



Analys av bisfenolaloger i slam och vatten från reningsverk

Peter Haglund, Umeå universitet

Umeå 2019-02-20



NATIONELL
MILJÖOVERVAKNING
PÅ UPPDRAG AV
NATURVÅRDSVERKET

Analys av bisfenolanaloger i slam och vatten från reningsverk

Rapportförfattare Peter Haglund, Umeå universitet	Utgivare Umeå universitet Postadress 901 87 Umeå Telefon 090-786-6667
Rapporttitel och undertitel Analys av bisfenolanaloger i slam och vatten från reningsverk	Beställare Naturvårdsverket 106 48 Stockholm Finansiering Nationell miljöövervakning
Nyckelord för plats Ryaverket, Nohaga, Henriksdahl, Umeå, Gässlösa, Ellings, Borlänge, Bollebygd, Bergkvara reningsverk	
Nyckelord för ämne Bisfenoler, reningsverk, slam, vatten	
Tidpunkt för insamling av underlagsdata 2017 – 2017	
<p>Sammanfattning</p> <p>Syftet med detta uppdrag var att analysera bisfenolanaloger dvs. ersättningsämnen till Bisfenol-A i slam och utgående vatten från reningsverk. Bisfenol-A används framför allt vid framställning av polykarbonat och epoxiplaster, men även som s.k. hårdgörare i andra plaster. Bisfenoler är kända för deras hormonstörande effekt och man vet att människor kontinuerligt exponeras för Bisfenol-A.</p> <p>Femton bisfenoler analyserades i slam och utgående vatten från nio svenska reningsverk samt i inkommande vatten från tre av dessa.</p> <p>Bisfenol-A förekom i högst halter i utgående vatten följt av Bisfenol-F och -S samt Bisfenol-AF, -M, -G och -B. De uppmätta halterna överensstämde väl med andra liknande studier från Europa. Som förväntat innehöll inkommande vatten generellt mer bisfenoler än det utgående vattnet. Ett försök gjordes att räkna fram reningseffektivitet för de tre reningsverk där både inkommande och utgående vatten provtagits. Reningseffektiviteten var mellan 73% och 100% för de ämnen som förekom i högst halt (Bisfenol-A och -S) samt för Bisfenol-F, -AF, -M, -G och -B i ett prov från ett reningsverk med hög industriell belastning.</p> <p>Bisfenol-A, -S, -F och -AF återfanns i samtliga slamprover. Bisfenol-C detekterades i slam från ett reningsverk. Övriga bisfenoler kunde inte detekteras i något av slamproven. De uppmätta halterna överensstämde väl med andra liknande studier från Tyskland, Korea, Kina och USA. Möjligen var halterna av Bisfenol-A och Bisfenol-S i det svenska slammet något högre än i slam från Kina.</p> <p>I dagsläget mäts bara Bisfenol-A i den reguljära årliga övervakningen av föroreningar i slam och utgående vatten från svenska reningsverk. I och med att halterna av Bisfenol-S och Bisfenol-F ligger i samma haltområde som Bisfenol-A bör det övervägas om även dessa ska inkluderas i mätprogrammet.</p>	

Sammanfattning

Syftet med detta uppdrag är att analysera bisfenolanaloger dvs. ersättningsämnen till bisfenol A i slam och utgående vatten från reningsverk. Bisfenol A används framför allt vid framställning av polykarbonat och epoxiplaster, men även som s.k. hårdgörare i andra plaster. Bisfenoler är kända för deras hormonstörande effekt och man vet att människor kontinuerligt exponeras för Bisfenol A (BPA). Det är sedan 2011 förbjudet att inom EU tillverka, importera eller sälja nappflaskor som innehåller Bisfenol A (BPA) varför detta ämne håller på att fasas ut.

Femton bisfenoler analyserades i slam och utgående vatten från nio svenska reningsverk samt i inkommande vatten från tre av dessa.

Bisfenol A förekom i högst halter i utgående vatten, följt av Bisfenol F och Bisfenol S samt Bisfenol AF, Bisfenol M, Bisfenol G och Bisfenol B. De uppmätta halterna överensstämde väl med andra liknande studier från Europa. Den största skillnaden var att vi detekterade Bisfenol M och Bisfenol G, vilka inte rapporterats tidigare.

Som förväntat innehöll inkommande vatten generellt mer bisfenoler än det utgående vattnet. Ett försök gjordes att räkna fram reningseffektivitet för de tre reningsverk där både inkommande och utgående vatten provtagits. Reningseffektiviteten var mellan 73% och 100% för de ämnen som förekom i högst halt (Bisfenol A och Bisfenol S) i de tre reningsverken samt för Bisfenol F, Bisfenol AF, Bisfenol M, Bisfenol G och Bisfenol B i ett reningsverk med hög industriell belastning.

Bisfenol A, Bisfenol S, Bisfenol F, Bisfenol AF återfanns i samtliga slamprover. Bisfenol C detekterades i slam från ett reningsverk. Övriga bisfenoler kunde inte detekteras i något av slamproven. De uppmätta halterna överensstämde väl med andra liknande studier från Tyskland, Korea, Kina och USA. Möjligen var halterna av Bisfenol A och Bisfenol S i det svenska slammet något högre än i slam från Kina.

I dagsläget mäts bara Bisfenol A i den reguljära årliga övervakningen av föroreningar i slam och utgående vatten från svenska reningsverk. I och med att halterna av Bisfenol S och Bisfenol F ligger i samma haltområde som Bisfenol A bör det övervägas om även dessa ska inkluderas i mätprogrammet.

Bakgrund och syfte

Bisfenol A används framför allt vid framställning av polykarbonat och epoxiplaster, men även som s.k. hårdgörare i andra plaster. Bisfenoler är kända för deras hormonstörande effekt och man vet att människor kontinuerligt exponeras för Bisfenol A (BPA). Det är sedan 2011 förbjudet att inom EU tillverka, importera eller sälja nappflaskor som innehåller Bisfenol A (BPA). Utöver detta EU-förbud beslutade Sveriges regering i april 2012 att förbjuda BPA i förpackningar för livsmedel avsedda för barn upp till tre år. Idag ersätts därför BPA med andra typer av bisfenoler.

Syftet med detta uppdrag är att analysera bisfenolanaloger dvs. ersättningsämnen till bisfenol A i slam och utgående vatten från reningsverk.

Urval av ämnen

De ämnen som var aktuella var utvalda utifrån vad som detekterats i andra studier (Tabell 1) och vilka ytterligare som fanns som standard. Ett försök har gjorts att detektera samtliga.

Tabell 1. Ämnen inkluderade i den aktuella studien.

Ämne	Förkortning	Prio	Kommentar
Bisphenol A	BP A	1	Höga halter
Bisphenol F	BP F	1	
Bisphenol S	BP S	1	
Bisphenol AF	BP AF	2	Medelhöga halter
Bisphenol P	BP P	2	
Bisphenol AP	BP AP	3	Låga halter
Bisphenol B	BP B	3	
Bisphenol Z	BP Z	3	
Bisphenol BP	BP BP	4a	Mätta, ej detekterade
Bisphenol C	BP C	4a	
Bisphenol E	BP E	4a	
Bisphenol C-diklorid	BP CDC	4b	Ej mätta, standard finns att köpa
Bisphenol G	BP G	4b	
Bisphenol M	BP M	4b	
Bisphenol TMC	BP TMZ	4b	

Urval av provtagningslokaler

För att maximera nyttan med undersökningen provtogs de 9 reningsverk som ingår i Naturvårdsverkets årliga övervakningen av Svenska reningsverk.

Följande reningsverk provtogs således:

Ryaverket

Nolhaga reningsverk

Henriksdahl reningsverk

Umeå reningsverk

Gässlösa reningsverk

Ellinge reningsverk

Borlänge reningsverk

Bollebygd reningsverk

Bergkvara reningsverk.

Slam och utgående vatten analyserades från samtliga reningsverk. Dessutom analyserades inkommande vatten från Henriksdahl, Umeå och Gässlösa reningsverk.

Kemiska analyser

Standarder för de aktuella föroreningarna inhandlades från AccuStandards (New Haven, CT, USA). Brukslösningar bereddes i metanol. Som intern standard användes D14-Bisfenol A (D14-BPA).

Vattenproverna filtrerades och vattenfasten extraherades med fastfas extraktion (SPE) med en metod som validerats för Bisfenol A [1]. I metoden används en polymer kolonn (Oasis HLB) framställd från två monomerer, en polär (n-vinylpyrrolidone) and opolär (divinylbensene) vilket ger materialet en bred selektivitet. SPE kolonnen konditionerades med diklorometan, acetonitril och vatten, varefter provet fylldes på. Mer utgående vatten (50 mL) användes än inkommande vatten (25 mL) för att kompensera för den förväntat lägre föroreningshalten.

Filter och slamprover (ca 5g) extraherades i två steg med acetonitril repektive acetonitril:toluen (2:1) i ett ultraljudsbad. Varje extraktion varade 15 min. Slamproverna centrifugerades efter varje extraktion och överfasen avlägsnades.

De olika extrakten slogs samman och indunstades till en volum av ca. 0.5 mL. Makromolekyler avlägsnades m.h.a. gelpermeationskromatografi [2].

Den instrumentella analysen utfördes med hjälp av gaskromatografi och högupplösande masspektrometri (GC-HRMS; min 10 000 upplösning).

UmU är ackrediterad för analys av PCDD/F och dl-PCB och samma principer för analys och kvalitetssäkring användes för bisfenol A analyserna, dvs. isotopspädningsteknik.

De instrumentella detektionsgränserna (LOD) varierar inom ämnesklassen. Hög respons och låga detektionsgränser noterades för Bisfenol A, Bisfenol AP, Bisfenol B och Bisfenol G. Medelhög respons noterades för Bisfenol BP och Bisfenol C. Låg respons noterades för Bisfenol AF, Bisfenol C-diklorid, Bisfenol E, Bisfenol F, Bisfenol M och Bisfenol P. Slutligen, mycket låg respons noterades för Bisfenol S.

Skillnaden beror delvis på skillnader i molekylvikt, där mindre molekyler generellt har högre respons. I det aktuella fallet är dock skillnaderna stora och andra faktorer måste ha bidragit. Fenoler är generellt svåra att analysera med gaskromatografi p.g.a. sin polaritet och begränsade temperaturstabilitet. Troligen uppstår förluster p.g.a. sorption och partiell degradering i GC systemet. För att minimera dessa förluster användes en inert GC kolonn med tunn stationärfas (Agilent DB5ms ultra-inert; 15m x 0.25 mm x 0.10 µm filmtjocklek).

För rena prover med relativt höga nivåer av bisfenoler bör responsen vara densamma mellan prover och standard, men för slamprover med mycket biogena ämnen (matris) och ibland låga nivåer finns risk för att matiseffekter påverkar noggrannheten i mätningarna. Risken för bias ökar ju större skillnaden i respons är mellan det ämne som skall mätas och den interna standarden. Fullt kvantitativa data har genererats för Bisfenol A (som har en matchande intern standard) medans halten för Bisfenol S bör betraktas som semi-kvantitativ.

Om beslut tas att bisfenoler skall inkluderas i reguljär monitoring bör fler interna standarder inkluderas, exempelvis deutererad Bisfenol F och Bisfenol S.

Kvalitetssäkring av kemisk analys

För att säkerhetsställa att en korrekt koncentration rapporteras ställdes följande krav på analyserna:

- All glasutrustning är diskad och bränd i ugn vid 400 °C. Lösningsmedel som används är av högsta kvalitet m a p renhet.
- En internstandard ska ha så lika kemiska och fysikaliska egenskaper som möjligt som de föreningar som ska analyseras. I projektet användes deutererad bisfenol A.
- För identifiering av de aktuella substanserna gäller att föreningarna ska ha identiska retentionstider som referensstandarderna.
- För varje provserie upparbetas och analyseras ett antal så kallade labblankar, dvs. en portion lösningsmedel som behandlas pss. som de riktiga proverna för att kontrollera eventuell bakgrundskontaminering från lösningsmedel, labutrustning och instrument.

Resultat

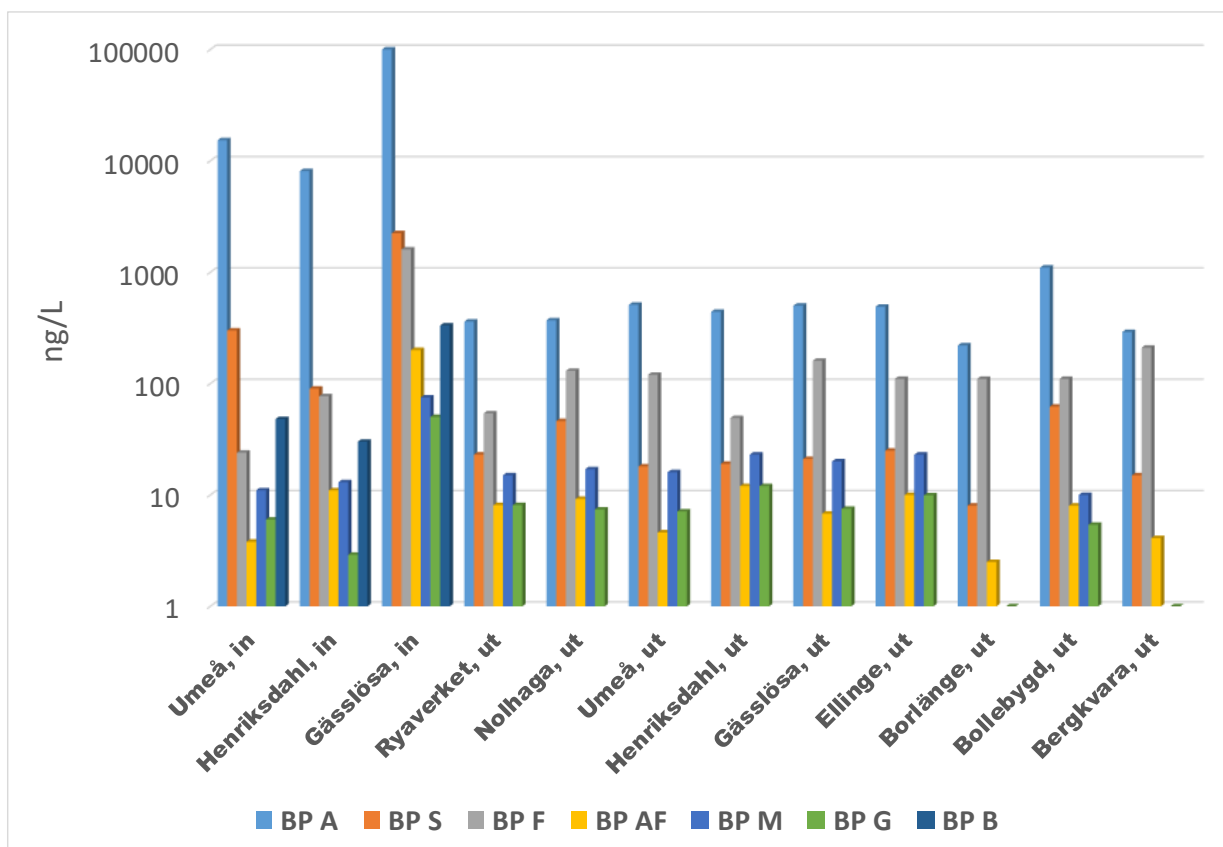
Föroreningshalter och föroreningsmönster i reningsverksvatten

Halterna av bisfenoler i vatten finns sammanfattade i Tabell 2 och Figur 1. Bisfenol A, Bisfenol S, Bisfenol F, Bisfenol AF återfanns i samtliga vattenprover. Bisfenol G återfanns i alla prover utom utgående vatten från Borlänge och Bergkvara reningsverk. Dessutom detekterades Bisfenol B i inkommande vatten från det tre undersökta reningsverken. Övriga bisfenoler detekterades inte i något av vattenproven.

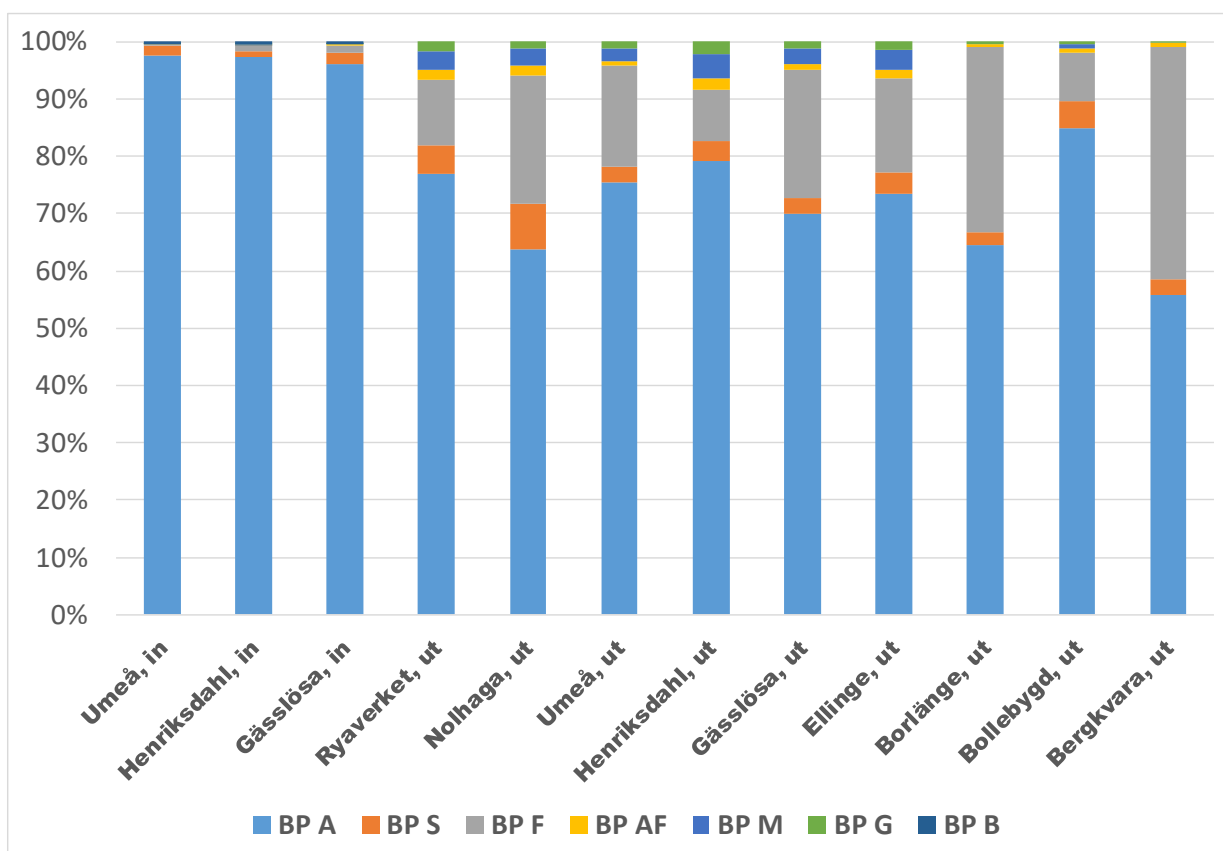
Tabell 2. Halter av bisfenoler i vatten från 9 Svenska reningsverk (ng/L).

	Bisfenol A	S	F	AF	M	G	B	AP	BP	C	CDC	E	P	TMC	Z	Ref
<i>Invatten</i>																
Umeå	15000	300	24	3,8	11	6,0	48	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Henriksdahl	8100	90	77	11	13	2,9	30	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Gässlösa	110000	2200	1600	200	75	50	330	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
<i>Utvatten</i>																
Ryaverket	360	23	54	8,1	15	8,1	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Nolhaga	370	46	130	9,2	17	7,4	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Umeå	510	18	120	4,6	16	7,1	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Henriksdahl	440	19	49	12	23	12	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Gässlösa	500	21	160	6,8	20	7,5	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Ellinge	490	25	110	10	23	9,9	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Borlänge	220	8,0	110	2,5	<3	0,8	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Bollebygd	1100	62	110	8,0	10	5,4	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Bergkvara	290	15	210	4,1	<3	0,9	<3	<3	<5	<4	<10	<10	<5	<10	<10	
Tyskland (n=38)	21-		22-													3
min-max	702		123													
detektion %	(97%)		(66%)													
Slovenien (n=6)	44-	108-	2,5-	0,04-	<dg		27	<dg	<dg	<dg	<dg	467	<dg	<dg	<dg	4
min-max	2620	438	117	3,4												
detektion %	67%	25%	42%	42%			8%						8%			
Norge(n=15)	81-	30-	81-	2,5-					6,0-							5
min-max	4500	1100	2200	4,5					2900							
detektion %	67%	47%	80%	27%					27%							

<dg: Under detektionsgränsen.



Figur 1. Halter av sju frekvent detekterade deklarerade bisfenoler (BP) i vatten från Svenska reningsverk.



Figur 2. Relativ förekomst av sju frekvent detekterade deklarerade bisfenoler (BP) i vatten från Svenska reningsverk.

Bisfenol A förekom i högst halter, följt av Bisfenol F och Bisfenol S (Tabell 2 och Figur 1) och Bisfenol M, Bisfenol G och Bisfenol B. De uppmätta halterna överensstämde väl med andra liknande studier från Tyskland respektive Slovenien. Den största skillnaden var att vi detekterade Bisfenol M och Bisfenol G, vilka inte återfunnits tidigare.

En mer lättillgänglig bild över den relativa förekomsten av olika bisfenoler i inkommande och utgående vatten från reningsverk ges i Figur 2. Det är klara skillnader i relativa bisfenolhalter (mönster) mellan inkommande och utgående vatten. Däremot är det relativt små skillnader i bisfenolmönster mellan olika inkommande vatten och mellan olika utgående vatten. En notabel skillnad är att Bisfenol A är mer dominant i inkommande vatten och att Bisfenol S är mer förekommande än Bisfenol F i inkommande vatten medans Bisfenol F dominerar över Bisfenol S i utgående vatten.

Som förväntat innehöll inkommande vatten generellt mer bisfenoler än det utgående vattnet. Ett försök gjordes att räkna fram reningseffektivitet för de tre reningsverk där både inkommande och utgående vatten provtagits. Resultaten sammanfattas i Tabell 2.

Tabell 3. Reningseffektivitet för bisfenoler (BP) i vatten från 3 Svenska reningsverk.

Reningseffektivitet	BP A	BP S	BP F	BP AF	BP M	BP G	BP B
Umeå	97%	94%	-400%	-21%	-45%	-18%	100%
Henriksdahl	95%	79%	36%	-9%	-77%	-314%	100%
Gässlösa	100%	99%	90%	97%	73%	85%	100%

För de ämnen som förekom i högst halt (Bisfenol A och Bisfenol S) samt för proverna från Gässlösa reningsverk, som genomgående innehöll mest bisfenoler, var reningseffektiviteten mellan 73% och 100%. Övriga halter var låga (< 50 ng/L) och data relativt osäkra, vilket kan förklara att uppmätta halterna i flera fall var högre i utgående vatten än i inkommande vatten. Inkommande vatten är mer förorenat och "bakgrundsbruset" i mätningarna högre, vilket kan leda till underskattning av halterna. Reduktionen för Bisfenol A ligger över den teoretiska reduktionsgraden för Bisfenol A enligt Simple Treat på 78% [6] och över reduktionen vid Bromma reningsverk (66% - 68%) [7], Borlänge reningsverk (76%) [8] och Ryaverket (medel 59%) [9] men inom det interall som rapporterats för Henriksdahl reningsverk 79% - >99% [7].

Den högre halten av bisfenoler i inkommande vatten till Gässlösa reningsverk kan möjligen förklaras av att detta reningsverk tar emot en större andel vatten från textil- och plastindustrier.

Föroreningshalter och föroreningsmönster i reningsverksslam

Halterna av bisfenoler i rötslam finns sammanfattade i Tabell 4 och Figur 3. Bisfenol A, Bisfenol S, Bisfenol F, Bisfenol AF återfanns i samtliga slamprover. Bisfenol C detekterades i slam från Gässlösa reningsverk. Övriga bisfenoler kunde inte detekteras i något av slamproven.

De uppmätta halterna överensstämde väl med andra liknande studier från Tyskland, Korea, Kina och USA (Tabell 4). Möjligen var halterna av Bisfenol A och Bisfenol S i det Svenska slammet något högre än i slam från Kina.

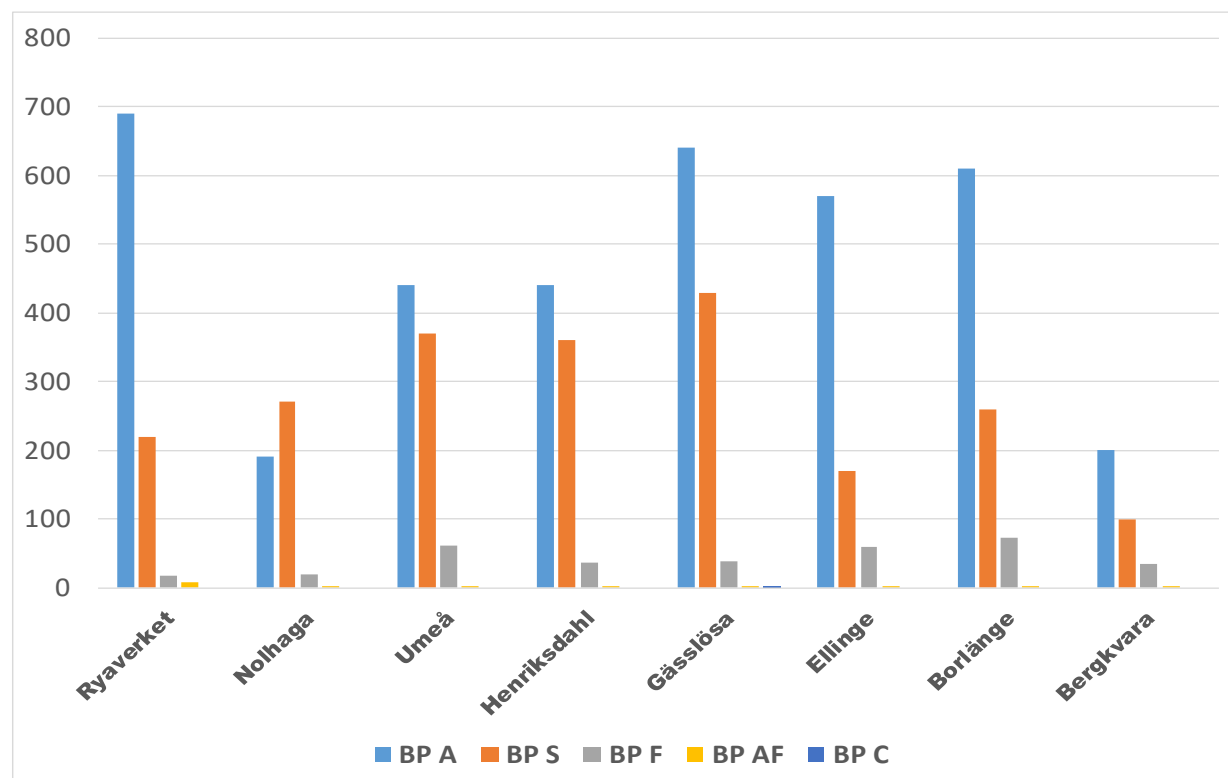
Den relativa förekomsten av olika bisfenoler i slamproverna jämförs i Figur 4. Generellt är fördelningen relativt lika även om andelarna av Bisfenol A och Bisfenol S varierar mellan de olika reningsverksslamen.

När man jämför bisfenolprofilerna för utgående vatten (Figur 2) och slam (Figur 4) blir det klart att andelen Bisfenol A och Bisfenol F är högre och andelen av Bisfenol S lägre i vatten än i slam. Detta är inte lätt att förklara då vattenlösligheten är högst för Bisfenol S. Det är möjligt att stabiliteten för aerob eller anaerob nedbrytning skiljer mellan de tre föreningarna.

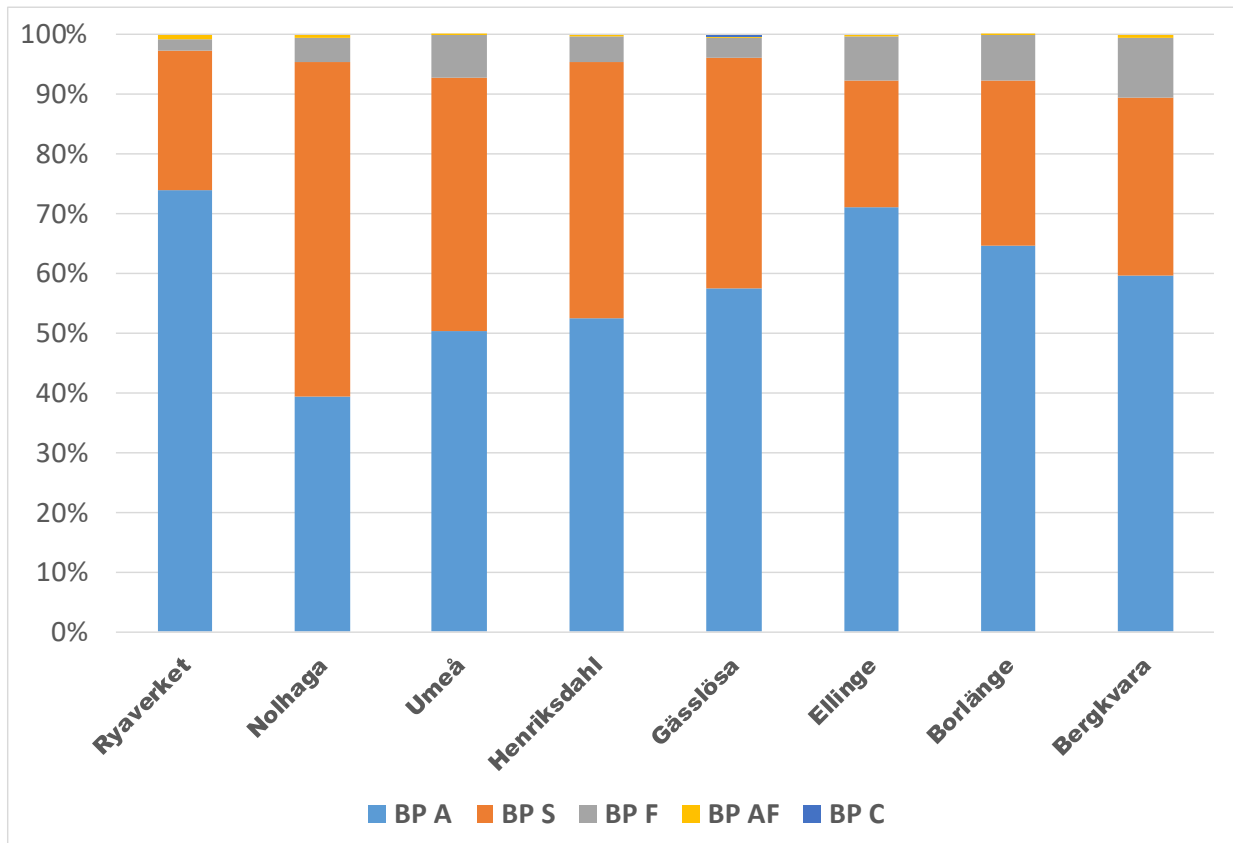
Tabell 4. Halter av bisfenoler i slam från 9 Svenska reningsverk (ng/L).

	Bisfenol A	S	F	AF	M	G	B	AP	BP	C	CDC	E	P	TMC	Z	Ref
Ryaverket	690	220	17	7,0	<2	<1	<1	<1	<2	<2	<5	<5	<2	<5	<5	
Nolhaga	190	270	20	2,4	<2	<1	<1	<1	<2	<2	<5	<5	<2	<5	<5	
Umeå	440	370	61	1,1	<2	<1	<1	<1	<2	<2	<5	<5	<2	<5	<5	
Henriksdahl	440	360	36	1,5	<2	<1	<1	<1	<2	<2	<5	<5	<2	<5	<5	
Gässlösa	640	430	38	2,2	<2	<1	<1	<1	<2	2,6	<5	<5	<2	<5	<5	
Ellinge	570	170	60	2,4	<2	<1	<1	<1	<2	<2	<5	<5	<2	<5	<5	
Borlänge	610	260	72	0,9	<2	<1	<1	<1	<2	<2	<5	<5	<2	<5	<5	
Bollebygd	200	100	34	1,6	<2	<1	<1	<1	<2	<2	<5	<5	<2	<5	<5	
Bergkvara	690	220	17	7,0	<2	<1	<1	<1	<2	<2	<5	<5	<2	<5	<5	
Tyskland (n=38) min-max	4,0- 1400		4,2- 181													3
Norge (n=10) min-max	3,0- 4500	2,1- 81	16- 390													5
Korea (n=9) min-max	46- 986	<dl- 268	87- 1800	<dl- 3,6	<dl- 17		<dl	<dl							<dl	10
Kina (n=52) min-max	<dl- 152	<dl- 110	<dl- 143	<dl- 45												11
USA (n=74) min-max	6,5- 4700	<2- 1480	<2- 242	<2- 72	<2- 6,4		<2- 5,6	<2							<2- 67	12
detektion %	100%	84%	68%	46%	5%		<5%	0%							<5%	

<dl: Under detektionsgräns.



Figur 3. Halter av fem bisfenoler (BP) som detekterats i slam från Svenska reningsverk.



Figur 4. Relativ förekomst av fem bisfenoler (BP) i slam från Svenska reningsverk.

Slutsatser och rekommendationer

Bisfenol A, Bisfenol S, Bisfenol F och Bisfenol AF är frekvent förekommande i både utgående vatten och slam från de undersökta Svenska reningsverken. Halterna är högst av de tre förstnämnda. Bisfenol M och Bisfenol G återfanns också frekvent i utgående vatten i halter liknande Bisfenol AF. Övriga bisfenoler förekom i halter nära eller under detektionsgränsen.

Halterna av bisfenoler i inkommande vatten var högst i Gässlösa reningsverk, möjligen p.g.a. högre industriell belastning. Reningeffektiviteten var dock god och halterna av bisfenoler i utgående vatten var jämförbara med vad som uppmätts vid övriga reningsverk.

Halterna av bisfenoler i utgående vatten och rötslam från Svenska reningsverk ligger generellt inom de haltintervall som rapporterats från motsvarande studier i Europa, Asien och USA.

I dagsläget mäts bara Bisfenol A i den reguljära årliga övervakningen av föroreningar i slam och utgående vatten från Svenska reningsverk. I och med att halterna av Bisfenol S och Bisfenol F ligger i samma haltområde som Bisfenol A bör det övervägas om även de ska inkluderas i mätprogrammet.

Även Bisfenol AF, Bisfenol G och Bisfenol M detekteras frekvent i utgående vatten. Om en eller flera av dessa misstänks ha besvärande miljöeffekter bör även den eller dessa övervägas.

Om mätprogrammet utökas bör fler isotopmärkta internstandarder användas vid analyserna för att säkra en fullgod datakvalitet. Sådana standarder finns för åtminstone Bisfenol S, Bisfenol F och Bisfenol AF.

Referenser

1. Blum KM, Anderson PL, Ahrens L, Wiberg K and Haglund P. Persistence, mobility and bioavailability of emerging organic contaminants discharged from sewage treatment plants. *Science of the Total Environment* (2018), **612**: 1532-1542.
2. Marklund Sundkvist A, Olofsson U, Haglund P. Organophosphorus flame retardants and plasticizers in marine and fresh water biota and in human milk. *Journal of Environmental Monitoring* (2010), **12**: 943-51.
3. Fromme H, Küchler T, Otto T, Pilz K, Müller J, Wenzel A. Occurrence of phthalates and bisphenol A and F in the environment. *Water Research* **36**: 1429-1438.
4. Cesen M, Ahel M, Terzić S, Heath DJ, Heath E. The occurrence of contaminants of emerging concern in Slovenian and Croatian wastewaters and receiving Sava river. *Science of the Total Environment* **650**: 2446-2453.
5. Miljödirektoratet. Screening program 2013: New bisphenols, organic peroxides, fluorinated siloxanes, organic UV filters and selected PBT substances. Report M-176/2014.
6. Sternbeck J., Allmyr M, Frankki S., 2014, Bedömning av påverkan från lakvatten inom REVAQ. Metodik för farliga ämnen, Svenskt Vatten Utveckling , Rapport Nr 2014-03
7. Wahlberg C., 2016, Organiska miljöföroreningar i avloppsvatten och slam från Henriksdal och Bromma- undersökningar 2014 och 2015, Stockholm Vatten rapport, Diarienummer 15SV1018.
8. Kaj L, Ekheden Y, Dusan B, Hansson K, Palm Cousins A, Remberger M, Brorström-Lundén, Schlabach M. Screening 2004. Uppföljningsprojekt IVL rapport B1745, 2007.
9. Paxeus N. Bisfenol A. Gryaab rapport 2016:5.
10. Lee S, Liao C, Song G, Ra K, Kannan K, Moon HB. Emission of bisphenol analogues including bisphenol A and bisphenol F from wastewater treatment plants in Korea. *Chemosphere* **119**: 1000-1006.
11. Song S, Song M, Zeng L, Wang T, Liu R, Ruan T, Jiang G. Occurrence and profiles of bisphenol analogues in municipal sewage sludge in China. *Environmental Pollution* **186**: 14-19.
12. Yu X, Xue J, Yao H, Wu Q, Venkatesan AK, Halden RU, Kannan K. Occurrence and estrogenic potency of eight bisphenol analogs in sewage sludge from the U.S. EPA targeted national sewage sludge survey. *Journal of Hazardous Materials* **299**: 733-739.