

Rena Igelbäcken från PFAS med hjälp av växter



SOLNA STAD



Havs
och Vatten
myndigheten


Länsstyrelserna

Inledning

PFAS är ett samlingsnamn för flera fluorerande ämnen. I Igelbäckens utlopp till Edsviken är den uppmätta halten av PFOS (ett av dessa PFAS ämnen) 60 gånger högre än miljökvalitetsnormen för inlandsytvatten. Analysresultaten kommer från vattenprover tagna inom ramen för det miljöövervakningsprogram som kommunerna runt bäcken genomför tillsammans. Halterna är högst närmast den troliga källan, den före detta brandövningsplatsen vid Barkarby flygfält, men är fortsatt höga även nedströms i bäcken.

Projektets genomförande

Solna stad har i samarbete med företaget Clean Nature under åren 2020–2021 anlagt och driftat ett växtfilter i Igelbäcken. Växtfiltret består av en specifik starrväxt som i tidigare laboratorier försök visat sig vara effektiv på att ta upp PFAS. Samma art av starr finns också sedan tidigare naturlig i Igelbäcken.

Plantorna planterades längst med bäckens strand och kompletterades senare också med växtflottar. Växterna är planterade på en drygt 500 meter lång sträcka (figur 1) i Igelbäckens naturreservat i Solna och målsättningen är att systemet ska rena Igelbäcken från PFAS.



Figur 1 Starrväxten har planterats utmed Igelbäckens norra och södra stränder på den rödmarkerade sträckan i bilden.

Clean Nature har tagit fram metoden i samarbete med forskare från Stockholms universitet, och sedan vidare utvecklat metoden genom ett samarbete med forskare från SLU Uppsala.

För att planteringen skulle kunna genomföras utförde Solna stad först en röjning av växtlighet längst med båda sidorna i bäcken i det utpekade området. Så nära vattenytan som möjligt och upp längst med stranden ca 1–2 m.



Figur 2 Rönningen av växtlighet gjordes av en maskin med ett klippverktyg. Klippning av växtlighet gjordes längst med bäckens sidor samt det som redan stack upp ur vattnet.

Då det vid tillfället av projektets uppstart betade längst med delar av bäcken så behövdes även en stängsling göras för att korna inte skulle kunna komma i kontakt med projektytorna.

Den 28–29 april 2020 planterades drygt 7500 pluggplantor av starr i projektområdet. Plantorna sattes för hand med hjälp av endast spadar. För att säkerställa att biomassan skulle bli tillräcklig beslutades det att 2021 komplettera odlingarna med ytterligare ca 2500 pluggplantor. Även växtflottar sattes i bäcken för att se om det blev någon skillnad om upptaget sker hydroponiskt¹.



Figur 3 Växtflotte i Igelbäcken. Foto: Clean Nature

Redan i början av juli 2020 fanns ett kraftigt bestånd av starr i hela området. Både de plantor som har planterats i bäckfåran och de som planterats längre upp på strandkanterna har haft en mycket

¹ att växternas rötter kan ta upp näring och föroreningar direkt från vattnet.

god tillväxt. Under växtsäsongen har projektområdet även rensats på ogräs vid flera tillfällen för att minska konkurrensen från andra växter. På så vis ökas förutsättningarna för den starr som planterats att få störst biomassa och att då ta upp så mycket PFAS-föroreningar som möjligt.

Under projektperioden har vattenprover tagits och analyser av växtdelarna har genomförts. Vid ett tillfälle i början av projektet tog Clean Nature även sedimentprover.

Detta projekt har medfinansierats genom statsstöd till lokala vattenvårdsprojekt (LOVA) förmedlat av Länsstyrelsen i Stockholm.

Projektets resultat

Initialt var det vattenprovtagning, en gång i månaden, samt växtprovtagning efter skörd som var tänkt att visa på resultaten på upptag i växterna.

Provtagningar

Vattenprover togs i en punkt i uppströms växtfiltret (In) och i en punkt nedströms växtfiltret (Ut). Växtflottarna lades i under juli månad 2020 så i augusti och septembermätningen lades det till provpunkter direkt före och efter flottarna samt vid Igelbäckens utlopp (Ulriksdal).

Förutom vattenproverna togs sedimentprover i två punkter.

Halterna i växtdelarna var vid första analysen, då ALS användes som laboratorium, låga då deras mätnoggrannhet var för dålig på att mäta direkt i växtdelarna. Vid efterföljande analystillfälle extraherades istället växtdelarna i vätska och därmed kunde värdena i den skörade starren beräknas.

Resultat vatten- och sedimentprovtagning 2020

Här redovisas endast de vattenprover som togs uppströms växtfiltret (In) och nedströms växtfiltret (Ut). De andra vattenproverna, upp- och nedströms flottarna samt vid Igelbäckens utlopp tillförde inget till projektet och redovisas därför inte.

Tabell 1: analysresultat för PFOS, PFOA och PFAS 11 i de vattenprover som togs i Igelbäcken uppströms och nedströms växtfiltret.

		April	April	Maj	Maj	Juni	Juni	Juli	Juli	Aug	Aug	Sept	Sept
ELEMENT		In	Ut	In	Ut	In	Ut	In	Ut	In	Ut	In	Ut
provdatum	2020	28	28	27	27	29	29	26	26	31	31	28	28
Perfluoroktansyra (PFOA)	ng/L	5,31	5,28	5,26	5,15	6,91	6,42	5,27	5,45	2,40	3,10	2,79	3,22
Perfluoroktansulfonsyra (PFOS)	ng/L	13,7	12,1	11,5	10,0	14,6	12,4	23,9	17,8	15,6	12,8	14,2	14,7
PFAS, summa 11	ng/L	80,6	78,2	78,2	74,4	118,0	103,01	76,8	61,9	52,2	68,9	41,4	63,6

Vattenproverna visa inte på någon signifikant minskning över tid av halten (mellan In och Ut) av de två PFAS ämnen, PFOS och PFOA, vilket gjorde att man började titta på halter av respektive ämne i sedimenten. Det togs två sedimentprover, varav ett inte gav något utslag på analyserna. Problemet var samma här som för de i växterna. Proverna behövde extraheras för att få en bättre

mättnoggrannhet. Det som gav något var ett blandat prov från tre olika punkter, som tagits i augusti 2020. Resultatet visade på höga halter av PFOS i sedimentet (tabell 2).

Tabell 2: analysresultat för PFOS och PFOA i Igelbäckens sediment

		Sedimentprov
		Aug
Provdatum	2020	5
Perfluoroktansyra (PFOA)	ng/kg	<500
Perfluoroktansulfonsyra (PFOS)	ng/kg	3570

Resultat växtprovtagning 2020

Två olika laboratorier användes och två olika metoder. De första reultaten från ALS visade på halter under detektionsgräns. Clean nature valde då att kontakta SLU (Lutz Ahrens) som provade att extraherade växterna så att det gick att mäta i vattenfas. Då kunde flera ämen detekteras (tabell 3).

Tabell 3: halter av flera olika PFAS-ämnen analyserades i växtdelarna. Analyser gjordes på växter som skörades i september samt november.

Laboratorium				ALS	ALS	SLU	SLU
Växtdel				blad	blad	blad	rot
Provdatum			2020	16-sep	16-sep	11-nov	11-nov
Perfluoroktansyra (PFOA)			ng/g	1,62	0,67	1,11	0,48
Perfluoroktansulfonsyra (PFOS)			ng/g	0,287	0,163	5,1	5,1
PFBA			ng/g			74	51
PFPeA			ng/g			24	19
PFHxA			ng/g			29	21
PFHpA			ng/g			10	12
PFNA			ng/g			0,56	0,53
PFDA			ng/g			0,51	0,43
PFUnDA			ng/g			0,09	0,01
PFDoDA			ng/g			0,17	0,15
PFTriDA			ng/g			0,94	0,45
PFTeDA			ng/g			0,23	0,76
PFBS			ng/g			0,12	0,30
PFHxS			ng/g			0,19	0,45
PFAS 11			ng/g			145,1	112,5

Växternas upptag av de fem vanligaste karboxylsyrorerna (kortkedjade PFAS-ämnen) har räknats ut av vad som uppskattningsvis transporterats genom området med vattnet under växtsäsongen (tabell 4). Detta görs genom att jämföra mängden PFAS som enligt analyser finns i det vatten som går in i försöksytan och hur mycket PFAS som enligt analyserna tagits bort från området via växter. Sammantaget är upptaget av de fem vanligaste perfluorerade karboxylsyrorerna **86%**.

Tabell 4: växternas upptag av de fem vanligaste karboxylsyror.

PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA
139%	94%	58%	68%	5%

När det gäller växternas upptag av de tre sulfonsyror (långkedjade PFAS-ämnen) som ingår i PFAS-11 är upptaget betydligt sämre (tabell 5). Sammantaget är upptaget av sulfonsyror **7%**.

Tabell 5: växternas upptag av de tre vanligaste sulfonsyror 2020.

PFBS	PFHxS	PFOS
2%	1%	12%

Upptaget av PFAS-11 (de elva vanligaste PFAS-ämnena) är beräknat till sammantaget **60%**.

Resultat vattenprovtagning 2021

Under året 2021 togs vattenprover vid två tillfällen. Ett i juni och ett i september. Vattenprovet togs uppströms växtfiltret (In) och nedströms växtfiltret (Ut). Dessa visar samma som de för 2020, att det inte finns någon signifikant minskning mellan halten PFAS in och ut ur växtfiltret.

Tabell 6: analyser av PFOS och PFOA i vattenprover under 2021. Mätningar gjordes vid två tillfällen. Vattenproverna är tagna uppströms växtfiltret (In) och nedströms växtfiltret (Ut).

Mätpunkt		In	Ut	In	Ut
Provdatum	2021	29/6	29/6	29/9	29/9
Perfluoroktansyra (PFOA)	ng/L	6,2	6,8	3,6	3,8
Perfluoroktansulfonsyra (PFOS)	ng/L	17,0	16,8	7,0	6,2
PFAS, summa 11	ng/L	65,0	61,5	32,9	32,8

Resultat växtprovtagning 2021

Laboratorium				SLU	SLU	SLU	SLU
Växtedel				blad	rot	blad i flotte	rot i flotte
Provdatum			2021	29-jun	29-jun	29-jun	29-jun
Perfluoroktansyra (PFOA)			ng/g	0,39	0,28	0,80	0,83
Perfluoroktansulfonsyra (PFOS)			ng/g	0,36	2,07	2,09	20,2
PFBA			ng/g	- ²	-	-	-
PFPeA			ng/g	14,9	-	-	-
PFHxA			ng/g	0,92	-	1,92	-
PFHpA			ng/g	-	-	-	-
PFNA			ng/g	0,37	0,12	0,27	0,43
PFDA			ng/g	-	0,31	0,43	0,62
PFUnDA			ng/g	-	0,6	0,61	0,51
PFDoDA			ng/g	-	-	0,14	0,11
PFTriDA			ng/g	-	-	0,05	0,06
PFTeDA			ng/g	-	0,06	-	0,07
PFBS			ng/g	-	-	-	-
PFHxS			ng/g	-	-	0,25	0,52
PFAS 11			ng/g	16,6	2,3	5,8	22,6

Växternas upptag av de fem vanligaste karboxylsyrorerna har räknats ut av vad som uppskattningsvis transporterats genom området med vattnet under växtsäsongen (tabell 7) enligt mätningar från 2020. Sammantaget är upptaget av de fem vanligaste perfluorerade karboxylsyrorerna **242%**.

Tabell 7 växternas upptag av de fem vanligaste karboxylsyrorerna 2021.

PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA
391%	264%	163%	191%	14%

När det gäller växternas upptag av de tre sulfonsyrorna som ingår i PFAS-11 är upptaget betydligt sämre (tabell 8). Sammantaget är upptaget av sulfonsyrorna **20%**.

Tabell 8 växternas upptag av de tre vanligaste sulfonsyrorna 2021.

PFBS	PFHxS	PFOS
6%	3%	34%

Upptaget av PFAS-11 är beräknat till sammantaget **169%**

² De celler som har ett - betyder att mätvärdet inte kommit upp i mätbara nivåer

Diskussion av resultaten

Förväntningarna på detta pilotprojektet var; utifrån de laborietester som gjorts av Clean Nature tillsammans med Stockholms universitet; att det inte skulle vara någon skillnad mellan växternas upptag av PFOS och PFOA. Dessa är två av de PFAS-ämnena som finns dokumenterade i bäckvattnet. Utgångspunkten, baserad på laborietesterna, var att upptag mellan olika typer av PFAS-ämnena skulle vara likvärdiga. Växterna skulle ta upp PFAS från vattnet genom sina rotsystem och växtdelar och detta skulle kunna visas genom de vattenprover som togs frekvent under första året. Så vart dock inte utfallet när försöken flyttades ut i ett verkligt vattendrag med långt fler parametrar som kan ändra förutsättningarna för växternas upptagningsförmåga.

PFAS i sedimenten- påverkan på projektet

I sedimenten visade det sig redan finnas en relativt hög halt PFOS och en lägre halt PFOA. PFOA-halten var till och med för låg för att ge utslag i de analyser som genomfördes. PFOS-halten kan jämföras med exempelvis den undersökning som Niras gjorde på Mälarens botten sediment under 2017. PFOS-halter varierade då mellan 1100–5100 ng/kg. Halterna i Igelbäckens sediment i försöket har uppmätts till 3570 ng/kg. Det kan nämnas att det norska gränsvärdet för PFOS i sediment från sötvatten är 2300 ng/kg. Det finns inget svenskt gränsvärde för PFOS i sediment. Igelbäcken är dessutom ett rinnande vattendrag och borde teoretisk ha längre halter än de ackumulationsbottenar som finns i Mälaren.

Sediment och vatten strävar efter ett jämviktsförhållande och det finns ett ständigt utbyte mellan sediment och vatten. Strävan efter jämvikt innebär förenklat att när renare vatten rinner in i området så släpper sedimentet ifrån sig PFAS. När mer förorenat vatten rinner in tar sedimentet upp PFAS. Detta innebär också att när man tar upp PFAS från sedimentet med hjälp av växter kommer sedimentet att ta upp mer PFAS från vattnet. Dock kan jämviktsförhållandet vara beroende av andra mer eller mindre tillfälliga faktorer såsom vattenflöde, vattenstånd, pH-halt, lerhalten, syrehalt, växtlighet etc.

PFAS i vattnet

Resultaten från vattenproverna antyder att växternas påverkan på mängden PFAS som flyter igenom provområdet bara påverkas marginellt. För att växterna ska kunna ta upp PFAS måste det vara tillgängligt för upptag. Om PFAS-molekyler har fastnat i någon partikel i vattnet, tex en lerpartikel, blir det betydligt svårare för växterna att ta upp PFAS. Ibland är vattnet i bäcken mycket grumligt med partiklar av varierande slag. Då ökar andelen PFAS som fastnat på partiklar och därmed minskar det möjliga upptaget för växterna.

PFAS i växterna

Starrväxterna ser ut att ha haft en generellt god förmåga att ta upp PFAS, enligt de mätningar som gjorts, innehåller växtdelarna betydande mängder PFAS. Upptaget har varit betydligt bättre i flottarna än i de plantor som växt i sedimentet. Trots att plantorna i flottarna, under 2020, var i kontakt med bäcken en betydligt kortare tid, då de placerades i bäcken senare på året, så innehöll de vid analyserna ungefär dubbelt så mycket PFAS som de som växt i sedimentet. Därmed konstaterades att upptag hydroponiskt, direkt från vattnet, är mer effektivt än upptag från

sedimentet. Det samma visade analysresultaten från 2021. Starrer i växtflottarna innehöll högre halter än den starr som växt i själva bäckfåran. Det bör tilläggas att vattennivån och vattenflödet under året har varierat väldigt mycket och att en stor del av de plantor som växt i sedimentet vid låga vattennivåer befunnit sig ovanför vattenytan.

Igelbäckens vatten har generellt en betydligt högre halt av PFOS än av PFOA. Trots det visar analyserna av växterna det omvända, att de innehåller 4–5 gånger mer PFOA än PFOS. Troligtvis beror det på att växterna har haft lättare att ta upp PFOA än PFOS på grund av ämnas olika förmåga att binda till partiklar. PFOS tenderar att i större utsträckning binda till partiklar än PFOA. PFAS-ämnen med längre kolkedjor som PFOS har lättare att binda sig till partiklar än kortkedjade PFAS-ämnen. I laboratorieförsöken hade ett relativt partikelfritt vatten använts. Vattnet i Igelbäcken har mycket partiklar. Det innebär att det mesta av ämnet PFOS binder sig till partiklar och sediment. PFOA befinner sig mer fritt i vattnet och kan därmed lättare tas upp av plantorna.

Resultaten från analyserna på de olika växtdelarna antyder att upptagningsförmågan har ökat med tiden. Den totala mängden biomassa har ökat betydligt vilket innebär att den totala mängden PFAS som tagits från området har ökat. Första året skördades 2,1 ton starr och andra året 5,88 ton starr. Prover på växterna har också tagits vid olika tidpunkter på året och resultaten antyder att innehållet i växterna ackumuleras till högre nivåer ju längre man väntar med skörd. Att det totala upptaget av PFAS är högre än 100% (tabell 7 och 8) 2021 beror på att jämförelsen görs mellan mängden PFAS som finns i vattnet och hur mycket PFAS som tagits bort från området via växter som är planterade i sedimenten. Trots den höga mängden PFAS som skördats så har inte mängden PFAS i vattnet påverkats nämnvärt vilket beror bland annat på att det skördades mer gräs längre ut i bäcken 2021. Fler plantor planterades också i juni 2021 samt att alla starrväxter har fått en ökad biomassa med ytterligare 1 års tillväxt. Används mätresultaten från växterna från november 2020 och beräknad mängd vatten från 2020 innebär det att det skördade starrgräset 2021 innehöll 2,25 g PFAS11 att jämföra med 2020 som var 0,80 g PFAS11. Vilket är en ökning med nästan 3 gånger ökad bortförsel av PFAS från området.

Resultaten visar också att upptaget har varit betydligt bättre i flottarna än i de plantor som växt i sedimentet, vilket starkt antyder att hydroponiskt planterade växter har ett bättre upptag av PFAS än växter planterade i sedimenten. Det kan också förklaras av att Igelbäcken har stora variationer av vattennivåer och vattenflöden. En stor del av plantorna har under stora delar av året befunnit sig på strandbrinken ovanför vattenytan.

Sammanfattning

En viktig lärdom från projektet är att man måste se vatten, sediment, partikelmängd och växter som en helhet. Initialt fanns en förhoppning om att kunna se signifikanta nedgångar av PFAS-halterna direkt i vattenproverna. Det vill säga att halterna ut från växtfilterområde skulle vara betydligt lägre än halterna i det vatten som rinner in i området.

Huvudförklaringen till varför det inte blev så ligger i att den totala mängden PFAS redan var mycket högre i sedimenten än den är i vattnet. Den PFAS som är bunden i bäckens sediment påverkar i väldigt hög grad vattnet. Växterna tar upp betydande mängder PFAS men effekterna är

beroende på tillfälliga förhållanden såsom vattenflöde, partikelhalt, pH-halt, lerhalt, syrehalt, etc. och påverkar sannolikt mätvärdena betydligt.

Det långsiktiga målet och förhoppningarna med projektet var att växterna skulle ta upp framförallt ämnet PFOS som överskrids med 60 gånger gränsvärden på 0,65 ng/l i Igelbäcken. För övriga PFAS-ämnen finns inga gränsvärden. Det visar sig att PFOS har en stark förmåga att binda till partiklar på grund av sin långa kolkedja. Ämnet blir då inte lika tillgängligt för de växter som planterats och växtfiltret blir då inte lika effektivt för just PFOS. Positivt är att växterna är effektiva på att plocka upp andra, mer kortkedjade, PFAS-ämnen.

I flera exploateringsprojekt runt om i Stockholm finns ofta det omvända svårigheterna. Då används kolfilter i containrar för att få bort PFAS men dessa är inte så effektiva på att rena bort de kortkedjade PFAS ämnena. En slutsats som projektet drar är att en kombination med kolfilter och växtfilter nog skulle kunna bli den mest effektiva metoden att få bort PFAS-ämnen ur ett vatten.

Slutsatser efter två års pilotverksamhet

- Starrväxterna tar upp PFAS både planterade i sediment och planterade hydroponiskt (i flottar).
- Starrväxternas förmåga att ta upp PFAS är bättre om de planteras hydroponiskt.
- För att starrväxter ska kunna fungera som "PFAS-filter" måste PFAS vara tillgängligt för upptag, alltså inte vara bundet till partiklar i vattnet.
- Normalt bör starr planteras både i sedimenten och hydroponiskt om man vet att sedimenten innehåller PFAS.
- Innehåller det strömmande vattnet mycket partiklar bör vattenströmmen först filtreras och sedimenteras innan vattenströmmen når de planterade växterna. Detta blir svårt att uppfylla i ett känsligt vattendrag som Igelbäcken men kan eventuellt appliceras på andra vatten. Fördel är om växtfilterytan föregås av en sedimentationsdel som exempelvis en djuphåla och/eller en våtmark.
- Mängden vatten och koncentrationen av PFAS i vattnet avgör antal starrväxter som behövs.
- Skörd av starr innebär att PFAS försvinner från aktuellt vattenområde.
- De skörade växterna behöver hanteras rätt. I detta projekt har växtdelarna skickats till Högdalen kraftvärmeverk som kan förbränna i höga temperaturer. Anläggningen har ett filter i sina skorstenar som förhindrar eventuell spridning med luftpartiklar.