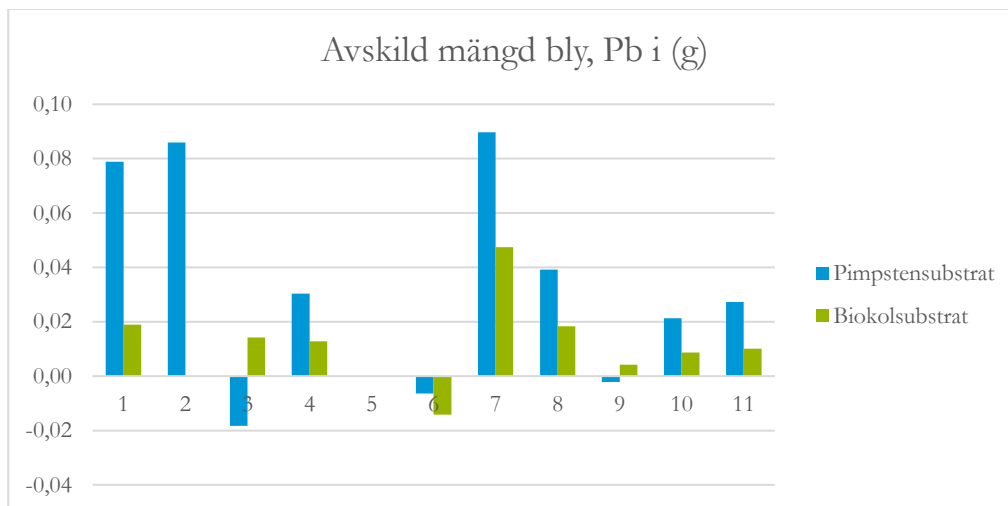
Figur 32 Rening, avskild mängd i (g) för kadmium, Cd under de 11 provtagningsstillfällena.



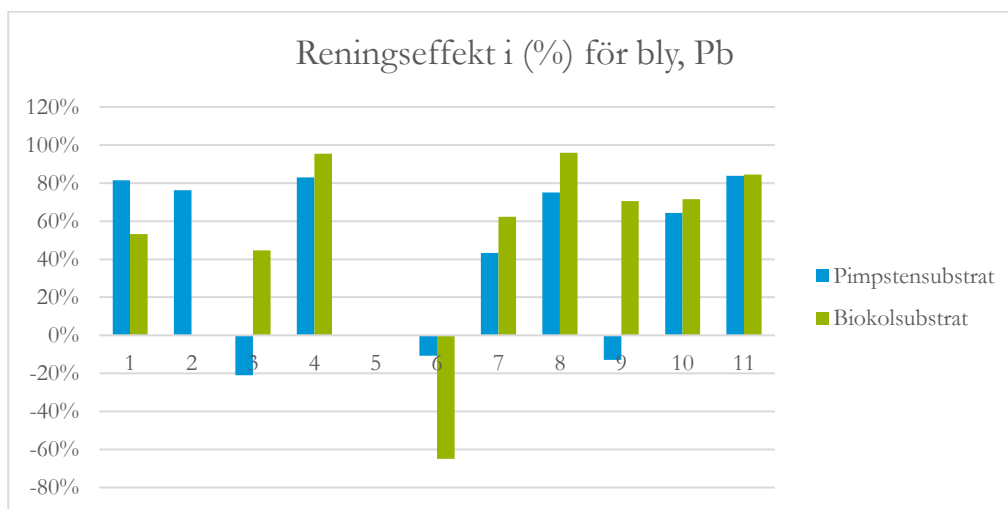
Figur 33 Reningseffekt i (%) för kadmium, Cd under de 11 provtagningsstillfällena.

Bly är den metall som renas mer effektivt i biokolsbädden, med en procentsats av 57 jämfört med 47 % för pimpstensbädden, se Figur 34 och Figur 35.

Koncentrationen i dagvattnet i inloppet för båda anläggningarna ligger mellan 2.7 och 14 µg/l med ett årsmedel på 6.9 µg/l under året.

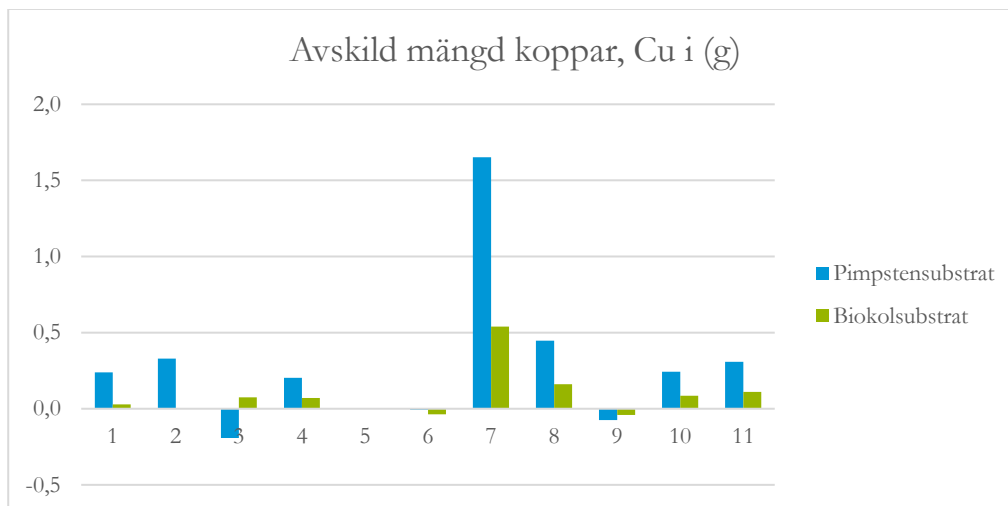


Figur 34 Rening, avskild mängd i (g) för bly, Pb under de 11 provtagningsstillfällena.

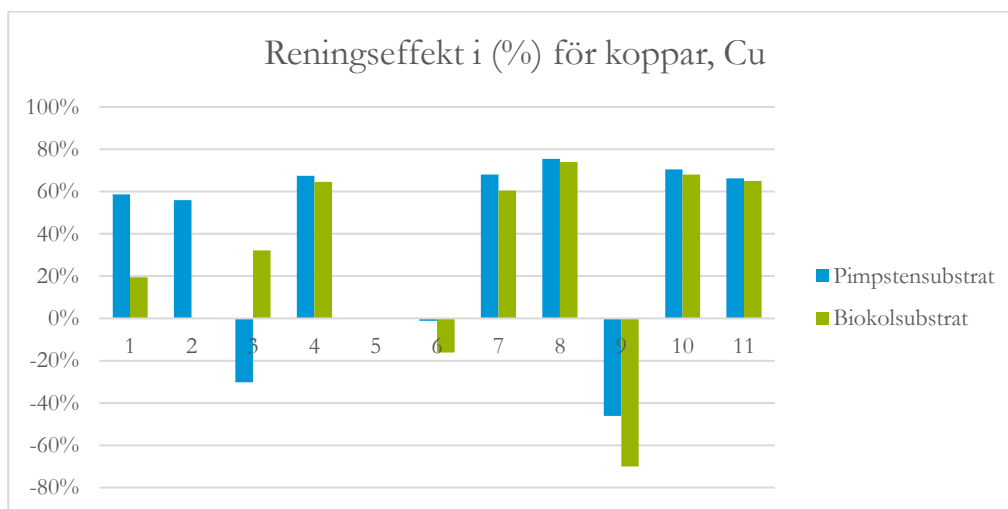


Figur 35 Reningseffekt i (%) för bly, Pb under de 11 provtagningsstillfällena.

Koncentrationen av Cu i dagvattnet i inloppet varierar mellan 28,4–89,7 µg/l, under året med en medelhalt på 57,2 µg/l. Reningseffekten ligger på 48% och 33% i pimpstensbädden respektive biokolsbädden, se Figur 36 och Figur 37, i snitt över året.



Figur 36 Rening, avskild mängd i (g) för koppar, Cu under de 11 provtagningsstillfällena.

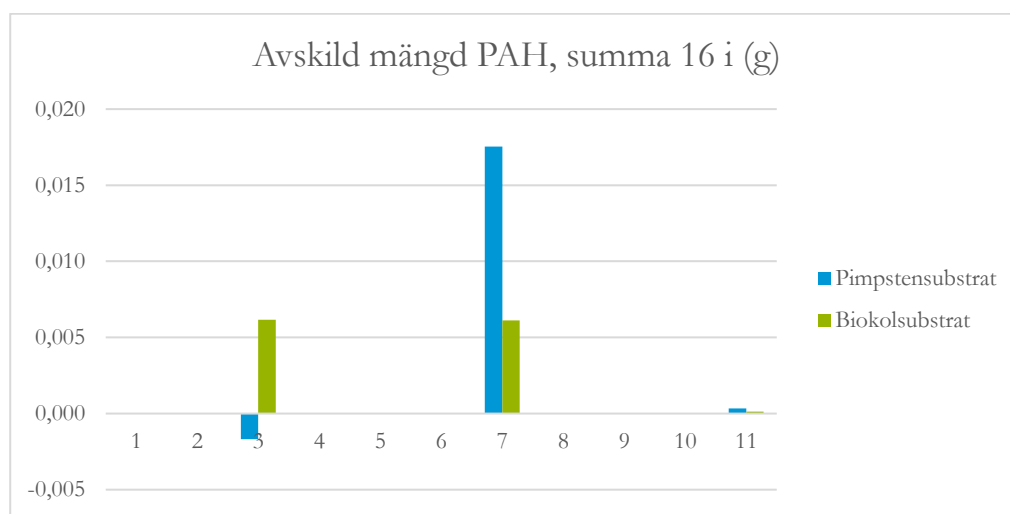


Figur 37 Reningseffekt i (%) för koppar, Cu under de 11 provtagningsstillfällena.

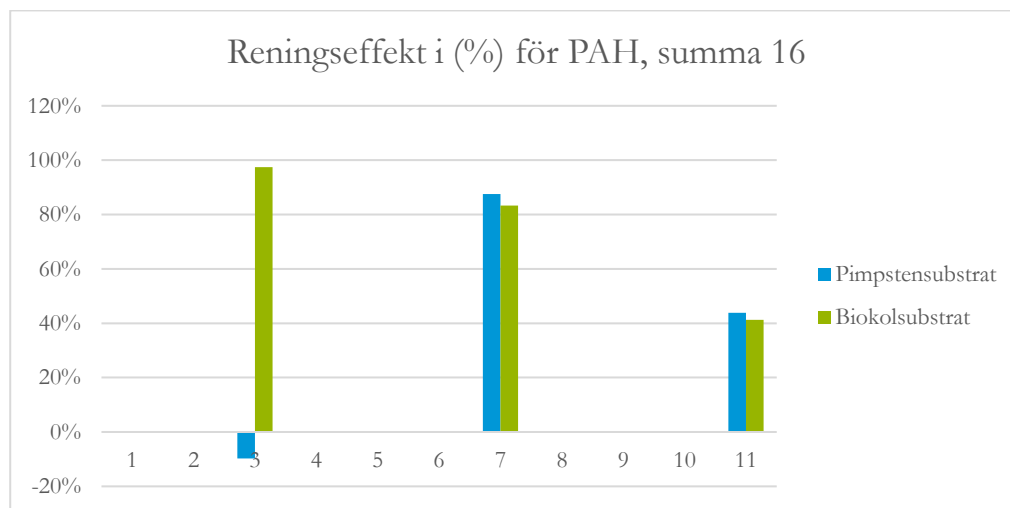
För ytterligare jämförelser och belastningar, se Bilaga 5 – Årsmedelhalt, Bilaga 6 – Reningseffekt i % och Bilaga 7 – Total årsbelastning in, ut och totalt avskild mängd.

4.4. Reningseffekt PAH16

Rening av PAH16 är mycket marginell i både pimpstenssubstratet och biokolssubstratet, men vid det kraftigaste regnet, vid provtagning 7, renade pimpstenen 15 mg medan biokolen renade 5 mg, *se Figur 38*. Detta motsvarade ca 80% för båda substraten, *se Figur 39*. PAH16 är representativ för andra typer av PAH:er, där pimpstenen renar mer effektivt och vid intensiva regn. Annars är reningsgraden mycket marginell.



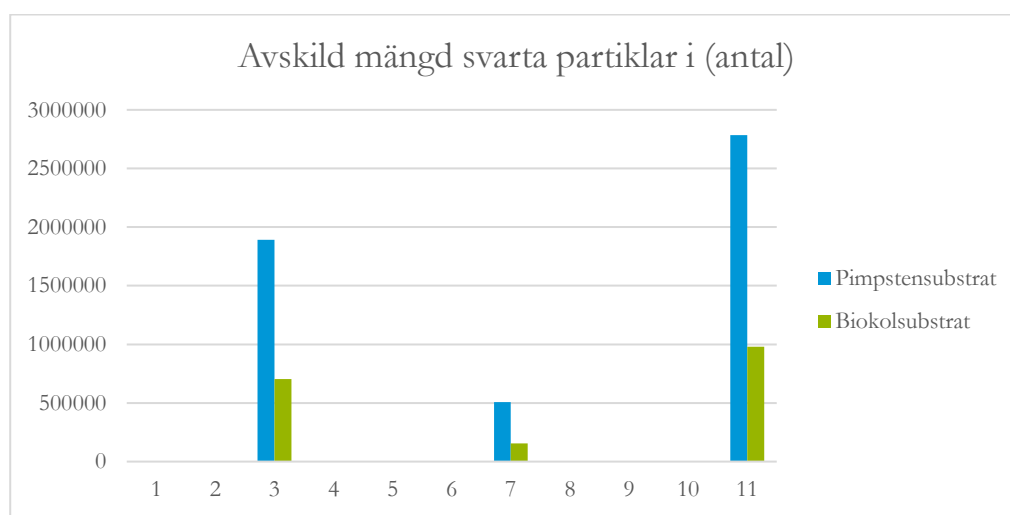
Figur 38 Rening, avskild mängd i (g) för PAH, summa 16 under de 3 provtagningsstillfällena.



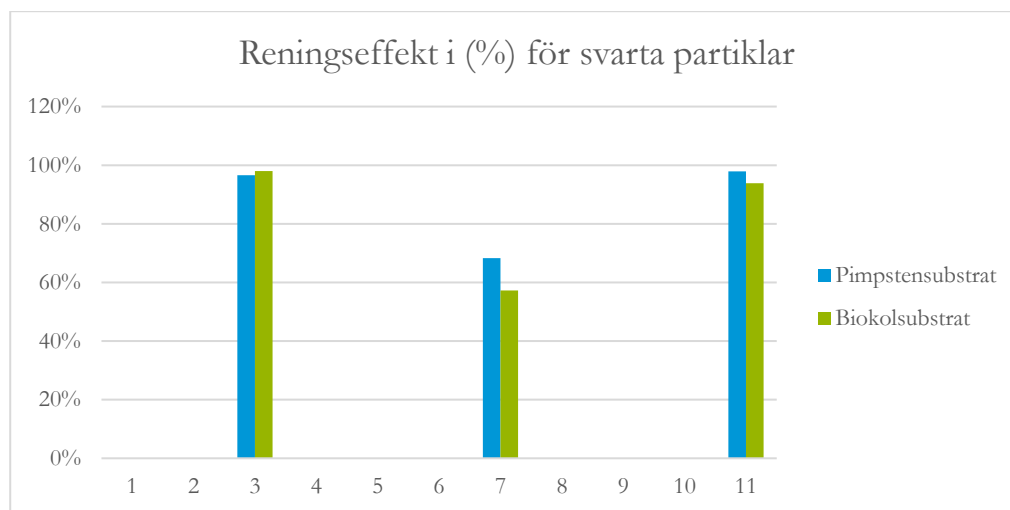
Figur 39 Reningseffekt i (%) för PAH, summa 16 under de 3 provtagningsstillfällena.

4.5. Reningseffekt mikroplaster

Reningen av mikroplaster och är den rening som ser ut att vara mest effektiv. Mikroplaster och har analyserats vid tre tillfällen under året, och reningen ligger högt ca 80% rening för biokolssubstratet och 88 % för pimpstenssubstratet, *se bilaga 6*. Detta indikerar att fastnar i substratens struktur och den fysikaliska reningen är effektiv. Ett exempel på detta är svarta partiklar där vi kan se reningen i antal och procent för de olika substraten, *se Figur 40 och Figur 41*.



Figur 40 Rening, avskild mängd i (antal) för svarta partiklar under de 3 provtagningsstillfällena.



Figur 41 Reningseffekt i (%) för svarta partiklar under de 3 provtagningsstillfällena.

4.6. Vilket substrat renar effektivast?

Förutom för partiklar, där reningseffektiviteten är hög och jämförbar mellan båda växtbäddarna har anläggningen med pimpstenssubstrat en högre effektivitet än anläggningen med biokolssubstrat. Att notera är att det är systemen i sig som kan jämföras, och inte substraten direkt.

Bäddarnas egenskaper är starkt kopplade till deras struktur, samt inblandning av organiskt material, i form av gödsel och kompost. För att kunna göra den direkta jämförelsen, hade effektivitet behövt normerats mot mängd och porositet samt för specifik yta för de olika substraten.

4.7. Årstids- och nederbördsvariationers påverkan på reningseffekten

Reningseffekten är som störst för båda växtbäddarna under höst och vinter, och lägst under vår till sommar men skillnaderna är inte stora och varierar mellan ämnen, se *Bilaga 6 – Reningsseffekt i %*. Under sommaren och våren när temperaturen är högre, kommer mindre volymer dagvatten att bildas och rinna genom bäddarna. Det är alltså sannolikt inte reningseffekten som är högre under höst och vinter, utan belastningen på systemen som är större. På grund av detta blir reningen i absoluta tal högre än på vår och sommar då totala flödet och flödehastigheten i anläggningen är lägre.

4.8. Differens mellan antagen yta och verklig volym.

De uppmätta flödena vid utloppen från anläggning 1 och 2 har visat sig vara mindre än förväntat, baserat på de beräknade avrinningsareorna i projektunderlaget, se *Tabell 5 och Tabell 6*.

Exempel: Provperiod 8 2021-05-28 till 2021-07-21

Uppmätt total nederbörd (R) 40,6mm.

För att beräkna volymen används formeln $V=R*A*\varphi$. R är nederbörd i mm, A är area i m² och φ är avrinningskoefficient.

Tabell 5 Avrinningsareor från underlag.

Utlopp	Totalarea m ²	Inlopp	Tillrinningsarea m ²
Anläggning 1	423	R1	311
		R2	112
Anläggning 2	336	R3	207
		R4	129

Avrinningskoefficienten (φ) är ett mått på andelen av ett avrinningsområde som kan bidra till avrinningen. Den beror på flera faktorer bland annat hårdgöringsgrad och lutning.

För detta område, asfalt i svag lutning har avrinningskoefficient (φ) 0,8 använts.

Tabell 6 uträkning teoretiskt flöde kontra uppmätt flöde provperiod 8.

Teoretisk volym	Nederbörd	Area	Avrinnings- koefficient	Volym (l)
	R	A	φ	V
Anläggning 1	40,6	423	0,8	13 739
Anläggning 2		336	0,8	10 913

Uppmätt volym (l)

Anläggning 1	7123
Anläggning 2	3166

Differens	Teoretiskt volym till anläggning (l)	Uppmätt volym vid utlopp (l)	Differens (l)	Differens (%)
Anläggning 1	13 739	7123	-6617	52%
Anläggning 2	10 913	3166	-7747	29%

Verklig avrinningsarea

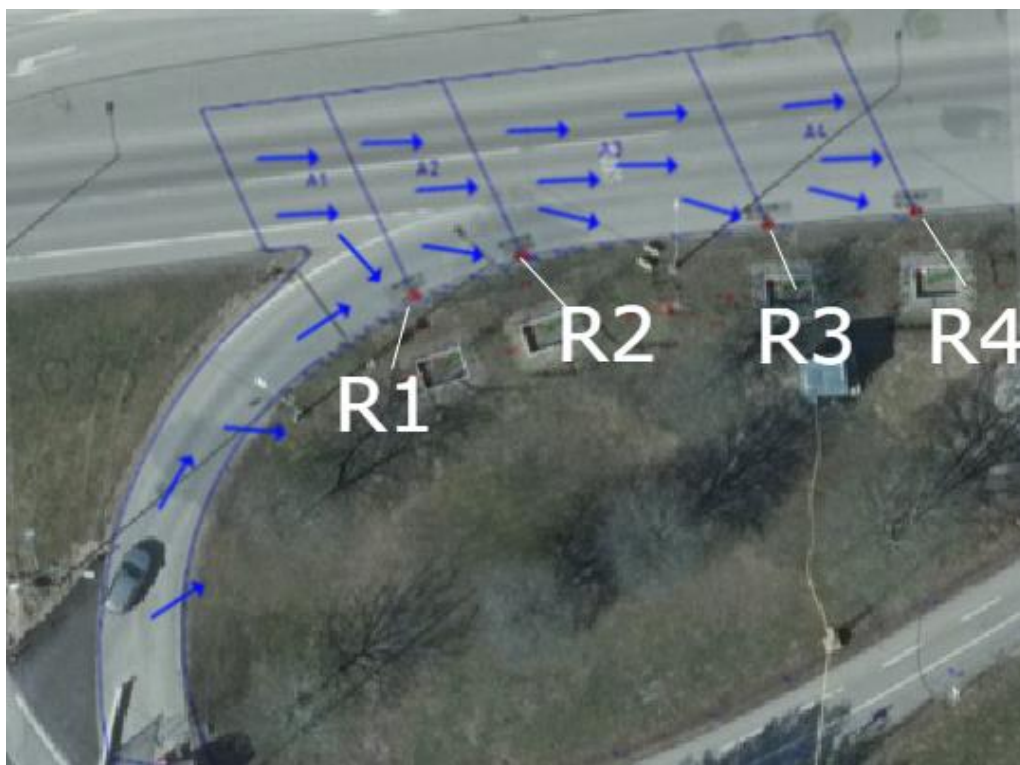
De uppmätta flödena från anläggning 1 och 2 är i medelvärde endast 56% respektive 26% av den teoretiska avrinningsvolymen, *se bilaga 7*, vilket indikerar att avrinningsareorna är mindre än vad först antagits. En trolig orsak är hjulspår i asfalten samt att vägbanan har sättningar, vilket gör att större delen av dagvattnet rinner vidare längs vägen och inte ner i brunnarna, *se Figur 42, Figur 43 och Figur 44*. Viss volymsreduktion bedöms ha skett via evaporation. Det går dock inte att säga i vilken omfattning, då flöden i inloppen inte mätts. Detta kommenteras senare i rapporten.



Figur 42 Hjulspår och asfaltsyta Värmdövägen sett österut med regnbäddarna till höger i bild.



Figur 43 Antagen flödesriktning inom avrinningsområdet.



Figur 44 Observerad flödesriktning inom avrinningsområdet.

4.9. Flödesdifferens beroende på regnets längd och intensitet.

En ytterligare faktor som pekar på att asfaltens skick påverkar avrinningen är att vid mer högintensiva regn är differensen mellan det uppmätta flödet vid utloppen och det teoretiska flödet betydligt lägre än årsmedeldifferensen, se *Tabell 5* och *Tabell 6*.

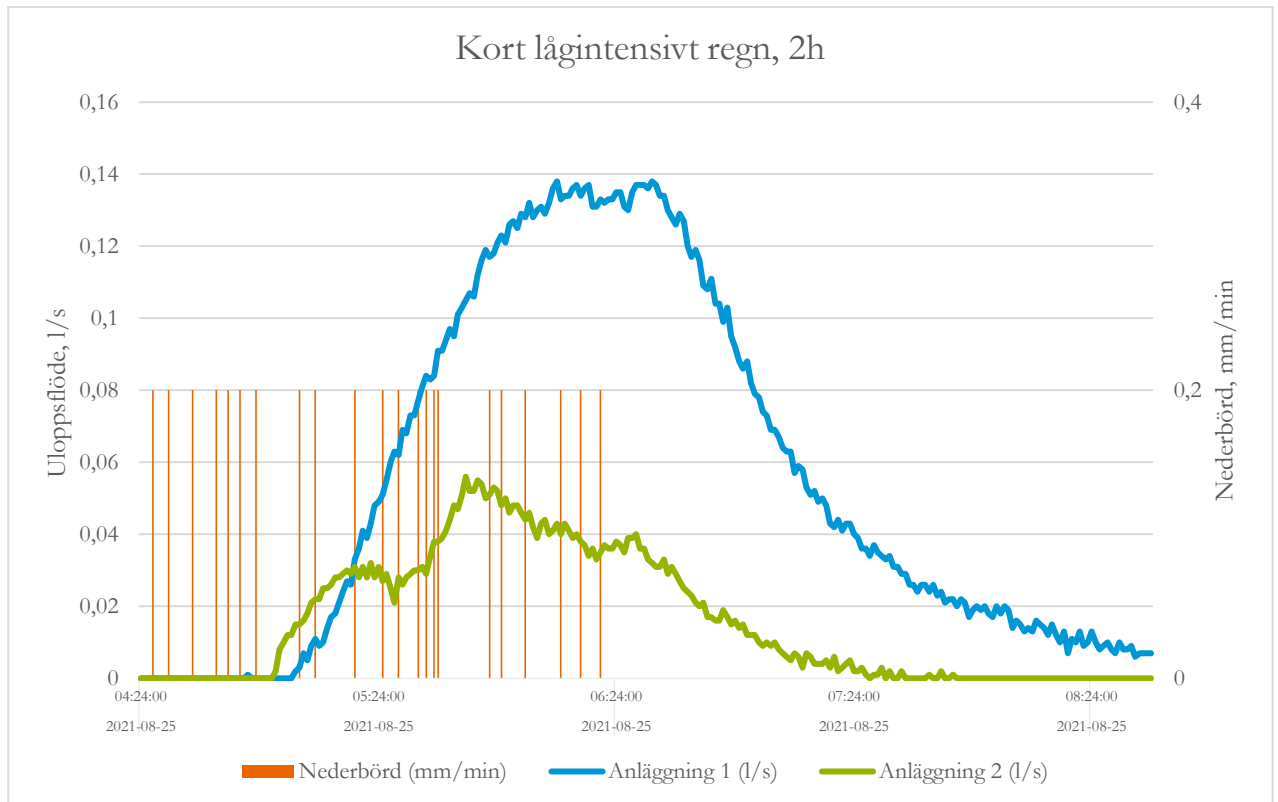
För att kunna jämföra tillrinning vid hög- och lågintensiva nederbördstillfällen behövdes ett referensvärde på hur mycket den verkliga volymen efter ett nederbördstillfälle skiljer mot den teoretiska volymen vid samma nederbördsmängd.

Detta räknades ut genom att ta nederbördsvärdena och den uppmätta volymen för provperiod 8 och 10, de provperioder som har mest pålitliga data, och jämföra med den teoretiska volymen för samma nederbördsmängd, area och avrinningskoefficient, se *Tabell 7*.

Uträkningen av detta finns i *Bilaga 8 – Referensvärde procent av teoretiskt flöde*.

Tabell 7 Referensvärde procent av teoretiskt flöde.

	Medelvärde
Referensvärde anläggning 1	56%
Referensvärde anläggning 2	26%



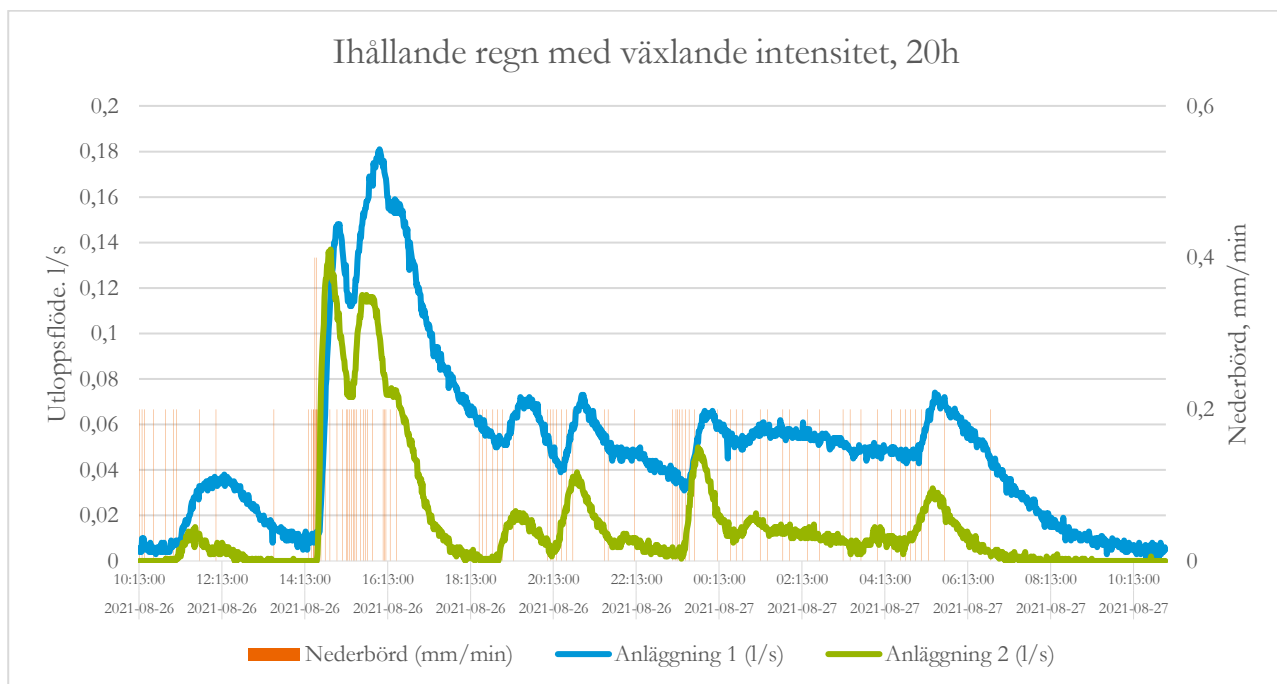
Figur 45 Nederbörd och flöde för ett kort lågintensivt regn på 2h.

Figur 45 visar ett kortvarigt, lågintensivt regn där nederbörden aldrig överskrider 0,2mm/min. I detta regn så ligger volymen för anläggning 1 precis på referensvärdet 56%, men volymen för anläggning 2 är under referensvärdet 26% , se Tabell 8.

Tabell 8 Differens mellan teoretiskt flöde och uppmätt flöde vid ett lågintensivt regn.

Total nederbörd 4,4 mm

Differens	Teoretiskt volym (l)	Uppmätt volym (l)	Differens (l)	Differens (%)
Anläggning 1	1489	838	-651	56%
Anläggning 2	1183	243	-939	21%



Figur 46 Nederbörd och flöde för ett ihållande regn med växlande intensitet på 20h.

Vid mer högentensiv nederbörd, se Figur 46 (ca kl. 15:00) går flödet för anläggning 2 upp mot 0,14 l/s, vilket tyder på att flödesvägarna för vattnet förändras. Detta beror troligtvis på att vägbanan inte är helt plan och vattnet finner nya vägar, i detta fall mot anläggning 2 jämfört med den teoretiska modellen. se Figur 43 och Figur 44.

I detta regn så ligger volymen för anläggning 1 över referensvärdet, men volymen för anläggning 2 ligger nära referensvärdet se Tabell 9

Tabell 9 Differens mellan teoretiskt flöde och uppmätt flöde vid ett ihållande regn med växlande intensitet.

Total nederbörd 4,4 mm.

Differens	Teoretiskt volym (l)	Uppmätt volym (l)	Differens (l)	Differens (%)
Anläggning 1	6227	4532	-1695	73%
Anläggning 2	4946	1483	-3463	30%

Regnintensitetens påverkan på avrinningsarean

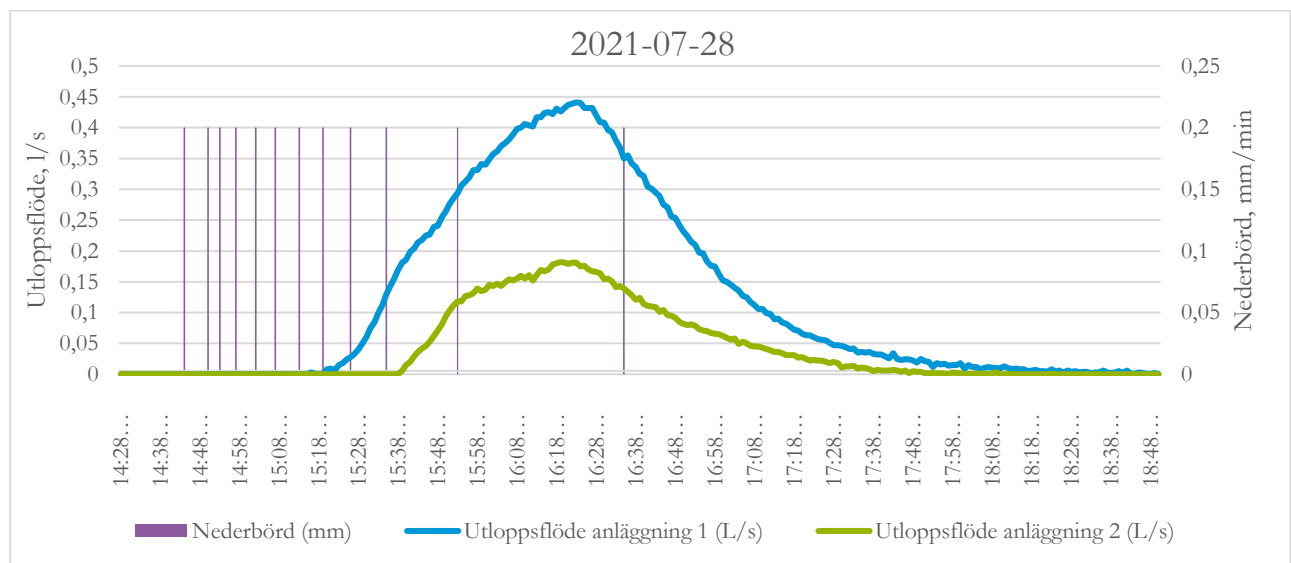
Utifrån Figur 45 och Figur 46 går det att se att utflödet från anläggning 2 minskar

nästan direkt då nederbörden minskar i intensitet eller slutar medan flödet ut från anläggning 1 fortsätter med liknande intensitet över längre tid.

Hade avrinningsareornas ytjämnhet och lutning varit idealt (d.v.s. plana och utan friktion) så skulle flödesfördelningen varit närmare de teoretiska flödena vilka är baserade på underlag från Nacka kommun.

4.10. Fördröjning

Fördröjning av flödet är i medeltal 2,3 timmar för anläggning 1 (pimpstenssubstrat) och 1,2 timme för anläggning 2 (biokolssubstrat). Då regnbäddarna inte har någon flödesmätare vid inloppen så har nederbördsmätaren och flödesmätaren för utloppet använts i stället för att beräkna fördröjningen. Detta har gjorts genom att mäta tiden mellan sista registrerade impulsen från nederbördsmätaren och när utloppflödesmätaren registrerar mindre än 0,005 l/s. Utloppsflödet på mindre än 0,005 l/s används i stället för exakt 0 l/s för att minska de felmarginaler som följer med mätosäkerheten. Stickprovskontroller har gjorts på fem nederbördstillfällen, se *Figur 47 och Tabell 10*.



Figur 47 Exempel på nederbörd för specifikt nederbördstillfälle 2021-07-28.

Tabell 10 Fördröjningsdata från fem undersökta nederbördstillfällen.

Datum	Nederbörds- slut	Anl. 1 flödesslut	Anl. 1 fördröjning (min)	Anl. 2 flödesslut	Anl. 2 fördröjning (min)
2021-06-12	19:29	21:45	136	20:47	78
2021-06-23	15:55	17:45	110	17:11	76
2021-07-28	16:35	18:21	106	17:50	75
2021-07-31	19:50	22:28	158	21:38	108
2021-08-18	15:33	18:38	185	16:48	75

Medelfördröjning över ovanstående nederbördstillfällen

Anläggning 1 139 minuter

Anläggning 2 82 minuter

5. Diskussion

Utformningen av anläggningarna möjliggjorde en utvärdering av fördröjning och reningseffekten för systemen i sin helhet. Det går däremot inte att säga vilket substrat som är mest effektivt gällande fördröjning och rening. Detta då substraten inte har jämförts mot varandra i samma volym och vikt, samma specifika yta eller motsvarande porositet. För denna typ av analys hade designen behövt vara mer kontrollerad. Fler mätpunkter med kontrollerat inflöde hade behövts, samt en idé om hur bäddarna förändras med tiden.

För att bättre förstå lakning och rening av näringsämnen, hade bäddarna behövt undersökas under en längre tid, för att se om lakningen efterhand når en stabil nivå, eller avtar. Substratens igensättning av porer, samt eventuell mättnad av sorptionsplatser hade varit bra bakgrundsdata, för att mer i detalj förstå regnbäddarnas rening över tid.

Den uppmätta reningseffekten skiljer sig från Stormtacs modellerade värden särskilt när det gäller P, Zn och Pb. I Stormtac används schablonvärden och det tas inte hänsyn till specifika förhållanden.

6. Slutsatser

6.1. Reningseffekt

Det finns en reningseffekt i båda anläggningarna, men pimpstenssubstratet är mer effektivt än substratet med biokol. Detta kan delvis bero på att anläggning 1 har en signifikant längre fördröjning än anläggning 2. Reningseffekten varierar mellan olika föroreningar och är specifik. Mest effektiv är reningen för mikroplaster och partiklar, vilket bedöms bero på att den fysikaliska filtreringen är effektiv. Rening av olika metaller varierar kraftigt, där rening av zink är mest effektiv, troligen beroende på att zink sitter bundna till partiklar. Arsenik däremot, går rakt igenom systemet, troligen beroende på att den förekommer som ett negativt komplex, som inte binder till substratytor. Bly, koppar, kobolt och vanadin är efter zink, de metaller som renas mest effektivt genom systemen. Under året är reningseffekten tydligast under höst och vinter då det är mycket nederbörd, sannolikt för att mest vatten tar sig igenom systemen under dessa årstider, vilka tar med sig föroreningar från vägbanan.

Anläggningen med pimpstenssubstrat är generellt mer effektiv för rening, även om det finns några ämnen som bättre renas i biokolsubstratet. Eftersom den fysikaliska filtreringen fungerar bra i båda anläggningarna, men regnbäddarna lakar näringsämnen under testperioden, är troligen näringsfattiga regnbäddar att föredra där det huvudsakliga syftet med anläggningarna är rening.

6.2. Fördröjning

Fördröjningen är i medeltal 2,3 timmar för anläggning 1 (pimpsten) och 1,2 timme för anläggning 2 (biokol). Fördröjningen sker i två steg. Steg ett är i regnbädden där vatten infiltrerar genom trädets växtsubstrat, vid höga flöden kan även vatten dämna ovanpå regnbädden (ca 20 cm). Steg två sker i krossmagasinet under regnbäddarna, krossmagasinet är gemensamt för båda regnbäddarna i respektive anläggning. Om fördröjningen sker i steg 1 eller steg 2 kan inte besvaras då flödesmätningen görs vid utlopp för hela anläggningarna och vid bräddning passerar inte vattnet regnbäddarna utan rinner direkt ner i krossmagasinet.

6.3. Volymreduktion

En volymreduktion sker sannolikt i form av avdunstning och uppfyllnad av porer från regnbädden och det vatten träden tar upp. Detta har ej kunnat mätas då flödet in till anläggningarna är beräknat utifrån tillrinningsarea och nederbörd. Den förväntade volymreduktionen är sannolikt mindre än de osäkerheter som finns i tillrinningsareorna. Volymreduktion går inte att utvärdera då träden hade låg livskraft och var små samt att det skulle behövts ytterligare mätningar.

7. Referenser

[1] Svenskt Vatten (2019) Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten. Rapport nr 2019–2020.

[2] Grön Nano Innovativ Dagvattenhantering. Rekommendationer för filtermaterial i dagvattenbiofilter. Luleå Universitet.

[3] Sweco (2020) Regnbäddar Värmdövägen analysresultat och utvärdering av analyser. Granskningshandling. *Se Bilaga 9 – Analysresultat och utvärdering av analyser*

Bilagor

Bilaga I – Datablad pimpstenssubstrat



Bara Mineraler AB är marknadsledande i Europa inom förädling av plåtlera och pimpsten för inblandning i odlingssubstrat för yrkesmässig odling och anläggning. Med lera som bas, producerar vi också växtvårdande produkter för hortikultur. Bara Mineraler AB är ett innovativt kunskapsföretag med kontinuerlig produktutveckling. Vi marknadsför och säljer produkterna, i Sverige och övriga Europa, direkt och via återförsäljare.

Bara Mineraler AB | Malmövägen 503, 233 64 Bara | Tel. 040 – 54 22 10 | info@baramineraler.se |

www.baramineraler.se [®]

Hekla Regnbädd

Produkten är ett aktivt substrat baserat på pimpsten, grönkompost och sand som kombinerar gröna miljöer med dagvattenhantering. Dagvatten som leds in över ytan infiltreras snabbt ner i bädden för att sedan absorberas i substratet. Pimpstens egenskaper bidrar till ett utmärkt odlingssubstrat samtidigt som det är ett effektivt magasin för att buffra och fördröja dagvatten. Växtligheten bidrar samtidigt till att förbruka dagvatten.

RÅVARA

Produkten är en blandning av Hekla[®] Pimpsten (2-8 mm), grönkompost och sand. Finns med tillsats av biokol som tillval.

ANVÄNDNING

Produkten är främst avsedd att användas till regnbäddar/biofilter/"rain gardens".

TILLVERKNING

Råvarorna blandas till en homogen blandning. Inblandningen av pimpsten utgör ca 40 volymprocent.

EMBALLAGE

Hekla[®] Regnbädd finns att tillgå som lösvara (ca 900 kg/m³). Produkten kan också fås förpackad i 1000 liters storsäck och då är vikten per pallast ca 925 kg.

FYSIKALISKA EGENSKAPER

Bulkdensitet, fuktig:	ca 900 kg/m ³
Bulkdensitet vid fältkapacitet:	ca 1400 kg/m ³
Porvolym, total:	60 %
Vattenhållande porvolym vid –30 cm tryck:	50 %
Luftfylld porvolym vid –30 cm tryck:	10 %

VÄXTNÄRINGSANALYS (typiska värden)

Element	Enhet	Halt
pH		6,5-7,9

KEMISK SAMMANSÄTTNING (typiska värden)

Element	Enhet	Halt
Organiskt material	% vikt	4-7



2016-12-19

Bilaga 2 – Datablad biokolssubstrat

Produktspecifikation



CARBOFEX OY

PRODUCT PROPERTIES

Product name: Carbofex Biochar Natural

Surface area	550 m/g
Fixed carbon (FC)	>90 %
Bulk density	~200 kg/m ³

Conductivity	21,5 mS/m
Moiture content	30 - 50%
Ash	1,6-4%
PAH	~5 mg/kg, d
pH	~10

Total Phosporous (P)	270mg/kg, d
Water soluble Phosphorus	<10 mg/kg, d
Total potassium (K)	3200 mg/kg, d
Water soluble potassium	1990 mg/kg, d
Total nitrogen (TOT N)	0.6 - 0.8 %

Heavy metals

Arsenic (As)	<0,5 mg/kg, d
Cadmium (Cd)	0,04 mg/kg, d
Chromium (Cr)	13mg/kg, d
Copper (Cu)	4,7 mg/kg, d
Lead (Pb)	4,2 mg/kg, d
Nickel (Ni)	13 mg/kg, d
Zink (Zn)	56 mg/kg, d
Mercury (Hg)	<0,02mg/kg, d

Pyrolysis temperature	~600°C, <10 min, continuous
Feed stock and origin	PEFC-certified Spruce, max distance of harvest 80 km from the production facility Approved for organic production

Intended use substrate, filterin media, compost additive, feed supplement

Producer: Carbofex Oy
Tehdaskartanonkatu 25
33400 TAMPERE, Finland
carbofex.fi
info@carbofex.fi

EBC certifiering



Art:86683 Biokol, EBC- premium- certifierad

Biokol av träflis framställd genom pyrolysis, syrefri förbränning.

För jordförbättring av såväl tunga lerjordar som lätta sandjordar. Används i alla kolmakadamblandningar. Biokolen har en unik förmåga att hålla vatten och näring. Biokolen måste "laddas" med näring innan den används i växtbäddar.

Innehåll:
Träflis 0-10 mm

Bulkdensitet: ca 180-200 kg/m³

ph-värde: 9-10
Kolhalt: >90%

Askhalt 1,6-4%

Artnr	Leveranssätt	Mängd
86683	Storsäck	1750 liter/st



RÖLUNDA KUNDTJÄNST:

Telefon: 018-344270, Fax: 018-344086, mail: order@rolunda.se

Analys av biokolsubstrat



q.inspecta

Number of certificate: BINT-5423

Carbofex Oy
Tehdaskartanonkatu 25
33400 Tampere
FINLAND

Operator number: 70783

The products and activities of that operator are certified according to the following standards:



European Biochar Certificate

Main activities: Storage, Preparation

The certification details of products and activities are listed under www.EASY-CERT.com/CH/70783.

Valid to:

31.12.2020

Frick, 22.01.2020



Peter Jossen
President of board of directors



Ueli Steiner
Director

This Certificate n° BINT-5423 is valid until the issue of the new Certificate, but will expire no later than 31.12.2020. q.inspecta reserves the right to revoke this certification. Changes are subject to penalty under the criminal code.



q.inspecta GmbH

Ackerstrasse
CH-5070 Frick
Phone +41 (0)62 865 63 00
www.q-inspecta.ch



Eurofins Umwelt Ost GmbH - Lindenstraße 11

Gewerbegebiet Freiberg Ost - D-09627 - Bobritzsch-Hilbersdorf

**Carbofex Oy Hiedanranta Tehdaskartanonkatu 25
33400 Tampere FINLAND**

Title : **Test report for order 11937326**

Test report number : **AR-20-FR-001307-01**

Project name : **Analysis of Biochar**

Number of samples : 1

Sample type : **biochar**

Date of sample taking : **2019-10-25**

Sample Taker: **Client**

Sample reception date : **2019-11-15**

Sample processing time : **2019-11-25 - 2020-01-14**

Report number : **AR-20-FR-001307-01**

The test results refer solely to the analysed test specimen. Unless the sampling was done by our laboratory or in our sub-order the responsibility for the correctness of the sampling is disclaimed. This test report is only valid with signature and may only be further published completely and unchanged. Extracts or changes require the authorisation of the EUROFINS UMWELT in each individual case.

Our General Terms & Conditions of Sale (GTCS) are applicable, as far as no specific agreements do exist. The GTCS are available on <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx>.

Accredited test laboratory according to DIN EN ISO/IEC 17025:2005 notification under the DAkkS German Accreditation System for Testing. The laboratory is according (D-PL-14081-01-00) accredited.

Attachments

119151607-1

119151607-2

Dr. Sabine Bandemer Digitally signed 1/14/202 Analytical Services
Manager Phone +49 37312076608
Annett Rietschel
Prüfleitung



Eurofins Umwelt Ost GmbH

Löbstedter Strasse 78 D-07749 Jena

Phone +49 3641 4649 0

Fax +49 3641 4649 19 info_jena@eurofins.de www.eurofins.de/umwelt

Parameter	Lab	Accr.	Method	Limit values				Sample number		Description		
				GW 1 ar	GW 1 db	GW 2 ar	GW 2 db	LOQ	Unit	03006058		
										Date and time of sample taking		
										2019-10-25		
										119151607		
				GW 1 ar	GW 1 db	GW 2 ar	GW 2 db	LOQ	Unit	ar	db	
Biochar properties												
Bulk density	FR	JE02	DIN 51705: 2001-06						kg/m ³	-	130	-
specific surface (BET)	SUIB/ø		DIN 66137/DIN ISO 9277						m ² /g	-	-	279*
true density	SUIB/ø		DIN 66137/DIN ISO 9277						g/cm ³	-	-	1.8
Protein, crude	FR	JE02	VDLUFÄ Methodenbuch, Band III: 2014-09						% (w/w) dm	n.d. **	-	-
Fat, crude	FR	JE02	VDLUFÄ Methodenbuch, Band III: 2014-09						% (w/w) dm	n.d. **	-	-
Crude fibre	FR	JE02	VDLUFÄ Methodenbuch, Band III: 2014-09						% (w/w) dm	n.d. **	-	-
Moisture	FR	JE02	DIN 51718: 2002-06					0.1	% (w/w)	-	25.3	-
Ash content (550°C)	FR	JE02	DIN 51719: 1997-07					0.1	% (w/w)	-	1.9	2.6
HCl-insoluble ash	SA06/ø		VDLUFÄ III 8.2						Ma_% Raw Product	0.23	-	-
Fluor total (F)	SA06/ø	RE000 3D	VDLUFÄ VII, 2.2.2.1				150		mg/kg 88% DM	12	-	-
Hydrogen	FR	JE02	DIN 51732: 2014-07					0.1	% (w/w)	-	0.7	1.0
Carbon	FR	JE02	DIN 51732: 2014-07		> 50		> 50	0.2	% (w/w)	-	69.9	93.6
Total nitrogen	FR	JE02	DIN 51732: 2014-07					0.05	% (w/w)	-	0.48	0.65
Oxygen	FR	JE02	DIN 51733: 2016-04						% (w/w)	-	2.0	2.6
Total inorganic carbon (TIC)	FR	JE02	DIN 51726: 2004-06					0.1	% (w/w)	-	0.2	0.3
carbonate-CO2	FR	JE02	DIN 51726: 2004-06					0.4	% (w/w)	-	0.8	1.1
carbon (organic)	FR	JE02	tetecbaet						% (w/w)	-	69.7	93.3
H/C ratio (molar)	FR	JE02	tetecbaet		< 0.6		< 0.6			-	0.13	0.13
H/Corg ratio (molar)	FR	JE02	tetecbaet		< 0.7		< 0.7			-	0.13	0.13
O/C ratio (molar)	FR	JE02	tetecbaet		< 0.4		< 0.4			-	0.021	0.021
Sulphur (S), total	FR	JE02	DIN 51724-3: 2012-07					0.03	% (w/w)	-	< 0.03	< 0.03
pH in CaCl2	FR		DIN ISO 10390: 2005-12	10		10				-	9.5	-
Conductivity	FR		BGK III. C2: 2006-09					5	µS/cm	-	257	-
salt content	FR		BGK III. C2: 2006-09					0.005	g/kg	-	0.702	0.940

				Limit values				Sample number		119151607		
Parameter	Lab	Accr.	Method	GW 1 ar	GW 1 db	GW 2 ar	GW 2 db	LOQ	Unit	ar	db	
								Description		03006058		
								Date and time of sample taking		2019-10-25		
								Sample number		119151607		
salt content	FR		BGK III. C2: 2006-09					0.005	g/l	-	0.091	0.122
thermogravimetry TGA 950°C by N-Atm.	FR		TGA 701 D4C							-	see attachment	-
Polychlorinated biphenyl (12 WHO PCB) by GC-HRMS												
PCB 77	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	3	-	-
PCB 81	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	< 0.2	-	-
PCB 105	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	8.7	-	-
PCB 118	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	31	-	-
PCB 114	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	< 3	-	-
PCB 123	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	< 2	-	-
PCB 126	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	< 0.3	-	-
PCB 156	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	< 2	-	-
PCB 157	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	< 2	-	-
PCB 167	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	2.9	-	-
PCB 169	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	< 0.3	-	-
PCB 189	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	< 3	-	-
WHO(2005)-PCB TEQ (lower-bound)	SA06/e		analog DIN 38407-3						ng/kg dW	0.00158	-	-
WHO(2005)-PCB TEQ (upper-bound)	SA06/e		analog DIN 38407-3				0.35		ng/kg dW	0.041	-	-
WHO(2005)-PCB TEQ (upper-bound)	SA06/e		betacool						ng/kg 88% DM	0.0361	-	-

Parameter	Lab	Accr.	Method	Limit values				LOQ	Unit	Description		
				GW 1 ar	GW 1 db	GW 2 ar	GW 2 db			03006058		
									Date and time of sample taking			
									2019-10-25			
									Sample number			
									119151607			
Polychlorinated biphenyl (7 PCB) by GC-HRMS												
Parameter	Lab	Accr.	Method	GW 1 ar	GW 1 db	GW 2 ar	GW 2 db	LOQ	Unit	ar	db	
PCB 28	SA06/b		DIN EN 15305:2008-05						µg/kg 88% DM	0.12	-	-
PCB 52	SA06/b		DIN EN 15305:2008-05						µg/kg 88% DM	0.21	-	-
PCB 101	SA06/b		DIN EN 15305:2008-05						µg/kg 88% DM	0.12	-	-
PCB 153	SA06/b		DIN EN 15305:2008-05						µg/kg 88% DM	0.049	-	-
PCB 138	SA06/b		DIN EN 15305:2008-05						µg/kg 88% DM	0.048	-	-
PCB 180	SA06/b		DIN EN 15305:2008-05						µg/kg 88% DM	< 0.020	-	-
Total 6 Indicator PCB excl. LOQ	SA06/b		DIN EN 15305:2008-05				10		µg/kg 88% DM	0.56	-	-
Elements from the <u>micro wave</u> pressure digestion acc. to DIN 22022-1: 2014-07												
Copper (Cu)	FR	JE02	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02		< 100		< 100	1	mg/kg	-	-	9
Nickel (Ni)	FR	JE02	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02		< 50		< 30	1	mg/kg	-	-	28
Zinc (Zn)	FR	JE02	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02		< 400		< 400	1	mg/kg	-	-	83
Chromium (Cr)	FR	JE02	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02		< 90		< 80	1	mg/kg	-	-	43
Boron (B)	FR	JE02	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02					1	mg/kg	-	-	10
Manganese (Mn)	FR	JE02	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02					1	mg/kg	-	-	533

Parameter	Lab	Accr.	Method	Limit values				LOQ	Unit	Sample number		
				GW 1 ar	GW 1 db	GW 2 ar	GW 2 db			119151607		ar
Elements fr. the borate digestion of ash 550°C acc. to DIN 51729-11:1998-11 (OS)												
Calcium (Ca)	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09						% (w/w)	-	-	0.6
Iron (Fe)	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09						% (w/w)	-	-	0.0
Potassium (K)	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09						% (w/w)	-	-	0.2
Magnesium (Mg)	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09						% (w/w)	-	-	0.1
Sodium (Na)	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09						% (w/w)	-	-	0.0
Phosphorus	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09						% (w/w)	-	-	0.0
Sulphur (S)	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09						% (w/w)	-	-	0.0
Silicon (Si)	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09						% (w/w)	-	-	0.2
Elements from toluene extraction												
Naphthalene	SA06/c		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	630	-	-
Acenaphthylene	SA06/c		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	46	-	-
Acenaphthene	SA06/c		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	450	-	-
Fluorene	SA06/c		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	24	-	-
Phenanthrene	SA06/c		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	92	-	-
Anthracene	SA06/c		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	31	-	-
Fluoranthene	SA06/c		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	29	-	-
Pyrene	SA06/c		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	34	-	-

										Description		03006058			
										Date and time of sample taking		2019-10-25			
										Limit values		Sample number		119151607	
Parameter	Lab	Accr.	Method	GW 1 ar	GW 1 db	GW 2 ar	GW 2 db	LOQ	Unit	ar	db				
Elements from the pressure digestion acc. to DIN EN 13805: 2014-12															
Arsenic (As)	SA06/0	RE000 3D	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02				2		mg/kg 88% DM	0.036	-	-			
Lead (Pb)	SA06/0	RE000 3D	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02				10		mg/kg 88% DM	0.12	-	-			
Cadmium (Cd)	SA06/0	RE000 3D	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02				1		mg/kg 88% DM	0.0060	-	-			
Mercury (Hg)	SA06/0	RE000 3D	DIN EN ISO 15763:2010-04				0.1		mg/kg 88% DM	0.0024	-	-			
Elements fr. the borate digestion of ash 550 °C acc. to DIN 51729-11: 1998-11															
Phosphorus as P2O5	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09					0.1	% (w/w)	-	-	0.6			
Magnesium as MgO	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09					0.1	% (w/w)	-	-	4.5			
Calcium as Calciumoxid	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09					0.1	% (w/w)	-	-	31.9			
Potassium as K2O	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09					0.1	% (w/w)	-	-	8.0			
Sodium as Na2O	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09					0.1	% (w/w)	-	-	0.6			
Iron as Fe2O3	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09					0.1	% (w/w)	-	-	1.2			
Silicon as SiO2	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09					0.1	% (w/w)	-	-	12.6			
sulphur as SO3	FR	JE02	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09					0.1	% (w/w)	-	-	1.3			

				Limit values				Sample number		119151607		
Parameter	Lab	Acc.	Method	GW 1 ar	GW 1 db	GW 2 ar	GW 2 db	LOQ	Unit	ar	db	
										Description		03006058
										Date and time of sample taking		2019-10-25
										Sample number		119151607
Benz(a)anthracene	SA06/0		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	< 10	-	-
Chrysene	SA06/0		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	< 10	-	-
Benzo(b)fluoranthene	SA06/0		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	< 10	-	-
Benzo(k)fluoranthene	SA06/0		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	< 10	-	-
Benzo(a)pyrene	SA06/0		DIN ISO 13877				25	10	µg/kg 88% DM	< 10	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	SA06/0		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	15	-	-
Dibenz(a,h)anthracene	SA06/0		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	< 10	-	-
Benzo(g,h,i)perylene	SA06/0		DIN ISO 13877					10	µg/kg 88% DM	100	-	-
Total 16 EPA-PAH excl. LOQ	SA06/0		DIN ISO 13877						µg/kg 88% DM	1500	-	-
Total 16 EPA-PAH excl. LOQ	SA06/0		beroches		12		4		mg/kg dw	1.7	-	-

Explanations

LOQ - Limit of quantification

ar - as received

db - dry basis

Lab - Abbreviation of the performing laboratory

Accr. - Abbreviation of the accreditation of the performing laboratory

GW 2: highest concentration according to Directive 2002/32/EC on undesirable substances in animal feed in the latest version

* Comment on parameter 'specific surface (BET)': negative C-values, BET too low

The C-value is a qualitative measure for the pore volume distribution. A negative C-value is an indication for a high portion of micropores, whose surface can only be measured insufficiently with the method chosen.

** n.d. - not determined:

These methods apply for animal feed conventional type. The methods are not validated for the matrix biochar and can lead to implausible results.

"Crude protein, crude fibre and crude fat are completely decomposed in the process of pyrolysis and therefore no longer existent in the biochar. Biochar is considered as completely pyrolyzed, if the H/C_{org} ratio is below 0.7. If the H/C_{org} ratio is below 0.7 according to EBC premium, the analysis of crude protein, crude fibre and crude fat can be spared, as their content is specified as 0 g/kg by definition." [1]

[1] - EBC (2012) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.europeanbiochar.org/en/download>. Version 8.2E of 19th April 2019, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043

GW 2: highest concentration according to Directive 2002/32/EC on undesirable substances in animal feed in the latest version

The parameters identified by FR have been performed by the laboratory Eurofins Umwelt Ost GmbH (Bobritzsch-Hilbersdorf). The accreditation code JE02 identifies the parameters accredited according to DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00

The parameters identified by SA06 have been performed by the laboratory SYNLAB Analytics & Services Germany GmbH (Jena). The accreditation code RE0003D identifies the parameters accredited according to DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14004-10-00

The parameters identified by SUIB have been performed by the laboratory TU Bergakademie Freiberg (IEC) (Freiberg).

/o - The analysis has been outsourced.

Explanations regarding Limits

Analysis performed according to guidelines for sustainable production of biochar of the ~~European~~ biochar certificate.

GW 1: basic quality grade (~~referred~~ to dry basis)

GW 2: premium quality grade (~~referred~~ to dry basis)

~~Ho.V / Hu.p~~: complies calorific value at constant volume or pressure

EUROFINS UMWELT assumes no responsibility for the legal liability of the cited limits.

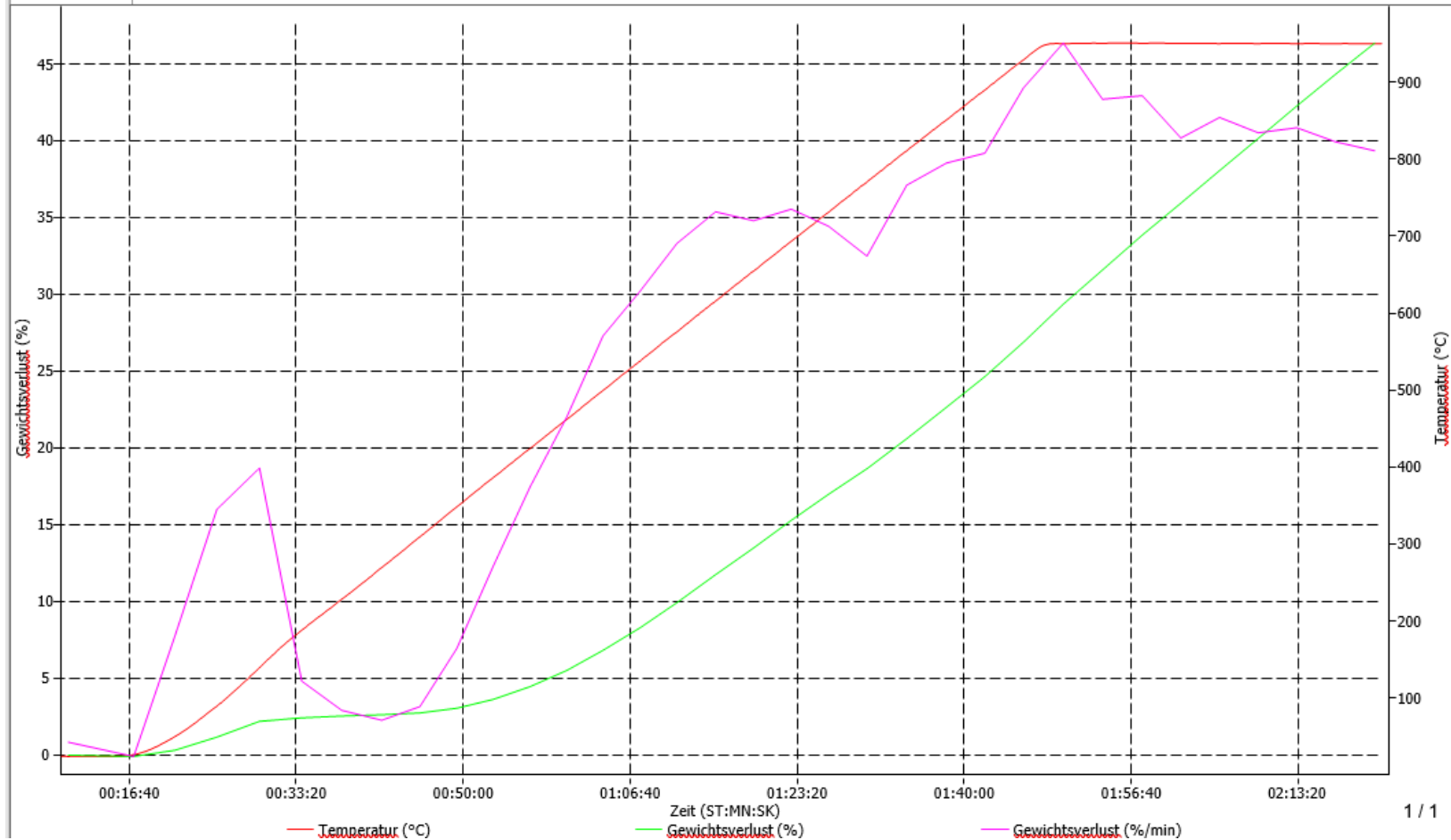
Attachment to report AR-20-FR-001307-01 : 119151607-1

TGA 701

12/11/2019 9:10:14 AM

Name	Position	Kommentar	Ausgangsgewicht	Methode	Wasser	Asche 550	Asche 815	GV 550	Datum der Analyse	(wf) GV 550	TGA 950
119151607	11	gaus	1.1393	TGA 950 N (Pflanzkohle)					12/11/2019 9:02:29 AM	46.37	

TGA 950
46.37



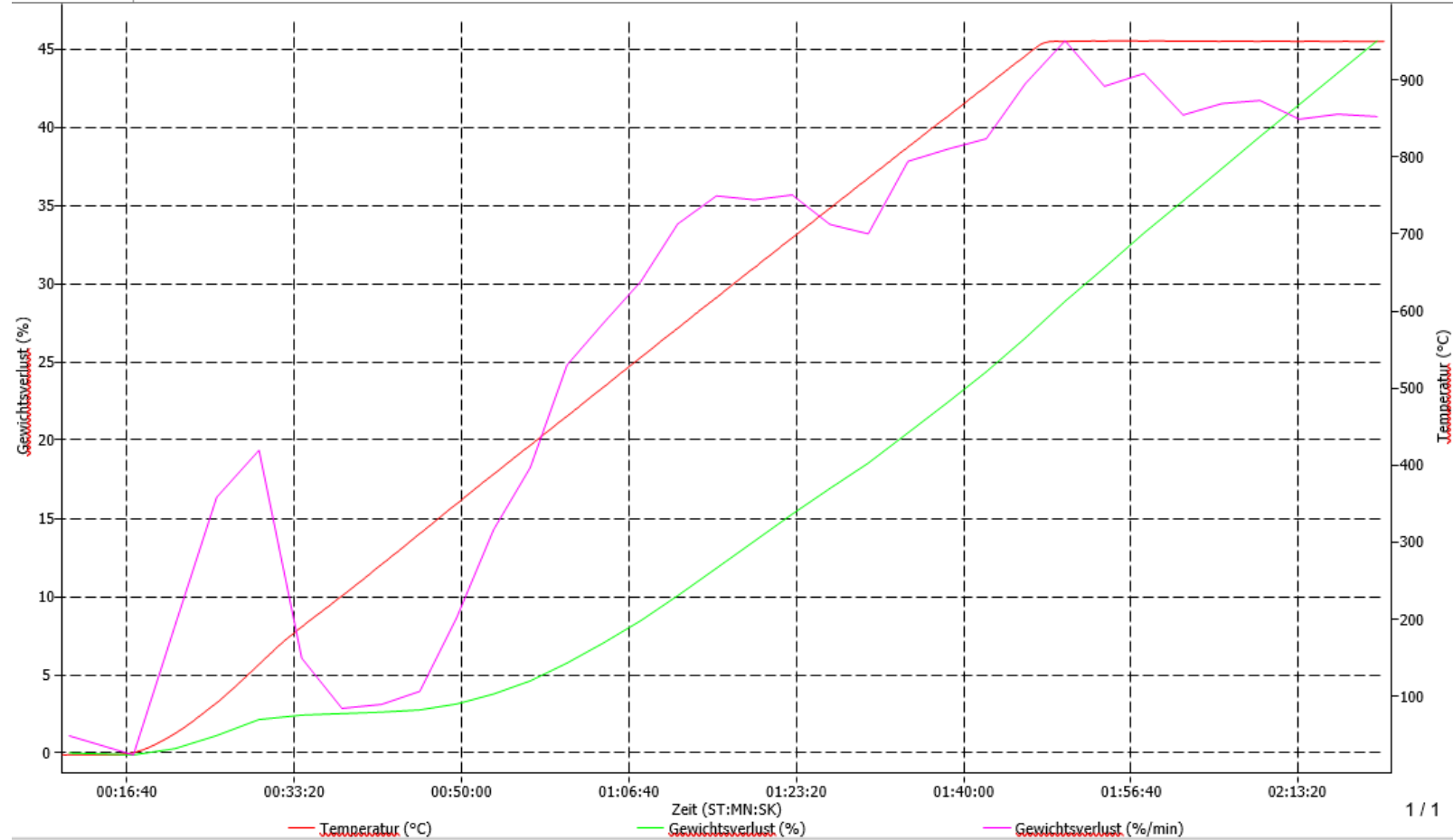
Attachment to report AR-20-FR-001307-01 : 119151607-2

TGA 701

12/11/2019 9:10:39 AM

Name	Position	Kommentar	Ausgangsgewicht	Methode	Wasser	Asche 550	Asche 815	GV 550	Datum der Analyse	(wf) GV 550	TGA 950
119151607	12	gaus	1.2725	TGA 950 N (Pflanzenkohle)					12/11/2019 9:02:29 AM	45.53	

TGA 950
45.53



Bilaga 3 – Fullständig StormTac rapport

StormTac Web v21.4.2

Datum: 2021-11-15

Resultatrapport StormTac Web

I denna resultatrapport redovisas in- och utdata (resultat) från simulering med StormTac Web.

1. Avrinning

1.1 Indata

Avrinningsområden

Volymavrinningskoefficienter φ_v och area per markanvändning (ha).

Markanvändning	φ_v	φ	A1 A1+A2 Pimpsten	A2 A3+A4 Biokol	Tot
Egen 1 (Tillrinningsarea)	0.80	0.80	0.024	0.0087	0.033
Totalt	0.80	0.80	0.024	0.0087	0.032
Reducerad avrinningsyta (ha_{red})			0.019	0.0070	0.026
Reducerad dim. area (ha_{red})			0.019	0.0070	0.026

Övriga dimensionerande indata

		A1 A1+A2 Pimpsten	A2 A3+A4 Biokol
Återkomsttid	år	5.0	5.0
Klimatfaktor	f_c	1.00	1.00
Rinnsträcka	m	20	20
Rinnhastighet	m/s	1.0	1.0
Dim. regnvaraktighet	min	10	10

1.2 Utdata

Flöden

		A1 A1+A2 Pimpsten	A2 A3+A4 Biokol	Tot
Tot. avrinning, årsmedel (basflöde + avrinning)	m ³ /år	110	41	150
Tot. avrinning, årsmedel (basflöde + avrinning)	l/s	0.0035	0.0013	
Medelavrinning	l/s	0.057	0.021	
Dim. flöde	l/s	3.4	1.3	

Dim. flöde total 4.7 l/s vid Dim. regnvaraktighet 10 min

Detta summerade flöde baseras på Rationella metoden där delflöden per varaktighet summerats för olika områden (samma flöden som visas i Dim. flödestabellen) och värdet gäller inte om funktionen för Naturmarksavrinning använts (anges i boxen Dim. flöde).

2. Föreningstransport

2.1 Utdata

Föreningensmängder (dagvatten+basflöde) utan rening

Föreningensmängder (kg/år)

#	Kommentar	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16	BaP	AAy	AAe	FLU	PHE	PYR	BaA	CHR	BahA	ANT	FLUO	NAP	BbF	BkF	BgP	IND	As	NH4-N
A1	A1+A2 Pimpsten	0.014	0.15	0.00067	0.0060	0.028	0.0000089	0.0014	0.00074	0.000035	0.0000020	0.00000029	0.00000029	0.00000029	0.0000012	0.0000099	0.0000015	0.0000015	0.00000085	0.00000035	0.0000060	0.0000087	0.0000043	0.0000011	0.0000051	0.0000021	0.0000079	0.016
A2	A3+A4 Biokol	0.0050	0.055	0.00025	0.0022	0.010	0.0000033	0.00050	0.00027	0.000013	0.00000075	0.00000011	0.00000011	0.00000011	0.00000044	0.0000036	0.00000056	0.00000055	0.00000031	0.00000013	0.0000022	0.00000032	0.0000016	0.00000040	0.0000019	0.00000078	0.0000029	0.0057
	Total	0.018	0.20	0.00092	0.0082	0.039	0.000012	0.0019	0.0010	0.000048	0.0000028	0.00000040	0.00000040	0.00000040	0.0000016	0.000013	0.0000021	0.0000021	0.0000012	0.00000047	0.0000081	0.0000012	0.0000058	0.0000015	0.0000069	0.0000029	0.00011	0.021

Föreningensmängder (kg/ha/år) (dagvatten+basflöde) utan rening

P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16	BaP	AAy	AAe	FLU	PHE	PYR	BaA	CHR	BahA	ANT	FLUO	NAP	BbF	BkF	BgP	IND	As	NH4-N	
kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år
0.57	6.3	0.028	0.25	1.2	0.00038	0.058	0.031	0.0015	0.000086	0.000012	0.000012	0.000012	0.000050	0.00042	0.000064	0.000063	0.000036	0.000015	0.00025	0.000037	0.00018	0.000046	0.00021	0.000090	0.0033	0.66	

Föreningenshalter (µg/l) (dagvatten+basflöde) utan rening

Jämförelse mot gränsvärde där gränsmärkade fetstilta cellerna visar överskridelse av gränsvärde. Totala fraktioner avses där inget annat anges.

#	Kommentar	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16	BaP	AAy	AAe	FLU	PHE	PYR	BaA	CHR	BahA	ANT	FLUO	NAP	BbF	BkF	BgP	IND	As	NH4-N
A1	A1+A2 Pimpsten	120	1300	6.1	54	260	0.081	12	6.7	0.31	0.018	0.0026	0.0026	0.011	0.089	0.014	0.014	0.0077	0.0031	0.054	0.0079	0.038	0.0099	0.046	0.019	0.71	140	
A2	A3+A4 Biokol	120	1300	6.1	54	260	0.081	12	6.7	0.31	0.018	0.0026	0.0026	0.011	0.089	0.014	0.014	0.0077	0.0031	0.054	0.0079	0.038	0.0099	0.046	0.019	0.71	140	
	Total	120	1300	6.0	54	260	0.080	12	6.7	0.31	0.018	0.0026	0.0026	0.011	0.089	0.014	0.014	0.0077	0.0031	0.054	0.0078	0.038	0.0099	0.046	0.019	0.71	140	
Riktvärde		160	2000	8.0	18	75	0.40	10	15		0.030																	

3. Transport och flödesutjämning

3.1 Indata

Flödesutjämning

		A1	A2
Maximalt utflöde	Q _{out}	10	10
Klimatfaktor		1.00	1.00

3.2 Utdata

Flödesutjämning

		A1	A2
Erforderlig utjämningsvolym	V _{d,max}	0	0

4. Föroreningsreduktion

4.2 Utdata

Renings effekter (%)

#	Kommentar	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16	BaP	AAy	AAe	FLU	PHE	PYR	BaA	CHR	BahA	ANT	FLUO	NAP	BbF	BkF	BgP	IND	As	NH4-N
A1	A1+A2 Pimpsten	44	34	70	56	80	11	52	76	81	81	49	0	4.6	49	94	49	49	49	17	49	36	49	49	49	49	5.6	64
A2	A3+A4 Biokol	50	39	73	64	83	11	56	78	83	83	52	0	4.6	52	94	52	52	52	17	52	36	52	50	52	52	5.6	70

Avskiljd mängd (kg/år) (dagvatten + basflöde) efter rening

#	Kommentar	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16	BaP	AAy	AAe	FLU	PHE	PYR	BaA	CHR	BahA	ANT	FLUO	NAP	BbF	BkF	BgP	IND	As	NH4-N
A1	A1+A2 Pimpsten	0.0059	0.050	0.00047	0.0033	0.023	0.00000096	0.00071	0.00057	0.000028	0.000016	0.00000014	0	0.000000013	0.00000058	0.0000093	0.00000074	0.00000073	0.00000042	0.00000059	0.00000029	0.00000032	0.00000021	0.00000054	0.00000025	0.0000010	0.0000044	0.010
A2	A3+A4 Biokol	0.0025	0.021	0.00018	0.0014	0.0087	0.00000035	0.00028	0.00021	0.000011	0.00000062	0.000000056	0	0.0000000049	0.00000023	0.0000034	0.00000029	0.00000029	0.00000016	0.00000022	0.00000011	0.00000012	0.00000081	0.00000020	0.00000097	0.00000041	0.0000016	0.0040
Total		0.0084	0.072	0.00065	0.0047	0.032	0.0000013	0.00099	0.00078	0.000039	0.0000023	0.00000020	0	0.000000018	0.00000081	0.000013	0.0000010	0.0000010	0.00000058	0.00000080	0.00000041	0.00000043	0.00000029	0.00000074	0.00000035	0.0000015	0.0000060	0.014

Summa belastning kg/år efter rening

#	Kommentar	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16	BaP	AAy	AAe	FLU	PHE	PYR	BaA	CHR	BahA	ANT	FLUO	NAP	BbF	BkF	BgP	IND	As	NH4-N
A1	A1+A2 Pimpsten	0.0076	0.099	0.00020	0.0026	0.0056	0.00000080	0.00066	0.00018	0.0000066	0.00000039	0.00000015	0.00000029	0.00000028	0.00000061	0.00000056	0.00000078	0.00000077	0.00000044	0.00000029	0.00000030	0.00000055	0.00000022	0.00000056	0.00000026	0.0000011	0.0000074	0.0055
A2	A3+A4 Biokol	0.0025	0.033	0.000066	0.00079	0.0017	0.00000029	0.00022	0.000061	0.00000021	0.00000012	0.000000051	0.000000011	0.000000010	0.00000021	0.00000020	0.00000027	0.00000026	0.00000015	0.00000011	0.00000010	0.00000020	0.00000075	0.00000020	0.00000089	0.00000037	0.0000027	0.0017
Total		0.010	0.13	0.00027	0.0034	0.0073	0.000011	0.00088	0.00024	0.0000087	0.00000051	0.00000020	0.000000040	0.000000038	0.00000082	0.00000076	0.0000010	0.0000010	0.00000058	0.00000039	0.00000041	0.00000076	0.00000029	0.00000076	0.00000035	0.0000015	0.00010	0.0073

Summa belastning kg/ha/år efter rening

#	Kommentar	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16	BaP	AAy	AAe	FLU	PHE	PYR	BaA	CHR	BahA	ANT	FLUO	NAP	BbF	BkF	BgP	IND	As	NH4-N
A1	A1+A2 Pimpsten	0.32	4.2	0.0085	0.11	0.24	0.00034	0.028	0.0075	0.00028	0.000016	0.0000063	0.000012	0.000012	0.000026	0.000024	0.000033	0.000032	0.000018	0.000012	0.00013	0.000023	0.000092	0.000024	0.00011	0.000046	0.0031	0.23
A2	A3+A4 Biokol	0.29	3.8	0.0076	0.090	0.20	0.00034	0.026	0.0070	0.00024	0.000014	0.0000059	0.000012	0.000012	0.000024	0.000023	0.000031	0.000030	0.000017	0.000012	0.00012	0.000023	0.000086	0.000023	0.00010	0.000043	0.0031	0.20

Summa föroreningshalt µg/l efter rening

#	Kommentar	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16	BaP	AAy	AAe	FLU	PHE	PYR	BaA	CHR	BahA	ANT	FLUO	NAP	BbF	BkF	BgP	IND	As	NH4-N
A1	A1+A2 Pimpsten	69	890	1.8	24	51	0.072	5.9	1.6	0.060	0.0035	0.0013	0.0026	0.0025	0.0055	0.0051	0.0070	0.0069	0.0039	0.0026	0.028	0.0050	0.020	0.0051	0.023	0.0099	0.67	50
A2	A3+A4 Biokol	61	820	1.6	19	42	0.072	5.5	1.5	0.052	0.0030	0.0013	0.0026	0.0025	0.0051	0.0050	0.0066	0.0065	0.0037	0.0026	0.026	0.0050	0.018	0.0050	0.022	0.0092	0.67	43
Total		66	870	1.8	23	48	0.072	5.8	1.6	0.057	0.0034	0.0013	0.0026	0.0025	0.0054	0.0050	0.0069	0.0068	0.0038	0.0026	0.027	0.0050	0.019	0.0050	0.023	0.0096	0.67	48
Riktvärde		160	2000	8.0	18	75	0.40	10	15		0.030																	

Bilaga 4 – Jämförelse mellan resultat och StormTac

Följande tabeller jämför det uppmätta resultatet med det teoretiska från modelleringen i StormTac för att se hur verkligheten förhåller sig till teorin. För ytterligare data och tabeller se fullständigt Excel dokument.

Jämförelse av reningsmängd per år, uppmätt och teoretiskt i StormTac:

Jämförelse med StormTac av rening genom avskjild mängd per år								
	Pimpstenssubstrat uppmätt*	Pimpstenssubstrat StormTac	Procentuell skillnad	Biokolssubstrat uppmätt*	Biokolssubstrat StormTac	Procentuell skillnad		
As, arsenik	g/år	-0,17	0,004	-103%	-0,04	0,002	-104%	Metaller
Ba, barium	g/år	1,8	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	1,3	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
Cd, kadmium	g/år	0,00	0,001	-77%	0,001	0,004	-67%	
Co, kobolt	g/år	0,64	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	0,18	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
Cr, krom	g/år	0,87	0,71	-18%	0,23	0,28	20%	
Cu, koppar	g/år	3,8	3,3	-13%	1,2	1,4	17%	
Mo, molybden	g/år	-0,43	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	-0,20	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
Ni, nickel	g/år	-0,49	0,57	-216%	-0,27	0,21	-177%	
Pb, bly	g/år	0,42	0,47	13%	0,14	0,18	24%	
V, vanadin	g/år	0,96	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	0,31	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
Zn, zink	g/år	27	23	-13%	7,4	8,7	17%	Närsalter
NO3-N, nitrat som N	g/år	-24	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	2,4	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
nitrit som N	g/år	3,9	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	1,3	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
ammoniak- + ammoniumkväve	g/år	7,1	10	41%	3,4	4	16%	
PO4-P, fosfat som P	g/år	-90	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	-15	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
totalt fosfor som P	g/år	-83	5,9	-107%	-18	2,5	-114%	
totalt kväve som N	g/år	-267	50	-119%	-26	21	-179%	
naftalen	µg/år	-0,58	0,32	-155%	-0,29	0,12	-142%	
acenaftalen	µg/år	-0,19	0,14	-173%	-0,10	0,06	-159%	
fluorenen	µg/år	-0,19	0	-100%	-0,10	0	-100%	
fenantracen	µg/år	-0,07	0,58	-894%	0,10	0,23	125%	PAH
antracen	µg/år	-0,12	0,06	-150%	-0,07	0,02	-132%	
fluorantren	µg/år	4,1	2,9	-29%	2,6	1,1	-58%	
pyren	µg/år	6,8	9,3	36%	4,4	3,4	-22%	
bens(a)antracen	µg/år	0,44	0,74	66%	0,50	0,29	-42%	
krysen	µg/år	0,59	0,73	24%	0,49	0,29	-41%	
bens(b)fluorantren	µg/år	2,1	2,1	1%	1,8	0,81	-55%	
bens(k)fluorantren	µg/år	0,42	0,54	29%	0,29	0,20	-32%	
bens(a)pyren	µg/år	0,55	1,6	192%	0,74	0,62	-16%	
dibens(ah)antracen	µg/år	0,14	0,42	205%	0,17	0,16	-8%	
benso(ghi)perylen	µg/år	3,2	2,5	-22%	2,2	0,97	-56%	
indeno(123cd)pyren	µg/år	1,0	1,0	-5%	0,79	0,41	-48%	
PAH, summa 16	µg/år	19	28	44%	15	11	-26%	Mikroplaster
PAH, summa cancerogena	µg/år	6,1	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	5,5	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
PAH, summa övriga	µg/år	13,3	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	9,2	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
PAH, summa L	µg/år	-0,55	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	-0,25	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
PAH, summa M	µg/år	11	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	7,3	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
PAH, summa H	µg/år	9,4	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	7,8	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
filtrerad mängd	ml/år	-114	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	-42	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
kolrika partiklar t.ex. PP, PE, PS	antal/år	3 704 095	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	1 466 087	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
organiska partiklar t.ex. PMMA, PUR, PET	antal/år	8 167 848	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	2 937 932	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
kiselhaltiga partiklar t.ex. plast, gummi	antal/år	840 267	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	268 540	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
klorrika partiklar t.ex. PVC	antal/år	248 715	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	51 388	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
fluorrika partiklar t.ex. PTFE	antal/år	248 715	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	51 388	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	
svarta partiklar	antal/år	6 221 172	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	2 209 600	Finns inte i StormTac	Finns inte i StormTac	

Jämförelse av reningseffekt, uppmätt och teoretiskt i StormTac:

		Jämförelse med StormTac av reningseffekt i procent				
		Pimpstenssubstrat uppmätt	Pimpstenssubstrat StormTac	Biokolssubstrat uppmätt	Biokolssubstrat StormTac	
As, arsenik	%	-166%	6%	-107%	6%	Metaller
Ba, barium	%	18%	Finns inte i StormTac	28%	Finns inte i StormTac	
Cd, kadmium	%	36%	11%	2%	11%	
Co, kobolt	%	62%	Finns inte i StormTac	54%	Finns inte i StormTac	
Cr, krom	%	48%	52%	28%	56%	
Cu, koppar	%	48%	56%	33%	64%	
Mo, molybden	%	-152%	Finns inte i StormTac	-277%	Finns inte i StormTac	
Ni, nickel	%	-50%	76%	-111%	78%	
Pb, bly	%	47%	70%	57%	79%	
V, vanadin	%	39%	Finns inte i StormTac	22%	Finns inte i StormTac	
Zn, zink	%	71%	80%	57%	83%	
NO3-N, nitrat som N	%	-59%	Finns inte i StormTac	-86%	Finns inte i StormTac	Närsalter
nitrit som N	%	88%	Finns inte i StormTac	49%	Finns inte i StormTac	
ammoniak- + ammoniumkväve	%	35%	64%	-18%	70%	
PO4-P, fosfat som P	%	-31686%	Finns inte i StormTac	-19893%	Finns inte i StormTac	
totalt fosfor som P	%	-468%	44%	-418%	50%	
totalt kväve som N	%	-137%	34%	-81%	39%	PAH
naftalen	%	-51%	36%	-62%	36%	
acenaftylen	%	-51%	49%	-62%	52%	
acenaften	%	-51%	0%	-62%	0%	
fluoren	%	-51%	5%	-62%	5%	
fenantren	%	-5%	49%	-1%	52%	
antracen	%	-26%	17%	-26%	17%	
fluoranten	%	52%	49%	81%	52%	
pyren	%	53%	94%	90%	94%	
bens(a)antracen	%	22%	49%	47%	52%	
krysen	%	30%	49%	46%	52%	
bens(b)fluoranten	%	37%	49%	80%	52%	
bens(k)fluoranten	%	29%	49%	40%	50%	
bens(a)pyren	%	21%	81%	51%	83%	
dibens(ah)antracen	%	12%	49%	29%	52%	
benso(ghi)perylen	%	48%	49%	85%	52%	
indeno(123cd)pyren	%	37%	49%	54%	52%	
PAH, summa 16	%	43%	81%	74%	83%	
PAH, summa cancerogena	%	36%	Finns inte i StormTac	48%	Finns inte i StormTac	
PAH, summa övriga	%	47%	Finns inte i StormTac	78%	Finns inte i StormTac	
PAH, summa L	%	-55%	Finns inte i StormTac	-62%	Finns inte i StormTac	
PAH, summa M	%	48%	Finns inte i StormTac	84%	Finns inte i StormTac	
PAH, summa H	%	39%	Finns inte i StormTac	72%	Finns inte i StormTac	
filterrad mängd	%	-10%	Finns inte i StormTac	-33%	Finns inte i StormTac	Mikroplaster
kolrika partiklar t.ex. PP, PE, PS	%	77%	Finns inte i StormTac	81%	Finns inte i StormTac	
organiska partiklar t.ex. PMMA, PUR, PET	%	92%	Finns inte i StormTac	64%	Finns inte i StormTac	
kiselhaltiga partiklar t.ex. plast, gummi	%	66%	Finns inte i StormTac	-13%	Finns inte i StormTac	
klorrika partiklar t.ex. PVC	%	36%	Finns inte i StormTac	-19%	Finns inte i StormTac	
fluorrika partiklar t.ex. PTFE	%	36%	Finns inte i StormTac	-19%	Finns inte i StormTac	
svarta partiklar	%	93%	Finns inte i StormTac	83%	Finns inte i StormTac	

Jämförelse av föroreningshalt ut, uppmätt och teoretiskt i StormTac:

		Jämförelse med StormTac av föroreningshalt ut i µg/L efter rening				
		Pimpstenssubstrat uppmätt	Pimpstenssubstrat StormTac	Biokolssubstrat uppmätt	Biokolssubstrat StormTac	
As, arsenik	µg/l	1,1	0,67	1,1	0,67	Metaller
Ba, barium	µg/l	30	Finns inte i StormTac	29	Finns inte i StormTac	
Cd, kadmium	µg/l	0,03	0,07	0,04	0,07	
Co, kobolt	µg/l	1,4	Finns inte i StormTac	2,4	Finns inte i StormTac	
Cr, krom	µg/l	3,3	5,9	5,2	5,5	
Cu, koppar	µg/l	17	24	21	19	
Mo, molybden	µg/l	3,1	Finns inte i StormTac	4,0	Finns inte i StormTac	
Ni, nickel	µg/l	6,8	1,6	9,1	1,5	
Pb, bly	µg/l	1,7	1,8	1,9	1,6	
V, vanadin	µg/l	5,3	Finns inte i StormTac	6,9	Finns inte i StormTac	
Zn, zink	µg/l	41	51	74	42	
NO3-N, nitrat som N	µg/l	330	Finns inte i StormTac	144	Finns inte i StormTac	Närsalter
nitrit som N	µg/l	3	Finns inte i StormTac	1	Finns inte i StormTac	
ammoniak- + ammoniumkväve	µg/l	119	50	69	43	
PO4-P, fosfat som P	µg/l	302	Finns inte i StormTac	157	Finns inte i StormTac	
totalt fosfor som P	µg/l	356	69	276	61	
totalt kväve som N	µg/l	1526	890	1242	820	
naftalen	µg/l	0,02	0,01	0,02	0,01	PAH
acenaftylen	µg/l	0,01	0,00	0,01	0,00	
acenaften	µg/l	0,01	0,00	0,01	0,00	
fluoren	µg/l	0,01	0,00	0,01	0,00	
fenantren	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	
antracen	µg/l	0,01	0,00	0,01	0,00	
fluoranten	µg/l	0,03	0,03	0,01	0,03	
pyren	µg/l	0,05	0,01	0,01	0,01	
bens(a)antracen	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	
krysen	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	
bens(b)fluoranten	µg/l	0,03	0,02	0,01	0,02	
bens(k)fluoranten	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	
bens(a)pyren	µg/l	0,02	0,00	0,01	0,00	
dibens(ah)antracen	µg/l	0,01	0,00	0,01	0,00	
benso(ghi)perylen	µg/l	0,03	0,02	0,01	0,02	
indeno(123cd)pyren	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	
PAH, summa 16	µg/l	0,22	0,06	0,04	0,05	
PAH, summa cancerogena	µg/l	0,09	Finns inte i StormTac	0,02	Finns inte i StormTac	
PAH, summa övriga	µg/l	0,13	Finns inte i StormTac	0,03	Finns inte i StormTac	
PAH, summa L	µg/l	0,01	Finns inte i StormTac	0,01	Finns inte i StormTac	
PAH, summa M	µg/l	0,09	Finns inte i StormTac	0,02	Finns inte i StormTac	
PAH, summa H	µg/l	0,12	Finns inte i StormTac	0,02	Finns inte i StormTac	
filtrerad mängd	ml	337	Finns inte i StormTac	317	Finns inte i StormTac	Mikroplaster
kolrika partiklar t.ex. PP, PE, PS	antal/l	10	Finns inte i StormTac	11	Finns inte i StormTac	
organiska partiklar t.ex. PMMA, PUR, PET	antal/l	12	Finns inte i StormTac	9,2	Finns inte i StormTac	
kiselhaltiga partiklar t.ex. plast, gummi	antal/l	4,3	Finns inte i StormTac	5,3	Finns inte i StormTac	
klorrika partiklar t.ex. PVC	antal/l	4,3	Finns inte i StormTac	5,3	Finns inte i StormTac	
fluorrika partiklar t.ex. PTFE	antal/l	4,3	Finns inte i StormTac	5,3	Finns inte i StormTac	
svarta partiklar	antal/l	4,3	Finns inte i StormTac	8,0	Finns inte i StormTac	

Bilaga 5 – Årsmedelhalt

Uppmätt genomsnittlig årsmedelhalt in och ut för anläggning 1 och 2. För ytterligare data och tabeller se fullständigt Excel dokument.

Parameter/ämne		Årsmedelhalt IN (µg/l)		Årsmedelhalt UT (µg/l)		
		Pimpstenssubstrat	Biokolssubstrat	Pimpstenssubstrat	Biokolssubstrat	
Metaller totalt	As, arsenik	µg/l	0,71	0,71	1,2	1,0
	Ba, barium	µg/l	70	70	35	24
	Cd, kadmium	µg/l	0,08	0,08	0,03	0,03
	Co, kobolt	µg/l	7,1	7,1	1,6	1,8
	Cr, krom	µg/l	12	12	3,9	4,3
	Cu, koppar	µg/l	54	54	17	18
	Mo, molybden	µg/l	2,0	2,0	3,0	3,7
	Ni, nickel	µg/l	6,8	6,8	6,2	7,6
	Pb, bly	µg/l	6,1	6,1	2,0	1,7
	V, vanadin	µg/l	17	17	6,3	5,8
	Zn, zink	µg/l	259	259	45	61
Metaller löst	As, arsenik, löst	µg/l	0,30	0,30	0,85	0,79
	Ba, barium, löst	µg/l	26	26	22	12
	Cd, kadmium, löst	µg/l	0,03	0,03	0,03	0,03
	Co, kobolt, löst	µg/l	1,6	1,6	0,50	0,37
	Cr, krom, löst	µg/l	0,86	0,86	0,96	0,98
	Cu, koppar, löst	µg/l	13	13	12	11
	Mo, molybden, löst	µg/l	0,93	0,93	2,7	3,5
	Ni, nickel, löst	µg/l	1,65	1,6	4,5	5,4
	Pb, bly, löst	µg/l	0,10	0,10	0,48	0,11
	V, vanadin, löst	µg/l	0,80	0,80	2,5	1,7
	Zn, zink, löst	µg/l	76	76	18	21
Närsalter	NO ₃ -N, nitrat som N	µg/l	285	285	275	133
	nitrit som N	µg/l	31	31	2,3	1,8
	ammoniak- + ammoniumkväve	µg/l	142	142	56	46
	PO ₄ -P, fosfat som P	µg/l	2,0	2,0	382	197
	totalt fosfor som P	µg/l	123	123	424	312
	totalt kväve som N	µg/l	1355	1355	1950	1189
PAH	naftalen	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,01
	acenaftilen	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00
	acenaften	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00
	fluoren	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00
	fenantren	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,01
	antracen	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00
	fluoranten	µg/l	0,05	0,05	0,02	0,00
	pyren	µg/l	0,09	0,09	0,03	0,00
	bens(a)antracen	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,00
	krysen	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,00
	bens(b)fluoranten	µg/l	0,04	0,04	0,01	0,00
	bens(k)fluoranten	µg/l	0,01	0,01	0,00	0,00
	bens(a)pyren	µg/l	0,02	0,02	0,01	0,00
	dibenso(ah)antracen	µg/l	0,01	0,01	0,00	0,00
	benso(ghi)perylene	µg/l	0,05	0,05	0,01	0,00
	indeno(123cd)pyren	µg/l	0,02	0,02	0,01	0,00
	PAH, summa 16	µg/l	0,32	0,32	0,11	0,02
	PAH, summa cancerogena	µg/l	0,12	0,12	0,05	0,01
	PAH, summa övriga	µg/l	0,20	0,20	0,06	0,02
	PAH, summa L	µg/l	0,01	0,01	0,01	0,01
	PAH, summa M	µg/l	0,15	0,15	0,05	0,01
	PAH, summa H	µg/l	0,17	0,17	0,06	0,01
Mikroplaster	filtrerad mängd	ml	305	305	337	317
	kolrika partiklar t.ex. PP, PE, PS	antal/l	34	34	4,7	3,9
	organiska partiklar t.ex. PMMA, PUR, PET	antal/l	62	62	3,1	4,3
	kiselhaltiga partiklar t.ex. plast, gummi	antal/l	8,9	8,9	1,8	2,6
	klorrika partiklar t.ex. PVC	antal/l	4,8	4,8	1,8	2,6
	fluorrika partiklar t.ex. PTFE	antal/l	4,8	4,8	1,8	2,6
	svarta partiklar	antal/l	46	46	1,8	3,0

Bilaga 6 – Reningseffekt i %

Uppmätt genomsnittlig reningseffekt för anläggning 1 och 2 för vinter, vår, sommar och höst samt genomsnittlig årlig reningseffekt. För ytterligare data och tabeller se fullständigt Excel dokument.

Anläggning 1, pimpstenssubstrat:

	Parameter/ämne	Genomsnittlig rening pimpstenssubstrat under de olika årstiderna samt året				
		Vinter	Vår	Sommar	Höst	År
Metaller totalt	Näringsämnen					
	As, arsenik	-59%	-306%	-169%	-33%	-166%
	Ba, barium	2%	31%	29%	59%	18%
	Cd, kadmium	58%	13%	-55%	32%	36%
	Co, kobolt	63%	64%	49%	51%	62%
	Cr, krom	42%	49%	48%	77%	48%
	Cu, koppar	30%	54%	49%	68%	48%
	Mo, molybden	-130%	-184%	-248%	-54%	-152%
	Ni, nickel	-6%	-92%	-93%	-8%	-50%
	Pb, bly	53%	31%	54%	74%	47%
	V, vanadin	47%	30%	16%	63%	39%
Zn, zink	59%	74%	74%	92%	71%	
Metaller löst	As, arsenik, löst	-303%	-422%	-810%	-113%	-363%
	Ba, barium, löst	-49%	-21%	-40%	33%	-35%
	Cd, kadmium, löst	-9%	-159%	-104%	10%	-65%
	Co, kobolt, löst	72%	-16%	-454%	-202%	47%
	Cr, krom, löst	-217%	-98%	-150%	48%	-83%
	Cu, koppar, löst	-284%	-49%	-3%	47%	-46%
	Mo, molybden, löst	-515%	-434%	-287%	-196%	-377%
	Ni, nickel, löst	-315%	-503%	-264%	-162%	-350%
	Pb, bly, löst	-115%	-1370%	-1016%	-53%	-693%
	V, vanadin, löst	-825%	-540%	-339%	-74%	-410%
Zn, zink, löst	41%	52%	63%	89%	60%	
Närsalter	NO3-N, nitrat som N	-81%	21%	-2714%	39%	-59%
	nitrit som N	85%	99%	-77%	87%	88%
	ammoniak- + ammoniumkväve	43%	80%	-344%	29%	35%
	PO4-P, fosfat som P	-6766%	-95452%	-9581%	-18948%	-31686%
	totalt fosfor som P	-119%	-644%	-1855%	-115%	-468%
	totalt kväve som N	-60%	-188%	-280%	6%	-137%
PAH	naftalen	-174%	-27%		5%	-51%
	acenaftylen	-174%	-27%		5%	-51%
	acenaften	-174%	-27%		5%	-51%
	fluoren	-174%	-27%		5%	-51%
	fenantren	6%	-27%		5%	-5%
	antracen	-37%	-27%		5%	-26%
	fluoranten	-6%	93%		61%	52%
	pyren	-4%	95%		87%	53%
	bens(a)antracen	-19%	67%		5%	22%
	krysen	1%	65%		5%	30%
	bens(b)fluoranten	-18%	89%		64%	37%
	bens(k)fluoranten	-33%	65%		5%	29%
	bens(a)pyren	-19%	72%		5%	21%
	dibenso(ah)antracen	-8%	37%		5%	12%
	benso(ghi)perylene	-11%	91%		74%	48%
	indeno(123cd)pyren	-37%	82%		5%	37%
	PAH, summa 16	-10%	88%		44%	43%
	PAH, summa cancerogena	-20%	88%		-27%	36%
	PAH, summa övriga	-3%	88%		58%	47%
	PAH, summa L	-174%	-27%		5%	-55%
PAH, summa M	-4%	92%		71%	48%	
PAH, summa H	-19%	90%		39%	39%	
Mikroplaster	filtrerad mängd	-37%	-100%		40%	-10%
	kolrika partiklar t.ex. PP, PE, PS	34%	89%		93%	77%
	organiska partiklar t.ex. PMMA, PUR, PET	98%	37%		54%	92%
	kiselhaltiga partiklar t.ex. plast, gummi	90%	37%		-54%	66%
	klorrika partiklar t.ex. PVC	58%	37%		-54%	36%
	fluorrika partiklar t.ex. PTFE	58%	37%		-54%	36%
	svarta partiklar	97%	68%		98%	93%

Anläggning 2, biokolssubstrat:

	Parameter/ämne	Genomsnittlig rening biokolssubstrat under de olika årstiderna samt året				
		Vinter	Vår	Sommar	Höst	År
Metaller totalt	Näringsämnen					
	As, arsenik	-35%	-189%	-140%	-23%	-107%
	Ba, barium	67%	22%	47%	60%	28%
	Cd, kadmium	67%	11%	-80%	63%	2%
	Co, kobolt	77%	36%	79%	55%	54%
	Cr, krom	68%	19%	56%	73%	28%
	Cu, koppar	55%	45%	43%	66%	33%
	Mo, molybden	-200%	-212%	-187%	-28%	-277%
	Ni, nickel	-16%	-94%	-117%	-87%	-111%
	Pb, bly	71%	34%	90%	78%	57%
V, vanadin	70%	21%	44%	75%	22%	
Zn, zink	70%	55%	67%	83%	57%	
Metaller löst	As, arsenik, löst	-287%	-240%	-739%	-154%	-661%
	Ba, barium, löst	60%	-24%	-27%	25%	-46%
	Cd, kadmium, löst	35%	-43%	-137%	16%	-96%
	Co, kobolt, löst	88%	4%	-250%	-159%	-107%
	Cr, krom, löst	-150%	-108%	-45%	45%	-144%
	Cu, koppar, löst	-157%	-9%	-19%	29%	-109%
	Mo, molybden, löst	-747%	-515%	-236%	-184%	-493%
	Ni, nickel, löst	-349%	-439%	-317%	-365%	-498%
	Pb, bly, löst	-27%	-70%	-137%	-57%	-150%
	V, vanadin, löst	-645%	-207%	-248%	-33%	-581%
Zn, zink, löst	54%	62%	35%	73%	26%	
Närsalter	NO3-N, nitrat som N	-71%	93%	27%	74%	-86%
	nitrit som N	90%	96%	-21%	99%	49%
	ammoniak- + ammoniumkväve	-94%	88%	97%	99%	-18%
	PO4-P, fosfat som P	-18429%	-30140%	-3869%	-1528%	-19893%
	totalt fosfor som P	-276%	-273%	-864%	2%	-418%
	totalt kväve som N	-112%	-3%	-81%	42%	-81%
PAH	naftalen	-115%	-71%		1%	-62%
	acenaftylen	-115%	-71%		1%	-62%
	acenaften	-115%	-71%		1%	-62%
	fluoren	-115%	-71%		1%	-62%
	fenantren	66%	-71%		1%	-1%
	antracen	-7%	-71%		1%	-26%
	fluoranten	95%	91%		59%	81%
	pyren	90%	94%		87%	90%
	bens(a)antracen	84%	55%		1%	47%
	krysen	84%	53%		1%	46%
	bens(b)fluoranten	94%	85%		62%	80%
	bens(k)fluoranten	67%	53%		1%	40%
	bens(a)pyren	89%	63%		1%	51%
	dibenso(ah)antracen	72%	15%		1%	29%
	benso(ghi)perylene	94%	88%		73%	85%
	indeno(123cd)pyren	84%	76%		1%	54%
	PAH, summa 16	97%	83%		41%	74%
	PAH, summa cancerogena	93%	83%		-33%	48%
	PAH, summa övriga	96%	83%		56%	78%
	PAH, summa L	-115%	-71%		1%	-62%
PAH, summa M	94%	89%		70%	84%	
PAH, summa H	94%	86%		36%	72%	
Mikroplaster	filtrerad mängd	-58%	-100%		60%	-33%
	kolrika partiklar t.ex. PP, PE, PS	81%	85%		78%	81%
	organiska partiklar t.ex. PMMA, PUR, PET	95%	15%		82%	64%
	kiselhaltiga partiklar t.ex. plast, gummi	94%	15%		-147%	-13%
	klorrika partiklar t.ex. PVC	75%	15%		-147%	-19%
	fluorrika partiklar t.ex. PTFE	75%	15%		-147%	-19%
	svartha partiklar	98%	57%		94%	83%

Bilaga 7 – Total årsbelastning in, ut och totalt avskild mängd

Parameter/ämne		Pimpstenssubstrat			Biokolssubstrat			
		Total belastning IN	Total belastning UT	Totalt avskild mängd	Total belastning IN	Total belastning UT	Totalt avskild mängd	
Metaller totalt	As, arsenik	g	0,09	0,23	-0,14	0,03	0,07	-0,03
	Ba, barium	g	8,4	6,9	1,5	2,7	1,6	1,1
	Cd, kadmium	g	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	Co, kobolt	g	0,86	0,32	0,53	0,27	0,12	0,15
	Cr, krom	g	1,5	0,77	0,72	0,48	0,28	0,19
	Cu, koppar	g	6,5	3,4	3,1	2,2	1,2	0,99
	Mo, molybden	g	0,24	0,60	-0,36	0,08	0,24	-0,16
	Ni, nickel	g	0,81	1,2	-0,41	0,26	0,49	-0,23
	Pb, bly	g	0,73	0,39	0,35	0,23	0,11	0,12
	V, vanadin	g	2,0	1,2	0,80	0,63	0,38	0,26
	Zn, zink	g	31	9,0	22	10	3,9	6,2
Metaller löst	As, arsenik, löst	g	0,04	0,17	-0,13	0,01	0,05	-0,04
	Ba, barium, löst	g	3,2	4,3	-1,1	1,0	0,78	0,27
	Cd, kadmium, löst	g	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	Co, kobolt, löst	g	0,19	0,10	0,09	0,06	0,02	0,04
	Cr, krom, löst	g	0,10	0,19	-0,09	0,04	0,06	-0,03
	Cu, koppar, löst	g	1,6	2,3	-0,73	0,56	0,69	-0,13
	Mo, molybden, löst	g	0,11	0,54	-0,42	0,04	0,22	-0,18
	Ni, nickel, löst	g	0,20	0,89	-0,69	0,07	0,35	-0,28
	Pb, bly, löst	g	0,01	0,10	-0,08	0,00	0,01	0,00
	V, vanadin, löst	g	0,10	0,49	-0,39	0,03	0,11	-0,07
	Zn, zink, löst	g	9,1	3,6	5,5	3,2	1,4	1,8
Närsalter	NO3-N, nitrat som N	g	34	54	-20	11	8,7	2,0
	nitrit som N	g	3,7	0,45	3,3	1,2	0,11	1,1
	ammoniak- + ammoniumkväve	g	17	11	5,9	5,9	3,0	2,9
	PO4-P, fosfat som P	g	0,24	76	-75	0,08	13	-13
	totalt fosfor som P	g	15	84	-69	4,9	20	-15
	totalt kväve som N	g	163	385	-223	55	77	-22
PAH	naftalen	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	acenaftylene	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	acenaften	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	fluoren	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	fenantren	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	antracen	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	fluoranten	g	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	pyren	g	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
	bens(a)antracen	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	krysen	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	bens(b)fluoranten	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	bens(k)fluoranten	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	bens(a)pyren	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	dibenso(ah)antracen	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	benso(ghi)perylene	g	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	indeno(123cd)pyren	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAH, summa 16	g	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01
	PAH, summa cancerogena	g	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
	PAH, summa övriga	g	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
	PAH, summa L	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAH, summa M	g	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
	PAH, summa H	g	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Mikroplaster	filtrerad mängd	ml	915	1010	-95	915	950	-35
	kolrika partiklar t.ex. PP, PE, PS	antal	4 025 161	938 415	3 086 746	1 477 591	255 851	1 221 739
	organiska partiklar t.ex. PMMA, PUR, PET	antal	7 428 101	621 562	6 806 540	2 726 771	278 495	2 448 277
	kiselhaltiga partiklar t.ex. plast, gummi	antal	1 063 988	363 765	700 223	390 578	166 794	223 784
	klorrika partiklar t.ex. PVC	antal	571 028	363 765	207 263	209 618	166 794	42 824
	fluorrika partiklar t.ex. PTFE	antal	571 028	363 765	207 263	209 618	166 794	42 824
	svarta partiklar	antal	5 548 075	363 765	5 184 310	2 036 635	195 302	1 841 333

Bilaga 8 – Referensvärde procent av teoretiskt flöde

Provperiod	Prov 8	Prov 10	
	2021-05-28 - 2021-07-21	2021-08-18 - 2021-09-17	
Regn	40,6	51,4	mm
Uppmätt volym utlopp Anläggning 1	7122,54	10617,3	l
Uppmätt volym utlopp Anläggning 2	3166,26	3199,56	l

	Anläggningsarea, m ²	Avrinnings- område	
			m ²
Anläggning 1	423	R1	311
		R2	112
Anläggning 2	336	R3	207
		R3	129

Avrinningskoefficient (ϕ)

(asfalt i svag lutning)

0,8

Beräknad volym Anläggning 1

(Nederbörd * Area (R1+R2))

17173,8

21742,2 l

Beräknad volym Anläggning 2

(Nederbörd * Area (R2+R4))

13641,6

17270,4 l

Beräknad volym Anläggning 1

inkl. avrinningskoefficient

(Beräknad volym Anläggning 1 * 0,8)

13739,04

17393,76 l

Beräknad volym Anläggning 2

inkl. avrinningskoefficient 0,8

(Beräknad volym Anläggning 2 * 0,8)

10913,28

13816,32 l

	Prov 8	Prov 10	Medelvärde
Referensvärde anläggning 1	52%	61%	56%
Referensvärde anläggning 2	29%	23%	26%

Bilaga 9 – Analysresultat och utvärdering av analyser

Rapport från Sweco där följande analyser har utförts: permeabilitet, laktester samt totalhalter på metaller plus fosfor. Siktanalyser har erhållits av leverantörerna.

RAPPORT

UPPDRAGSNUMMER 13009393 REGNBÄDDAR VÄRMDÖVÄGEN

ANALYSRESULTAT OCH UTVÄRDERING AV ANALYSER



Foto: Agata Wehlin

Sweco Environment

[GRANSKNINGSHANDLING]

2020-08-17

**Anna Pettersson Skog
Sofi Sundin**

Innehållsförteckning

Bilagor

Bilaga 1 Siktanalyser

Bilaga 2 Analysprotokoll permeabilitet

Bilaga 3 Analysprotokoll Totalhaltsanalys

Bilaga 4 Analysprotokoll Laktester

RAPPORT
2020-08-17

PSA [https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/anna_pettersonskog_sweco_se/documents/h/skrivbordet 20210218/gamla projekt/regnbaddar nacka/slutversion analysresultat och utvärdering av analyser 20200825.docx](https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/anna_pettersonskog_sweco_se/documents/h/skrivbordet%20210218/gamla%20projekt/regnbaddar%20nacka/slutversion%20analysresultat%20och%20utvardering%20av%20analyser%2020200825.docx)

RAPPORT
2020-08-17

PSA [https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/anna_pettersonskog_sweco_se/documents/h/skrivbordet 20210218/gamla projekt/regnbaddar nacka/slutversion analysresultat och utvärdering av analyser 20200825.docx](https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/anna_pettersonskog_sweco_se/documents/h/skrivbordet%20210218/gamla%20projekt/regnbaddar%20nacka/slutversion%20analysresultat%20och%20utvardering%20av%20analyser%2020200825.docx)

1 Inledning

Nacka kommun har anlagt testbäddar för att testa olika regnbäddssubstrat för vidare tillämpning utmed Värmdövägen. Till testanläggningen för regnbäddar i Nacka har följande regnbäddssubstrat använts:

- Hekla Regnbädd från Bara mineraler
- Biokolsmakadam från Rölunda jord

Då en regnbädd tillförs stora mängder dagvatten vill man försäkra sig om att inte ogynnsamma ämnen läcker från substratet till recipienten. Speciellt fokus ligger på fosfor då farhågor om att biokol kan läcka fosfor har förekommit. Dessutom behöver recipienten skyddas från ytterligare tillförsel av fosfor.

Följande analyser har utförts: permeabilitet, lakteter samt totalhalter på metaller plus fosfor. Siktanalyser har erhållits av leverantörerna.

Lakningstesterna utfördes för att se vilken risk det finns för utlakning av förorenande ämnen från regnbäddarna. Regnbäddarna kan ses som en jonbyteskolonn och ett filter för förorenande ämnen från dagvattnet. Det är inte önskvärt att denna kolonn redan innehåller ämnen som kan frigöras och påverka recipienten negativt. I detta fall har biokolsgruset uppmärksammas som en risk för fosforutlakning och det är framförallt det som är orsaken till att denna analys gjordes. Det som kan vara intressant är hur mycket av totalhalterna som lakas ut samt om det är någon skillnad mellan de olika substraten.

2 Material och metoder

2.1 Material

Det material som har undersökts är två typer av regnbäddssubstrat. Biokolsmakadam (biokolsgrus) består av 75 volymsprocent makadam 2/6 mm samt 25 volymsprocent organiskt material som består av lika delar höns gödselkompost och biokol. Hekla regnbädd (pimpstensjord) består av pimpsten 2-8 mm samt sand och gröngödselkompost. Leverantörerna har bifogat siktanalyser av respektive material som redovisas i bilaga 1.

1(7)

RAPPORT

2020-08-17

2.2 Metoder

2.2.1 Permeabilitet

Permeabiliteten mättes endast på pimpstensjorden med rörpermeameter. Provet packades in med måttlig inpackning med handstamp med tvärsnittsarean 28,3 cm² och höjden 14,1; 13,9; och 13,5 cm. Provet vattenmättades innan genomströmningen uppmättes i nio intervall under totalt 2 timmar.

2.2.2 Totalhaltsbestämning

Provet torkades vid 105°C enligt Svensk Standard SS028113. Provet som analyserades torkades vid 50°C och elementhalterna TS-korrigerades. Upplösning skedde i mikrovågsugn med 5 ml koncentrerad HNO₃ + 0,5 ml H₂O₂. Elementanalysen gjordes med ICP.

2.2.3 Lakteter

Proven siktades ned till 4 mm och skakades med avjoniserat vatten i två steg i sex respektive 18 timmar. Efter filtrering analyserades lakvattnet. L/S 10 anger massförhållandet mellan lakvätskan och det fasta materialet (liquid/solid).

2.2.4 Siktanalys

Siktanalyserna har gjorts vid två olika laboratorier så analyserna för de två substraten ser olika ut. Biokolsgruset har siktats på följande siktar: 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 och 20 mm sikt. Pimpstensjorden har siktats på följande siktar: 0,038; 0,05; 0,15; 0,25; 0,5; 1; 1,4; 2; 2,8; 3,55; 4; 6,3; 8; och 12,5 mm sikt.

3 Resultat

3.1 Permeabilitet

Permeabilitet mättes, som nämnts ovan, endast på pimpstensjorden med tre upprepningar. Resultatet redovisas i tabell 1. Analysprotokollet redovisas i bilaga 2. Tabell 1. Permeabilitet i pimpstensjord i m/s och omräknat till mm/h

Delprov	Permeabilitet m/s	Permeabilitet mm/h
A	9,8 x 10 ⁻⁶	35

2(7)

RAPPORT

2020-08-17

B	4,5 x 10 ⁻⁶	16
C	9,5 x 10 ⁻⁶	34

3.2 Totalhaltsbestämning

Totalhaltsbestämningen har gjorts på båda substraten (tabell 2). Analysprotokollet redovisas i bilaga 3.

Tabell 2. Resultat av totalhaltsbestämning i mg/kg TS

Ämne	Biokolgrus	Pimpstensjord
TS	87	64,1
As	<3	<3
Ba	59,1	14,1
Be	0,214	0,172
Cd	<0.1	<0.1
Co	5,06	1,92
Cr	4,44	4,68
Cu	5,31	7,64
Fe	22000	4460
Hg	<1	<1
Mn	434	102
Ni	2,2	3,51
P	1580	432
Pb	3,85	4,03
Sr	10,6	7,37
V	27,4	5,39
Zn	80,1	25,4

3.2.1 Kd-värde

Totalhalten används som ”halt i fast fas” vid beräkning av Kd-värdet. Kd-värdet beskrivs utförligare under avsnitt 4.2.

3.3 Lakteter

Lakteter har gjorts på båda regnbäddssubstraten (tabell 3). Analysprotokollen redovisas i bilaga 4.

Tabell 3. Lagningsmängd vid lakteter med L/S 10

Parameter	Biokolsgrus	Pimpstensjord	Enhet
Ca	19,2	76,6	mg/Kg TS
Fe	13,7	10,8	mg/Kg TS
K	195	351	mg/Kg TS
Mg	12,2	16,3	mg/Kg TS
Na	37,7	42,3	mg/Kg TS
Al	9,26	9,00	mg/Kg TS
As	<0,02	<0,04	mg/Kg TS
Ba	0,0592	0,115	mg/Kg TS
Cd	<0,0005	<0,0005	mg/Kg TS
Co	0,00481	0,0624	mg/Kg TS
Cr	<0,005	0,0122	mg/Kg TS
Cu	0,323	0,100	mg/Kg TS
Hg	<0,0002	<0,0002	mg/Kg TS
Mn	0,372	0,182	mg/Kg TS
Mo	0,0192	0,0723	mg/Kg TS
Ni	0,00527	0,0286	mg/Kg TS
P	66,2	22,1	mg/Kg TS
Pb	0,00517	0,0235	mg/Kg TS
Sb	<0,001	0,00327	mg/Kg TS
Se	0,0554	<0,03	mg/Kg TS
Zn	0,140	0,203	mg/Kg TS
DOC	122	312	mg/Kg TS
Cl	28,9	68,1	mg/Kg TS
F	<2	<2	mg/Kg TS
SO ₄	<50	<50	mg/Kg TS

För beräkning av Kd-värdet används lagningshalterna (tabell 4).

Tabell 4 Lagningshalter vid lagningstest med L/S 10

Parameter	Biokolsgrus	Pimpstensjord	Enhet
Ca	1,92	7,66	mg/l
Fe	1,37	1,08	mg/l

4(7)

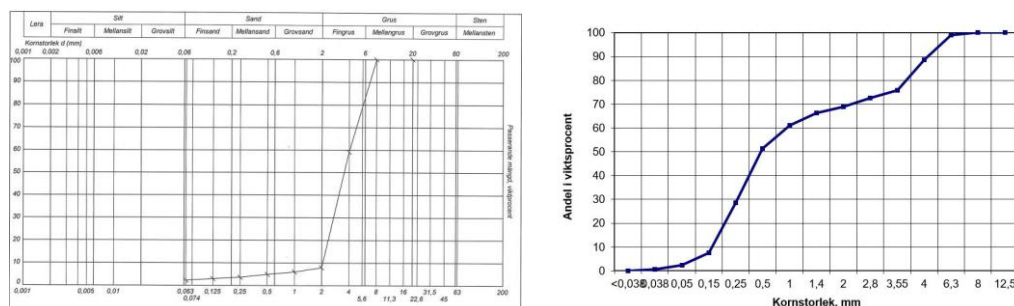
K	19,5	35,1	mg/l
Mg	1,22	1,63	mg/l
Na	3,77	4,23	mg/l
Al	926	900	µg/l
As	<2	<4,5	µg/l
Ba	5,92	11,5	µg/l
Cd	<0,05	<0,05	µg/l
Co	0,481	0,624	µg/l
Cr	<0,5	1,22	µg/l
Cu	32,3	10,2	µg/l
Hg	<0,02	<0,02	µg/l
Mn	37,2	18,2	µg/l
Mo	1,92	7,23	µg/l
Ni	0,527	2,86	µg/l
P	6620	2210	µg/l
Pb	0,517	2,35	µg/l
Sb	<0,1	0,327	µg/l
Se	5,54	<3	µg/l
Zn	14,0	20,3	µg/l
DOC	12,2	31,2	mg/l
Cl	2,89	6,81	mg/l
F	<0,2	<0,2	mg/l
SO ₄	<5	<5	mg/l
pH	8,2	7,9	
Konduktivitet	12,2	16,0	mS/m

3.3.1 Kd-värde

Lakningshalterna används som halt i löst fas vid beräkning av Kd-värdet. Kd-värdet beskrivs utförligare under avsnitt 4.2.

3.4 Siktanalyser

Resultatet av siktanalyserna presenteras som grafer i figur 1. Analysprotokollen redovisas i bilaga 1.



Figur 1. Kornfördelning hos biokolsgrus till vänster och pimpstensjord till höger.

4 Diskussion

4.1 Permeabilitet

Permeabiliteten är viktig för dimensioneringen av regnbäddar. Tyvärr är det ett svårångat värde hos växtbäddssubstrat eftersom det styrs i så hög grad av packningsförfarandet vid analysen. Det finns ännu ingen standardiserad metod för analys av permeabiliteten hos växtbäddssubstrat. Den analys som gjordes på pimpstensjorden visade en variation mellan 16 och 35 mm/h. Leverantören hade fått ett värde på ca 50 mm/h i sina egna försök (pers. komm. Bengt Syrén). Detta kan jämföras med genomsläpplighetstester som gjordes på biokolsjordar 2014, med liknande sammansättning som den som används i detta försök, som gav en genomsläpplighet på mellan 108 och 187 mm/h (data, Pettersson Skog, opublicerade data).

4.2 Lakteter och totalhaltsbestämning

Lakning är ett samlingsbegrepp för hur ämnen i ett fast material kan mobiliseras. Flera olika grundläggande fysikaliska och kemiska processer styr lakningen. Fysikaliska processer kan vara diffusion från interna porer medan exempel på kemiska processer kan vara jonbyte, desorption, upplösning eller vittring (Naturvårdsverket 2006).

Vilka processer som är av betydelse för lakningen beror på det fasta materialets karakteristika, det lakade ämnet samt de fysikaliska och kemiska betingelserna (Naturvårdsverket, 2006. I laktetestet har avjoniserat vatten använts. I verkligheten innehåller dagvattnet både lösta och suspenderade ämnen som kan påverka utlakningen.

Jämviktsförhållandet mellan halten i den fasta fasen och halten i lösningen kan beskrivas som en funktion som beskriver summan av de olika mekanismerna involverade i mobiliseringsprocessen. I det här fallet antas ett linjärt förhållande, vilket kan beskrivas av ett K_d -värde. K_d -värdet beskriver förhållandet mellan halten av ett ämne i fast fas och halten i lösning enligt sambandet:

Det är viktigt att notera att ett K_d -värde gäller strikt för en typ av förorening i kontakt med en viss typ av fast material under vissa givna kemiska betingelser. Om de kemiska betingelserna ändras kan K_d -värdet behöva justeras (Naturvårdsverket, 2006). Det innebär att lakning med en annan typ av lösning kan ge ett annorlunda K_d -värde.

K_d -värdet för fosfor i de två substraten blir 239 för biokolsgruset och 196 för pimpstensjorden. Lakningen är 1,2 gånger större i biokolsgruset än i pimpstensjorden vilket tolkas som att lakningsmekanismen är likartad i de båda substraten. Skillnaden i utlakningshalt från biokolsgruset förklaras av att biokolsgrusets totalinnehåll är 3,7 gånger större än totalhalten i pimpstensjorden (tabell 2).

Man kan anta att en stor andel av den utlakade fosfor kommer från tillsatt gödsel i de båda substraten. Frågan är därför om regnbäddsmaterial över huvud taget ska innehålla tillsatt gödsel.

En intressant kompletterande jämförelse vore att testa hur stor del av den analyserade totalfosfor som är löslig och därmed direkt reaktiv och tillgänglig för upptag av exempelvis alger i recipienten.

4.3 Siktanalys

En siktanalys på dessa material säger inte så mycket om egenskaperna hos substraten. Siktanalysen på biokolsgruset visar sammansättningen på krossmaterialet. Storleken eller mängden av biokolet syns inte i analysen. Man kan få en indikation på biokolsinnehållet genom att titta på mullhalten som i detta fall var 25,7 viktsprocent. Mullhalten i en vanlig växtjord brukar vara ca 5-8 viktsprocent. Analysförfarandet enligt nuvarande standard är inte anpassat till analys av biokolsgrus eftersom gruspartiklar större än 2 mm sällas bort vid mullhaltsanalysen. Det inblandade biokolet består av partiklar som kan vara större än 2 mm. Därför kan man anta att om hela provet, inklusive partiklar större än 2 mm, hade analyserats hade mullhalten varit lägre. Det finns ännu ingen standardiserad metod för att testa biokolsinnehållet i biokolsgrus.

Siktanalysen på pimpstensjorden visar storleken på pimpstenspartiklarna inklusive den tillsatta sanden. Sanden syns som en puckel på kurvan (figur 1, höger kurva). Inte heller i det här fallet säger analysen särskilt mycket om egenskaperna hos substratet. Mängden sand överskattas i kurvan eftersom det är viktsprocent som analyseras och pimpstenen är lättare än sand. Dessutom säger analysen ingenting om de interna porer som är så karaktäristiska för pimpstenen.

5 Slutsatser

- Trots de skilda karaktärerna hos de olika regnbäddsmaterialen verkar de ha liknande lakningsmekanismer vilket indikeras av liknande Kd-värden.
- Den stora skillnaden i lakningshalt mellan materialen verkar stå i relation till totalhalterna.
- En lämplig komplettering för att förstå materialens egenskaper bättre kan vara att analysera löst fosfor i de olika regnbäddsmaterialen.

- Man kan anta att en stor andel av den utlakade fosfor kommer från tillsatt gödsel i substraten. Frågan är om regnbäddsmaterial ska innehålla tillsatt gödsel.

6 Litteratur

Naturvårdsverket, 2006, Lakteter för riskbedömning av förorenade områden, Rapport 5535.

Pettersson Skog, A. Opublicerade data på genomsläpplighet i biokolsgrus, utförda vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Pers komm. Bengt Syrén, Bara Mineraler

7(7)