

Forurenset sjøbunn – En vurdering av miljøundersøkelser som beslutningsgrunnlag for og dokumentasjon av tiltak i norske havner og fjorder

Eva K. Aakre

Institutt for kjemi, NTNU

Veiledere:

Rolf Tore Ottesen, NGU
Trond Peder Flaten, NTNU

Samarbeidspartnere:

Silje Salomonsen, Miljøenheten ved Trondheim Kommune
Klima - og forurensningsdirektoratet (Klif)
Norges Geologiske Undersøkelser (NGU)

Hvordan dokumentere måloppnåelse ved opprydding i forurenset sjøbunn?

Mål for oppgaven

Besvare følgende spørsmål:

- Hva er konsekvensen av å bruke ulike statistiske tilnærmelser som vurderingsgrunnlag i en risikovurdering?
- På hvilket grunnlag defineres uakseptabel spredning fra forurenset sjøbunn, hvordan brukes risikoverktøyet i praksis?
- Hvilke spredningskonsekvenser har ulike statistiske tilnærmelser for å dokumentere måloppnåelse?
- Er innsamlet data av god nok kvalitet for å dokumentere miljøtilstanden med hensyn på prøvetetthet, valg av analyse- og prøvetakingsmetode?

Verktøy og metode

Evaluere datasett før og etter opprydding

- Prøvetetthet
- Valg av laboratorium
- Prøvetakingsmetode
- Områdeinndeling
- Statistisk tilnærming for dokumentering av miljøtilstand

Verktøy

- Programpakken R (kumulative frekvensfordelingsplott)
- ArcGIS (geokjemiske kart)
- TA2803 risikoverktøy utviklet av NIVA og NGI
- Ulike statistiske tilnærmelser (median, 67%til, 75%til og 90%til)

Data fra ulike havner og fjorder har blitt evaluert

Sted	Areal (m2)	Inndeling	Antall prøver	Firma	Lab
Tromsø	370 920	5	28	Aquaplan NIVA, NGI	NIVA
Sandefjord	1 500 000	3	96	NGI, DNV, BIOLOGGE	ALS
Trondheim	9 270 549	11	165	NGI	Eurofins
Harstad	370 926	3	21	NIVA, NGI	ALS, Eurofins
Kristiansand	65 639	2	96	NIVA, Multiconsult	ALS
Stamsund	139 060	3	47	NGI, Multiconsult	ALS
Oslo	235 900	2	47	NGI, NIVA, Rambøll	ALS
Bergen	2 732 000	6	72	COWI	Analyce n

Kriterier

- Høy nok prøvetetthet
- God nok kvalitet på innsamlet data
- Undersøkelser som viser miljøtilstand før opprydding og etter

Prioriterte områder



Fire utvalgte områder

- Stamsund: Datasett før opprydding og etter
- Trondheim: Datasett før opprydding
- Sandefjord: Datasett før opprydding
- Kristiansand: Datasett etter opprydding

Miljøundersøkelser



Topografisk kart (batymetri) over Trondheim havn

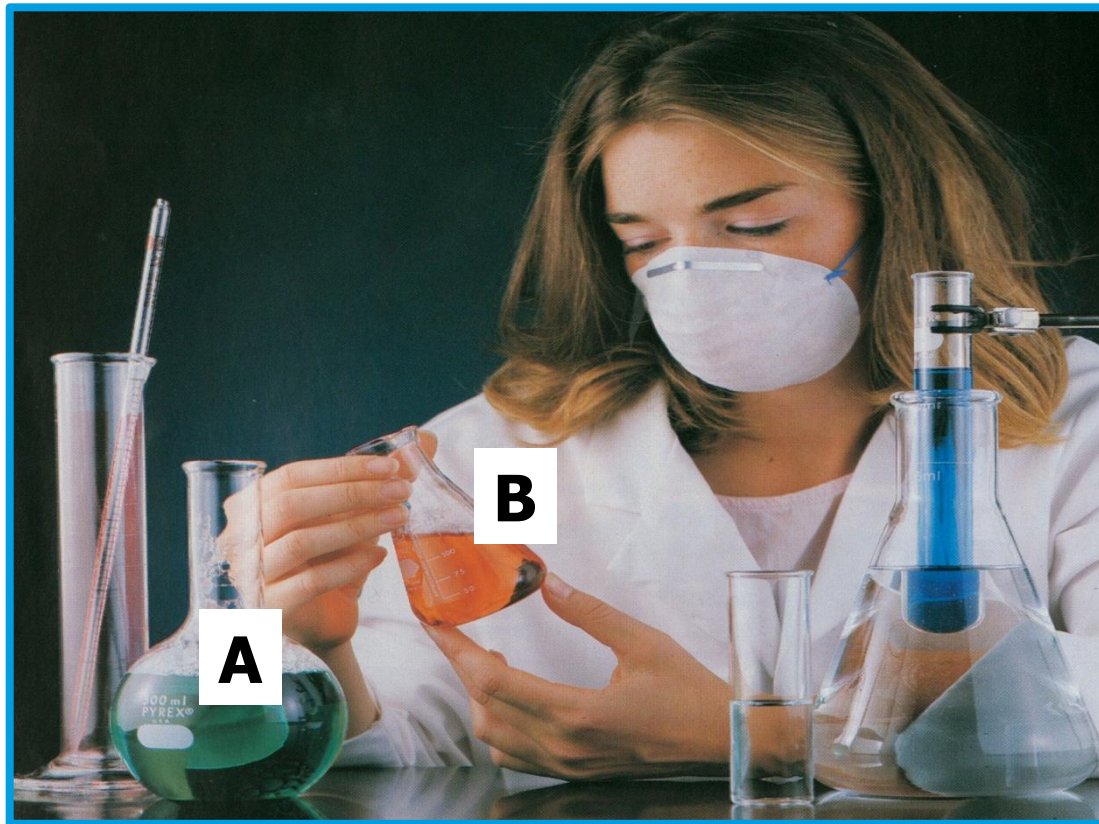
Forurenset sjøbunn

- Batymetrikart over Trondheim havn
- Informasjon om sjøbunnens helningsgrad og morfologi er viktig med hensyn på sedimenttyper
- Viktig informasjon i planleggingen av prøvetakingen



En blandprøve på fire prøver skal sendes inn for bestemmelse av miljøgifter

Valg av laboratorium

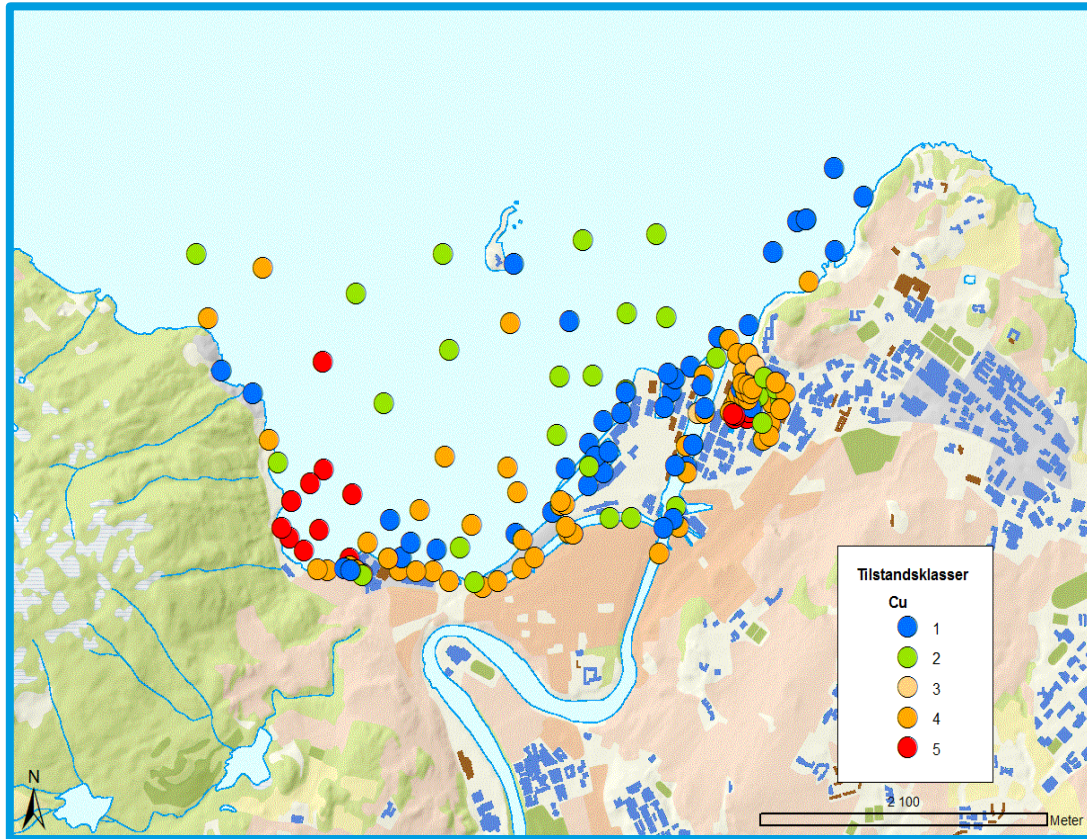


Forskjellig laboratorier kan ha ulike ekstraksjonsmetoder ved opparbeiding av prøvene, og ulike metoder ved hasteanalyser i forhold til normal analysetid

Klifs veileder for forurenset sjøbunn TA2803

- Kjemiske analyser for bestemmelse av miljøgifter er angitt
- Viktig å bruke samme laboratorium gjennom hele prosessen, både før og etter opprydding

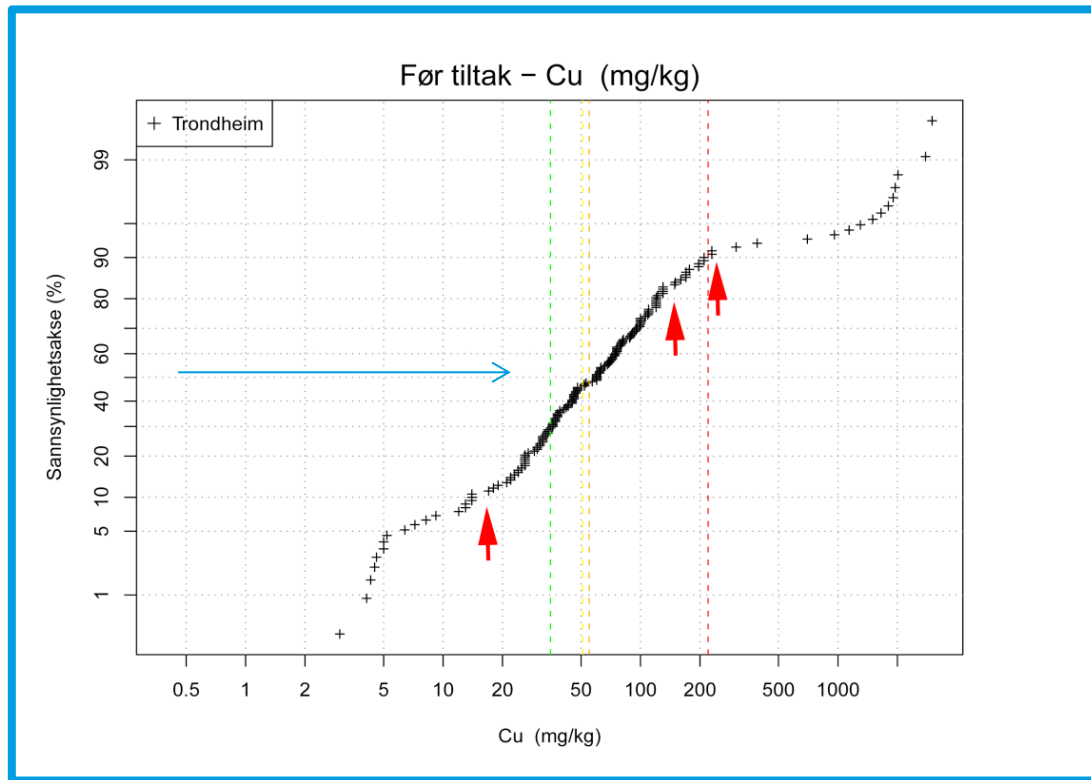
Geokjemiske kart



Prøvetakingsstasjoner for marine sedimenter i Trondheim havn. Målte kobberkonsentrasjoner er farget etter Klifs tilstandsklasser.

- Identifisere spesifikke områder hvor det er forurensning
- Skille mellom områder som er funnet å være forurenset og områder som ikke er forurenset
- Identifisere kilder som fortsatt kan være aktive

Kumulative frekvensfordelingsplott



Kumulativt frekvensfordelingsplott for målte kobberkonsentrasjoner i Trondheim havn

Tolkning av data

- Relatere konsentrasjonsintervall og forskjellige knekkpunkt til kilder og bakgrunnsnivå

Tiltaksmål

- En korrekt statistisk tilnærming for å rapportere miljøtilstand før og etter en opprydding

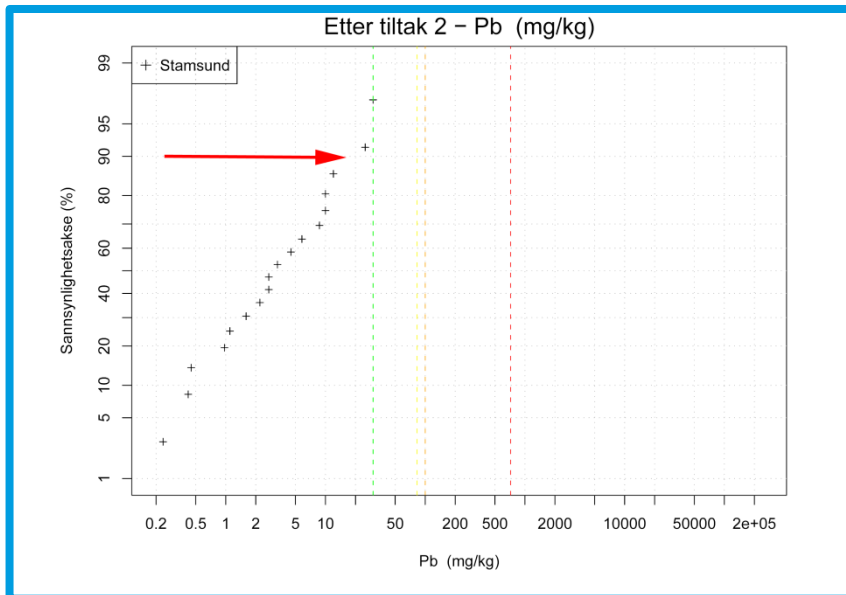
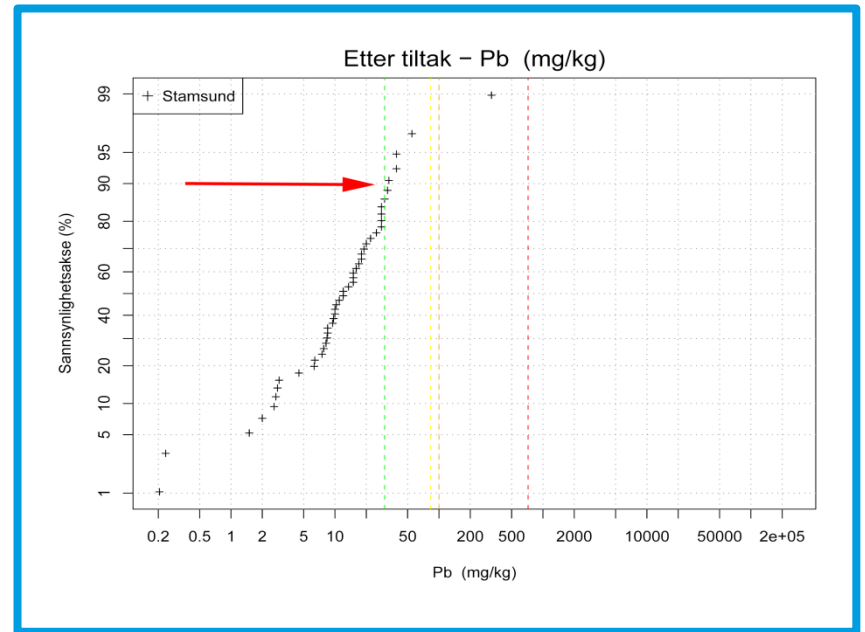
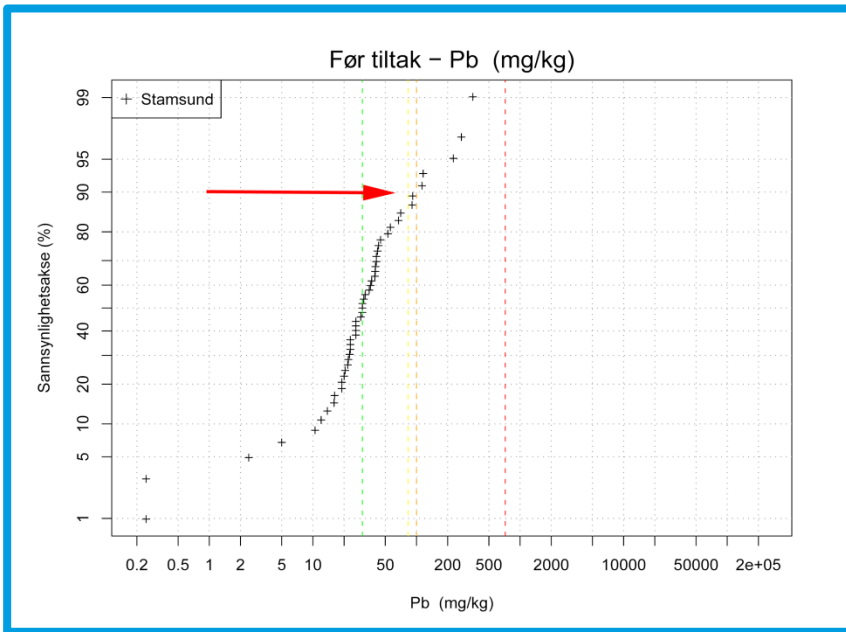
Klifs tilstandsklasser

	Øvre grense bakgrunn	QS _{saltwater} PNEC	MAC-QS PNEC _{intermittent}	PNEC _{intermittent} x 2-10	
	↓	↓	↓	↓	
	I	II	III	IV	V
	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Bakgrunnsnivå		Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtidseksponering	Akutte toksiske effekter ved kortidseksponering	Omfattende akutt toksiske effekter

Rapportering av miljøtilstand

- Vil variere med statistisk tilnærming

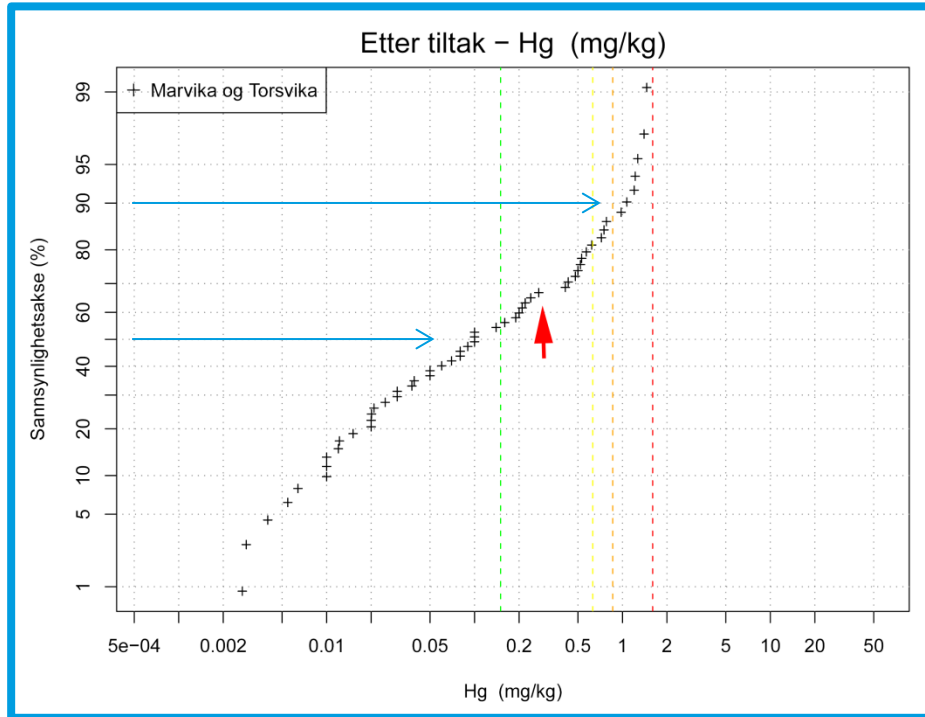
9. Nyhavna	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn	PAH16	PCB7	TBT
Max	113	283	2,400	2780	218	0,796	94	3280	41000	414	10000
Min	1,00	8,90	0,050	8,2	26	0,001	15	44	1000	1,75	2
Middel	12,4	62,26	0,685	229,4	60,115	0,255	37,5	443,95	9346,1	41,18	931,6
Median	5,70	41,50	0,430	94	50	0,245	26,5	238,5	7200	20	344
67%til	7,06	48,47	0,722	120	56,94	0,300	31,5	331,9	9300	25,1	630,3
75%til	7,90	58,00	0,895	121,5	61	0,329	38,5	380	12000	28,5	813
90%til	12,6	127,4	1,290	228	97,5	0,406	55,2	432,5	18000	99	2400,6



Stamsund

- Miljøundersøkelser før opprydding, etter mudring og remudring
- 90 persentilen er merket med rød pil

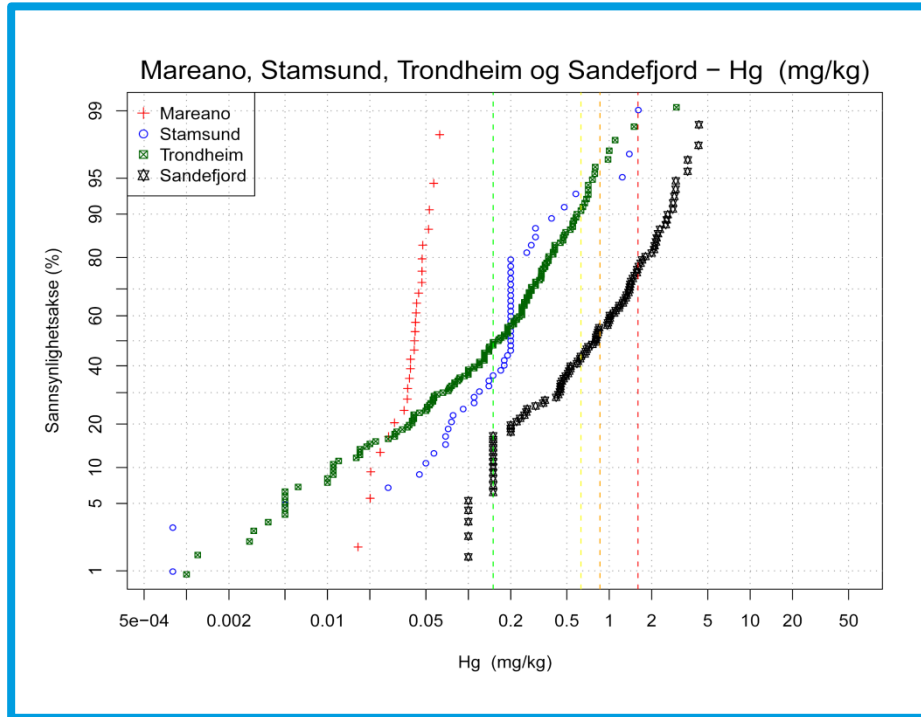
Kristiansand



Etter opprydding (mudring)

- Tiltaks mål ble rapportert som snittkonsentrasjon
- 50 % til ligger under tilstandsklasse II
- 90 % til ligger i tilstandsklasse IV

Sammenligning med MAREANO



- Ulik berggrunn
- Forurensningskilder
- Omfang av forurensning

Spredning av miljøgifter fra sediment

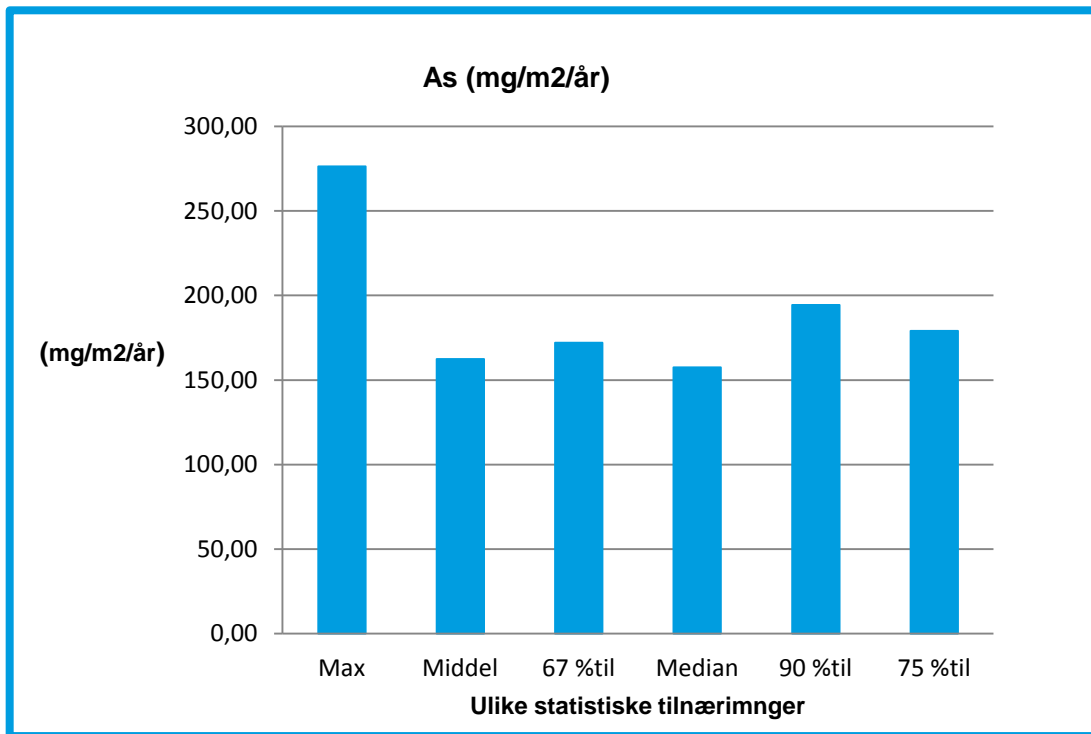
		Beregnet maksimal spredning					
1		F _{tot, maks} [mg/m ² /år]	F _{diff, maks} [mg/m ² /år]	F _{skip, maks} [mg/m ² /år]	F _{org, maks} [mg/m ² /år]	F _{tot, middel} [mg/m ² /år]	
2	x	Stoff					
3	x	Arsen	3,21E+02	3,20E+02	mangler data	7,09E-01	3,20E+02
4	x	Bly	8,06E-01	6,96E-01	mangler data	1,10E-01	7,97E-01
5	x	Kadmium	5,32E-01	5,29E-01	mangler data	2,67E-03	5,32E-01
6	x	Kobber	1,40E+00	1,31E+00	mangler data	8,79E-02	1,38E+00
7	x	Krom totalt (III + VI)	2,21E+00	2,19E+00	mangler data	1,51E-02	2,21E+00
8	x	Kvikksølv	3,39E-02	3,31E-02	mangler data	7,66E-04	3,12E-02
9	x	Nikkel	4,90E+00	4,87E+00	mangler data	2,98E-02	4,90E+00
10	x	Sink	7,51E+00	5,18E+00	mangler data	2,34E+00	7,40E+00
11		Naftalen	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
12		Acenaftylen	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
13		Acenaften	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
14		Fluoren	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
15		Fenantren	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
16		Antracen	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
17		Fluoranten	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
18		Pyren	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
19		Benzo(a)antracen	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
20		Krysen	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
21		Benzo(b)fluoranten	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
22		Benzo(k)fluoranten	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00
23		Benzo(a)pyren	0,00E+00	mangler data	mangler data	mangler data	0,00E+00

Screenshot av risikoverktøyet TA2802

Fluksestimatene er basert på

- Biodiffusjon og bioturbasjon
- Suspensjon forårsaket av skipstrafikk
- Opptak og predasjon av bentisk biota

Fluks av miljøgifter fra sediment



Ulike statistiske tilnærmelser

- Gir forskjell i mengde beregnet spredning
- Velge en tilnærmelse som beskriver datasettet og området best
- Beregnet spredning for arsen i delområdet Nyhavna i Trondheim

Tiltaks mål og spredning av miljøgifter

Konsekvensen av Klifs forslag til tiltaks mål

- Det ble beregnet spredning fra et fiktivt område som har oppnådd målet:
 - 90 % av alle prøvene skal ligge i tilstandsklasse III, men 10 % kan ligge i midtre del av tilstandsklasse IV.
- Akseptabel spredning skal ikke overstige spredning fra et sediment som akkurat tilfredsstillter øvre grenseverdi for tilstandsklasse II

Tiltaksmål

Stoff	Max	Middel	67 % til	Median	90 % til	75 % til
Arsen	269 %	193 %	218 %	192 %	254 %	231 %
Bly	0	0	0	0	0	0
Kadmium	406 %	402 %	401 %	401 %	402 %	401 %
Kobber	0	0	0	0	0	0
Krom totalt (III + VI)	0	0	0	0	0	0
Kvikksølv	39 %	31 %	39 %	39 %	39 %	39 %
Nikkel	0	0	0	0	0	0
Sink	64 %	0	3 %	0	18 %	7 %

Stoff	Max (%)	Middel (%)	67 %til (%)	Median (%)	90 %til (%)	75 %til (%)
Arsen	226 /128	92 / 31	103 / 39	86/27	130 /57	111/45
Bly	219 /165	0	0	0	44/ 20	0
Kadmium	19	0	0	0	0	0
Kobber	3911 /3620	234 / 210	76 / 63	39 / 29	232/ 208	78/ 65
Krom totalt (III + VI)	0	0	0	0	0	0
Kvikksølv	27	0	0	0	0	0
Nikkel	20	0	0	0	0	0
Sink	744 /415	21	0	0	20	6

Til venstre er beregnet spredning basert på et gitt tiltaksmål. Til høyre beregnet spredning i delområdet Nyhavna i Trondheim. Begge viser prosentvis overskridelse av akseptabel spredning.

Tiltaks mål

- **Beregning av spredning må bli vektlagt i like stor grad gjennom hele prosessen**
 - Spredning av miljøgifter før tiltak beskrives og ligger til grunn for risikovurderingen, må derfor også inkluderes i sluttvurderingen etter oppryddingen.
- **Vurderingene som lå til grunn før en opprydding bør være de samme etter opprydding**
 - Beslutningsgrunnlaget og metodene må være det samme for å vise at tiltaket har gitt en miljøforbedring. Dette gjelder både analyseteknikk, prøvetakingsmetode og spredning av miljøgifter.
- **Måloppnåelse bør basere seg på en statistisk tilnærming som beskriver området og innsamlete data. Enkelte parametere kan dokumenteres med strengere persentil enn andre**
- **Tilstandsklassene er mindre egnet for en stedspesifikk vurdering av forurensningssituasjonen i et område. De kumulative frekvensfordelingene gir mer informasjon om områdets berggrunn og forurensningskilder**

Konklusjon

- **Konsekvens av å bruke ulike statistiske tilnærmelser som vurderingsgrunnlag i en risikovurdering:**
 - Kan friskmelde områder som er forurenset, eller rydde opp i områder som er lite forurenset. Begge utfall vil gi unødvendig spredning av miljøgifter.
- **Definisjon på uakseptabel spredning fra sjøbunn:**
 - Spredning må vektlegges like mye etter opprydding som før. Tiltaks målet må reflektere dette.
- **Hvilke spredningskonsekvenser har ulike statistiske tilnærmelser for å dokumentere spredning:**
 - Kumulative frekvensfordelingsplott gir en god datatolkning av innsamlete data og videre hvilke statistisk tilnærmedelse som vil representere miljøtilstanden i området best.
 - Spredning kan overestimeres eller underestimeres dersom feil statistisk tilnærming brukes.
- **Kvaliteten av innsamlete data må være god nok for å dokumentere miljøtilstanden:**
 - Områdene som er brukt i oppgaven har benyttet prøvetakingsmetoder som angis i Klifs veileder for forurenset sjøbunn og samme laboratorium. En utfordring har vært å finne caser som har et godt nok datagrunnlag for å dokumentere miljøtilstanden på sjøbunnen.



Takk for oppmerksomheten!