

Oppdragsgiver
Harstad Kommune

Rapporttype
Delrapport 4. Miljø

2011-02-13

TILTAKSPLAN HARSTAD HAVN

4 – VURDERING AV TILTAK I SJØ



FORORD

Rambøll og Akvaplan-niva har på vegne av Harstad kommune utarbeidet en helhetlig tiltaksplan for Harstad havn. Tiltaksplanen omfatter følgende delrapporter:

Delrapport 1.	Bruksplan
Delrapport 2.	Kartlegging og overvåkning av utslipp til sjø
Delrapport 3.	Tiltak mot kilder på land
Delrapport 4.	Vurdering av tiltak i sjø
Delrapport 5.	Alternativ massedisponering
Delrapport 6.	Miljøtiltak og utbygginger
Delrapport 7.	Fremdriftsplan
Delrapport 8.	Detaljprosjektering av tiltak
Delrapport 9.	Kontrollprogram før og etter tiltak
Delrapport 10.	Kartlegging av kostnader for gjennomføring av tiltak
Delrapport 11.	Kartlegging av mulig finansiering
Delrapport 12.	Vurdering av renhetsmål
Delrapport 13.	Kildekarakterisering
Delrapport 14.	Geoteknisk forprosjekt
Delrapport 15.	Tiltaksplan

Planarbeidet har hatt følgende organisering:

Prosjektansvarlig:	Rådmann
Prosjektleder:	Anja Julie Nilsen
Styringsgruppe:	Rådmann Roald Andersen (Enhetsleder ØKO) Lennart Jenssen (Havnesjef) Jan Inge Lakså (Enhetsleder ABY)
Arbeidsgruppe:	Silje Gry Hansen Lennart Jenssen (Havnesjef) Børge Weines (ABY) Elin M. Nikolaisen (DRU) Therese Frivåg Lund (kommuneplanlegger) Helge Sjølberg (næringsrådgiver)

Rådgivernes prosjektgruppe (Rambøll og Akvaplan-niva) har hatt følgende organisering:

Oppdragsansvarlig og oppdragsleder	Vibeke Riis
Innledende oppdragsleder	Arnt-Olav Håøya
Fagansvarlig miljøtekniske vurderinger i sjø	Aud Helland
Ansvarlige for utarbeidelse av overvåkningsplan og undersøkelser i sjø	Anita Evenset (Akvaplan-niva), Guttorm N. Christensen (Akvaplan-niva) og Aud Helland
Fagansvarlig arealplanlegging	Lars Syrstad
Fagansvarlig anleggsprosjektering	Aslak Flore
Ansvarlig for Areal- og volumberegning og utarbeidelse av kart	Karen Brinchmann
Medarbeidere	Inger Johanne Søreide (geoteknikk), Trude Johnsen (arealplanlegging), Susanne Sandanger (forurenset grunn), Sture Persson (havn og kai).

TILTAKSPLAN HARSTAD HAVN 4 – VURDERING AV TILTAK I SJØ

Oppdragsnr.: 1100023A
 Oppdragsnavn: Tiltaksplan Harstad havn
 Dokument nr.: M-rap-004
 Filnavn: 4 M-rap-004-DR4_ Vurdering av tiltak i sjø_rev1.docx

Revisjon	0	1	2	
Dato	2010-10-21	2010-11-30	2011-02-13	
Utarbeidet av	Aud Helland Arnt-Olav Håøya	Aud Helland Arnt-Olav Håøya	Aud Helland	
Kontrollert av	Arnt-Olav Håøya	Kristine S. Opofta	Vibeke Riis	
Godkjent av	Vibeke Riis	Vibeke Riis	Vibeke Riis	
Beskrivelse	Original	Korrektur	Korrektur	

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjonen gjelder
1	2010-11-30	Endret forord samt korrektur
2	2011-01-25	Endringer i henhold til innspill fra Harstad kommune i telefonmøte 2011-01-19

INNHOOLD

1.	BAKGRUNN.....	5
1.1	Miljøsmål for Harstad havn	5
1.2	Foreliggende rapporters mål.....	5
2.	TILTAKSMETODER MOT FORURENSEDE SEDIMENTER	6
2.1	Mudring	6
2.2	Tildekking	8
2.3	Virkninger	11
2.4	Anbefaling.....	11
3.	PRIORITERING AV TILTAKSOMRÅDER	12
4.	KONKLUSJONER	15
5.	REFERANSER.....	17

VEDLEGG

Vedlegg 1 Statistiske analyser	18
--------------------------------------	----

1. BAKGRUNN

Foreliggende rapport er en av 14 delrapporter som danner grunnlaget for utarbeiding av helhetlig tiltaksplan for forurensede sedimenter i Harstad havn.

Foreliggende rapport tar utgangspunkt i tidligere miljøundersøkelser som har vist at sedimentet i Harstad havn til dels er sterkt forurensset [1-5]. Undersøkelsene inkluderte kartlegging av forurensningsgrad i sediment fra 6 ulike delområder i havna, kartlegging av miljøgifter i tang, skjell og fisk (torsk), toksisitetstester av sediment, kartlegging av bunndyrsamfunn, kartlegging av tilførsler (sedimentfeller, passive prøvetakere) kartlegging av forurensset grunn, utlekking fra forurensset grunn mm. Risikovurdering av de 6 delområdene viste at sedimentene utgjør en uakseptabel risiko for human helse og økologi, med risiko for spredning over grenseverdien for SFTs tilstandsklasse II. Det er i hovedsak PAH, TBT og kobber som utgjør størst risiko. Basert på risikovurderingen ble det konkludert at det bør gjennomføres oppryddingstiltak i alle de 6 delområdene [1]. På et generelt grunnlag ble det likevel anbefalt å utføre tiltak kun på sedimenter grunnere enn 20 m. Tiltak mot forurensning på dypere vann ble anbefalt å utsettes til effekten av tiltakene på grunnere vann var dokumentert. Hvilket medførte at delområde S6 som har det største vandypet, ble anbefalt å settes på vent.

I oppryddingsarbeidet ønsker Harstad kommune å koordinere ulike initiativ i havnen, med Kystverkets mudring av farleden innerst i Harstad havn (Harstadbotn) og eiendomsutvikling med innvinning av landområder hvor mudrede masser kan benyttes som en ressurs.

1.1 Miljømål for Harstad havn

For å bedre forurensingssituasjonen i Harstad havn, har kommunen vedtatt følgende langsiktige miljømål:

1. De lokale kildene til forurensning i havneområdet skal stoppes eller avgrenses så langt som mulig.
2. Det skal ikke være forbundet med risiko for human helse å være i kontakt med vannet i indre havneområde.
3. Kostholdsrådene skal oppheves.

Det er ønskelig at målene er oppnådd innen 10-15 år. Punkt 2 ansees å være oppnådd.

Miljømålene for tiltaksområdet er fastsatt i kommunestyret 27.08.09 og er som følger:

1. Konsentrasjonen av de styrende miljøgiftene (TBT, PAH og Cu) i overflatesedimentet skal reduseres med 90 % etter tiltak.
2. Det skal tilstrebes at ingen områder har overflatekonsentrasjoner som overskrider SFTs Tilstandsklasse III.

Det er ønskelig at målene er oppnådd innen 10-15 år.

1.2 Foreliggende rapportens mål

Målet med foreliggende rapport er å sammenstille alternative tiltaksløsninger for delområdene i havna, herunder:

- Identifisere og vurdere alternative tiltak mot forurensede sedimenter
- Vurdere forventet miljøeffekt
- Utarbeide begrunnet anbefaling

2. TILTAKSMETODER MOT FORURENSEDE SEDIMENTER

Det er to hovedtyper tiltak i sjø mot forurensede sedimenter, den ene er tildekking og den andre er mudring. I det følgende identifiseres ulike aktuelle tiltaksmetoder som reduserer forurensningen fra sedimentene i henhold til miljømålene.

2.1 Mudring

Ved mudring fjernes sedimentene. Dette kan foregå ved forskjellige metoder som i ulik grad vil gi oppvirvling og fare for spredning av forurensningen. Metodene kan være mekaniske med åpen eller lukket grabb (miljømudring), bakgraver, sugemudring (Pnauma), skrumudring (Auger). I Norge har grabbmudring vært mest benyttet fram til nå (beskrevet i delrapport 8).

Et sentralt spørsmål i tiltaksplanarbeidet i Harstad havn er: hvilke områder bør mudres og hvilke områder bør tildekkes? Generelt bør områder som er utsatt for erosjon og eller har behov for økt seilingsdyp mudres. Førstnevnte gjøres primært ut i fra miljøhensyn, mens sistnevnte gjøres ut fra bruk. Det grunneste området finnes i delområde S1, hvor småbåthavnene er lokalisert. Bruksplanen (delrapport 1) stiller ingen endrede krav til vanddyb i småbåthavnene. I seilingsleden inn til Harstadbotn har Kystverket imidlertid satt krav til 9 m dyp. Vanddybet utenfor de offentlige kaiene i Harstad havn varierer fra 2 til 13 m (i gjennomsnitt fra 5,4-9,2 m i følge Harstad havns hjemmeside). Mudring langs kaiene vil således generelt være positivt for skipstrafikken til og fra kaiene.

I 2009 anbefalte NGI på et generelt grunnlag at tiltaket i Harstad havn bør begrenses til områder grunnere enn 20 m [1, 5]. Eventuelt behov for tiltak på større vanddyb ble anbefalt utsatt til etter at effekten av tiltaket i grunnere områder er dokumentert. Det ble konkludert at størstedelen av de forurensede områdene i Harstad havn i prinsippet kan dekkes til med rene masser [1, 5].

Videre ble det vurdert at det kun var nødvendig med mudring i seilingsleden i delområde S1 og i andre seilingskorridorer hvor det er nødvendig med vanddyb større enn 3 til 4 m. Dette står i kontrast til anbefalinger fra Sweco i 2005, hvor det konkluderes med at store deler av områdene bør mudres [1]. NGI vurderte at mudring og eller tildekking med erosjonssikring var nødvendig i erosjonsutsatte områder som delområde S3 og S4 [1, 5].

Anbefalingene fra 2009 ble gitt på et generelt grunnlag. Det er usikkert om anbefalingene ble gitt ut fra miljøhensyn, økonomisk hensyn, praktiske hensyn, andre hensyn eller blanding av disse. Siden det ikke har vært mulig å skille risikoområder fra områder som ikke har behov for tiltak betyr det at alle tiltaksområdene som er vedtatt av Harstad kommune (delområde S1-S6) har behov for tiltak. Vanddybet i delområde S1-S5 varierer fra 0 til 50 m vanddyb (Tabell 1). Delområde S1 strekker seg ut til et vanddyb på nærmere 100 m. For å nå miljømålene i hele tiltaksplanområdet er det derfor behov for tiltak ned til både 50 m og 100 m dyp. Tiltaksområdene S1- S6 utgjør et samlet areal på 1.900.000 m². Alene utgjør S6 900.000 m².

Tabell 1. Oversikt over variasjon i vanddyb innen de ulike delområdene S1 – S5 som hører inn under tiltaksområdet for Harstad havn. S1 har et begrenset område på 18 m vanddyb.

Delområde	S1	S2	S3	S4	S5
Vanddyb	0 - <13 (<18m)	0-40 m	0-30 m	0-50m	0-50m

Spørsmålet er hvilket tiltak bør utføres hvor, eller hvilke områder bør mudres og hvilke bør tildekkes, og i hvilken rekkefølge. Begge tiltakstyper skal føre til at miljømålene nås, og tiltakene skal være varige. Valg av tiltakstype må ta hensyn til de stedlige forholdene. Områder som har stor risiko for fysisk forstyrrelse bør som nevnt over, mudres. Jo grunnere sedimentene ligger jo større er risikoen for spredning.

Delområde S6 har det største vanddypet, risikoen for forstyrrelse av sedimentene er derved minst her, forutsatt at det ikke tråles i området. Tildekking er derved å foretrekke i dette området.

Delområde S1 er det grunneste og derved området med størst risiko for spredning. Alle delområdene S1-S4 har stor båttrafikk (bare de sørlige delene av S5). Propellersosjon ansees å være en av de viktigste faktorene for spredning av miljøgifter fra forurensede sedimenter [6]. Undersøkelser har vist at selv båter av sjark størrelse kan skape strømhastigheter ved bunnen på 15-20 m dyp som overskrider kritisk hastighet for oppvirvling og erosjon av kohesive sedimenter. Strømhastigheten og følgelig erosjonen avtar eksponentielt med økende vanddyb. Det er derfor relativt liten forskjell mellom erosjonen ved 15 m dyp og ved 20 m dyp. Kritisk hastighet kan antas å ligge mellom 0,1-1 m/s [7]. Kritisk hastighet øker med avtagende kornstørrelse og avtar med økende vanninnhold [8]. Sedimentene i delområde S1 har høyt vanninnhold (slam) og i andre områder en del silt og sand. En kan derfor forvente at risikoen for propellersosjon er større i Harstad havn enn i områder med høyere andel leire i sedimentene. Leire øker kohesiviteten i sedimentene. Det anbefales derfor at de grunne områdene ned til 15 m dyp i Harstad havn mudres. Dette er i tråd med praksis gjennomført i eksempelvis Oslo havn, hvor det ble mudret langs kaiene ned til 15 m dyp i hele indre havn. En tildekking i de grunne områdene i delområde S1 ansees ikke som et godt alternativ. En tildekking i dette området vil redusere dypet og medføre ankringsforbud for å sikre at dekkmaterialet holdes intakt. Dette vil båndlegge store områder hvor småbåter og lystbåter ferdes.

Det er antatt at forurensningen i Harstad havn er begrenset til de øvre 30 cm av sedimentene. Dette er basert på analyser av sedimentkjerner. Det foreligger totalt 13 analyserte kjerner fra tiltaksområdet på totalt 1.900.000 m² (Tabell 2). Dette må anses å være et svært begrenset datamateriale for et så stort tiltaksområde. I delområde S3 og S5 finnes ikke informasjon om mektighet av forurensningen.

Tabell 2. Oversikt over antall kjerner som er analysert for miljøgifter i de ulike delområdene.

Delområde – areal m ²	Antall kjerner	Prøvetakingsår
S1 – 337.406	7 (1)	2008 (1997)
S2 – 126.000	3	2008
S3 – 168.000	0	
S4 – 117.000	1	2008
S5 – 243.000	0	
S6 – 915.000	1	2008

Det finnes flest analysedata av kjernemateriale fra delområde S1. Her foreligger data fra 0-10 cm og 30- 50 cm sedimentdyp i 6 punkter. I ett av punktene er det i tillegg analyser fra 50-70 cm sedimentdyp. Fra samme delområde foreligger data fra 2 kjerner i 2 cm intervaller ned til 20-22 cm sedimentene. Den ene av disse er fra 2008 og den andre fra 1997. Analysene viser at sedimentene ved 30-50 cm sedimentdyp ikke var forurenset av PAH i 5 av kjernene, ikke forurenset av TBT i 4 av kjernene og ikke forurenset av Cu i 6 av kjernene. Det ene punktet hvor det foreligger analyser fra 50-70 cm viste ingen forurensning av PAH, TBT eller Cu. Kjernene som var snittet i 2 cm intervaller viste i 2008 ingen forurensning av de nevnte stoffer i 20-22 cm sedimentintervallet. Kjernen fra 1997 var imidlertid forurenset i dette intervallet. Dette viser at det er lokale variasjoner i delområde S1 med hensyn til mektighet av forurensningen. I de fleste av punktene ble det ikke påvist forurensning i 30-50 cm intervallet. På dette grunnlag er det konkludert at forurensningen sannsynligvis ikke går dypere enn 30 cm ned i sedimentene. Det kan imidlertid ikke utelukkes at forurensningen går grunnere enn 20 cm ned i sedimentene i en del av området, ei heller ikke om den går dypere enn 50 cm i andre deler av området. Til det er datagrunnlaget for dårlig. I øvrige delområder er datagrunnlaget enda spinklere.

Bestemmelse av mektighet av forurensningen er helt avgjørende for måloppnåelse ved mudring. I tillegg er mektigheten den mest kostnadsdrivende faktoren for miljøoppryddingen. Det er derfor helt avgjørende av mektigheten av forurensningen kartlegges før tiltak med mudring settes i gang.

2.2 Tildekking

Tildekking av forurensete sedimenter hindrer spredningen av de forurensende stoffene. Tildekking gjør miljøgiftene derved mindre eller helt utilgjengelig for levende organismer og oppvirvling. Tildekking kan utføres i tynne lag eller tykke lag. Hensikten med tynne lag er å øke sedimentasjonen og på den måten fremskynde rehabiliteringen av sedimentene ved å fortynne konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentene. Lagtykkelsen kan være fra noen få cm til 10-15 cm. Denne løsningen bør vurderes i sammenheng med null-tiltak. Null-tiltak eller naturlig restitusjon vurderes ut fra sedimentasjonshastigheten i området, tykkelsen på bioaktivt lag i sedimentene, hvilken konsentrasjon man har i det bioaktive laget i dag og hvilken miljøkvalitet det vil være på materialet som tilføres til området i dag eller etter tiltak når kildene er under kontroll. Dette kan gjøres ut fra formelen under (hvor TBT er lagt inn som eksempel):

$$c_{TBT} = \frac{c_{TBT}(-1)^{t} (M_s - Q) + Q \cdot c_{nytt}}{M_s}$$

$$q_{inn} = Q \cdot c_{nytt}$$

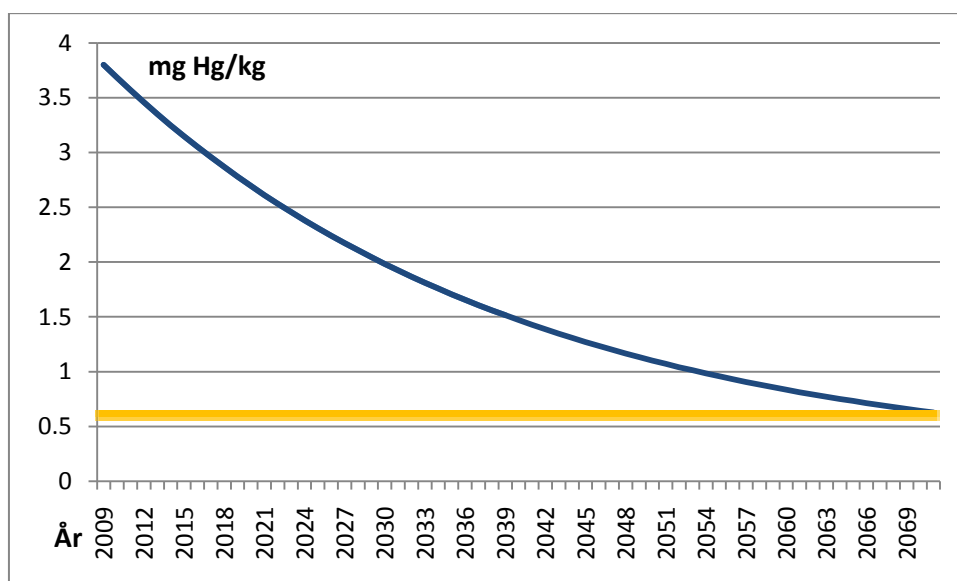
Forklaring	Symbol	enhet
Oppholdstid i bioaktivt lag	t	år
Sedimentert mengde faststoff pr. år (= mengde faststoff ut av bioaktivt lag ved konstant tykkelse)	Q_s	kg/m ² /år
Mengde faststoff i bioaktivt lag	M_s	kg/m ²
Konsentrasjon av TBT i blandingslaget	c_{TBT}	mg/kg
Mengde TBT i blandingslaget	m_{TBT}	mg/m ²
Fluks av TBT ut av blandingslaget i hvert tidsskritt	q_{ut}	mg/m ² /år
Konsentrasjon av TBT i sedimenterende materiale	c_{nytt}	mg/kg
Fluks av TBT som sedimenterer på toppen hvert år	q_{inn}	mg/m ² /år

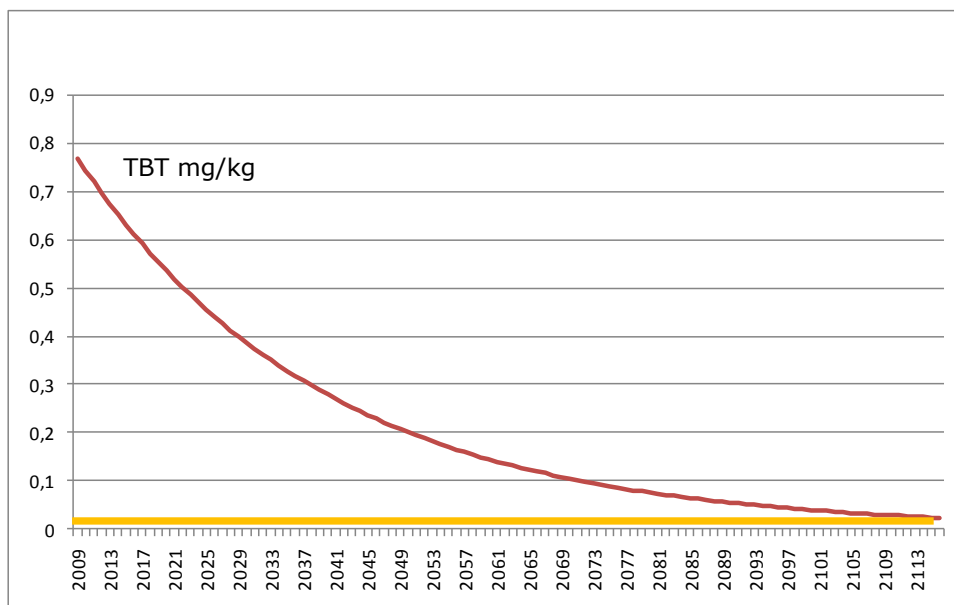
Gravende organismer er mest aktive i de øvre 5 til 10 cm av sedimentene. Velges 20 cm tildekking vil underliggende forurensede sedimenter være utilgjengelig for de fleste organismer. I tillegg forsinkes diffusjonstransporten av miljøgifter til vannfasen. Målet med miljøtiltakene i Harstad havn er at sedimentene skal oppnå sedimentkvalitet tilsvarende Klifs tilstandsklasse III, over minimum 90 prosent av tiltaksarealet. Et relevant spørsmål er da: hvor stor mengde rent materiale er det nødvendig å tilføre for at sedimentene skal oppnå målet om miljøkvalitet?

Kvikksølv forekommer i til dels høye konsentrasjoner og benyttes derfor til å anskueliggjøre effekten av naturlig restitusjon og tildekking. Det foreligger flest kjemiske data fra delområde 1, 76 stasjoner. Konsentrasjonen av kvikksølv i sedimentene i delområde 1 i det bioaktive laget (0-10 cm) varierer fra 0,05 til 3,8 mg/kg. Ny prøvetaking i havna viser at de øvre 0,5 cm av sedimentene har en konsentrasjon av kvikksølv fra 0,2-2,2 mg/kg, hvilket viser at det fortsatt foregår ny sedimentasjon av kvikksølv i havna (delrapport 2) En forutsetning for varige sedimenttiltak er at kildene til forurensning er under kontroll. Kildene kan være sedimentene (utlekking og resuspensjon), forurenset grunn og deponier på land. Hvis vi antar at kildene bringes under kontroll og at nytt materiale som sedimenterer i fremtiden har en miljøkvalitet tilsvarende nedre grense for tilstandsklasse III, vil det ta mer enn 100 år før man når denne konsentrasjonen i det bioaktive laget. Hvis tilførslene stoppes helt og vi antar at nytt sediment som tilføres har en konsentrasjon lik 0,15 mg Hg/kg (tilstandsklasse I) vil det ta 60 år før man når miljømålet på 0,63 mg Hg/kg sediment (tilstandsklasse III) i hele det bioaktive laget og mer enn 100 år for TBT med miljømål 0,02 mg TBT/kg (Figur 1).

For å fremskynde naturlig sedimentasjon kan sedimentene dekkes til med samme mektighet som naturlig vil avsettes over henholdsvis 60 og 100 år. Antas en sedimentasjon på 2 mm/år [5] vil det avsettes en mektighet på 12 cm på 60 år og 20 cm på 100 år.

Overslagene indikerer at null-tiltak med naturlig restitusjon av sedimentene ikke er et akseptabelt tiltak i Harstad havn. Miljømålene vil ikke nås før om flere tiår. En tildekking med 10 cm rene sedimenter vil derimot fremskynde naturlig restitusjon, evt. vil en tildekking med 20 cm rene sedimenter gjøre miljøgiftene utilgjengelige for gravende organismer.





Figur 1. Beregnet tidsutvikling i konsentrasjon av Hg øvre figur og TBT nedre figur i det bioaktive laget i sedimentene i delområde 1. Det antas at nytt sediment som tilføres har tilstandsklasse I (0,15 mg Hg/kg og 0,001 mg TBT/kg). Ved naturlig sedimenttilvekst vil tilstandsklasse III (gul horisontal linje), 0,63 mg Hg/kg nås etter 60 år og 0,02 mg TBT/kg etter 107 år.

Grunnvannstransport gjennom sedimentene reduserer effekten av å tildekke med rene sedimenter. Dette kan kompenseres med å etablere et reaktivt lag som binder miljøgiftene i sedimentene. Som tildekkingsmateriale kan i prinsippet alt naturlig inert materiale benyttes. Det er vanlig å benytte sand eller knust stein i sandfraksjonen. Som tommelfingerregel skal massene som tilføres ha samme eller større kornstørrelse som de stedege sedimentene. I områder som utsettes for propellerrosjon må det gjøres spesielle vurderinger, og massenes egenskaper optimaliseres i forhold til de kreftene de blir utsatt for.

I områder hvor grunnvannstransport gjennom sedimentene er stor må dekklaget være betydelig tykkere. Tildekkingsmaterialet kan tilsettes ulike aktive substanser som aktivt kull, lignin eller zeolitter. Formålet er å binde organiske miljøgifter og metaller sterkere i dekkmaterialet. Design av en slik tildekking (cap) ligger ikke innenfor arbeidet med tiltaksplan for Harstad havn.

Tildekkingen i Harstad havn utføres trolig mest kostnadseffektivt ved å benytte stedege sedimenter. Det anbefales derfor "overmudring" dvs. uttak av rene masser i områder som tillater dette. Etter at miljømudringen (mudring av forurenset sediment) er ferdig i ett område, mudres det ytterligere for uttak av rene masser. Erosjonsbestandigheten til tildekkingsmassen vil da være relativt godt tilpasset naturlige lokale strømningsforhold. Dette anses også å være en fordel for å unngå resedimentering av resuspendert forurenset sediment fra miljømudringen. Erfaring tilsier at overmudring gir større sjans for å nå miljømålet ved anleggsperiodens slutt. I tillegg vil overmuring gi Harstad havn ytterligere dybde slik at behovet for vedlikeholdsmudring utsettes i betydelig fremtid.

Siden kuttersuger har høy produktionsrate (delrapport 5) vil denne være kostnadseffektiv ved mudring (uttak) av rene tildekkingsmasser. Kuttersuger kan reverseres og på denne måten pumpe ned massene. Tilsvarende kan gjøres med horisontal auger. Siden denne er mer presis, vil dekklagets tykkelse være mindre variabelt. Følgelig vil behovet for masse være mindre. Utlegging med splittlekter er mest benyttet i Norge, eksempelvis ved tildekkingen av deponiet ved Malmøykalven i Oslo havn. En slik utlegging vil trolig være mindre effektiv og kreve større mengder masser enn utlekking ved utpumping nær sedimentoverflaten.

Tildekking er egnet i de områder hvor det ikke er propellersosjon. I områder hvor skip manøvrerer tilsvarer dette vanddyb >15 meter. For å oppnå vedtatte operative miljømål i Harstad havn anbefales derfor tildekking i områder dypere enn 15 m ned til ytterkant av tiltaksområdene. Dette er billigere enn mudring. Mudring ansees ikke å være nødvendig i områder dypere enn 15 m, både fordi sedimentene her ikke er utsatt for oppvirvling og det er ikke behov for ytterligere dybde. En ulempe med tildekking er at den setter begrensninger for oppankring.

2.3 Virkninger

Oppsummert er det mulig å vurdere virkningene ved de to alternative tiltakene mot hverandre.

Mudring:

- er dyrere enn tildekking
- eliminerer faren for oppvirvling og sikrer at man når miljømålene
- gir en ekstra gevinst med generelt dypere seilingsforhold, slik at eventuell fremtidig behov for farledsmudring utsettes.
- kommer ikke i konflikt med oppankring, slik en eventuell tildekking ville ha gjort.

Tildekking:

- medfører lavere tiltakskostnad enn mudring
- sikrer at miljømålene nås, på dyp større enn 15 m. det skyldes at sedimentene på større dyp i liten grad er utsatt for erosjon og trenger derfor ikke fjernes for å unngå spredning.
- reduserer faren for forurensningsspredning mens tiltaksarbeidet pågår, sammenlignet med mudring
- reduserer seilingsdypet

2.4 Anbefaling

Med bakgrunn i virkningene over anbefales det at de forurensede sedimentene mudres ned til et vanddyb på 15 meter, og at de forurensede sedimentene dekkes til på større dyp.

Mudringen anbefales utført ned til rene sedimenter, selv om tiltaks målet er satt til tilstandsklasse III. Dette fordi forurensningsmektigheten i Harstad havn er relativt beskjeden sammenlignet med eksempelvis Oslo havn. I Harstad havn er det derfor sannsynligvis skarpere grenser mellom rene og forurensede sedimenter.

Det er anslått at forurenset sediment utgjør ca 30 cm av de øvre sedimentene. Analyser av sedimentkjerner viser at forurensingen kan ha mindre mektighet enn 20 cm av sedimentene, men også mer enn 50 cm mektighet. Det foreligger kun få analyser av forurensningsmektighet fra tiltaksområdet. Bestemmelse av forurensningsmektighet er helt avgjørende for måloppnåelse ved mudring. I tillegg er mektigheten den meste kostnadsdrivende faktoren ved miljøopprydding. Det anbefales derfor at mektigheten av forurensningen kartlegges før tiltak iverksettes.

Området har utstrakt båttrafikk i hele havna. Selv båter av sjark størrelse kan gi propellersosjon ned til 15 m vanddyb noe som gir risiko for spredning av forurensede sedimenter. Delområde S1 er det største av alle delområdene med unntak av delområde S6 (Tabell 4), dette er også det grunneste området. Det anbefales at hele delområdet mudres. Det anbefales således ikke å dekke til flekkvis mellom seilingsledene.

Ut fra miljøhensyn bør tildekkingen komme etter mudringen i tid. Tildekking i områder dypere enn 15 m vil således ikke være til hinder for gjennomføring av tiltak i områdene grunnere enn 15 m.

Masser til tildekking kan med fordel tas ut lokalt fra egnede områder etter at mudring er ferdig. Dette er å foretrekke fordi disse massene sannsynligvis vil være tilpasset de lokale forholdene, vil være rimeligere og ikke minst vil en slik overmudring av rene masser gi en resedimentasjon i området som øker sannsynligheten for at miljømålet nås.

3. PRIORITERING AV TILTAKSOMRÅDER

Tiltaksmålene i Harstad havn er knyttet til konsentrasjoner av miljøgifter i sedimentene og et mål om å redusere disse til tilstandsklasse III er. Med bakgrunn i målene er det nærliggende å prioritere hvilke delområder som først bør ryddes basert på konsentrasjonsnivåer av ulike stoffer.

Som vist i Tabell 3 overstiger gjennomsnittskonsentrasjonen av en eller flere metaller og organiske miljøgifter tilstandsklasse III i alle delområder. Dette betyr i praksis at alle delområder har behov for tiltak hvis det operative miljømålet skal nås. En 90 % reduksjon av konsentrasjonene betyr nødvendigvis ikke at tiltaksmålene innfris.

Harstad kommune ønsker likevel en prioritering av tiltaksområdene med basis i de prioriterte miljøgiftene Cu, PAH og TBT. Vi har sett på hvordan dette kan slå ut for alle tiltaksområdene, inkludert S6.

Ved å benytte en "Multiple range test" (MRT) kan man vurdere hvilke områder som har signifikant høyere gjennomsnittskonsentrasjoner enn andre områder (se Figur 2 og vedlegg). Analysen viser at delområde S2 har signifikant høyere gjennomsnittskonsentrasjoner av Cu enn delområde S1, S3, S5 og S6 (Figur 2). Delområde S2 skiller seg ikke fra S4, sistnevnte har imidlertid signifikant høyere konsentrasjon av Cu enn delområde S5 og S6. De to sistnevnte har lavest gjennomsnittskonsentrasjon av Cu.

Tilsvarende analyse av PAH16 viser at delområde S2 har signifikant høyere gjennomsnittskonsentrasjon av PAH enn delområde S1 og S5 (Figur 2). De to sistnevnte skiller seg imidlertid ikke fra delområde S4 og S6. Det skal bemerkes at en "outlier" (en prøve med svært høy PAH-konsentrasjon) er fjernet før MTR er utført.

Tilsvarende analyse av PAH viser at delområde S2 har signifikant høyere konsentrasjoner av TBT enn øvrige delområder (Figur 2). De laveste TBT-konsentrasjonene finnes i delområde S5.

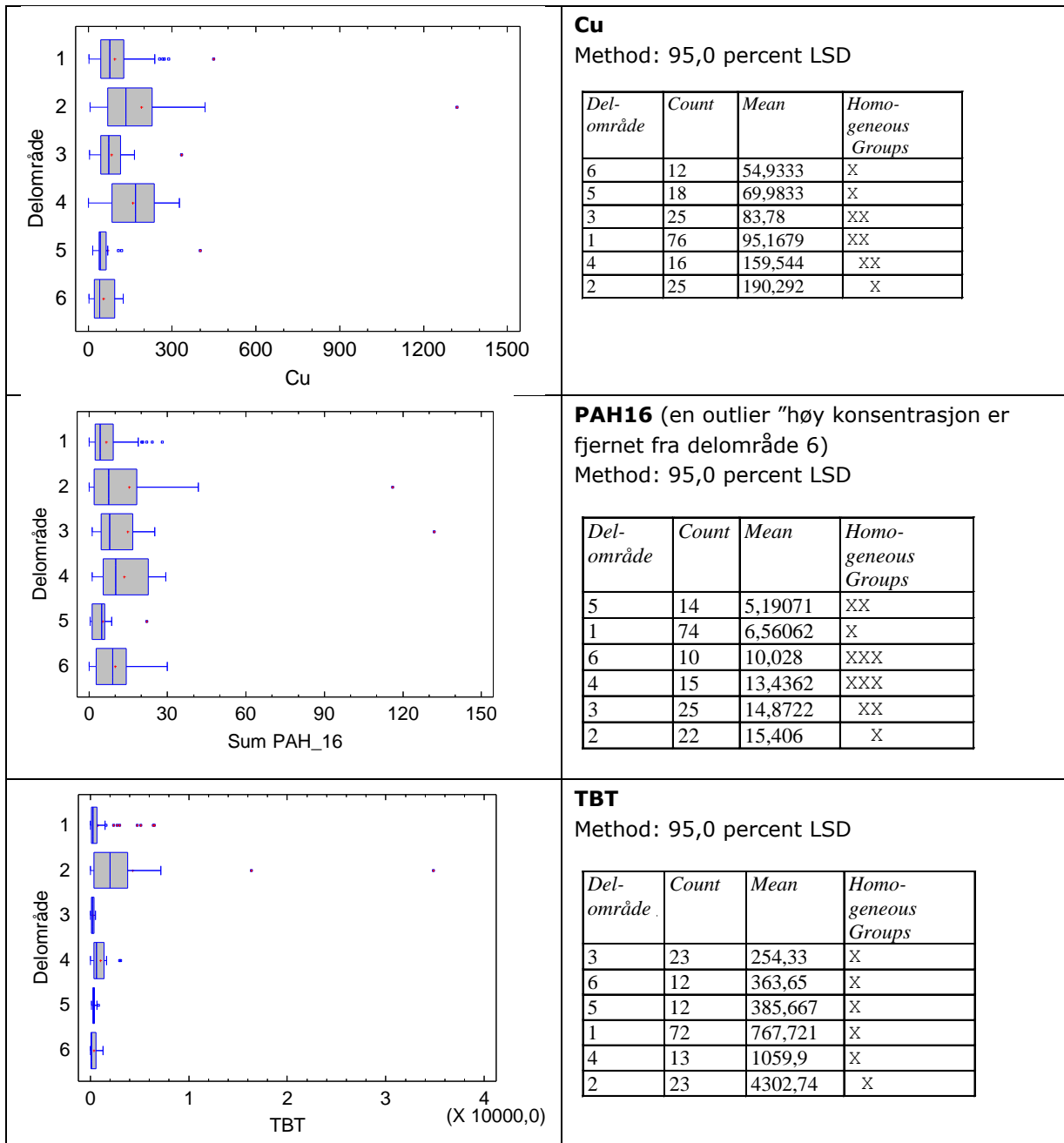
Basert på ovenstående kan man følgelig rangere områdene etter konsentrasjon, hvor områder med høyest konsentrasjon har førsteprioritet med hensyn til tiltak. Følgende prioritering kan da settes opp:

1. Delområde S2: høyest konsentrasjon av Cu, PAH, TBT
2. Delområde S1, S3, S4: ingen signifikant forskjell mellom områdene
3. Delområde S6: Generelt lavere konsentrasjoner enn områdene nevnt over
4. Delområde S5: Har generelt de laveste konsentrasjonene

Tabell 3. Øvre tabell: gjennomsnittskonsentrasjoner av metaller og organiske miljøgifter i delområde 1 - 6 i Harstad havn før tiltak (data fra [5]). Nedre tabell: Beregnede gjennomsnittskonsentrasjoner av metaller og organiske miljøgifter i sedimenter i delområde 1 - 6 i Harstad havn etter tiltak, basert på målsettingen om 90 % konsentrasjonsreduksjon. Fargeangivelser er i hht Klifs tilstandsklasser og miljøkvalitet (TA-2229/2007).

Konsentrasjoner før tiltak			Delomr.1	Delomr.2	Delomr.3	Delomr.4	Delomr.5	Delomr.6
As	mg/kg		10	11	20	13	9	8
Pb	mg/kg		70	134	77	137	47	55
Cd	mg/kg		0,5	0,4	0,4	0,5	0,2	0,1
Cu	mg/kg		95	190	84	160	70	55
Cr	mg/kg		26	24	28	50	18	25
Hg	mg/kg		0,7	0,9	0,6	0,6	0,3	0,1
Ni	mg/kg		12	12	12	13	13	9
Zn	mg/kg		163	340	178	307	107	95
Sum PAH-16	µg/kg		6561	15406	14872	13436	5191	93025
BaP	µg/kg		497	938	807	917	270	1461
Sum PCB-7	µg/kg		90	226	698	292	4237	92
TBT	µg/kg		768	4303	254	1060	386	364
TOC	% TS		3,9	3,4	2,5	3,9	3,1	4,6
Tørrstoff (E)	%		50	56	52	54	59	54

90% reduksjon av gjennomsnittskons			Område1	Område2	Område3	Område4	Område5	Område6
As	mg/kg		0,96	1,12	1,96	1,31	0,86	0,77
Pb	mg/kg		7	13	8	14	5	6
Cd	mg/kg		0,05	0,04	0,04	0,05	0,02	0,01
Cu	mg/kg		10	19	8	16	7	5
Cr	mg/kg		3	2	3	5	2	3
Hg	mg/kg		0,07	0,09	0,06	0,06	0,03	0,01
Ni	mg/kg		1,16	1,21	1,21	1,25	1,31	0,93
Zn	mg/kg		16	34	18	31	11	10
Sum PAH-16	µg/kg		656	1541	1487	1344	519	9303
BaP	µg/kg		50	94	81	92	27	146
Sum PCB-7	µg/kg		9	23	70	29	424	9
TBT	µg/kg		77	430	25	106	39	36



Figur 2. Box og whisker-plot¹ av Cu, PAH og TBT (venstre kolonne) i tiltaksområdet i Harstad havn (delområdene 1 – 6). Resultater fra multiple range test for det samme datamaterialet (høyre kolonne).

Rangering av områder for tiltak kan også baseres på risikovurderingen utført av NGI i 2009 [5]. Ved samlet risikovurdering av delområdene utgjør delområde S6 størst risiko. Risikoen anses å være overvurdert, siden det ikke inngår steds spesifikke vurderinger som i øvrige områder. Hvis man ser bort i fra delområde S6 er det delområde S1 som utgjør størst risiko (Tabell 4). Deretter følger delområde S2, S3 og S4. Delområde S5 representerer minst risiko.

¹ Box and Whisker plot: boksen strekker seg fra nedre kvartil til øvre kvartil, dvs. 50 % av dataene ligger innenfor boksen. Median er indikert med vertikal linje i boksen, gjennomsnittet med en stjerne i boksen. Whiskerne strekker seg fra største til minste verdi i datasettet. Outliers er punkter som ligger mer enn 1.5 ganger boksbredden (interkvartil range).

Tabell 4. Data fra risikovurdering av forurensede sedimenter i Harstad havn [5], hhv risiko for spredning, human helse og økologi. For hver parameter angir de grønne markeringene to områder med størst risiko.

Delområde	Benevning	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Spredning	m2	337406	126000*	168000	117000	243000	915000
Kobber	kg/år	31	0,7	3,5	0,5	0,6	12
Sum PAH-16	kg/år	3,3	2,2	2,4	2,1	0,1	29
Sum PCB-7	g/år	25	2	25	1	24	102
TBT	kg/år	0,7	0,6	0,1	0,8	0,2	6,3
Human helse		S1	S2	S3	S4	S5	S6
Kobber	%	-	-	-	-	-	-
Sum PAH-16	%	-	31425	-	-	-	41604
Sum PCB-7	%	416	827	-	6	-	13922
TBT	%	-	-	-	-	-	567
Økologi		S1	S2	S3	S4	S5	S6
Kobber	%	687	-	10	-	-	281
Sum PAH-16	%	1816	2346	3024	320	5	3066
Sum PCB-7	%	-	-	-	-	-	-
TBT	%	201710	436805	75543	859424	86567	3708666

4. KONKLUSJONER

Risikovurdering av forurensede sedimenter i Harstad havn viser at hele tiltaksområdet (delområdene S1-S6) har behov for tiltak for å nå Harstad kommunes vedtatte miljømål.

Det anbefales derfor å mudre ned til 15 m vanddyb i hele tiltaksområdet. Det er anslått at forurenset sediment utgjør ca 30 cm av de øvre sedimentene. Mudringen anbefales utført ned til rene sedimenter.

Mudring i de grunne områdene vil gi en ekstra gevinst med generelt dypere seilingsforhold, slik at eventuell fremtidig behov for farledsmudring utsettes. Mudring i de grunne områdene vil ikke komme i konflikt med oppankring, slik en eventuell tildekking ville ha gjort.

Områder med vanddyb større enn 15 m anbefales tildekket med 20 cm sand eller annet egnet materiale. Masser til tildekking kan med fordel tas ut lokalt fra egnede områder etter at mudring er ferdig. Dette er å foretrekke fremfor å kjøre til andre masser fordi stedege masser sannsynligvis vil være tilpasset de lokale forholdene. De vil også være rimeligere og ikke minst vil en slik overmudring av rene masser gi en resedimentasjon i området som øker sannsynligheten for at miljømålet nås.

Ut fra miljøhensyn bør tildekkingen komme etter mudringen i tid. Tildekking i områder dypere enn 15 m vil således ikke være til hinder for gjennomføring av tiltak i områdene grunnere enn 15 m. Tiltak mot forurensede sedimenter i havna skal samordnes med Kystverkets farledsmudring.

Det er mulig å rangere delområdene på bakgrunn av spredningsfare og tilstandsklasse.

Basert på risikovurdering av forurensede sedimenter (risiko for spredning, human helse og økosystem) [5] kan områdene som har behov for tiltak rangeres som følger:

- delområde S1 utgjør størst risiko
- deretter følger delområde S2, S3 og S4
- delområde S5 representerer minst risiko
- delområde S6 representerer høy risiko, men denne er vurdert som overestimert grunnet begrenset datagrunnlag [1] (mangler stedsspesifikke målinger).

Basert på konsentrasjonen av de prioriterte stoffene Cu, PAH og TBT kan man rangere områdene etter konsentrasjon, hvor områder med høyest konsentrasjon har førsteprioritet:

1. Delområde S2: høyest konsentrasjon av Cu, PAH, TBT
2. Delområde S1, S3, S4: ingen signifikant forskjell mellom områdene
3. Delområde S6: Generelt lavere konsentrasjoner enn områdene nevnt over
4. Delområde S5: Har generelt lavest de laveste konsentrasjonene

Basert på miljøkvaliteten i bunnsedimentene vil tiltak i de ulike delområdene gi størst effekt i forurensning fra følgende komponenter:

- Delområde 1: Cu og TBT
- Delområde 2: Cu, Pb, PAH og TBT
- Delområde 3: Cu, PAH, PCB og TBT
- Delområde 4: Cu, Pb, PAH, PCB og TBT
- Delområde 5: PAH, TBT
- Delområde 6: PAH, TBT

Siden mudring bør skje før tildekking anbefales det først å utføre tiltak i delområde 1, 2, 3 og 4 og sørlige del av S5 som topografisk hører til delområde S1 og S2. For å nå miljømålene i hele tiltaksområdet må det imidlertid utføres tiltak i resterende del av delområde S5 samt S6.

5. REFERANSER

1. Mørch, T. and M. Weideborg, *Harstad havn - Miljøundersøkelser og risikovurdering av forurensede sedimenter og tiltaksutredning*. 2005, Sweco Grøner.
2. Skjegstad, N. and F. Rikardsen, *Tiltaksplan Harstad havn, fase 2*, S.f. (SFT), Editor. 2006, Fylkesmannen i Troms.
3. Nybakk, A. and R.S. Grini, *Opprydding i forurenset sediment - Planlegging av miljøtiltak*. 2008, Norges geotekniske institutt.
4. Evenset, A. and G.N. Christensen, *Miljøgifter i marine sedimenter og organismer fra Harstad Havn*. 2009, Akvaplan-niva.
5. Kvennås, M., A. Nybakk, and R.S. Grini, *Harstad havn. Supplerende undersøkelser. Vurdering av forurensningssituasjon og behov for tiltak*. 2009, Norges geotekniske institutt (NGI).
6. SFT, *Risikovurdering av forurenset sediment*. 2007. **2230/2007**: p. 43.
7. SFT, *Bakgrunnsdokument til veileder TA 2229-2007 og TA-2230*. 2007. **TA-2231**: p. 204 s.
8. Dyer, K.R., *Coastal and estuarine sediment dynamics*. A Wiley-Interscience Publication. 1986: John Wiley & Sons. 342.
9. Knutzen, J., K. Kvalvågnes, and J. Magnusson, *Orienterende reseipientundersøkelse i Troms*. 1977, Norsk institutt for vannforskning. p. 46.

VEDLEGG

Vedlegg 1 Statistiske analyser

Multiple Range Test

Applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 5 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cu

Method: 95,0 percent LSD

Delområde	Count	Mean	Homogeneous Groups
6	12	54,9333	X
5	18	69,9833	X
3	25	83,78	XX
1	76	95,1679	XX
4	16	159,544	XX
2	25	190,292	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2	*	-95,1241	55,6792
1 - 3		11,3879	55,6792
1 - 4		-64,3759	66,4257
1 - 5		25,1846	63,3038
1 - 6		40,2346	75,0158
2 - 3	*	106,512	68,3052
2 - 4		30,7483	77,3163
2 - 5	*	120,309	74,6512
2 - 6	*	135,359	84,8104
3 - 4		-75,7637	77,3163
3 - 5		13,7967	74,6512
3 - 6		28,8467	84,8104
4 - 5	*	89,5604	82,9759
4 - 6	*	104,61	92,2226
5 - 6		15,05	90,0

* denotes a statistically significant difference.

PAH

Method: 95,0 percent LSD

Delområde	Count	Mean	Homogeneous Groups
5	14	5,19071	XX
1	74	6,56062	X
6	10	10,028	XXX
4	15	13,4362	XXX
3	25	14,8722	XX
2	22	15,406	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2	*	-8,84538	7,10202
1 - 3	*	-8,31162	6,76558
1 - 4		-6,87558	8,28146
1 - 5		1,36991	8,52383
1 - 6		-3,46738	9,85365
2 - 3		0,53376	8,54951
2 - 4		1,9698	9,79304
2 - 5	*	10,2153	9,99883
2 - 6		5,378	11,1542
3 - 4		1,43604	9,55186
3 - 5		9,68153	9,76274

4 - VURDERING AV TILTAK I SJØ

3 - 6		4,84424	10,943
4 - 5		8,24549	10,8683
4 - 6		3,4082	11,9398
5 - 6		-4,83729	12,1092

* denotes a statistically significant difference.

TBT

Method: 95,0 percent LSD

<i>Delområde</i>	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
3	23	254,33	X
6	12	363,65	X
5	12	385,667	X
1	72	767,721	X
4	13	1059,9	X
2	23	4302,74	X

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
1 - 2	*	-3535,02	1455,33
1 - 3		513,39	1455,33
1 - 4		-292,179	1831,05
1 - 5		382,054	1894,58
1 - 6		404,071	1894,58
2 - 3	*	4048,41	1791,76
2 - 4	*	3242,84	2108,36
2 - 5	*	3917,07	2163,76
2 - 6	*	3939,09	2163,76
3 - 4		-805,57	2108,36
3 - 5		-131,336	2163,76
3 - 6		-109,32	2163,76
4 - 5		674,233	2432,41
4 - 6		696,25	2432,41
5 - 6		22,0167	2480,58

* denotes a statistically significant difference.