



Naturhistoriska
riksmuseet

**Rapportering från projekt om undersökning av
metylkvicksilver i prover av lever, njure och
muskel från havsörn**

Överenskommelse Nr 212 0856

Naturhistoriska riksmuseet

Enheten för Miljögiftsforskning

Box 50007

104 05 Stockholm

Naturvårdsverket
106 48 Stockholm

2009-12-15

Naturhistoriska riksmuseet (NRM) och Institutet för tillämpad miljövetenskap (ITM) tilldelades 2008-11-10 medel från Naturvårdsverket för rubricerade undersökning. Redovisning av uppdraget lämnas i denna rapport. En fördjupad bearbetning för publicering i vetenskaplig tidskrift planeras ske under 2010.

Björn Helander, Enheten för miljögiftsforskning, Naturhistoriska riksmuseet

Hans Borg, Institutionen för tillämpad miljövetenskap, Stockholms Universitet

Sammanfattning

Undersökningen omfattar analys av metylkvicksilver (Me-Hg) i lever, njure och muskel från ett urval av 75 individer från en tidigare undersökning som omfattade bland annat analys av totalkvicksilver (tot-Hg) vid ITM. En stor andel (18 %) av individerna i den tidigare undersökningen uppvisar koncentrationer av tot-Hg i njure som överstiger allmänt vedertagna letalkoncentrationer hos rovfåglar, där dock huvuddelen av totalkvicksilvret antas utgöra Me-Hg. Det primära syftet med denna studie är att kartlägga hur stor andel av tot-Hg i havsörnarna som är Me-Hg, för att kunna bedöma omfattningen av kvicksilverförgiftning som eventuell dödsorsak. Ett annat syfte är att studera förhållandet mellan koncentrationer i olika organ, som underlag i övervakningen. Analyserna av Me-Hg i den föreliggande undersökningen utfördes av IVL Svenska Miljöinstitutet som uppdrag.

Undersökningen visar att det finns en klar tendens till en genomsnittligt högre belastning med kvicksilver hos äldre havsörnsindivider. Tydligast framträder detta för tot-Hg i njure. Bland unga individer (1-2 år) finns en stor spridning från lägsta till medelhöga nivåer. Koncentrationer i det lägsta registret minskar med ökande ålder och bilden av en förskjutning mot högre halter förstärks bland de få riktigt gamla individerna i materialet.

Jämförelser av koncentrationerna av Me-Hg och tot-Hg visar tydliga skillnader mellan olika organ. Nivåerna av Me-Hg är ungefär dubbelt så höga i lever och njure som i muskel. I muskel ligger nivåerna av tot-Hg och Me-Hg nära varandra, medan tot-Hg i lever och njure är ca fyra respektive 10 gånger högre än i muskel. Andelen Me-Hg av tot-Hg skiljer sig alltså avsevärt mellan organ i materialet. I njure är andelen i snitt mindre än 20 %, i lever nära 50 % och i muskel nära 100 %, men med vissa skevheter i fördelningarna.

Gemensamt är att vid höga belastningar med tot-Hg är andelen Me-Hg lägre. Detta är särskilt tydligt i njure, det organ som uppvisar de i särklass högsta koncentrationerna av tot-Hg. Ingen av de 21 individer i materialet som har nivåer av tot-Hg i njure som överskrider det vedertagna letalgränsvärdet visar sig ha så stor andel Me-Hg att letala effekter kan styrkas. Detta trots att koncentrationerna av tot-Hg i njure hos flertalet av dessa individer var mångdubbelt (upp till >10 gånger) högre än det vedertagna gränsvärdet. Resultaten visar tydligt på behovet av specifik analys av Me-Hg vid utvärderingar av kvicksilverförgiftning hos vilt

Bakgrund

I ett samarbete mellan NRM och Institutet för tillämpad miljövetenskap (ITM) vid Stockholms Universitet gjordes år 2007 analys av metaller i lever och njure från havsörnar. Hos ett stort antal individer påvisades mycket höga koncentrationer av totalkvicksilver (tot-Hg) i dessa organ. Hela 18 % av de totalt 118 havsörnar som ingick i denna tidigare undersökning hade koncentrationer av tot-Hg i njure som översteg vad som är allmänt accepterat som letalnivå hos rovfåglar, ca 120 µg/g på torrviktsbasis. Hos t ex fisk utgörs merparten av den totala kvicksilverhalten av metylkvicksilver (Me-Hg), och man har ofta utgått ifrån att detta också är fallet hos fåglar. Me-Hg är den giftiga kvicksilverförening som är av störst intresse med avseende på dödlighet, och denna undersökning syftar därför till att utreda hur stor andel av uppmätta koncentrationer av tot-Hg i havsörnarna som utgörs av Me-Hg. Som komplement för jämförande studier ingår i undersökningen även analys av tot-Hg och Me-Hg i muskelvävnad, för att studera sambandet mellan koncentrationer i olika organ.

Material

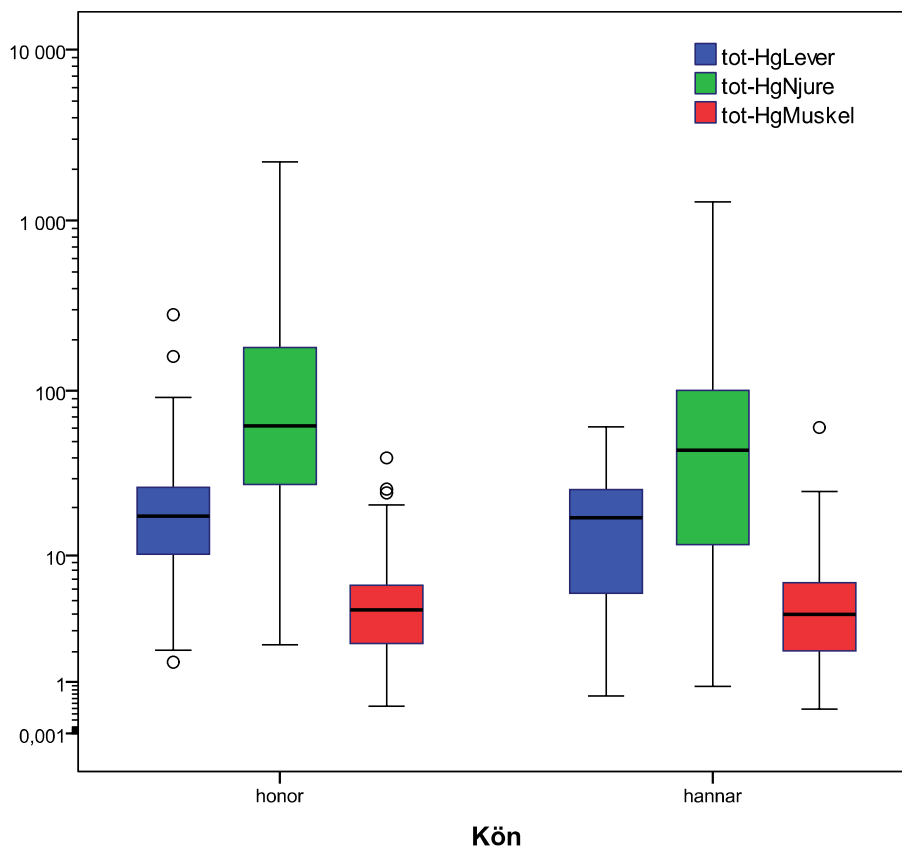
Undersökningen baseras på vävnadsprover av lever, njure och muskel från 75 havsörnar. Dessa individer representerar ett urval från det större material (118 individer) som analyserats tidigare med avseende på koncentrationer av total-kvicksilver (tot-Hg) i lever och njure. Urvalet omfattar samtliga 45 individer i det tidigare analyserade materialet som hade jämförelsevis höga koncentrationer av tot-Hg (> 40 µg/g tv) och 30 individer med lägre koncentrationer (slumpis valda, 10 vardera i intervallen 0-10, 10-20 och 20-40 µg/g). Kompletterande provtagning av muskel från samma 75 individer har genomförts planenligt och proverna överförts till ITM för analys av tot-Hg och selen. Organprover (lever, njure, muskel) från samtliga individer har överförts från ITM till IVL för analyser av MeHg. Analysresultat avseende tot-Hg och MeHg har levererats under hösten från respektive laboratorium. Analys av selen i muskel pågår för närvarande vid ITM men kan på grund av hård arbetsbelastning levereras först 2010. (Analysresultat för selen i lever och njure är tillgängliga sedan tidigare, från den ursprungliga undersökningen vid NRM/ITM). Samtliga prover är hämtade ur Miljöprovbanken vid NRM. Alla koncentrationer i rapporten är angivna på torrviktsbasis (tv).

Resultat

Totalkvicksilver i olika organ fördelade på kön

Av de 75 havsörnar som ingår i denna studie var 74 könsbestämda (via könsorgan och/eller mått). Av dessa var 46 honor och 28 hanar. Som underlag för eventuell uppdelning av materialet baserat på könsskillnader undersöktes fördelningen av koncentrationer av tot-Hg i olika organ från hanar och honor. Boxarna i Figur 1 representerar 25 upp till 75 percentil och medianvärde, de vertikala strecken 10 till 90 percentil, och cirklarna visar utliggare. Det finns inga statistiskt signifikanta skillnader mellan könen i materialet. Dock anas en skevhet i fördelningen av koncentrationer i lever hos hanar. Bilden är i övrigt mycket likartad mellan könen och någon vidare uppdelning av materialet baserat på kön har inte gjorts.

Figur 1. Koncentrationer av totalkvicksilver i lever, njure och muskel i honor (n=46) respektive hanar (n=28)

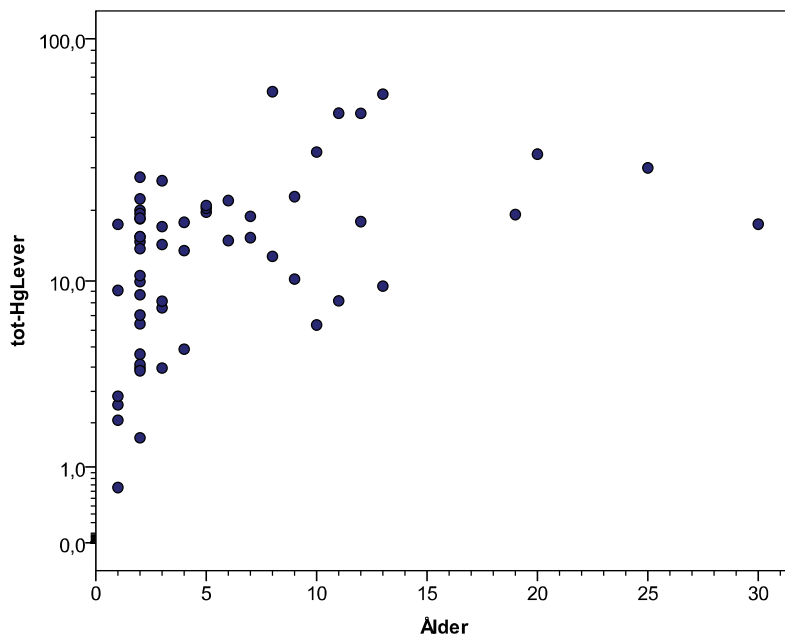


Koncentrationer i förhållande till havsörnarnas ålder

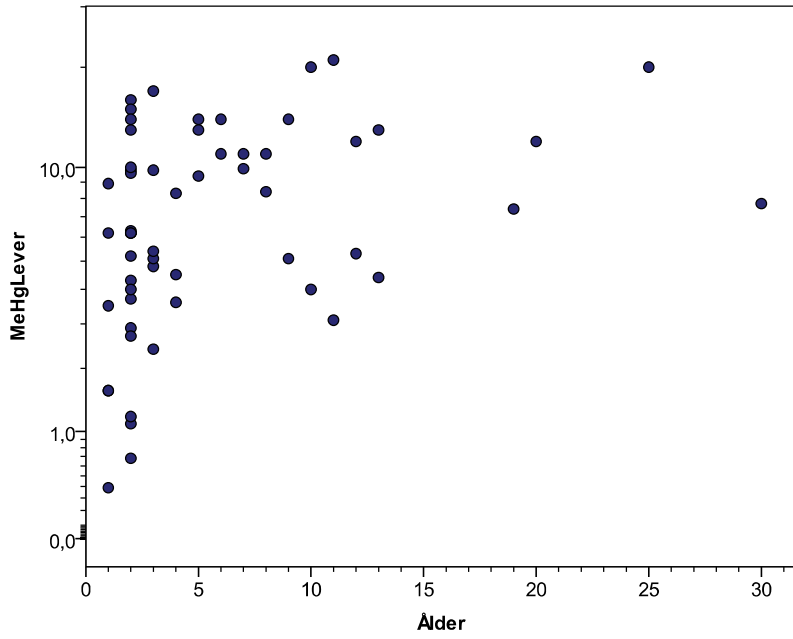
Tot-Hg respektive Me-Hg i olika organ är avsatta mot individernas ålder i Figur 2 -7. Endast säkert åldersklassade individer ingår i figurerna (n=58). Observera att olika skalor förekommer på y-axeln i olika figurer. I Tabell 1 sammanfattas koncentrationsintervall (eller enskilda värden) för alla åldersklasser. Adulta individer i åldersklasser med >-tecken i Tabell 1 innebär att fåglarna var minst av den angivna åldern, och troligen oftast var betydligt äldre.

Det finns en klar tendens till en genomsnittligt högre belastning med kvicksilver hos äldre individer. Tydligast framträder detta för tot-Hg i njure, det organ som uppvisar de högsta koncentrationerna (Fig. 4, Tabell 1). Bland unga individer (1-2 år) finns en stor spridning från lägsta till medelhög nivå (50-60 $\mu\text{g/g}$), och med en tvåårig fågel med kraftigt förhöjd halt av tot-Hg i njure (Figur 4). Koncentrationer i det lägsta registret minskar med ökande ålder och bland säkert åldersbestämda individer finns från 6 års ålder inga fåglar med koncentrationer < 50 $\mu\text{g/g}$. Bilden av en förskjutning mot högre halter förstärks bland de få riktigt gamla individerna i figurerna.

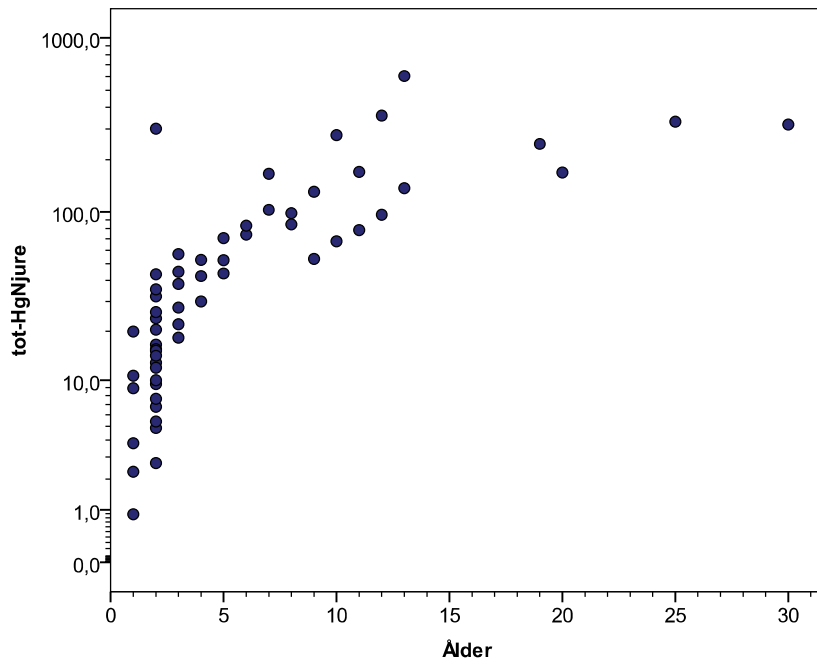
Figur 2. Tot-Hg i lever mot individens ålder (år).



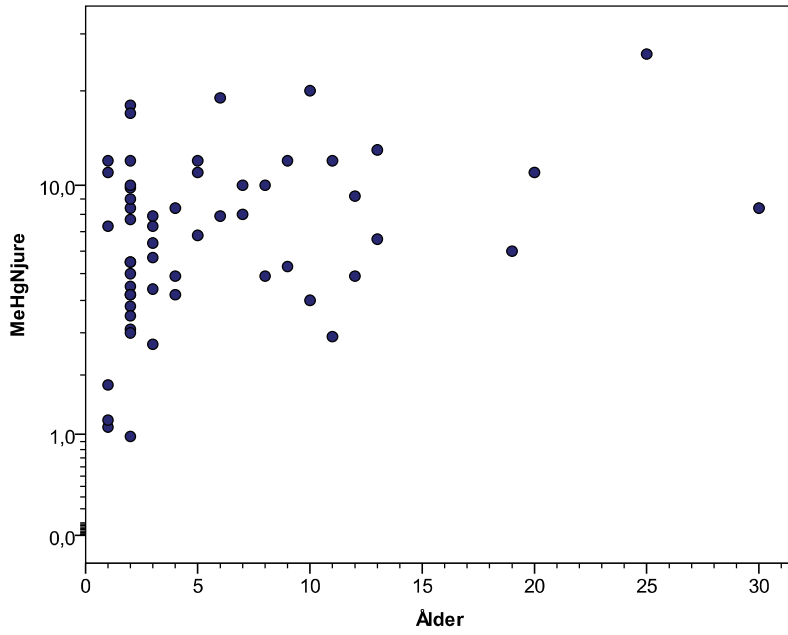
Figur 3. Me-Hg i lever mot individens alder (år).



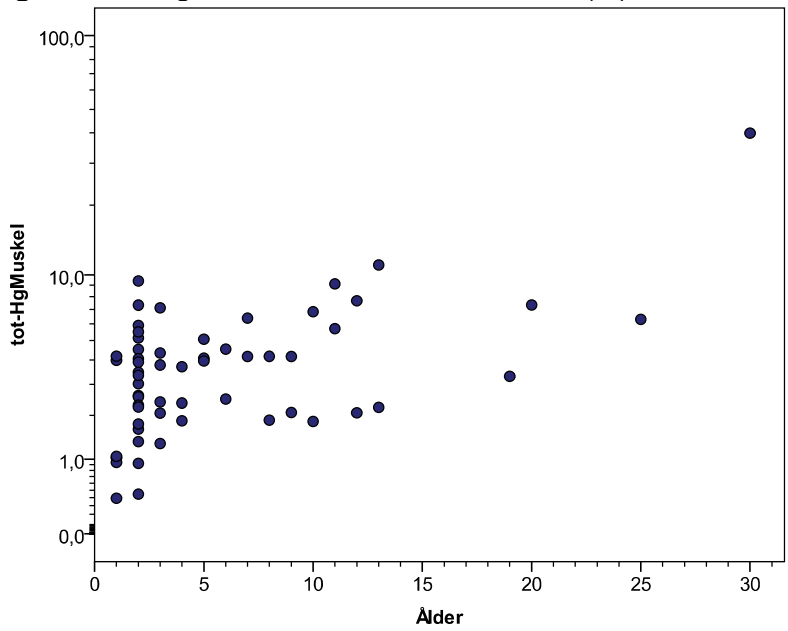
Figur 4. Tot-Hg i njure mot individens alder (år).



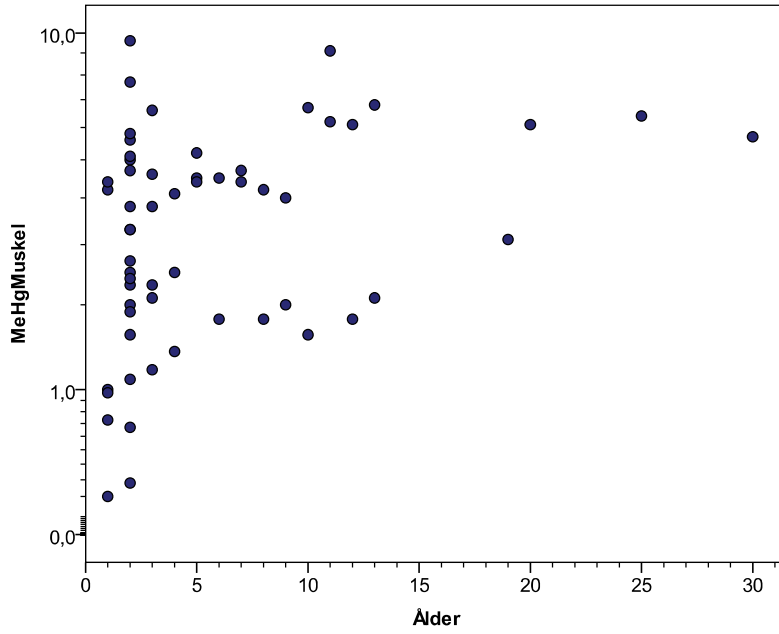
Figur 5. Me-Hg i njure mot individens alder (år).



Figur 6. Tot-Hg i muskel mot individens alder (år).



Figur 7. Me-Hg i muskel mot individens alder (år).



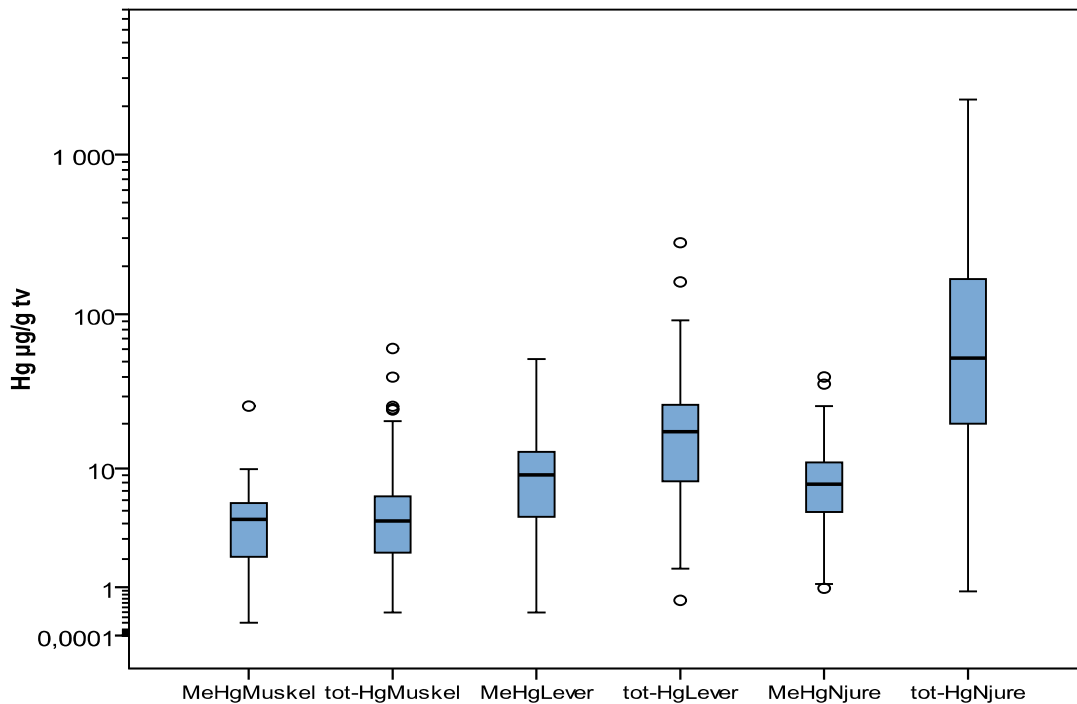
Tabell 1. Koncentrationsintervall av total- och metylkvicksilver i lever, njure och muskel av havsörn, grupperade efter stigande ålder. Koncentrationer > 120 µg/g (tv) har färgmarkerats.

Ålder (kal.år)	antal	LEVER		NJURE		MUSKEL	
		tot-Hg µg/g tv	MeHg µg/g tv	tot-Hg µg/g tv	MeHg µg/g tv	tot-Hg µg/g tv	MeHg µg/g tv
1	6	0,7 - 17	0,4 - 6,2	0,9 - 20	1,1 - 12	0,4 - 4,2	0,2 - 4,4
2	20	1,6 - 27	0,7 - 16	2,7 - 301	1,0 - 18	0,4 - 9,4	0,3 - 9,6
3	6	4,0 - 27	2,4 - 17	18 - 57	2,7 - 7,9	1,3 - 7,1	1,2 - 6,6
4	3	4,9 - 18	3,6 - 8,3	30 - 53	4,2 - 8,4	1,9 - 3,7	1,4 - 4,1
5	3	19 - 21	9,4 - 14	44 - 71	6,8 - 12	4,0 - 5,1	4,4 - 5,2
6	2	15 - 22	11 - 14	74 - 83	7,9 - 19	2,5 - 4,5	1,8 - 4,5
7	2	15 - 19	9,9 - 11	103 - 166	8,0 - 10	4,2 - 6,4	4,4 - 4,7
8	2	13 - 61	8,4 - 11	85 - 98	4,9 - 10	1,9 - 4,1	1,8 - 4,2
9	2	10 - 23	5,1 - 14	53 - 130	5,3 - 12	2,1 - 4,2	2,0 - 4,0
10	2	6,0 - 35	4,0 - 20	68 - 276	4,0 - 20	1,8 - 6,8	1,6 - 6,7
11	2	8,0 - 50	3,1 - 21	78 - 170	2,9 - 12	5,7 - 9,1	6,2 - 9,1
12	2	18 - 50	5,3 - 12	96 - 358	4,2 - 9,2	2,1 - 7,7	1,8 - 6,1
13	2	9,0 - 60	4,4 - 13	137 - 603	6,6 - 13	2,2 - 11	2,1 - 6,8
19	1	19	7,4	246	6,0	3,3	3,1
20	1	34	12	169	11	7,3	6,1
25	1	30	20	330	26	6,3	6,4
>30	1	17	7,7	318	8,4	40	5,7
>5	7	5,2 - 160	2,8 - 16	38 - 1240	5,0 - 16	2,3 - 26	2,3 - 9,6
>6	7	18 - 281	7,9 - 52	44 - 2202	5,5 - 40	4,6 - 25	2,9 - 26
>7	1	56	16	1285	12	25	7,5
>14	1	41	13	797	11	61	5,6

Fördelning av koncentrationer av kvicksilver och samband mellan olika organ

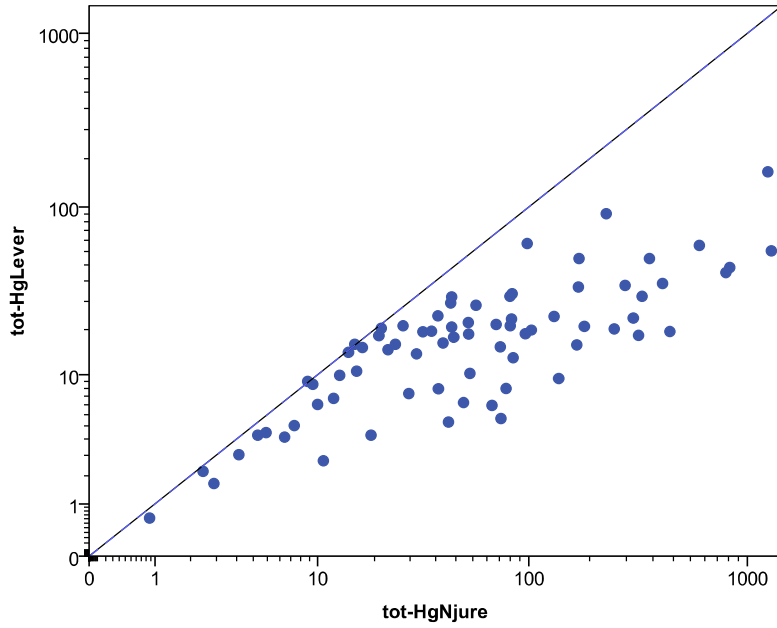
I Figur 8 sammanfattas fördelningen av kvicksilver i olika organ. Boxarna representerar 25 upp till 75 percentil och medianvärde, de vertikala strecken 10 till 90 percentil och cirklarna visar utliggare. I muskel ligger nivåerna av tot-Hg och Me-Hg nära varandra. Medianvärdena av koncentrationer av Me-Hg i lever och njure är ungefär dubbelt så höga som i muskel. Medianvärdena av koncentrationer av tot-Hg i lever och njure är ca fyra respektive 10 gånger högre än i muskel.

Figur 8. Fördelning av koncentrationer av metylkvicksilver och totalkvicksilver i olika organ från havsörn. N=75.

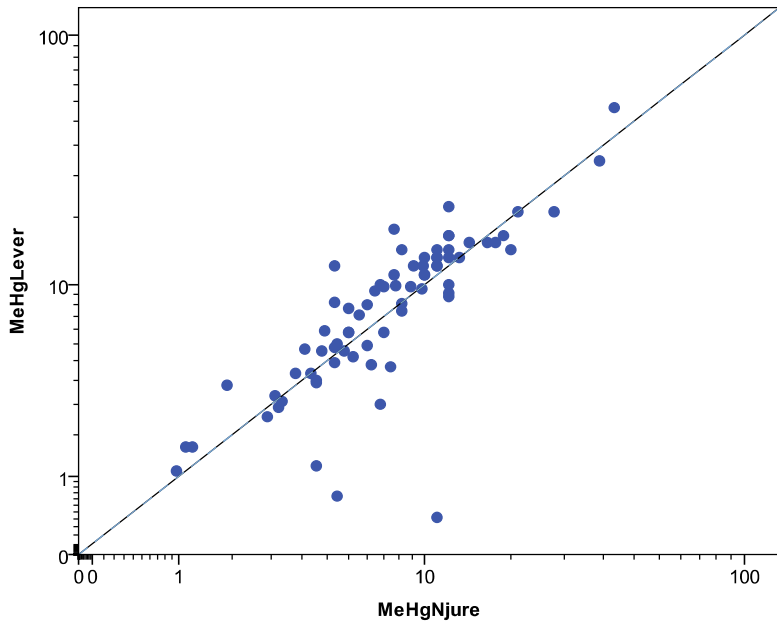


I Figur 9-14 visas samband mellan koncentration i lever, njure och muskel av tot-Hg respektive Me-Hg på individuell basis. Observera att olika skalor förekommer på x- och y-axlar i olika figurer.

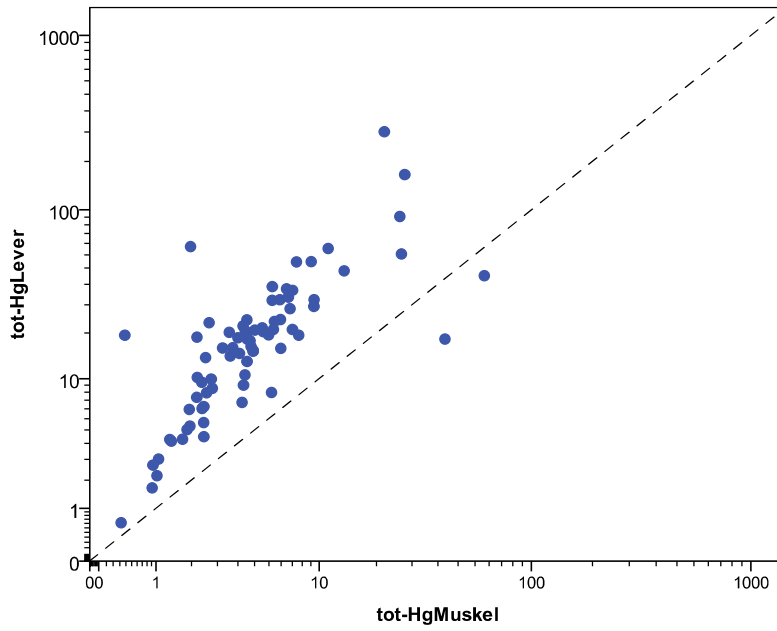
Figur 9. Koncentration av totalkvicksilver i lever och njure. N=75.



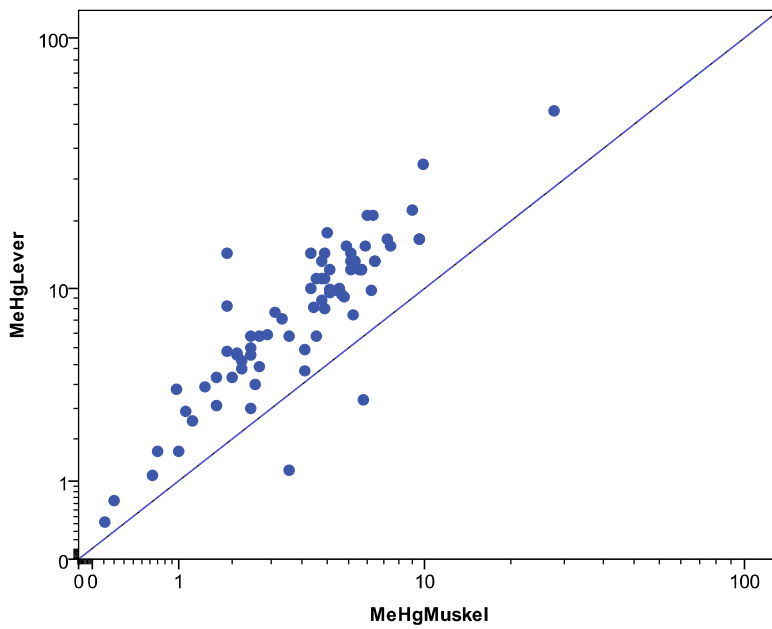
Figur 10. Koncentrationer av metylkvicksilver i lever och njure. N=75.



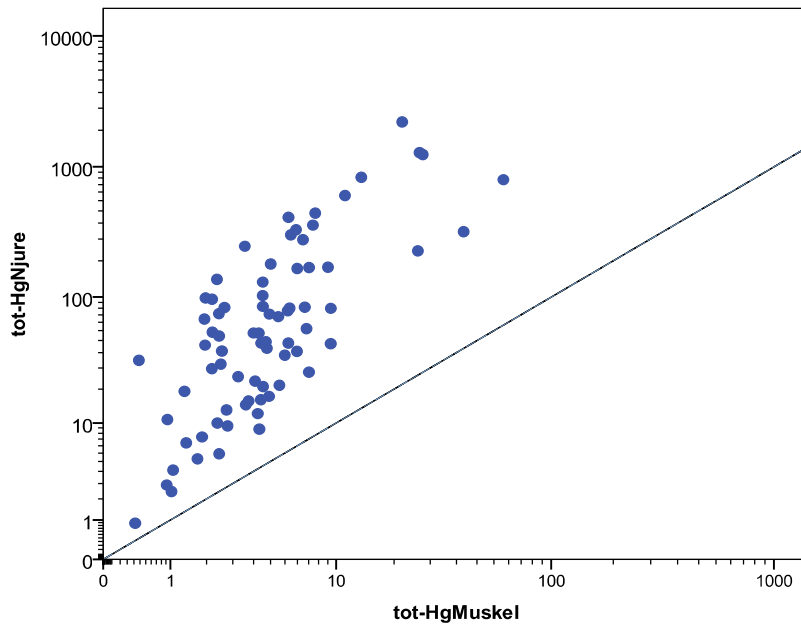
Figur 11. Koncentrationer av totalkvicksilver i lever och muskel. N=75.



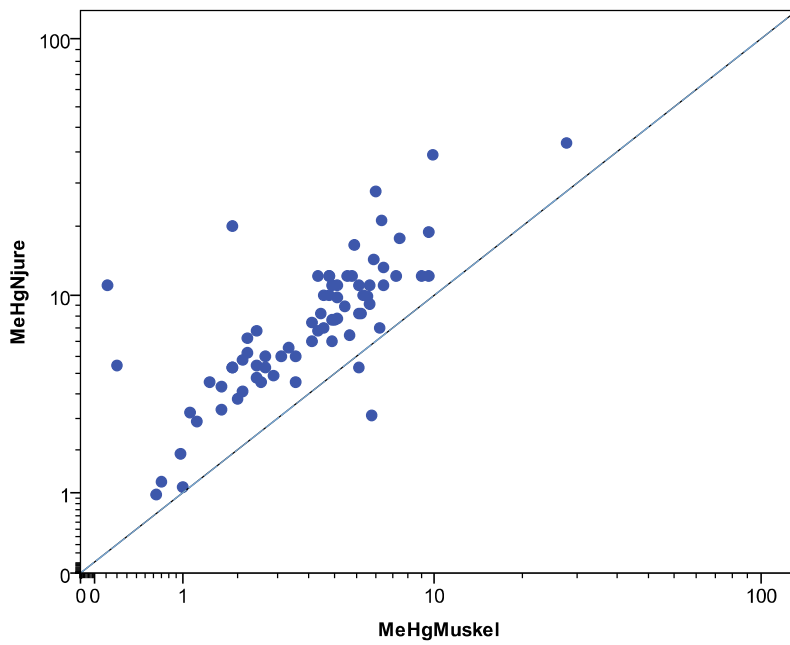
Figur 12. Koncentration av metylkvicksilver i lever och muskel. N=75.



Figur 13. Koncentration av totalkvicksilver i njure och muskel. N=75.



Figur 14. Koncentration av metylkvicksilver i njure och muskel. N=75.



Korrelationerna mellan uppmätta koncentrationer av kvicksilver i muskel och andra organ (Figur 11-14) sammanfattas i Tabell 2. Sambanden är i samtliga fall starkt signifikanta, med högst r^2 -värden för Me-Hg och allra bäst korrelation med lever.

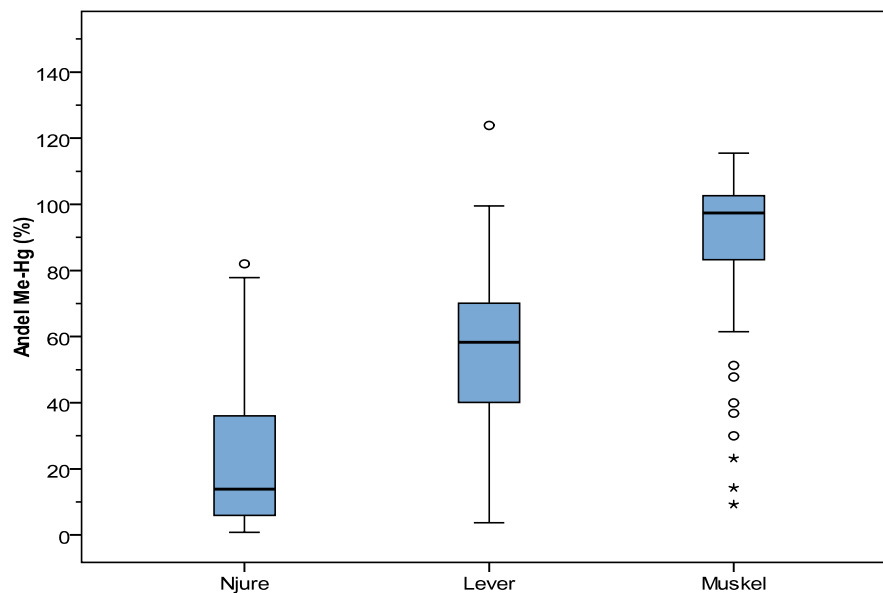
Tabell 2. Samband mellan nivåer av kvicksilver i muskel och lever respektive njure.

Samband mellan	r	r^2	sign.
Tot-Hg lever-muskel	0,454	0,206	$p < 0,001$
Me-Hg lever-muskel	0,907	0,823	$p < 0,001$
Tot-Hg njure-muskel	0,601	0,361	$p < 0,001$
Me-Hg njure-muskel	0,787	0,620	$p < 0,001$

Andel metylkvicksilver i olika organ

I Figur 15 sammanfattas andel Me-Hg i njure, lever och muskel. Boxarna representerar 25 upp till 75 percentil och medianvärde, de vertikala strecken 10 till 90 percentil, och cirklarna visar utliggare. I njurvävnad utgör andelen Me-Hg i snitt mindre än 20 % av den totala kvicksilverkoncentrationen, men fördelningen i materialet är tydligt skev. I lever utgörs kvicksilverhalten i snitt till ungefär hälften av Me-Hg, med en jämn fördelning runt medianvärdet. I muskel ligger medianvärdet nära 100 % men med en skev fördelning och flera utliggare med låga andelar Me-Hg.

Figur 15. Andel metylkvicksilver av totala kvicksilverkoncentrationen i olika organ.



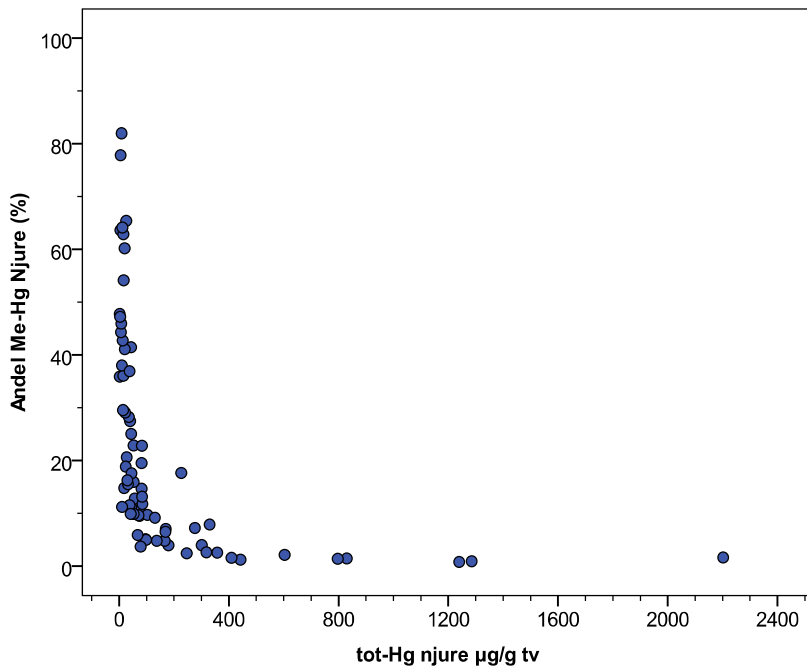
I Figur 16-18 illustreras sambandet mellan andelen Me-Hg och koncentrationer av tot-Hg i de olika organen för enskilda individer. Gemensamt är att vid höga belastningar med tot-Hg så är andelen Me-Hg i organen betydligt lägre. Detta är särskilt tydligt i njure, det organ som uppvisar de i särklass högsta koncentrationerna av tot-Hg. Koncentrationerna av tot-Hg och Me-Hg och % Me-Hg i de 21 högst belastade individerna visas i Tabell 3. Medelvärdet för koncentrationerna av tot-Hg i njure är ca tio gånger högre än medelvärdet i lever hos denna grupp högbelastade individer, men medelvärdena för Me-Hg skiljer inte avsevärt mellan grupperna, och omvänt är alltså andelen Me-Hg av tot-Hg ca tio gånger högre i lever- än i njurproverna. De lägsta andelarna Me-Hg (1-2 %) förekommer hos de allra mest högbelastade individerna (400-2200 µg/g tot-Hg i njure, individerna # 1-8 i Tabell 3). Koncentrationerna av Me-Hg bland dessa fåglar är inte högre än bland individerna # 9-21 i tabellen, med tot-Hg i intervallet 130-360 µg/g. Att fåglar med tio gånger högre belastning med tot-Hg inte har högre nivåer av Me-Hg indikerar att havsörnen kan ha utvecklat mekanismer för att hantera ett intag av metylkvicksilver.

Tabell 3. Koncentrationer (tv) av total- och metylkvicksilver i njure och lever hos 21 högbelastade havsörnsindivider i fallande ordning baserat på koncentration av tot-Hg i njure.

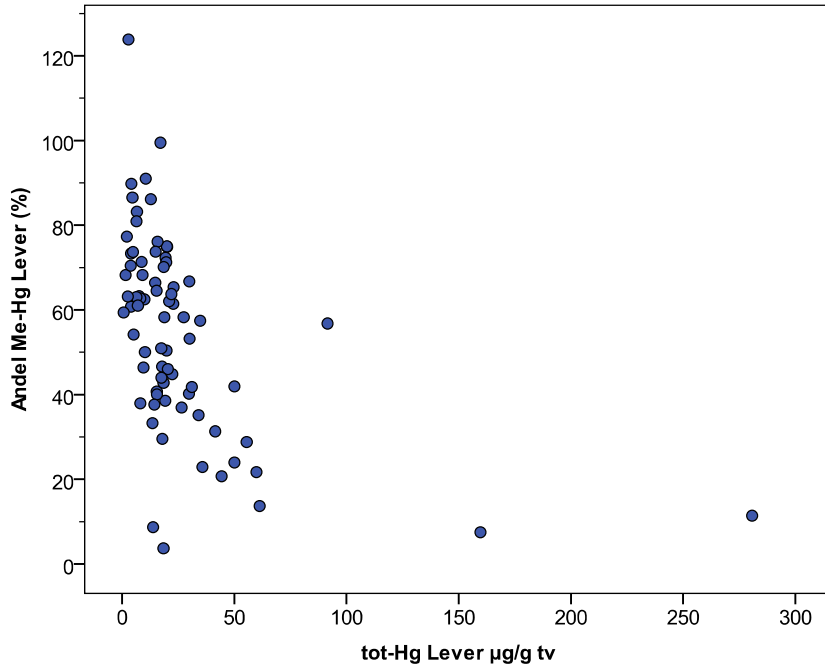
Individ	NJURE			LEVER			MUSKEL		
	tot-Hg µg/g	MeHg µg/g	% MeHg	tot-Hg µg/g tv	MeHg µg/g	% MeHg	tot-Hg µg/g tv	MeHg µg/g	% MeHg
# 1	2202	36	1,6	280	32	11	21	9.9	48
# 2	1285	12	0,9	55	16	29	25	7.5	30
# 3	1240	9.9	0,8	160	12	7.5	26	6.0	23
# 4	830	12	1,4	44	9.2	21	13	5.3	40
# 5	797	11	1,4	42	13	31	61	5.6	9,2
# 6	603	13	2,2	8,7	6,2	71	11	6.8	61
# 7	442	5.5	1,2	18	7.9	44	7,9	2.9	37
# 8	410	6.4	1,6	36	8.2	23	5,7	4.5	78
# 9	358	9.2	2,6	50	12	24	7,7	6.1	80
# 10	330	26	7,9	30	20	67	6,3	6.4	102
# 11	318	8.4	2,6	17	7.7	45	40	5.7	14
# 12	301	12	4,0	22	10	45	5,9	5.1	86
# 13	276	20	7,2	35	20	57	6,8	6.7	98
# 14	246	6	2,4	19	7.4	39	3,3	3.1	94
# 15	226	40	18	92	52	57	25	26	106
# 16	180	7.1	3,9	30	16	53	4,6	4.0	87
# 17	170	12	7,1	50	21	42	9,1	9.1	100
# 18	169	11	6,5	34	12	35	7,3	6.1	83
# 19	166	8	4,8	15	9.9	66	6,3	4.7	74
# 20	137	6.6	4,8	9,5	4,4	46	2,2	2.1	94
# 21	130	12	9,2	23	14	61	4,2	4.0	96
Mv	515	22	4,4	51	15	42	14	6,6	69

Nivåerna av Me-Hg i materialet i Tabell 3 uppvisar så stor variation i lever (4-52 $\mu\text{g/g}$) och njure (6-40 $\mu\text{g/g}$) att det inte ger underlag för att skatta något nytt gränsvärde för påverkan. Bland de 21 individerna i Tabell 3 som uppvisar koncentrationer av tot-Hg från 130 till 2202 $\mu\text{g/g}$ – d v s långt över det gränsvärde som brukar användas för att indikera letal effekt hos rovfåglar – finns ingen individ som har så stor andel Me-Hg i vare sig lever eller njure att letala effekter kan styrkas. Den högsta koncentrationen av Me-Hg bland dessa är en individ med 40 $\mu\text{g/g}$ i njure och 52 $\mu\text{g/g}$ i lever (# 15 i Tabell 3). Dessa observationer visar tydligt på behovet av specifik analys av Me-Hg vid utvärderingar av kvicksilverförgiftning hos olika arter av vilt. Detta bör vara särskilt viktigt för arter i akvatiska miljöer, som genom regelbunden exponering för Me-Hg kan ha utvecklat mekanismer för demetylering.

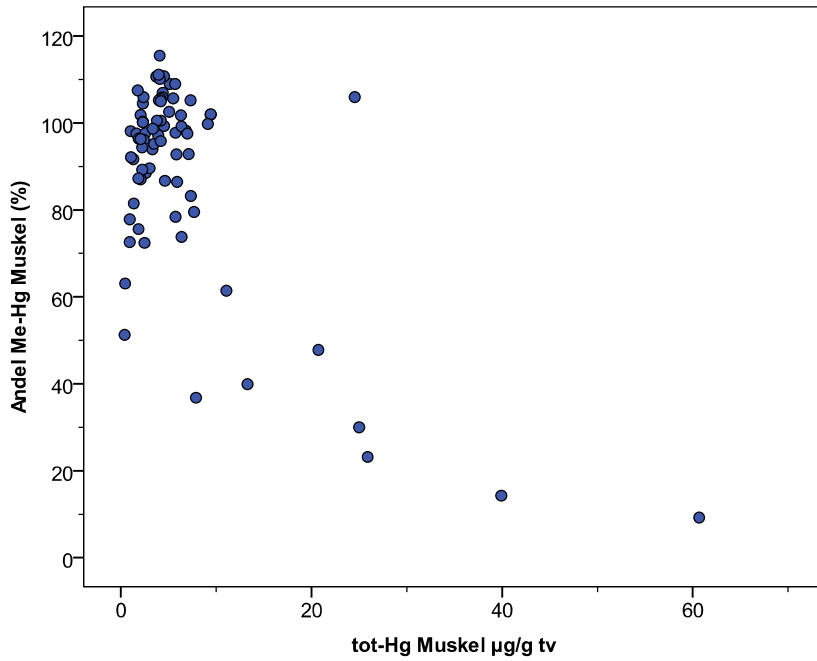
Figur 16. Andel metylkvicksilver av totala kvicksilverkoncentrationen i njure



Figur 17. Andel metylkvicksilver av totala kvicksilverkoncentrationen i lever.



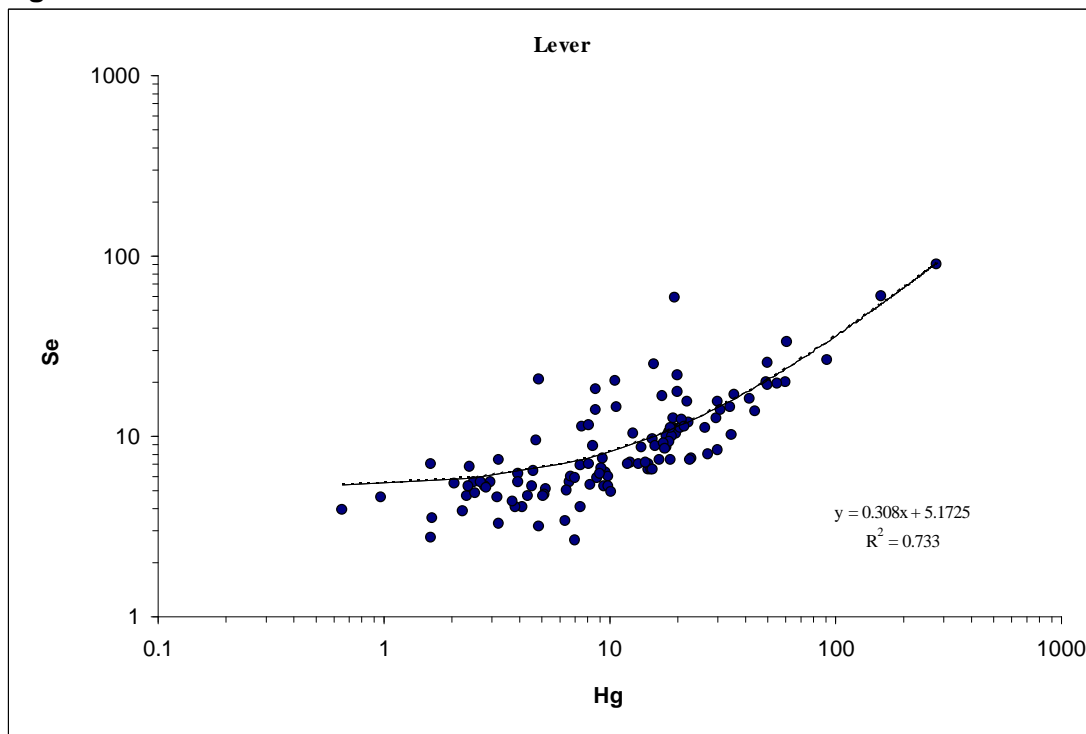
Figur 18. Andel metylkvicksilver av totala kvicksilverkoncentrationen i muskel.



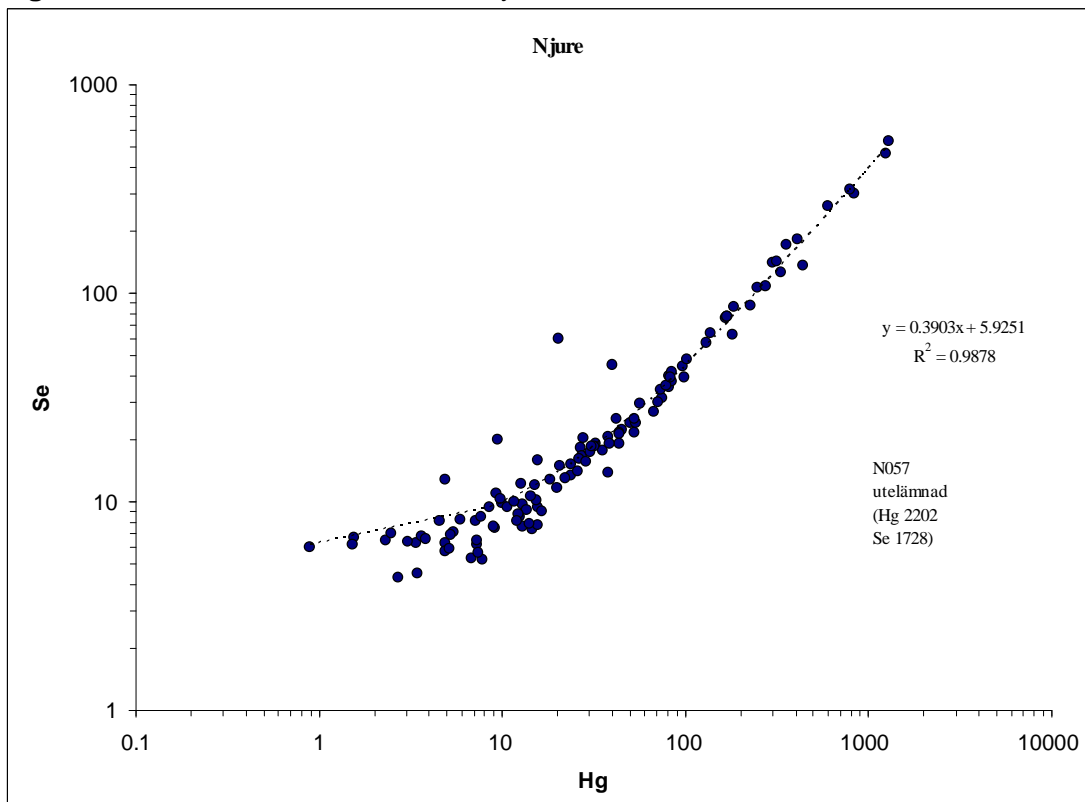
Samband mellan kvicksilver och selen

Det är sedan länge känt att det finns en korellation mellan koncentrationer av kvicksilver och selen i djur. I fisk har konstaterats att Se bidrar till en ökad utsöndringshastighet av Hg ur kroppen. HgSe är en mycket svårslöslig förening, i likhet med HgS, och det har spekulerats i om detta kan bidra till utsöndringen av Hg (Björnberg et al., 1988). Det har också visats att tillsats av Se till sjövattnen bidrar till att sänka Hg-halterna i fisk (Håkanson et al., 1990). Figur 19 och 20 illustrerar detta samband i lever och njure (baserat på tidigare analyser av totalt 118 individer). Korellationerna är mycket starka i materialet, med $r^2 = 0,733$ i lever och $r^2 = 0,988$ i njure. Det finns också en tendens att Se-halterna ökar kraftigare vid högre Hg-nivåer, speciellt i njurar, där en tendens till ett tröskelvärde finns vid 10-20 mg/kg Hg, varefter Se ökar snabbare i relation till Hg

Figur 19. Totalkvicksilver och selen i lever hos havsörn. N=118.



Figur 20. Totalkvicksilver och selen i njure hos havsörn. N=118.



Litteratur

Ackerman JT, JY Takekawa, CA Eagles-Smith & SA Iverson. 2008. Mercury contamination and effects on survival of American avocet and black-necked stilts in San Francisco Bay. *Ecotoxicology* 17:103-116.

Alpers C, Eagles-Smith C, Foe C, Klasing S, Marvin-DiPasquale M, Slotton D, & Winham-Myers L. 2008. *Mercury conceptual model*. Sacramento (CA): Delta Regional Ecosystem Restoration Implementation Plan.

Björnberg, A., Håkanson, L. & Lundbergh, K. 1988. A theory on the mechanisms regulating the bioavailability of mercury in natural waters. *Environ. Pollut.* 48: 53-61.

Borg K, K Erne, E Hanko & H Wanntorp. 1970. Experimental secondary methylmercury poisoning in the goshawk (*Accipiter gentilis* L.). *Environ. Pollut.* 1:91-104.

Borg K, H Wanntorp, K Erne & E Hanko. 1969. Alkyl mercury poisoning in terrestrial Swedish wildlife. *Viltrevy* 6:301-379.

Brasso RL & DA Cristol. 2008. Effects of mercury exposure on the reproductive success of tree swallows (*Tachycineta bicolor*). *Ecotoxicology* 17:133-141.

Burger J. & M Gochfeld. 1997. Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. *Environ. Res.* 75:160-172.

Burger J, M Gochfeld, C Jeitner, S Burke, CD Volz, R Snigaroff, D Snigaroff, T Schukla & S Schukla. 2008. Mercury and other metals in eggs and feathers of glaucous-winged gulls (*Larus glaucescens*) in the Aleutians. *Environ Monit Assess* DOI10.1007/s10661-008-0306-6.

Burgess NM & MW Meyer. 2008 Methylmercury exposure associated with reduced productivity in common loons. *Ecotoxicology* 17:83-91.

Elwood FH, CJ Henny & RA Grove. 2008 Mercury and drought along the lower Carson River, Nevada: II. Snowy egret and black-crowned night-heron reproduction on Lahonton Reservoir, 1997-2006. *Ecotoxicology* 17:117-131.

Evers DC, LJ Savoy, CR DeSorbo, DE Yates, W Hansson, KM Taylor, LS Siegel, JH Cooley Jr, MS Bank, A Major, Kmunney, BF Mower, HS Vogel, N Schoch, M Pokras, MW Goodale & J Fair. 2008. Adverse effects from environmental mercury loads on breeding common loons. *Ecotoxicology* 17:69-81.

Falandysz J. 1984. Metals and organochlorines in a female white-tailed eagle from Uznam Island, southwestern Baltic Sea. *Environ. Conserv.* 11:262-263.

Falandysz J. 1986. Metals and organochlorines in adult and immature males of white-tailed eagle. *Environ. Conserv.* 13:69-70.

- Falandysz J, B Jacuczun & T Mizera. 1988. Metals and organochlorines in four female white-tailed eagles. *Mar. Pollut. Bull.* 19:521-526.
- Fimreite N 1971. Effects of dietary methylmercury on ring-necked pheasants. *Can. Wildl. Serv. Occasional Pap.* No. 9. 37 sid.
- Fimreite N 1974. Mercury contamination of aquatic birds in northwestern Ontario. *J. Wildl. Manage.* 38:120-131.
- Fimreite N & L Karstad 1971. Effects of dietary methylmercury on red-tailed hawks. *J. Wildl. Manage.* 35:293-300.
- Finley MT & RC Stendell. 1978. Survival and reproductive success of black ducks fed methyle mercury. *Environ. Pollut.* 16:51-64.
- Heinz G. 1974. Effects of low dietary levels of methyle mercury on mallard reproduction. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 11:386-392.
- Heinz G.H. 1996. Mercury poisoning in wildlife. In: *Noninfectious Diseases of Wildlife* (2nd ed). Fairbrother, A., Locke, LN & Hoff, GL (eds). Iowa State University Press, Ames, Iowa, pp. 118–127.
- Henriksson K, E Karppanen & M Helminen. 1966. High residue levels of mercury in Finnish white-tailed eagles. *Ornis Fennica* 43:38-45. 1966.
- Håkanson, L., m fl 1990. *Åtgärder mot höga halter av kvicksilver i insjöfisk – Slutrapport för kvicksilverdelen av projektet Kalkning-kvicksilver-cesium*. Naturvårdsverket, rapport 3818, 189 sid..
- Ikemoto, T, T Kunito, H Tanaka, N Baba, N Miyazaki & S Tanabe. 2004. Detoxification mechanism of heavy metals in marine mammals and seabirds: Interaction of selenium with mercury, silver, copper, zinc, and cadmium in liver. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47, 402–413.
- Kim EY, T Murakami, K Saeki & R Tatsukawa. 1996. Mercury levels and its chemical form in tissues and organs of seabirds. *Arch. Environ. Contam Toxicol.* 30:259-266.
- Koemann JH, RH Hadderingh & MFIJ Bijleveld. 1972. Persistent pollutants in the white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) in the Fedreal Republic of Germany. *Biol. Conserv.* 4:373-377.
- Koemann JH, JAJ Vink, & JJM de Goeij. 1969. Causes of mortality in birds of prey and owls in the Netherlands in the winter of 1968-1969. *Ardea* 57:67-76.

- Lounsbury-Billie MJ, GM Rand, Y Cai & OL Bass Jr. 2008 Metal concentrations in osprey (*Pandion haliaeetus*) populations in the Florida Bay estuary. *Ecotoxicology* 17:616-622.
- Oehme G. 1981. Zur Quecksilberrückstandsbelastung tot aufgefundenener Seeadler, *Haliaeetus albicill*, in den Jahren 1967-1978. *Hercynia* 18:353-364.
- Osweiler, GD, Carson TL, Buck WD & VanGelder GA. 1973. *Clinical and diagnostic veterinary toxicology: Organic and inorganic mercury*. Kendall/Hunt Publ. Company. Dubuque, Iowa, .pp 121-131.
- Rumbold DG, TR Lange, DM Axelrad & TD Atkeson. 2008. Ecological risk of methylmercury in Everglades National Park, Florida, USA. *Ecotoxicology* 17:632-641.
- Sheuhammer AM. 1987. The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury and lead in birds: a review. *Environ. Pollution* 46:263-295.
- Sheuhammer AM, MW Meyer, MB Sandheinrich & MW Murray. 2007. Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals and fish. *Ambio* 36(1):12-18.
- Sheuhammer AM & MB Sandheinrich. 2008. Recent advances in the toxicology of methylmercury in wildlife. *Ecotoxicology* 17:67-68.
- Sheuhammer AM, N Basu, NM Burgess, JE Elliott, GD Campbell, M Wayland, L Champoux & J Rodrigue. 2008. Relationships among mercury, selenium, and neurochemical parameters in common loons (*Gavia immer*) and bald eagles (*Haliaeetus leucocephalus*). *Ecotoxicology* 17:93-101.
- Spann JW, RG Heath, JF Kreitzer & LN Locke. 1972. Ethyle mercury p-toulene sulfonanilide: lethal and reproductive effects on pheasants. *Science* 175:328-331.
- Thompson, D R. 1996. Mercury in birds and terrestrial mammals. Pp 341-356 i: W N Beyer, G H Heinz & A W Redmon-Norwood (eds.), *Environmental contaminants in wildlife. Interpreting tissue concentrations*. SETAC Social Publication Series. Lewis Publishers. New York.
- Weech SA, LK Wilson, KM Langelier & JE Elliott. 2003. Mercury residues in livers of bald eagles (*Haliaeetus leucocephalus*) found dead or dying in British Columbia, Canada (1987-1994). *Arch. Environ. Contam Toxicol.* 45:562-569.