

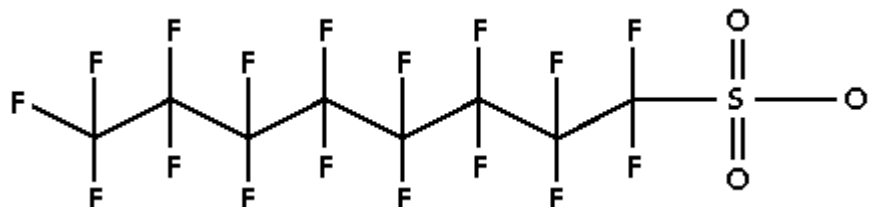
2017-06-21

Rickard Bjerselius, UV/RÅ

PFAS i enskilda brunnar runt Visby flygplats

Sammanfattning

Runt Visbys flygplats finns brunnar med dricksvatten som överskrider Livsmedelsverkets åtgärdsgräns för PFAS₁₁ på 90 ng/l. Om dricksvattnet överskrider återgårdsgränsen innebär det att det mest strikta hälsomässiga riktvärdet för intag av PFOS och PFOA överskrids av spädbarn, som får modersmjölksersättning tillredd av det förorenade vattnet, samt av små barn som använder vattnet som dryck. Riskvärderingen är dock konservativ eftersom flera av de i PFAS₁₁ ingående substanserna med stor sannolikhet är mindre toxiska än PFOS/PFOA. Även vid de högsta exponeringarna finns marginaler till de nivåer som orsakar effekter i djurförsök, men marginalerna är i dessa fall inte tillfredsställande. PFAS är inte akut toxiska vid de nivåer som uppmätts. När det gäller eventuella långsiktiga hälsoeffekter så är det inte sannolikt att det kommer att gå att påvisa negativa hälsoeffekter på individuell nivå. Om stora befolkningsgrupper har druckit dricksvatten med de högsta redovisade halterna under lång tid, går det dock inte att utesluta en ökning av effekter som är statistiskt mätbara jämfört med grupper som druckit vatten med låga PFAS-halter.



Figur 1. Perfluoroktansulfonat (PFOS).

Inledning

Poly- och perfluorerade alkylsubstanser (PFAS) är en stor grupp kemikalier där många substanser har förmåga att bilda släta, vatten-, fett- och smutsavvisande ytor, och PFAS används därför bland annat i impregnerat papper och textilier, i rengöringsmedel (till exempel golvpolish) och brandsläckningsskum. PFAS används också som processhjälpmedel i tillverkningsindustri. Vissa PFAS kan brytas ner till perfluorerade alkylsyror (PFAA), vilka är en grupp organiska syror som är mycket svårnedbrytbara och som är starkt ytaktiva. Alla PFAA har en kolkedja där alla väteatomer är utbytta mot fluoratomer och delas in i sulfonsyror och karboxysyror (Figur 1, Tabell 1).

2017-06-21

Tabell 1. Poly- och perfluorerade alkylsubstanter (PFAS)

Substans	Antal kol	Förkortning
Sulfonsyror (PFSA)		
Perfluorbutansulfonat	4	PFBS
Perfluorhexansulfonat	6	PFHxS
Perfluoroktansulfonat	8	PFOS
Perfluordekansulfonat	10	PFDS
Karboxylsyror (PFCA)		
Perfluorbutanoat	4	PFBA
Perfluorpentanoat	5	PFPeA
Perfluorhexanoat	6	PFHxA
Perfluorheptanoat	7	PFHpA
Perfluoroktanoat	8	PFOA
Perfluornonanoat	9	PFNA
Perfluordekanoat	10	PFDA
Perfluorundekanoat	11	PFUnDA
Perfluordodekanoat	12	PFDoDA
Polyfluorerad alkylsubstans		
Fluortelomersulfonat	6	6:2 FTS

PFAS är vattenlösliga och relativt lätttrögliga i mark. Grund- och ytvatten i närheten av stark förorenade områden kan därför ha höga koncentrationer av PFAS. Livsmedelsverket har infört en åtgärdsgräns för summan av halterna av 11 olika PFAS (PFAS₁₁: PFBS, PFHxS, PFOS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA och 6:2 FTS) vilka har bedömts vara de PFAS som dominerar i förorenade vatten. Åtgärdsgränsen är 90 ng PFAS₁₁/l och ligger halterna över denna gräns så ska den som är ansvarig för dricksvattnets kvalitet snarast vidta åtgärder så att halten av PFAS₁₁ i dricksvattnet sänks till så låga halter som är praktiskt möjligt under åtgärdsgränsen. Om PFAS₁₁ ligger över 900 ng/l ges rådet att undvika att dricka vattnet eller äta mat som tillagats med vattnet tills halterna har sänkts. Dessa riskhanteringsåtgärder baseras på det hälsomässiga tolerabla intaget för PFOS framtaget av den europeiska livsmedelssäkerhetsmyndigheten (EFSA) 2008 (se nedan).

Nedan följer en riskvärdering av PFAS i dricksvatten från de enskilda brunnarna runt Visby flygplats.

Riskvärdering

Halter i dricksvattnet i förhållande till Livsmedelsverkets åtgärdsgräns

Vattenproverna kommer enligt länsstyrelsens analysprotokoll från 68 enskilda brunnar. Ingen information föreligger om hur många konsumenter som använder vattnet och hur ofta vattnet konsumerats. 33 fastigheter anges ha permanentboende, medan 14 sannolikt är fritidsboende. För resten av fastigheterna saknas information om boendestatus. I de fall då två prover från samma brunn analyserats användes medelvärdet av de två mätningarna. Observera att det finns en osäkerhet i bedömningen av halter när endast ett mätvärde finns tillgängligt, eftersom PFAS₁₁-halten i vissa brunnar varierar kraftigt mellan de två mätningarna vilket kan bero på en säsongsvariation. Vid summering av PFAS₁₁ sattes halter under analysmetodens kvantifieringsgräns (LOQ) till värdet noll. Enligt analysprotokollet var LOQ <1 ng/l för alla substanser.

2017-06-21

16 brunnar hade PFAS₁₁-halter under 10 ng/l och 38 brunnar hade halter under 90 ng/l. Resten av brunnarna (14 st) hade halter i intervallet 90-900 ng/l. Vid halter av PFAS₁₁ över 90 ng/l hade de flesta ingående PFAS halter över LOQ med undantag för PFDA, PFNA, och 6:2 FTS.

Bidraget av de olika PFAS förändrades med ökad PFAS₁₁-halt, med PFHxS i medeltal dominerande i prover med halter mellan 10 och 90 ng/l, med en övergång till viss dominans av PFOS i prover med högre halter, följt av PFHxS. I brunnar med PFAS₁₁-halter mellan 10 och 90 ng/l bidrog PFHxS med i medeltal 49 % av totalhalten följt av PFOS (22 %) och PFBS (12 %). Vid halter i intervallet 90-500 ng PFAS₁₁/l bidrog PFOS med 30 %, PFHxS med 25 % och PFHxA och PFPeA med cirka 10 % vardera. Vid halter över 500 ng PFAS₁₁/l bidrog PFOS med 36 %, PFHxS med 23 % och PFHxA och PFPeA med cirka 10 % vardera.

Hälsobaserade riktvärden

Expertgruppen för riskvärdering av kontaminanter i mat på den europeiska livsmedelsmyndigheten EFSA gjorde 2008 en riskvärdering av PFOS och PFOA i mat (EFSA 2008). Ett tolerabelt dagligt intag (TDI) av PFOS på 150 ng/kg kroppsvikt/dag föreslogs, baserat på negativa hälsoeffekter i djurförsök. I försök på apa sågs förändringar av fettmetabolism och nivåer av sköldkörtelhormoner vid en lägsta exponering (LOAEL) på 0,15 mg/kg/dag efter 183 dagars exponering. Den högsta exponeringen som inte gav några mätbara hälsoeffekter på aporna (NOAEL) bedömdes av EFSA att ligga på 0,03 mg/kg/dag. En osäkerhetsfaktor på 200 användes för att komma fram till TDI på 150 ng/kg/dag. För PFOA sattes TDI till 1500 ng/kg/dag baserat på levertoxicitet hos råttor och mus. Även här lades en osäkerhetsfaktor på 200 till den lägsta dos som orsakade en 10 % ökning av leverskador (benchmarkmodellering) (EFSA 2008). För övriga PFAS finns inga föreslagna TDI, på grund av för dåligt vetenskapligt underlag. Ett sammanvägt TDI för hela blandningen av PFAS saknas också.

EFSA håller för närvarande på med en revidering av TDI för PFAS och kommer sannolikt bli klar med detta till årsskiftet 2017-18. Revideringen görs mot bakgrund av att nya vetenskapliga studier av toxiciteten hos PFOS och PFOA pekar mot att ämnena är mer toxiska än vad EFSA tidigare har bedömt vid riskvärdering 2008 (Borg et al. 2013; Livsmedelsverket 2013). EFSA:s revision kommer sannolikt att innebära sänkningar av TDI för PFOS och PFOA.

USAs Naturvårdsverk (US EPA 2016) har redan tagit fram nya hälsobaserade riktvärden (HRV) för PFOS och PFOA, som använts i USA för att bedöma risker med PFAS-förorening av dricksvatten. För både PFOS och PFOA har värdet satts till 20 ng/kg kroppsvikt/dag. HRV baseras på djurstudier av utvecklingseffekter (PFOS: födelsevikt; PFOA: benmineralisering och tid till pubertet). För PFOS var 100 000 ng/kg kroppsvikt/dag det högsta dagliga intaget bland de mest känsliga moderdjuren som inte gav effekter på avkomman. Detta motsvarar ett dagligt intag hos människa på 510 ng/kg/dag efter att hänsyn tagits till skillnader i hur PFOS omsätts i kroppen mellan djuren och människa. HRV för PFOS sattes till 20 ng/kg/dag (avrundat uppåt) genom att dividera 510 ng/kg/dag med en osäkerhetsfaktor på 30. För PFOA var 1 000 000 ng/kg /dag det lägsta dagliga intaget bland de mest känsliga moderdjuren som gav effekter på avkomman. Detta motsvarar ett dagligt intag hos människa på 5 300 ng/kg/dag

2017-06-21

efter att hänsyn tagits till skillnader i hur PFOA omsätts i kroppen mellan djuren och människa. HRV för PFOA sattes till 20 ng/kg/dag (avrundat uppåt) genom att dividera 5300 ng/kg/dag med en osäkerhetsfaktor på 300.

Tabell 2. Intag av PFOS och PFOA, samt summa 11PFAS, från dricksvatten i olika åldersgrupper baserat på uppmätta halter i de enskilda brunnarna i Visby. Jämförelse med EU TDI för PFOS = 150 ng/kg/dag, PFOA=1500 ng/kg/dag, och US EPA HRV för PFOS och PFOA 20 ng/kg/dag. Summa 11PFAS jämförs med TDI för PFOS och HRV för PFOA.

Ålder	Kroppsvikt (kg)	Vattenkonsumtion (ml/dag)	Intag (ng/kg/dag)	TDI %	HRV %
PFOS (median: 11 ng/l)					
3 veckor	4,2	700	1,8	1,2	9,0
<4 månader	6,6	800	1,3	0,87	6,5
4 år	18	1600	1,6	1,1	8,0
Vuxna	70	2000	0,71	0,47	3,6
PFOS (75:e percentil: 110 ng/l)					
3 veckor	4,2	700	18	12	90
<4 månader	6,6	800	13	8,7	65
4 år	18	1600	10	6,7	50
Vuxna	70	2000	3,5	2,3	18
PFOS (max: 335 ng/l)					
3 veckor	4,2	700	56	37	280
<4 månader	6,6	800	41	27	205
4 år	18	1600	30	20	150
Vuxna	70	2000	10	6,7	50
PFOA (max: 45 ng/l)					
3 veckor	4,2	700	7,5	5,0	38
<4 månader	6,6	800	5,5	3,7	28
4 år	18	1600	5,6	3,7	28
Vuxna	70	2000	1,7	2,9	15
PFAS₁₁ (median: 60 ng/l)					
3 veckor	4,2	700	10	6,7	50
<4 månader	6,6	800	7,3	4,9	37
4 år	18	1600	8,0	5,3	40
Vuxna	70	2000	2,8	1,9	14
PFAS₁₁ (åtgärdsgräns: 90 ng/l)					
3 veckor	4,2	700	15	10	75
<4 månader	6,6	800	11	7,3	55
4 år	18	1600	11	7,3	55
Vuxna	70	2000	3,7	2,9	22
PFAS₁₁ (75:e percentil: 383 ng/l)					
3 veckor	4,2	700	64	43	320
<4 månader	6,6	800	46	31	230
4 år	18	1600	37	25	185
Vuxna	70	2000	11	7,3	55
PFAS₁₁ (max: 835 ng/l)					
3 veckor	4,2	700	139	93	695
<4 månader	6,6	800	101	67	505
4 år	18	1600	77	51	385
Vuxna	70	2000	25	17	125

Intag av PFOS från mat har satts till 0,4 ng/kg/dag för vuxna och 0,6 ng/kg/dag för 4-åringar, intag av PFOA till 0,5 och 1,6 ng/kg/d och intag av PFAS₁₁ till 1,1 ng/kg/d och 2,7 ng/kg/d (Livsmedelsverket 2013). Spädbarn antas endast exponeras från vatten via modersmjölksersättning.

Intag av PFAS i förhållande till TDI och HRV

TDI och HRV tas fram som verktyg vid en snabb bedömning av om ett beräknat intag, som skett under många år, är acceptabelt eller inte ur en hälsomässig synvinkel. TDI och HRV sätts med goda marginaler till de nivåer som kan

2017-06-21

förväntas orsaka mätbara hälsorisker på individnivå. Som en konsekvens innebär långsiktigt överskridanden av TDI eller HRV inte nödvändigtvis att hälsorisken ökar. Däremot minskar den önskvärt stora marginalen till nivåer som kan tänkas öka hälsorisken. Enstaka överskridanden av HRV under kortare perioder är mindre allvarligt än långsiktiga överskridanden.

Som ett första steg i riskkaraktäriseringen av PFAS i dricksvatten jämfördes intag av PFOS och PFOA mot respektive hälsobaserade riktvärden (Tabell 2). I denna beräkning togs hänsyn till att PFOS och PFOA också finns i mat, och detta intag adderades till intaget från dricksvattnet. PFOS-intaget från mat för barn (4 åringar) sattes till 0,6 ng/kg kroppsvikt/dag och för vuxna till 0,4 ng/kg/d (Livsmedelsverket 2013). För PFOA sattes intaget från mat till 0,5 ng/kg/d för vuxna och 1,1 ng/kg/d för 4-åringar. Jämförelsen mellan PFOS- och PFOA-intag från dricksvatten med olika uppmätta halter visar att det finns goda marginaler mot EFSA:s TDI för PFOS (150 ng/kg/d) och PFOA (1500 ng/kg/dag) även vid de högsta uppmätta PFOS- och PFOA-halterna (Tabell 2). Vid de högsta halterna av PFOS överskrids dock US EPA:s HRV (20 ng/kg/dag) för PFOS, framförallt av spädbarn som får modersmjölksersättning under lång tid beredd på förorenat vatten, samt av små barn som dricker vattnet under många år. För PFOA innebär de uppmätta halterna goda marginaler till HRV (20 ng/kg/dag) även bland spädbarn och små barn (Tabell 2).

I andra steget summeras halterna av de 11 PFAS som uppmätts, och PFAS₁₁-halterna jämförs mot TDI för PFOS och HRV för PFOS (Tabell 2). Intaget av PFAS₁₁ från mat uppskattades till 1,1 ng/kg/d för vuxna och till 2,7 ng/kg/d för 4-åringar (Livsmedelsverket 2013). Det görs ett konservativt antagande att alla de uppmätta PFAS är lika toxiska som PFOS. Denna konservativa bedömning görs eftersom det inte finns tillräckligt vetenskapligt underlag för att göra en viktning av toxiciteten av de olika PFAS som uppmätts i vattenproverna. Mot bakgrund av nuvarande kunskaper om toxicitet av PFAS i djurförsök så kan PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS och 6:2 FTS sägas vara lika eller mindre toxiska än PFOS och PFOA (Borg et al. 2013). De PFAS som tycks vara mindre toxiska har kortare halveringstider än PFOS/PFOA (undantag PFNA, PFDA och PFHxS). Det innebär att de ansamlas till en mycket mindre grad i kroppen än PFOS/PFOA. En summering av PFAS-halterna i vattnet ger därför en förhållandevis konservativ riskvärdering, det vill säga att PFAS₁₁-blandningens giftighet är överskattad.

Tabell 2 visar att spädbarn som får modersmjölksersättning tillrett av vatten med medianhalt för de undersökta brunnarna (60 ng PFAS₁₁/l) får ett PFAS₁₁-intag som ligger på 50 % av HRV för PFOS. Om halten ligger i nivå med Livsmedelsverkets åtgärdsgräns (90 ng/l) har de minsta spädbarnen fortfarande en marginal (75 %) till HRV för PFOS. Om halten i dricksvattnet ligger på 380 ng PFAS₁₁/l överskrids HRV för PFOS bland spädbarn och barn som mest med en faktor 3 (Tabell 2). Vid den högsta uppmätta halten (835 ng PFAS₁₁/l) överskrids HRV med en faktor 1,3-7. De ovan beskrivna överskridanden av TDI är ur hälsomässig synvinkel inte önskvärda eftersom marginalen minskar till nivåer som kan tänkas öka risken för hälsoeffekter vid långsiktigt intag.

2017-06-21

Intag av PFAS i förhållande till intagsnivåer som kan öka hälsorisken

I följande sektion jämförs de beräknade intagen av PFOS och PFAS₁₁ mot de intag av PFOS som har kan antas ligga nära den nivå som ökar hälsoriskerna (NOAEL) eller den nivå där hälsorisker ökar (LOAEL) hos de mest känsliga försöksdjuren i US EPAs riskvärdering (2016). Dessa intag hos djur har av US EPA justerats så att de är relevanta för människor. US EPA fann att det mest känsliga utvecklingsstadiet var avkomma till moderdjur som exponerats för PFOS under dräktigheten. Från dessa studier beräknades moderdjurens intag av PFOS om till motsvarande intag hos kvinnor under en livstid innan graviditet. Som en konsekvens av detta är HRV för PFOS mest relevant för flickor och kvinnor i barnafödande ålder, som ett skydd mot höga halter av PFOS i kroppen vid graviditet. Eftersom kunskapen om spädbarnas och barns känslighet för PFOS är bristfällig, och det kan antas att spädbarn/barn är känsligare för PFOS än vuxna, kan det ändå vara relevant att använda HRV även för spädbarn/barn.

Tabell 3. Marginal mellan de högsta intagsnivåer som inte gett hälsoeffekter i de mest känsliga försöksdjuren (NOAEL) och beräknade intag från dricksvatten, samt marginal mot de lägsta intagsnivåer som ökat risken för hälsoeffekter i de mest känsliga försöksdjuren (LOAEL). Dessa marginaler anges i de fall US EPA HRV överskrids (marginal < 1). PFAS₁₁ jämförs med HRV för PFOS/PFOA och NOAEL/LOAEL för PFOS.

Ålder	Beräknat (ng/kg/dag)	HRV marginal	NOAEL marginal	LOAEL marginal
PFOS (75:e percentil: 110 ng/l)				
3 veckor	18	1,1		
<4 månader	13	1,5		
4 år	10	2,0		
Vuxna	3,5	5,7		
PFOS (max: 335 ng/l)				
3 veckor	56	0,36	9,1	29
<4 månader	41	0,49	12	39
4 år	31	0,65	16	52
Vuxna	10	2,0		
PFOA (max: 45 ng/l)				
3 veckor	7,5	2,7		
<4 månader	5,5	3,6		
4 år	5,6	3,6		
Vuxna	2,9	6,9		
PFAS₁₁ (åtgärdsgräns: 90 ng/l)				
3 veckor	15	1,3		
<4 månader	11	1,8		
4 år	8,0	2,5		
Vuxna	2,6	7,7		
PFAS₁₁ (75:e percentil: 383 ng/l)				
3 veckor	64	0,31	8,0	23
<4 månader	46	0,43	11	33
4 år	37	0,54	14	41
Vuxna	11	1,8		
PFAS₁₁ (max: 835 ng/l)				
3 veckor	139	0,14	3,7	11
<4 månader	101	0,20	5,0	15
4 år	77	0,26	6,6	19
Vuxna	25	0,80	20	60

HRV PFOS och PFOA: 20 ng/kg/d
 NOAEL PFOS: 510 ng/kg/d
 LOAEL PFOS 1600 ng/kg/d
 LOAEL PFOA: 5300 ng/kg/d

2017-06-21

Det beräknade högsta intaget av PFOS för spädbarn (56 ng/kg/dag) ligger cirka 9 gånger lägre än de högsta livslånga intagsnivåer innan dräktighet hos moderdjur som inte gav effekter på avkomman (NOAEL, 510 ng/kg/dag; US EPA 2016). Om en jämförelse görs med de lägsta intag som orsakade mätbara effekter i de mest känsliga djuren (LOAEL, 1500 ng/kg/dag, sänkt födelsevikt) blir marginalen för det högsta beräknade intaget bland de minsta spädbarnen cirka 30 gånger. För äldre spädbarn, barn och vuxna blir marginalerna till det tolerabla intaget av PFOS bättre än de som beräknats för de minsta spädbarnen.

För PFAS₁₁ ligger det högsta beräknade intaget för spädbarn, som får dricksvatten med en halt av 835 ng PFAS/l, cirka 3,7 gånger lägre än de högsta intagsnivåer som *inte* gav effekter i de mest känsliga djuren i djurförsök (Tabell 3). Om en jämförelse görs med de lägsta intag som orsakade mätbara effekter vid PFOS-exponering av moderdjuren (1500 ng/kg/dag, sänkt födelsevikt) blir marginalen för det högsta beräknade intaget ca 10 gånger. För äldre barn och vuxna blir marginalerna till NOAEL/LOAEL för PFOS bättre. Om halten vid Livsmedelsverkets åtgärdsgräns (90 ng/l) används ligger intaget av PFAS₁₁ under HRV för PFOS. Som det poängterats ovan så ger en summering av halterna av de enskilda PFAS med stor sannolikhet en konservativ bedömning.

Hur stor är hälsorisen för de som dricker vattnet dagligen under lång tid?

Även om det finns marginaler mellan de högsta beräknade dagliga PFAS-intagen och de nivåer som kan tänkas öka risken för hälsoeffekter så är marginalerna otillfredsställande främst för spädbarn och barn. Trots detta så kommer det, mot bakgrund av nuvarande kunskapsläge, med stor sannolikhet inte att gå att koppla negativa hälsoeffekter på individuell nivå med PFAS-exponeringen från dricksvattnet. Detta även om den högsta exponering för PFAS₁₁ som anges i Tabell 2 pågått under lång tid. I stora studier av barn och vuxna från USA (C8 2013), som utsatts för nivåer av PFOA i dricksvatten motsvarande de som redovisas för PFAS₁₁ i Tabell 2, har det inte gått att påvisa hälsoeffekter på individnivå (C8 2013).

Det har behövts tusentals studiedeltagare för att upptäcka statistiska samband mellan PFOA-intag från dricksvattnet och misstänkta hälsoeffekter i de så kallade C8-studierna. Studierna på de PFOA-exponerade befolkningsgrupperna i USA visade statistiska samband mellan PFOA-intag och riskökningar för vissa typer av sjukdomsmarkörer eller sjukdomar, såsom förhöjda kolesterolnivåer, högt blodtryck under graviditeten, ulcerös kolit, sköldkörtelsjukdom, samt cancer i testiklar och njurar (C8 2013). Det går dock inte att från dessa resultat säkert dra slutsatsen att PFOA orsakat dessa riskökningar (C8 2013).

Referenser

- Borg D, Lund BO, Lindquist NG, Håkansson H. 2013. Cumulative health risk assessment of 17 perfluoroalkylated and polyfluoroalkylated substances (PFASs) in the Swedish population. *Environ Int* 59, 112-123.
- C8. 2013. <http://www.c8sciencepanel.org/>
- EFSA. 2008. PFOS, PFOA and their salts. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *The EFSA Journal* 653, 1-131.

2017-06-21

- Livsmedelsverket. 2013. Riskvärdering av perfluorerade alkylsyror I livsmedel och dricksvatten. Rapport 11.
http://www.slv.se/upload/dokument/rapporter/2013_livsmedelsverket_11_riskvardering_perfluorerade_alkylsyror.pdf
- US EPA. 2016. Health effects support document for perfluorooctanoic acid (PFOA).
https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_hesd_final_508.pdf
- US EPA 2016. Health effects support document for perfluorooctane sulfonate (PFOS).
https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfos_hesd_final_508.pdf