prof. dr. Rudi RAJAR *
prof. dr. Matjaž ČETINA*

PROBLEMATIKA PLINSKIH TERMINALOV V TRŽAŠKEM ZALIVU IN SIMULACIJE DISPERZIJE ŽIVEGA SREBRA Z DNA ZALIVA

POVZETEK

Že skoraj deset let se vlečejo razprave o upravičenosti izgradnje dveh terminalov za utekočinjeni plin v Tržaškem zalivu. Eden naj bi se gradil skoraj v centru zaliva, le nekaj sto metrov od meje slovenskega morja, drugi pa v zalivu Žavlje blizu Trsta. Slovenija nasprotuje izgradnji iz več razlogov, ki jih natančneje prikazuje prispevek:

a) Zaradi velikih izkopov materiala pri izgradnji terminalov in pri vkopavanju plinovodov bo prišlo do dviganja sedimentov, ki so onesnaženi s spojinami živega srebra, kar bo povzročilo pomemno povečanje tveganja pri uživanju rib in ostale morske hrane, ki se pridobiva z marikulturo v zalivu. Podoben škodljiv efekt bo povzročal promet tankerjev za prevoz utekočinjenega plina, ki bodo s svojimi ogromnimi vijaki prav tako povzročali dviganje sedimentov in živega srebra v vodo.
b) Predvsem terminal, ki naj bi bil zgrajen v središču zaliva, bi povzročal pomembo oviro za ladijski promet, saj bi bil okrog terminala varnostni pas, kjer je ladijski promet prepovedan.
c) Obravnavana je bila tudi nevarnost zaradi možnosti vžiga plina oziroma eksplozij.

Prispevek detajlneje prikazuje izračune in 3D numerične simulacije disperzije sedimentov in živega srebra po zalivu ter škodljive posledice na zdravje prebivastva v okolici zaliva.

1. OPIS PROBLEMA

V Tržaškem zalivu je predvidena gradnja dveh terminalov za dovoz utekočinjenega zemeljskega plina (UZP). Prvega, predvidenega približno v sredini zaliva, imenujemo Morski terminal (»Offshore Terminal«), drugi pa je terminal Žavlje, ki je predviden ob obali, v Miljskem zalivu južno od Trsta.

Slovenija nasprotuje gradnji obeh terminalov, pri tem se ji pridružuje tudi Hrvaška in celo pomembno število italijanskih naravovarstvenikov. Gradnja in obratovanje terminalov v razmeroma majhnem zalivu bi namreč povzročala pomemben negativen vpliv na okolje in sicer z več vidikov:

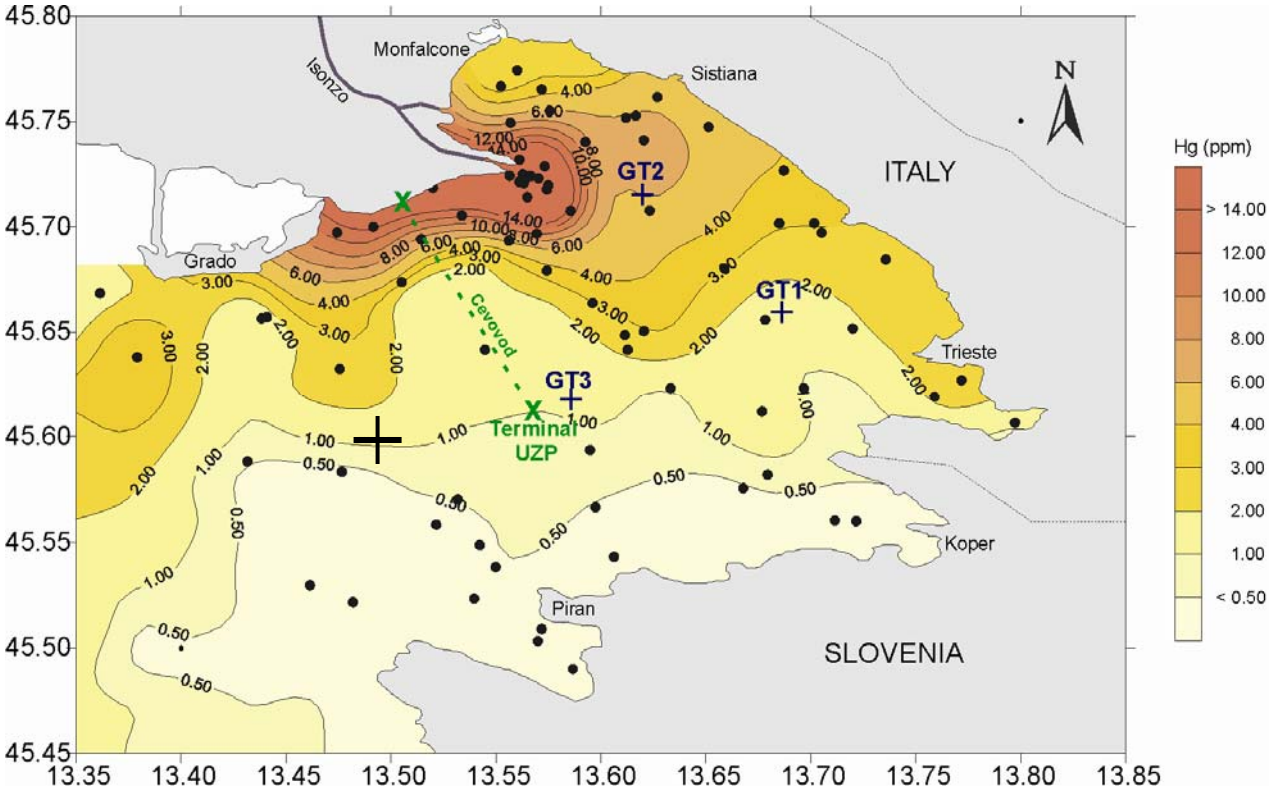
(a) Pri izkopu temeljev terminalov, pri vkopavanju cevovodov in pri transportu UZP s tankerji bi se dvigali sedimenti z dna zaliva in z njimi razne oblike živega srebra. Najbolj važno je dejstvo, da bi se bistveno povečala koncentracija toksičnega metil-živega srebra v Tržaškem zalivu, s tem pa tudi v ribah, kar bi povečalo zdravstveno tveganje pri uživanju rib in ostale morske hrane, ki se pridobiva z marikulturo v zalivu.
(b) Predvsem terminal, ki bi bil zgrajen v središču zaliva, bi predstavljal veliko oviro za ladijski promet, saj bi bil okrog terminala varnostni pas, kjer je ladijski promet prepovedan.
(c) Obravnavana je bila tudi nevarnost zaradi možnosti vžiga plina oziroma eksplozij, čeprav strokovnjaki dokazujejo, da je ta nevarnost izredno majhna.

Živo srebro, ki je v vodi in sedimentih, se je preko petih stoletij delovanja Idrijskega rudnika transportiralo z vodo in sedimenti Idrijce in Soče v Tržaški zaliv. Ta vpliv je zelo bistven, ker povečuje koncentracijo toksičnega metil-živega srebra v ribah. Te koncentracije pa so po številnih meritvah že v preteklih letih pokazale, da občasno presegajo vrednosti, ki jih kot še dopustne predpisuje Svetovna zdravstvena organizacija (WHO).

*prof. dr. Rudi RAJAR, univ. dipl. inž. gradb. (upok.), *prof. dr. Matjaž ČETINA, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništva in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin, Hajdrihova 28, Ljubljana

Morski terminal je bil leta 2005/2006 predviden na lokaciji skoraj v središču zaliva, v letu 2008 pa je bila predlagana sprememba lokacije ca. 6 km v smeri ZJZ. Plovba ladij za prevoz UZP v notranjosti Tržaškega zaliva bo pri novi lokaciji bistveno krajša, izkop za plinovod pa bo ca. 2 km daljši (slika 1). Da bi preučili razliko vpliva na okolje na obeh lokacijah, smo preštudirali oba primera in primerjali rezultate. V končni oceni vplivov pa je upoštevan skupni vpliv morskega terminala, lokacija 2008, in terminala v Žavljah.

To nalogo je skupina Katedre za mehaniko tekočin UL FGG opravila v tesnem sodelovanju z raziskovalci z Inštituta Jožef Stefan, ki se specialno ukvarjajo z živim srebrom. Predvsem smo raziskovalci s FGG določili, koliko sedimenta se resuspendira z dna zaliva pri gradnji in obratovanju terminala. Skupno smo potem določili količino totalnega živega srebra (HgT), ki se resuspendira v vodo, nato pa so raziskovalci IJS določili hitrost metilacije in količino toksičnega metil-živega srebra (MeHg), ki se resuspendira v vodo. Glavna naloga FGG pa je bila s tridimenzijskim (3D) modelom simulirati transport in disperzijo tega MeHg po zalivu.



Slika 1. Porazdelitev koncentracij totalnega živega srebra (THg) v površinskem sedimentu na dnu Tržaškega zaliva z vrisano prvotno lokacijo terminala 2006 (Terminal UZP) in novo lokacijo 2008 (**+**). Terminal Žavlje se načrtuje v Miljskem zalivu, južno od Trsta (Covelli in sod.i, 2001).

S simulacijami smo določili:

1. Razpored in koncentracije MeHg po celotnem zalivu po izgradnji in po enem letu obratovanja obeh terminalov in predvsem povečanje koncentracije MeHg v vodi.
2. Povečanje koncentracije MeHg na mestu gojišč marikulture v Piranskem zalivu zaradi vpliva izgradnje terminalov.
3. Rezultati teh izračunov so bili osnova za določitev povečanja koncentracije MeHg v ribah. Dalje je bil izračunan indeks tveganja za zdravje ljudi zaradi uživanja Hg z ribami ter narejena primerjava tega tveganja za sedanje stanje in za stanje po izgradnji terminalov.

2. METODE

Tu so opisani le osnovni principi metodike, ki je bila uporabljena pri vrednotenju vplivov na okolje. Detajlni opis je v poročilu (KMTe in IJS, 2008). Opisani modeli in metodika so bili uporabljeni enako za Morski terminal, za terminal Žavlje in za ustrezne podmorske cevovode. Zaradi kompleksnosti pojavov resuspenzije sedimentov in posebno še zaradi malo poznanih procesov pri pretvorbah živega srebra smo bili pri nekaterih izračunih prisiljeni uporabiti določene hipoteze. Kljub temu smatramo, da so končni rezultati točni v okviru reda velikosti. Postopek je potekal po sledečih korakih:

A) Iz ustreznih podatkov meritev smo določili zrnavost sedimentov na dnu zaliva in njihove lastnosti, predvsem hitrost usedanja. Koncentracije HgT (totalnega živega srebra) v sedimentih na dnu zaliva so bile izmerjene v preteklih letih in so prikazane na sliki 1.

B) Iz podatkov o dimenzijah objektov, njihovih temeljev in načinu izkopa smo določili volumen izkopanega materiala za vsakega od objektov. Ti podatki so v preglednici 1. Pri terminalu Žavlje je bil izkop izredno velik zaradi predvidene poglobitve kanala za dovoz tankerjev UZP do obale do globine 13 m.

C) Določitev mase sedimentov, iz katere se lahko izloči HgT, smo določili posebej za izgradnjo objektov in posebej za obratovanje – prevoz tankerjev za UZP.

   C1) Predpostavili smo, da se od celotne mase izkopanega materiala resuspendira samo 5%. Dalje smo upoštevali poroznost materiala (0,69) in gostoto 2.600 kg/m^3. Če predpostavljamo, da se do 10 minut (ko je proces izločanja HgT še v teku) usede nazaj na dno 30% sedimenta, dobimo maso sedimenta, iz katere se dalje določi količina izločenega HgT.

   C2) Izračuni, koliko sedimenta se resuspendira zaradi delovanja ladijskih vijakov, slonijo na naslednjem principu (ladje, ki naj bi bile najbolj pogosto v uporabi, bodo prevažale 136.000 m^3 plina, prevozi ca. 150 krat na leto):

   - Na osnovi moči motorjev (26,8 MW), premera vijaka (8,8 m), globine plovbe (med 17 in 25 m) in oddaljenosti vijaka od dna se po teoriji curka izračuna hitrost toka vode, najprej v osi vijaka, nato ob dnu (Moffati in Nicols, 2005).
   - Na osnovi zrnavosti sedimentov se izračuna kritična strižna napetost za dvig sedimentov in nato po teoriji transporta sedimentov količina sedimentov, ki se dvigne z dna na vsak kvadratni meter.
   - Po oceni površine, na kateri curek deluje ter števila in časa manevrov na leto se izračuna masa sedimentov, ki se resuspendira zaradi obratovanja vijakov v enem letu.

D) Določitev koncentracije metil Hg. Pretvorbe metil Hg (MeHg) iz drugih oblik živega srebra so v svetu še slabo poznane. V sodelovanju z raziskovalci IJS smo na osnovi dosedaj poznanih odvisnosti določili količine MeHg, ki bi nastale iz totalnega Hg na mestu terminala oziroma v vodi celotnega zaliva, potem ko procesi gradnje in obratovanja terminala dvignejo HgT v vodo. Ker je metilacija odvisna med drugim od temperature in ostalih okoljskih parametrov, so upoštevani različni faktorji metilacije po letnih časih.

E) Izračuni transporta in disperzije MeHg po zalivu so bili izvršeni z modelom PCFLOW3D, ki je opisan v naslednjih poglavjih, prikazanih pa je nekaj rezultatov simulacij za morski terminal, lokacija iz leta 2005/2006. Na osnovi teh izračunov je bilo izračunano povečanje koncentracije MeHg v vodi in dalje v ribah.

3. SIMULACIJE TRANSPORTA IN DISPERZIJE METIL-ŽIVEGA SREBRA PO ZALIVU

3.1 Kratek opis modela PCFLOW3D

Na Katedri za mehaniko tekočin UL FGG je bil razvit tridimenzionalni (3D) matematični model PCFLOW3D. To je nelinearen 3D model, ki ga v osnovi sestavljajo hidrodinamični modul (HD), transportno – disperzijski modul (TD) (za simulacijo polutantov) in sedimentacijski modul (ST). Sistem diferencialnih enačb se rešuje po metodi končnih volumnov.

Model je bil izpopolnjen tudi s simulacijami nekaterih procesov živega srebra. Model sedaj omogoča tudi račun hidrodinamičnih količin, transporta in disperzije lebdečih plavin vključno z resuspendiranjem ter transporta in disperzije živega srebra v raztopljeni obliki in vezanega na delce plavin. Z biogeokemičnim modulom modela simuliramo tudi nekatere transformacijske procese, upoštevamo

lahko izmenjavo s sedimentom na dnu, izmenjavo z atmosfero, metilacijo, demetilacijo, redukcijo in oksidacijo.

Model je podrobno opisan v Rajar in sod.(1997), Rajar in sod.(2000), Rajar in sod. (2004). Uporabljen je bil že v mnogih mednarodnih projektih kot npr. pri ocenah radioaktivne kontaminacije po francoskih nuklearnih poskusih v Polineziji (1990-91, Rajar in Žagar, 1998), pri ocenah kontaminacije morja Yatsushiro in zaliva Minamata na Japonskem otoku Kyushu (Rajar in sod., 2004a, 2004b;, Tomiyasu in sod., 2006), ali pri ocenah kontaminacije celotnega Sredozemskega morja z živim srebrom (Rajar in sod., 2007).

3.2 Metodologija simulacij

Račun transporta/disperzije MeHg z lokacije morskega terminala je bil izvršen po sledeči metodologiji:

Najprej smo izračunali hidrodinamiko – potek tokov za štiri letne čase. Osnova so bila podana 3D polja temperature in slanosti (dobljena na osnovi meritev) za vsak letni čas, sezonsko povprečni vetrovi in pretoki Soče. Tako smo za vsak letni čas dobili 3D polje hidrodinamike (HD) - razporeda hitrosti toka po celotnem računskem prostoru. Nato smo v modelu na lokaciji morskega terminala z dna zaliva »spuščali« specificirane količine MeHg prve 3 mesece z jesensko HD, nato še z zimsko, pomladno in poletno HD. Pri tem smo upoštevali, da se v enem letu dvigne z dna 420 g MeHg (za morski terminal, lokacija 2006), vendar z različno intenziteto po sezonah in sicer v razmerju 2,5 (jesen), 1,5 (zima), 2,5 (pomlad) in 6 (poletje). Ta neenakomerna razdelitev »izvora« MeHg je bila upoštevana zaradi različne intenzitete metilacije, ki je najmočnejša poleti.

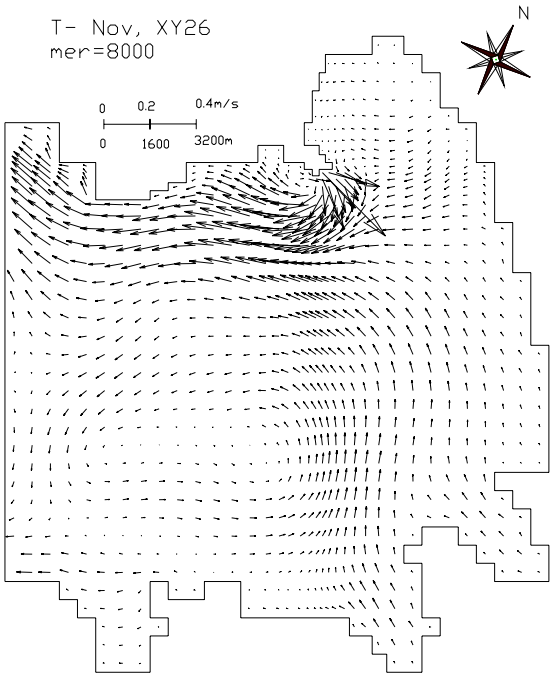
3.3 Simulacije transporta in disperzije MeHg po zalivu za morski terminal

Prikazanih je nekaj rezultatov simulacij z modelom PCFLOW3D za izvore MeHg na mestu morskega terminala, lokacija 2005/2006.

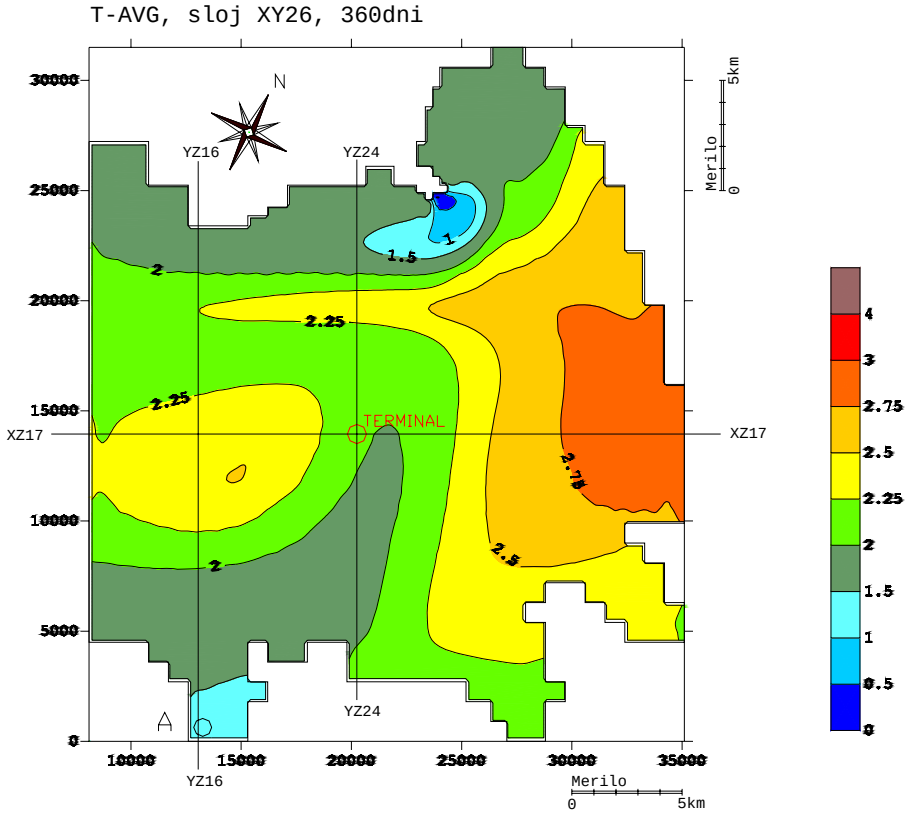
Razpored koncentracije MeHg po zalivu je prikazan na slikah 3 do 5. Simulacije pokažejo, da se MeHg v roku enega leta dejansko disperzira po večjem delu zaliva.

Slika 3 prikazuje tokove v površinskem sloju zaliva za povprečne razmere v novembru. Dotok sladke vode iz Soče (ki je predpostavljena kot čista, brez kontaminanta) je dobro viden. Slika 4 pa prikazuje izračune koncentracije MeHg v prerezu YZ24, kontaminant ima svoj izvor na dnu zaliva na mestu morskega terminala. Razpored je prikazan v odstotkih, glede na začetno koncentracijo vnosa 100%. Simulacija pa je izvršena za dogajanje enega leta s povprečnimi sezonskimi razmerami. Na sliki 3 je prikazana tudi lokacija gojišča v Piranskem zalivu.

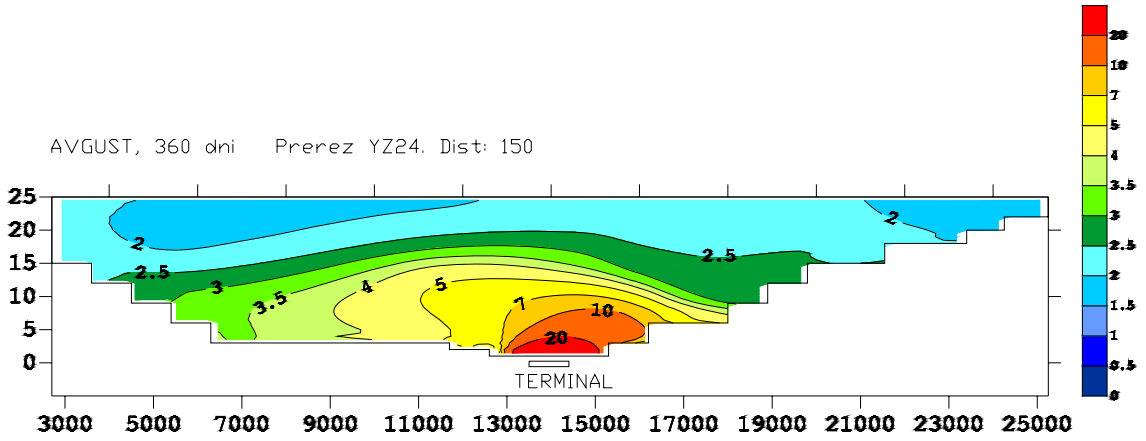
V modelu smo poleg izrisanih rezultatov uredili tudi izpise koncentracije MeHg v točki gojišč v Piranskem zalivu. Po enoletni simulaciji je ta koncentracija ca. 42% povprečne v zalivu oziroma 0,0176 ng/l.



Slika 2. Vektorji hitrosti toka v Tržaškem zalivu v površinskem sloju (debeline 1 m) za mesec november (poznojesenske razmere). Pretok Soče 209 m^3/s.



Slika 3. Kvalitativni razpored MeHg zaradi enoletnega obratovanja morskega terminala (v odstotkih od začetnega vnosa). Prikaz stanja v površinskem sloju (debeline 1 m) po enoletni simulaciji z modelom PCFLOW3D. Pretok Soče se spreminja po sezonah, dotok je upoštevan brez MeHg. Točka A označuje lokacijo marikulture.



Slika 4. Kvalitativni razpored MeHg zaradi enoletnega obratovanja morskega terminala (v odstotkih od začetnega vnosa). Prikaz stanja v vertikalnem prerezu YZ24, skozi mesto terminala (lokacijo glej v sl. 3) po enoletni simulaciji z modelom PCFLOW3D.

4. REZULTATI

Preglednica 1 prikazuje, da bi se zaradi gradnje in obratovanja obeh terminalov v enem letu povprečno v vodo izločilo iz sedimentov okrog 210 kg totalnega živega srebra. Študije in meritve (Širca in sod., 1999) so pokazale, da iz Soče letno še vedno priteka v Tržaški zaliv ca. 1.500 kg HgT. To kaže, da dotok 210 kg v letni bilanci pomeni 14%. Kontaminacija vode v zalivu bi se torej zaradi izgradnje in obratovanja terminalov v prihodnosti bistveno poslabševala.

	Morski terminal 2008				***Terminal Žavlje***		
		Izkop *m^3*	*Dvignjen sediment* *ton*	*THg* *kg*	*Izkop* *m^3*	*Dvignjen sediment* *ton*	*THg* *kg*
GRADNJA	Terminal	150.000	17.000	7	2.100.000	59.240	10
	Plinovod	170.000	28.800	71	180.000	30.470	100
	SKUPAJ		45.800	**78**		89.710	**110**
OBRATOV.			67.000	**67**		108.000	**108**
GRADNJA + OBRATOV.			82.000/ letno	**82 kg /leto**		138.000	**130 kg/ leto**

Preglednica 1. Prikaz količin resuspendiranega sedimenta in totalnega HgT pri izkopih in pri obratovanju obeh terminalov.

Drugi pomembno vprašanje je, kako se bi spreminjala koncentracija toksične oblike živega srebra, t.j. metil-živega srebra (MeHg) v zalivu, saj se ta oblika preko planktona vnaša v ribe in dalje vpliva na zdravje ljudi. Na osnovi izračunov povečanja vnosa HgT v vodo so analize pokazale, da bi se sedanja povprečna koncentracija 0,05 ng/L v naslednjih letih povečala na 0,065 ng/L, analogno povečanje bi bilo tudi na mestu marikulture v Piranskem zalivu.

Dalje pa so kompleksne ocene vnosa MeHg v ribe pokazale, da bi se koncentracija toksičnega MeHg v ribah v naslednjih letih zaradi terminalov s sedaj izmerjene povprečne vrednosti 0,4 mg/kg povečala na 0,52 mg/kg, torej za celih 30%. Kaj to pomeni za zdravje prebivalcev Slovenije in Italije pa je opisano v poglavju 5.

5. VPLIV IZGRADNJE IN OBRATOVANJA OBEH TERMINALOV NA ZDRAVJE LJUDI

Tveganje glede užitih snovi na zdravje ljudi se izraža s t.im. indeksom tveganja (»hazard index«). Po navodilih Svetovne zdravstvene organizacije (WHO, 2008) je indeks tveganja (I_H) podan kot razmerje med užito količino Hg in referenčno vrednostjo:

$$I_H = \frac{zaužita\ doza\ (\mu g\ Hg/kg\ telesne\ teže/teden)}{referenčna\ vrednost\ (\mu g\ Hg/kg\ telesne\ teže/teden)}$$

Če je vrednost indeksa pod 1,0, potem naj ne bi bilo negativnih vplivov na zdravje, če pa je večja od 1,0, je tveganje za zdravje proporcionalno večje.

Pri izračunih so bile upoštevane sledeče vrednosti:

Hg v ribah, sedanje stanje: 0,4 mg/kg
Hg v ribah, po izgradnji terminalov: 0,52 mg/kg

Uživanje rib v Sloveniji (SI): 0,18 kg/teden
Uživanje rib v Italiji (IT): 0,.46 kg/teden
Referenčna vrednost (FAO/WHO): 1,6 µHg/kg telesne teže/teden

Tel. teža (kg)	***Indeks tveganja SI populacija***	***Indeksx tveganja IT populacija***
15	**2,9/3,8**	**7,7/10**
30	**1,5/1,9**	**3,9/5,0**
45	**1,01/1,3**	**2,6/3,3**
70	**0,6/0,8**	**1,7/2,1**

Preglednica 2. Indeks tveganja za zaužito količino Hg z ribami. V kolonah 2 in 3 leve vrednosti veljajo za sedanje stanje, desne (podčrtane) pa za stanje po izgradnji obeh terminalov.

Iz preglednice 2 je razvidno, da je indeks tveganja že v sedanjem stanju večinoma nad vrednostjo 1,0 (razen za odrasle osebe v Sloveniji), po izgradnji terminalov pa se bo indeks tveganja bistveno povečal. Pri tem je indeks tveganja še precej večji za italijansko prebivalstvo, ker povprečno užijejo 2,5 krat več rib na teden kot slovenski prebivalci. Po kriterijih ameriške agencije za zaščito okolja US EPA (United States Environmental Protection Agency) so kriteriji še ca. 2,.2 krat ostrejši, zato so indeksi tveganja po teh kriterijih še bistveno višji.

6. ZAKLJUČKI

6.1 Ocena vplivov obeh terminalov na morsko okolje

1.Najpomembnejši vpliv na morsko okolje tako na italijanski strani kot tudi čezmejni vpliv na slovensko morje je resuspenzija sedimentov v vodni stolpec zaradi izkopov in ladijskega prometa. Ker so sedimenti na dnu Tržaškega zaliva v pomembni meri onesnaženi z raznimi kontaminanti, od katerih je najvažnejše živo srebro, ti pa se s tokovi širijo po večjem delu zaliva, je splošni zaključek ta, da se bo bistveno povečala koncentracija živega srebra v vodi zaliva.

2. Izračuni in ocene so pokazale, da je pomembnost vplivov na resuspenzijo sedimentov od najmanjšega do največjega razvrščena po sledečem vrstnem redu: (a) Izkopi zaradi izgradnje temeljev in objektov obeh terminalov; (b) Izkopi pri polaganju in vgrajevanju plinovodov (med Morskim

terminalom in obalo) in (c) Najpomembnejši je vpliv prometa ladij za prevoz UZP, zlasti še, če predpostavimo, da se bosta gradila tako Morski terminal kot terminal Žavlje, saj bosta oba skupaj povzročila bistveno povečan ladijski promet.

3. V poglavju 5 je prikazano, da bi se zaradi gradnje in obratovanja obeh terminalov bistveno povečala koncentracija toksičnega metil-živega srebra v ribah (s sedanje 0,4 mg/kg na 0,52 mg/kg), dalje pa je opisano, kako bo to zelo negativno vplivalo na zdravje prebivalstva na obeh straneh meje.

6.2 Možni omilitveni ukrepi

1. Za omilitev vpliva gradnje obeh terminalov na resuspenzijo sedimentov bi bilo možno z izbiro načina izkopa, ki bi povzročal čim manj resuspenzije, delno zmanjšati količino resuspendiranih sedimentov, vendar verjetno le v manjši meri, tako da ocenjujemo, da na ta način ni možno zmanjšati vpliva z bistvenega na nebistvenega.

2. Glede vpliva prometa ladja za prevoz UZP preko Tržaškega zaliva bi bil edini možni omilitveni ukrep bistveno zmanjšanje celotnega ladijskega prometa v Tržaškem zalivu. Delno bi lahko vpliv zmanjšali s tem, da v notranjosti zaliva ladje UZP plujejo z manjšo hitrostjo in da se premeščanje v čim večji meri vrši s pomočjo vlačilcev. Ti imajo pogonske vijake na manjši globini kot ladje UZP in bi povzročali bistveno manj resuspenzije. Določitev dejanskih ukrepov, ki bi bili potrebni za zadostno zmanjšanje vpliva na okolje pa bi bilo potrebno raziskati v posebni študiji.

LITERATURA

Covelli, S., Faganeli, J., Horvat, M., Brambati, A.(2001). Mercury contamination of coastal sediments as the result of long-term cinnabar mining activity (Gulf of Trieste, northern Adriatic sea). Appl. geochem., vol. 16, no. 4, pp. 541-558.

KMTe in IJS (2008). Ekspertiza za projekt plinskega terminala v Tržaškem zalivu in plinskega terminala v Žavljah z vsebino presoje vplivov na okolje za postopek čezmejnega vpliva v republiki Sloveniji. Modeliranje resuspenzije in ocena vplivov. Ekspertni elaborat 2/3.

Moffati in Nichol (2005). Propeller wash study, Sept. 6, Kitimat LNG import terminal.

Rajar, R., Četina, M., Širca, A. (1997). Hydrodynamic and water quality modelling: Case studies. Ecol. Model. 101: 209-228.

RAJAR, Rudolf, ŽAGAR, Dušan, ŠIRCA, Andrej, HORVAT, Milena. Three-dimensional modelling of mercury cycling in the Gulf of Trieste. Sci. total environ.. [Print ed.], 2000, vol. 260, str. 109-123.

Rajar, R., Žagar, D., Četina, M., Akagi, H., Yano, S., Tomiyasu, T., Horvat, M (2004). Application of three-dimensional mercury cycling model to coastal seas. Ecol. model. [Print ed.], , letn. 171, št. 1/2, str. 139-155.

Rajar, R., Žagar, D., Četina, M., Akagi, H., Yano, S., Tomiyasu, T. Horvat M. (2004a). Application of three-dimensional mercury cycling model to coastal seas, Ecol. Model., 171, pp. 139–155.

Rajar, R., Yano, S., Tada, A., Akagi, H., Oshikawa H., Zagar, D., Cetina, M., Krzyk, M., Brecelj, M. (2004b). Measurements and three-dimensional modelling of mercury cycling in Minamata Bay and in the Gulf of Trieste. RMZ-mater. geoenviron., 51, No. 2, pp. 1461–1463.

Rajar. R, Žagar, D. (1998). Transport of Sediments and Radionuclides from Mururoa Lagoon into the Ocean. Chapter 3.2 in the international study: The Radiological Situation at the Atolls of Mururoa and Fangataufa, Technical Report, by International Advisory Committee, , pp. 29-38.

Rajar, R.,Žagar, D., Četina, M., Horvat, M., Petkovšek, G. (2007). Mass balance of mercury in the Mediterranean sea. Marine Chemistry, 107, pp. 89-102.

Širca, A., Horvat, M., Rajar, R., Covelli, S., Žagar, D., Faganeli, J. (1999). Estimation of mercury mass balance in the Gulf of Trieste. Acta Adriat., vol. 40, no. 2, str. 75-85.

Tomiyasu, T., Matsuyama, A., Eguchi, T., Fuchigami, Y., Oki, K., Horvat, M., Rajar, R., Akagi, H. (2006). Spatial variation of mercury in sediment of Minamata Bay, Japan. Sci. Total Environ. 368, 283-290.