

**PAH-efni (Fjölarómatísk kolvatnsefni) í kræklingi frá Ísal  
haustið 2023 (RLE 233814)**

Rannsóknastofu í lyfja- og eiturefnafræði  
24. janúar. 2024

*Kristín Ólafsdóttir*

Kristín Ólafsdóttir, Ph.D., deildarstjóri

**Inngangur:**

Eftirfarandi eru niðurstöður efnagreininga á 16 PAH-efnum (fjölarómatískum kolvatnsefnum) í 14 sýnum af kræklingi sem bárust vegna umhverfisvöktunar við Straumsvík haustið 2023. Sýnin bárust 7. desember frá Mátis, þar sem sýnin voru einsleituð og frostþurrkuð.

**Greining:****Kræklingur**

Úrhlutun: Öll glervara var þvegin með acetón/hexán blöndu fyrir úrhlutun sýna. Úrhlutuð voru u.þ.b. 2-3 g af hverju frostþurrkuðu sýni en 3,5 g af viðmiðunarsýni (maukuðu votsýni), sem var sýni af kræklingi frá quasimeme (QPH091MS) með þekktu magni allra 16 efnanna. Vatni og heimtustöðlum (PCB-116 og PCB-198) var fyrst bætt í frostþurrkuð sýnin sem næst voru úrhlutuð með acetón/hexán blöndu og svo hexán/dietyleter/isoprópanól blöndu. Úrhlutuð fita var síðan leyst í 0,5-1 ml af ísóoktani sem innihélt innri staðal (TCN).

Hreinsun: Sýnin voru hreinsuð með KOH í etanóllausn og greind með gasgreini.

Gasgreinir: Thermo Scientific Trace 1300 (súla HP-5MS, 25 m, 0.200 mm i.d., 0.33 µm film) með massaskynjara ISQ LT og sjálfvirkum innsprautara frá Thermo. Forritið Chromeleon frá Thermo var notað við úrvinnslu gagna. Í viðauka, töflu 5, má sjá massajónir sem notaðar voru við greiningu efnanna.

Staðlar: Til magngreiningar voru notaðir staðlar af 16 PAH-efnum þynntir í isooctani með viðbættum TCN innri staðli. Staðlar voru keyptir sem uppleyst efni frá Accustandard, USA. Sjö staðlablöndur voru útbúnar á styrkbilinu 2,5-500 pg/µl (ng/ml) og innihéldu m.a.: naftalene, acenaftylene, acenaftene, fluorene, phenantrene, antracene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)antracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(ghi)perylene. Auk þess voru notaðir staðlarnir PCB-116 og PCB-198 (heimtustaðlar) og TCN (Tetrachloronaphthalene, innri staðall).

Heimtur: Heimtustöðlunum PCB-116 og PCB-198 var bætt í sýnin við upphaf úrhlutunar en þessi efni finnast ekki svo neinu nemi í náttúrunni. Heimtur reyndust á bilinu 80-100%, og voru styrkir leiðréttir með tilliti til heimtna.

Blanksýni: Þrjú blanksýni voru greind með sýnunum á sama hátt og sýnin. Í blanki eru til staðar öll efni og áhöld sem notuð eru við greininguna og ef efnin greinast í blönkum er sá bakgrunnur dreginn frá öllum sýnum.

Greiningarmörk og óvissa: Þurrvigt kræklingssýnanna var fengin frá Mátis.

Greiningarmörk (LOD) eru áætluð við u.þ.b. 0,5 -5 µg/kg (=ng/g) votvigtar (sjá töflu 3 í viðauka). Óvissa magngreininga er um ±20%.

Gæðapróf: Sýni af kræklingi frá Quasimeme (evrópskri stofnun sem stendur fyrir samanburðarprófunum á mengunarefnum í sjávarlífverum, sjó og seti úr sjó, sjá [www.quasimeme.org](http://www.quasimeme.org)) með þekktu magni allra 16 efnanna voru greind

með sýnunum. Mældur styrkur í viðmiðunarsýninu ásamt fráviki frá réttu gildi er sýndur í töflu 4 í viðauka.

## Niðurstöður:

Einungis fjögur PAH efni greindust yfir greiningarmörkum í kræklingssýnunum (Tafla 1). Efnin phenanthrene, fluoranthen og pyrene greindust í flestum sýnum yfir greiningamörkum en benz(b)fluoranthen einungis í einu sýni, stöð 4, þar sem hin efnin voru sýnu hæst. Önnur efni voru undir greiningamörkum í kræklingnum. Heildarmagn þessara fjögurra efna var svipað í öllum sýnum eða á bilinu 1,0-3,9 µg/kg (=ng/g) vv. Styrkur benzo(a)pyrens var í öllum tilfellum undir 0,5 µg/kg vv. Samanlagður styrkur allra efna var vel undir 50 µg/kg vv eða bakgrunnsgildum skv. norskum stöðlum (1), sjá töflu 2.

Tafla 1. PAH efni í kræklingi 2023 µg/kg vv (votvigt)

	R23028160001	R23028160002	R23028160003	R23028160004	R23028160005	R23028160006	R23028160007	R23028160007e
	Viðmið 0	Viðmið 1 hvalfj	Ísal viðmið 2	Ísal stöð 1	Ísal stöð 3	Ísal stöð 4	Ísal stöð 5	Ísal stöð 5e
Efni	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv
naftalene**	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
acenaftylene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
acenaftene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
fluorene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
phenanthrene	< 0,5	<b>0,68</b>	< 0,5	<b>0,72</b>	<b>0,66</b>	<b>1,35</b>	<b>0,88</b>	<b>0,81</b>
anthracene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
fluoranthene	< 0,5	<b>0,55</b>	< 0,5	<b>0,70</b>	<b>0,67</b>	<b>1,14</b>	<b>0,85</b>	<b>0,76</b>
pyrene	< 0,5	<b>0,69</b>	< 0,5	<b>0,63</b>	<b>0,58</b>	<b>0,87</b>	<b>0,65</b>	<b>0,63</b>
benz(a)anthracene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
chrysene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
benzo(b)fluoranthene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<b>0,51</b>	< 0,5	< 0,5
benzo(k)fluoranthene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
benzo(a)pyrene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
indeno(1,2,3-cd)pyrene**	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
dibenz(a,h)anthracene**	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
benzo(ghi)perylene**	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Summa PAH efna sem greinast yfir mörkum		<b>1,9</b>		<b>2,0</b>	<b>1,9</b>	<b>3,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,2</b>
ΣKPAH***	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5
% þurrvigt (þv)frá Matís	12,4	23,6	18,0	18,1	17,4	18,4	18,3	18,3

\*\*óhreinnindi trufluðu greiningu, \*\*\*krabbameinsvaldandi PAH sjá (2)

	R23028160008	R23028160009	R23028160010	R23028160011	R23028160012	R23028160013	R23028160014	Kræklingur umhverfismörk
	Ísal stöð 6	Ísal stöð 7	Ísal stöð 8	Fjöruviðm 2 Lónakot	Fjöruviðm stöð II	Fjörubrækl Stöð III	Fjörubrækl stöð V	
Efni	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	µg/kg vv	
naftalene**	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
acenaftylene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
acenaftene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
fluorene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
phenanthrene	<b>0,50</b>	<b>0,61</b>	<b>0,53</b>	< 0,5	<b>0,59</b>	<b>0,73</b>	< 0,5	
anthracene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
fluoranthene	<b>0,55</b>	<b>0,52</b>	<b>0,51</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 30**
pyrene	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<b>0,51</b>	< 0,5	
benz(a)anthracene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
chrysene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
benzo(b)fluoranthene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
benzo(k)fluoranthene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
benzo(a)pyrene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 1*; < 5**
indeno(1,2,3-cd)pyrene***	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
dibenz(a,h)anthracene***	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
benzo(ghi)perylene**	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
Summa PAH efna sem greinast	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,0</b>		<b>0,59</b>	<b>1,2</b>		< 50*
ΣKPAH***	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 10*
% þurrvigt (dw)frá Matís	17,5	16,7	12,4	12,8	13,9	17,8	13,9	

\*Norsk áhættugreining styrks PAH efna í kræklingi (ng/g w) sjá (töflu 2), \*\*Umhverfsgæðakröfur (UGK) fyrir lífveru skv. (2)

\*\*\*óhreinnindi trufluðu greiningu, \*\*\*\*krabbameinsvaldandi PAH sjá (3)

Tafla 2: Norsk áhættugreining styrks PAH efna í kræklingi ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  vv) (1)

	mörk	mörk summu	mörk summu PAH efna
	benzo(a)pyrens	KPAH	(án naftalens)
Flokkur I: bakgrunnur	<1	<10	< 50
Flokkur II: gott ástand, lítil hætta	1-3	10-30	50-200
Flokkur III: einhver áhrif við langvarandi útsetningu	3-10	30-100	200-2000
Flokkur IV: slæmt ástand: áhrif á lífverur eftir stutta útsetningu	10-30	100-300	2000-5000
Flokkur V: mjög slæmt ástand: bráð áhrif	>30	>300	>5000

### Umraða:

Mjög lítið af PAH efnum greindust í sýnunum. Oft er naftalen undanskilið í samlagningu PAH efna vegna þess að styrkur þess er mjög breytilegur í umhverfinu sbr. viðmiðunarmörk Norðmanna (1). Vegna þessa breytilega styrks voru magngreiningarmörk (LOQ) áætluð hærri en staðalfrávik gera ráð fyrir. Að þessu sinni greindist meira eða jafnmikið naftalen í öllum þremur blönkun en greindist í sýnunum.

Önnur efni í sýnunum voru að magni flest nokkuð lægri en greindist 2018, nema helst fyrstu 6 efnin í töflu 1, sem voru sambærileg að styrk (4). Seinni 10 efnin í töflunni greinast nú mun lægri en þá. Sýnin eru öll vel undir viðmiðunarmörkum sem sett eru í Noregi (1) fyrir bakgrunnssástand hvað PAH efni (Tafla 2) varðar sem verður að teljast mjög ásættanlegt.

Á ómenguðu svæði í Skotlandi (5) var heildarmagn PAH efna í kræklingi um  $9 \mu\text{g}/\text{kg}$  votvigt um sumar og  $22 \mu\text{g}/\text{kg}$  votvigt um vetur. Skv. norskum stöðlum myndi Straumsvík flokkast undir *Class I: insignificant pollution*, þar sem heildarmagn 15 PAH efna (EPA16 – naftalen) er undir  $250 \mu\text{g}/\text{kg}$  þurrvigtar eða um  $50 \mu\text{g}/\text{kg}$  votvigtar (1).

### Heimildir:

1. Green NW et al: Hazardous substances in fjords and coastal waters – 2011. Levels, trends and effects. NIVA report no. O-12106.
2. Reglugerð um varnir gegn mengun vatns 796-1999 með breytingum. Listi III. Umhverfissgæðakröfur fyrir forgangsefni og tiltekin önnur mengunarefni. A-hluti: Umhverfissgæðakröfur (UGK)
3. Molvær J, Knutzen J, Magnusson J, Rygg B, Skei J. and Sørensen J 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens Foureinsningstilsyn (SFT). Veiledning 97:03. Oslo.
4. Guðjón Atli Auðunsson, Adrianna Milewska, Joe Jephson, Halldór P. Halldórsson, Hermann Dreki Guls, Ester I. Eyjólfsdóttir og Baldur J. Vigfússon 2020. Könnun á ólífrænum snefilefnum og aromatískum fjölhringasamböndum (PAH) í kræklingi við álverið í Straumsvík. Sýnataka 2018. NMÍ-skýrsla Verknúmer 6EM18058:3.
5. Webster L, Russell M, Walsham P, Phillips LA, Packer G, Scurfield J, Dalgarno EJ and Moffat CF (2009). An assessment of persistent organic pollutants (POPs) in wild and rope grown blue mussels (*Mytilus edulis*) from Scottish coastal waters. J. Environm. Monit. 11: 1169-1184.

## Viðauki:

Tafla 3. PAH efni í blönkum og greiningarmörk í kræklingi\*.

Efni	bl 1 ng alls	bl 2 ng alls	bl 3 ng alls	meðaltal			þurrvigt		votvigt		áætluð LOQ ng/g votvigt
				3 x stdev	10 x stdev	m.v. 2,5 g	LOD	LOQ	m.v. 20% þurrvigt	m.v. 20% þurrvigt	
naftalene	13,9	17,8	13,2	15,0	7,46	24,9	2,98	9,95	0,60	1,99	< 5
acenaftylene	0,50	0,49	0,59	0,53	0,17	0,6	0,07	0,23	0,01	0,05	< 0,5
acenaftene	2,32	1,86	2,34	2,17	0,81	2,7	0,32	1,08	0,06	0,22	< 0,5
fluorene	3,54	2,45	3,49	3,16	1,85	6,2	0,74	2,47	0,15	0,49	< 0,5
phenanthrene	10,40	6,54**	10,24	10,32	0,34	1,1	0,14	0,45	0,03	0,09	< 0,5
anthracene	0,39	0,30	0,53	0,41	0,35	1,2	0,14	0,47	0,03	0,09	< 0,5
fluoranthene	0,89	0,52	0,83	0,75	0,59	2,0	0,24	0,79	0,05	0,16	< 0,5
pyrene	0,85	0,56	0,81	0,74	0,47	1,6	0,19	0,62	0,04	0,12	< 0,5
benz(a)anthracene	0,04	0,04	0,31	0,13	0,46	1,5	0,18	0,62	0,04	0,12	< 0,5
chrysene	0,15	0,21	0,30	0,22	0,22	0,7	0,09	0,30	0,02	0,06	< 0,5
benzo(b)fluoranthene	0,11	0,10	0,22	0,14	0,21	0,7	0,08	0,27	0,02	0,05	< 0,5
benzo(k)fluoranthene	0,03	0,14	0,20	0,12	0,26	0,9	0,10	0,35	0,02	0,07	< 0,5
benzo(a)pyrene	0,14	0,30	0,27	0,23	0,25	0,8	0,10	0,34	0,02	0,07	< 0,5
indeno(1,2,3-cd)pyrene	0,05	0,25	0,19	0,16	0,32	1,1	0,13	0,42	0,03	0,08	< 2
dibenz(a,h)anthracene	0,36	0,99	0,00	0,45	1,50	5,0	0,60	2,01	0,12	0,40	< 2
benzo(ghi)perylene	0,81	0,48	0,13	0,48	1,02	3,4	0,41	1,36	0,08	0,27	< 2

\*Greiningarmörk eru metin ú frá þreföldu staðalfráviki blanka, en magngreiningarmörk út frá tífoldu staðalfráviki blanka og óhreiningum í sýnum.

\*\*Útgildi

Tafla 4. PAH-efni í viðmiðunarsýni af kræklingi frá Quasimeme (ng/g vv)

PAH-efni	Quasimeme heiti	ng/g grunnur	mælt magn	rétt magn	Z **	votvigt LOQ
naftalene	QPH091BT	votvigt	-0,40	1,42		< 6
acenaftylene	QPH091BT	votvigt	0,44	0,42	0,12	< 0,5
acenaftene	QPH091BT	votvigt	1,33	1,37	-0,12	< 0,5
fluorene	QPH091BT	votvigt	1,32	1,34	-0,05	< 0,5
phenanthrene	QPH091BT	votvigt	19,6	20,2	-0,19	< 0,5
anthracene	QPH091BT	votvigt	4,05	4,08	-0,05	< 0,5
fluoranthene	QPH091BT	votvigt	16,9	17,2	-0,13	< 0,5
pyrene	QPH091BT	votvigt	4,19	4,40	-0,30	< 0,5
benz(a)anthracene	QPH091BT	votvigt	1,39	1,35	0,14	< 0,5
chrysene	QPH091BT	votvigt	2,19	2,00	0,51	< 0,5
benzo(b)fluoranthene	QPH091BT	votvigt	3,58	3,72	-0,23	< 0,5
benzo(k)fluoranthene	QPH091BT	votvigt	1,38	1,29	0,32	< 0,5
benzo(a)pyrene	QPH091BT	votvigt	2,57	2,54	0,06	< 0,5
indeno(1,2,3-cd)pyrene	QPH091BT	votvigt	0,82	0,79	0,14	< 2
dibenz(a,h)anthracene	QPH091BT	votvigt	0,16	0,14	0,22	< 2
benzo(ghi)perylene	QPH091BT	votvigt	2,70	2,76	-0,13	< 2

\*\*Z score á að vera < +/- 2 (reiknað magn-rétt magn)/heildaróvissa

Óvissan er fengin með samanburðarprófum frá fjölda rannsóknastofa,

hún er svo margfölduð með réttu gildi efnisins og þannig fengin heildaróvissa

**Tafla 5. Jónir notaðar við magnákvörðun og staðfestingu við massagreiningu PAH efna**

Efni	Magngreiningar- jón	Staðfestingar- jón
naftalene	128	127
acenaftylene	152	153
acenaftene	153	154
fluorene	166	165
phenanthrene	178	176
anthracene	178	176
fluoranthene	202	200
pyrene	202	200
benz(a)anthracene	228	226
chrysene	228	226
benzo(b)fluoranthene	252	250
benzo(k)fluoranthene	252	250
benzo(a)pyrene	252	250
indeno(1,2,3-cd)pyrene	276	274
dibenz(a,h)anthracene	278	276
benzo(ghi)perylene	276	274
TCN	265,9	263,9
PCB-116	325,9	327,9
PCB-198	429,8	427,9