

RIZIČNE TEHNOLOGIJE I SUVREMENI DRUŠTVENI IZAZOVI: GEOINŽENJERING U DRUŠTVU RIZIKA

Toni Pustovrh, Andrej A. Lukšič

Sveučilište u Ljubljani
Fakultet za društvene znanosti
Centar za proučavanje znanosti
Kardeljeva ploščad 5
1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: tony.pustovrh@gmail.com

Sažetak

Članak daje uvod u problematiku ljudski prouzročениh klimatskih promjena te društvenih, političkih i tehnoloških razvoja koji su doveli do širenja i konstruiranja ideja o geoinženjerskim intervencijama za ublažavanje očekivanih klimatskih promjena. Ujedno i smještava geoinženjering, koji je definiran kao inženjering okoline u velikom opsegu s namjerom djelovanja protiv učinaka promjena u atmosferskoj kemiji, u koncept društva rizika te tehnoloških pokušaja rješavanja suvremenih problema, koji su barem djelomično također društveno-kulturnog i ne samo tehničkog ili prirodnog podrijetla.

Središnji dio namijenjen je analizi koja uključuje pregled i kategorizaciju pojedinih predloženih geoinženjerskih tehnika s obzirom na mehanizme djelovanja, predviđenu teorijsku učinkovitost očekivanog smanjivanja globalnog zatopljenja te možebitne nenamjerne negativne posljedice. Također raspravlja i o potencijalu navedenih geoinženjerskih tehnika za namjerno neprijateljsko korištenje u smislu tehnologija dvojne primjene. Zaključak sažima spoznaje iz analize i identificira najmanje rizične geoinženjerske tehnike. Kao što je razvidno, tehnike s najmanjim poznatim rizicima su baš one koje djeluju u najdužim vremenskim rasponima te su sposobne kompenzirati samo manji dio predviđenog globalnog zatopljenja, što znači da se mogu koristiti samo kao potpora mjerama za smanjivanje. Također donosi refleksiju o mjestu tehnologije i rizika u društvu rizika te o možebitnim opasnostima komercijalizacije geoinženjeringa, koja bi kroz mehanizme post-akadenskog modela znanosti mogla dovesti do normalizacije i implementacije geoinženjerskih tehnika s najvećim potencijalnim nuspojavama. Konačno definira još možebitnu ulogu geoinženjeringa u svjetlu katastrofalnih globalnih promjena u okolišu te masovnih izumiranja vrsta u geološkoj povijesti života na Zemlji.

Ključne riječi: društvo rizika, dvojna primjena, geoinženjering, globalno zatopljenje, komercijalizacija, rizične tehnologije

UVOD

U prvom desetljeću 21. stoljeća, istraživačko pitanje o suvremenim promjenama zemaljske klime pretvorilo se u jedno od središnjih i najaktualnijih pitanja u političkoj areni, u javnosti i u znanstvenoj zajednici. Isto kao svaka od tematika koja se iz brojnih i razno-

likih međusobno konkurentnih pitanja uspješno probija u sloj javne i političke pažnje, i pitanje klimatskih promjena je brzo postalo oruđe u rukama brojnih dionika, koji s različitim formulacijama tematike pokušavaju postići provedbu vlastitih ciljeva i interesa. Kulturno-političko-znanstveni konglomerat koji pojednostavljeno i često netočno spominjemo kao pitanje klimatskih promjena, je višeslojan i izvanredno kompleksan konstrukt (vidi Stehr i von Storch, 2009), čiji aspekti utječu na svakodnevni život i djelovanje pojedinaca, udruga, poduzeća, ustanova, društava i država. Ujedno je i jedna od rijetkih tematika, koja je prerasla u međunarodno i globalno problemsko pitanje, te je njezino rješenje povezano i s brojnim drugim prioritarnim tematikama suvremenih društava, kakve su na primjer ekonomski rast, proizvodnja i zaposlenost.

Sadašnja biosfera, koja u ovom kontekstu obuhvaća i sva ljudska društva, prilagođena je postojanju i funkcioniranju u blagoj, umjereno vlažnoj globalnoj klimi, kakva je prevladala u geološkom razdoblju holocena (Steffen, 2009), koji ujedno obuhvaća i čitav dosadašnji evolucijski put ljudske vrste. Nedavne ljudske aktivnosti, osobito u posljednjih 150 godina, duboko su transformirale planetarni okoliš te radikalno utjecale na brojne geofizičke mehanizme, uključujući planetarnu klimu, što je navelo Paula Crutzena da predloži početak brojanja najnovijeg geološkog razdoblja u povijesti Zemlje, nazvanog *antropocen*, zbog globalnog ljudskog utjecaja na planeti i zbog promjena koje je taj utjecaj prouzrokovao od kasnog 18. stoljeća dalje.

Relativno novo istraživačko područje globalnih katastrofičnih rizika, koje Bostrom i Čirković (2009: 2) svrstavaju među rizike s potencijalom za prouzrokovanje ozbiljne štete ljudskom blagostanju u globalnom opsegu (među koje bi se, na primjer, uvrstio događaj koji bi mogao uzrokovati gubitak od deset milijuna ljudskih života i/ili deset trilijuna dolara vrijednu ekonomsku štetu), na popis rizika od nenamjeranih posljedica uvrštava i klimatske promjene. Dok postojeći uzorak podataka, koji obuhvaća vremenski raspon od oko sto i pedeset godina, upućuje na dugoročni trend porasta prosječne globalne temperature zraka u blizini površine, u klimatološkim znanstvenim krugovima još uvijek postoji prilična neizvjesnost u odnosu prema linearnosti odnosno nelinearnosti razvoja antropogeno izazvanog mijenjanja klime (Frame i Allen, 2009: 273-276). U sklopu javne i političke rasprave se uglavnom postavlja pitanje o tome koje ekstremne vremenske prilike tijekom posljednjih nekoliko desetljeća spadaju u „normalni“ raspon vremenskih stanja i koje bi potencijalno mogle predstavljati prve posljedice antropogenih klimatskih promjena (Stehr i von Storch, 2009: 23-26).

Neki znanstvenici, a osobito brojni političari i druge javne ličnosti u posljednjih nekoliko godina sve više koriste slike iznenadnih i razornih klimatskih i ekoloških katastrofa, koje navodno proizlaze iz klimatskih promjena te neizbježno vrebaju na čovječanstvo u bliskoj budućnosti. Suprotno velik dio znanstvene zajednice upozorava da su scenariji o budućem razvoju klimatskih promjena koje je izradio Međuvladin panel o klimatskim promjenama, dovoljno zabrinjavajući i bez apokaliptičnih prezentacija budućnosti, a potonje bi mogle imati učinke suprotne željenim promjenama u ponašanju društva (Frame i Allen, 2009: 266). Kao reakcija s namjerom ublažavanja opsega i utjecaja klimatskih promjena prvenstveno se uspostavila preventivna klimatska politika smanji-

vanja (mitigacije), s ciljem da se smanji izvore ili poveća ponore stakleničkih plinova, a u manjoj mjeri klimatska politika prilagođavanja (adaptacije), u obliku prilagođavanja prirodnih ili ljudskih sustava na stvarne ili očekivane klimatske pojave odnosno njihove učinke (Frame i Allen, 2009: 22), iako postoje jaki argumenti za veću i aktivniju ulogu politike prilagodbe zbog dosadašnjeg (pre)malog uspjeha politike smanjivanja (Stehr i von Storch, 2009: 129-134).

Zbog uglavnom tri faktora, *prvo*, znanstveno utemeljene ozbiljnosti već „samo“ umjerenе i postupne promjene klime za biosferu i ljudska društva, *drugo*, socijalnih i ekonomskih troškova politike smanjivanja, koja će u slučaju uspješnog djelovanja rezultirati u ozbiljnim potresima i transformacijama u brojnim industrijama, kako među poslodavcima tako i među zaposlenicima, te *treće*, u popularnoj svijesti rasprostranjenih, doduše prenapljenih i vjerojatno pretjeranih predodžba apokaliptičnih klimatskih katastrofa, klimatskog kaosa te klimatskih i migracijskih ratova, moguće je da će za održavanje sadašnjeg stanja klime i života postajati sve više prihvatljive čak i radikalne inženjerske intervencije u pojedinačne dinamičke mehanizme koji generiraju globalnu klimu Zemlje. Ovakav razvoj je naročito vjerojatan ako spomenute intervencije neinformiranom građaninu također pružaju (inače pogrešan) dojam, da bi bilo moguće zaobići mjere za smanjivanje i zamjenu još uvijek dominantnih fosilnih izvora energije s ambicioznim tehnološkim projektom, koji ne bi ugrozio prosječan suvremeni potrošački način života u gospodarsko razvijenim zemljama. Dodatan faktor predstavlja činjenica, da u atmosferu ispušteni ugljični dioksid tamo ostaje i djeluje mnoga stoljeća prije nego što se u prirodnom ugljičnom ciklusu seli u druge geofizičke sustave.

GEOINŽENJERING KAO RIZIČNA TEHNOLOGIJA U DRUŠTVU RIZIKA

Kod spomenute intervencije radi se o geoinženjeringu, točnije o klimatskom inženjeringu, konceptu koji pokriva niz prijedloga za namjerno manipuliranje zemaljske klime s namjerom suprotstavljanja učincima globalnog zatopljenja koji proizlaze iz povećanih emisija stakleničkih plinova. Ideja geoinženjeringa je bila u posljednjih nekoliko godina preciznije razrađena i predstavljena široj znanstvenoj zajednici kao privremena mjera za spašavanje u izvanrednim okolnostima, uz pretpostavku da postojeće djelovanje u okviru politike smanjivanja neće biti dovoljno da spriječi te da čak ni u prihvatljivoj mjeri ublaži učinke ljudski izazvanog globalnog zatopljenja (Cascio, 2009b). Iako je bio prvotni cilj geoinženjeringa kao mjere za privremeno usporavanje globalnog zatopljenja prilično jasno definiran, pojam ipak obuhvaća niz vrlo različitih tehnologija, a njegov ulazak u šire područje znanstvene, političke i javne rasprave je, kao u slučaju bilo kakve nove ideje, doveo do temeljite rekonstrukcije sadržaja i ciljeva izvornog koncepta.

Rizik, koji nastaje u slučaju kulturalne transformacije koncepta, je u prvom redu mogućnost, da se geoinženjering u javnosti i politici etablira kao zamjena za politiku smanjivanja i prilagođavanja, umjesto kao samo jedna od mjera u tripartitnom „MAG“ (*mitigacija, adaptacija, geoinženjering*) pristupu za suočavanje s globalnim zatopljenjem

(IME, 2009). Ovakav razvoj mogli bi promovirati tako dionici, koji su uvjereni u katastrofalni tok kao jedinu opciju za usporavanje i ublažavanje klimatskih promjena, kako i dionici, koji inače negiraju stvarnosti antropogenih klimatskih promjena odnosno protiv se aktivnoj klimatskoj politici (Thernstrom 2010), ali imaju ogromnu ulogu u održavanju statusa quo s daljnjim korištenjem fosilnih goriva, te bi im upotreba krupnog inženjerskog projekta predstavljala privlačniju alternativu nego gubitak postojećih pozicija i izvora moći. Dodatni rizici geoinženjeringa proizlaze iz neizvjesnosti o tehničkoj učinkovitosti mjera (vidi Lenton i Vaughan, 2009), nedovoljnog znanja o kompleksnosti djelovanja klimatskog sustava i njegovih povratnih posljedica, te potencijala za dvojnu primjenu geoinženjeringa (vidi Cascio, 2009a) koji su neizbježno povezani sa svakom novom tehnologijom koja se može implementirati kao oruđe ili kao oružje. Znanstveni i tehnološki razvoj omogućuje aplikacije, čija snaga stalno raste, u smislu da su u mogućnosti manipulirati konstitutivnim elementima prirode na sve nižoj razini veličine dok se učinci manipulacije ostvaruju u makroskopskom svijetu, na sve kraćim vremenskim skalama, dok opseg utjecaja njihovih posljedica može biti čak i globalan (vidi Roco i Bainbridge, 2003), osobito u slučaju intervencija u klimu, koja je po svojoj prirodi globalno prisutna. Posljedično je proporcionalno povećan i intenzitet bilo kakvih namjernih ili nenamjernih negativnih učinaka, kao i prostorni opseg njihovih posljedica.

Problem proizvodnje globalnih tehnoloških, odnosno civilizacijskih rizika, može se razmatrati i u kontekstu teorije o društvu rizika (vidi Beck, 2009) i o rizičnoj tehnologiji (Lukšić, 1999). Rizici koji sistematično nastaju u procesu modernizacije i u sve većoj mjeri ugrožavaju sav život na Zemlji, dakle, nisu samo posljedica ljudske nemarnosti ili nepravilno izvršenih sigurnosnih i regulatornih mjera, nego inherentni nusproizvod produkcijskih i društvenih sustava moderne, neodvojiva su posljedica suvremenog tehničko-ekonomskog razvoja. Globalni rizik ljudski prouzrokovanih globalnih klimatskih promjena odnosno globalnog zatopljenja ima brojne značajke modernizacijskog rizika (Beck, 2009: 24-29) – nastalo je u posljednjih sto i pedeset godina s oslobađanjem ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova u atmosferu kroz procese dobivanja energije na kojima temelji moderna industrijalizacija. Njihovi klimatski učinci su dugoročni i globalni, ne poznaju nacionalnih granica i na kraju pogode tako zagađivače kao i nezagađivače, a osim toga se ta prijetnja nalazi izvan neposredne ljudske percepcije i stoga se može konstatirati jedino kroz oruđa znanstvenog istraživanja te javnog i političkog priznanja važnosti (gdje je definicija „rizika“ direktno povezana s određenim aktualnim vrijednosnim prosudbama i drugim interesima), što znači da utječe na mnoge aspekte djelovanja u društvu i uzrokuje reorganizaciju moći i nadležnosti.

Dok mitigacijska klimatska politika zahtijeva određene promjene u mehanizmima i podsustavima društva, dakle tamo gdje je bio modernizacijski rizik antropogenih klimatskih promjena i proizveden, geoinženjerski poduhvat zagovara tehnokratski pristup s tehnološkim popravcima opasnosti, koje je izvorno proizvela sama tehnologija, umjesto zamjene ili promjene same modernizacijske paradigme i na njoj temeljećeg ljudskog djelovanja, dakle rješavanje u okviru iste paradigme.

Takvo rješavanje može se usporediti i s intervencijama u „gornjem djelu toka“ (*upstream*) i u „donjem djelu toka“ (*downstream*) proizvodnje rizika. Prvi pristup je inače ekonomski, socijalno i politički teže provedljiv, jer zahtijeva promjene u postojećim praksama, djelovanju, strukturama, odnosima i pozicijama moći, dakle promjene modernizacijske paradigme, ali može dovesti do eliminacije rizika čak i prije nego što se pojave, dok drugi pristup znači uklanjanje, rješavanje ili kanaliziranje rizika tek nakon što su se već razvili. A s pojavom novih rizika se u suvremenoj tržišnom društvu otvaraju nove mogućnosti za komercijalizaciju, gdje uklanjanje ili ublaženje rizika predstavlja nove tržišne prilike, što je razvidno iz nastanka brojnih mehanizama za trgovanje emisijama stakleničkih plinova. Kao što je već istaknuo Beck (2009: 28), globalni rizici mogu predstavljati *big business* i pojedinačne geoinženjerske tehnike otvaraju brojne mogućnosti za komercijalizaciju te na taj način za stvaranje novih istraživačkih disciplina i profitabilnih industrija.

Društvo rizika dakle s jedne strane proizvodi civilizacijske rizike, a s druge nudi tehnološka rješenja za te iste rizike, koji opet donose nove, vlastite rizike. Iako nove tehnologije često imaju manje zagađujuće direktne utjecaje na okolinu, stupanj je ugroženosti u slučaju kada se pojave nepredviđene nuspojave ili nesreće proporcionalno veći, jer sve češće predstavljaju globalne katastrofalne rizike (vidi Bostrom i Ćirković, 2009). Bez obzira na to da li je izvor civilizacijskih rizika inherentan problem modernog društva ili nenastavljivi sistemski vidik koji ignorira holističko obrađivanje tehnologija, proizvoda i ljudskih aktivnosti u njihovim raznovrsnim i međusobno isprepletenim utjecajima na biosferu Zemlje, na što već dugo upozoravaju znanost o kompleksnosti i teorija kaosa, moguće je, da će geoinženjerske intervencije u budućnosti postati utjecajan faktor u raspravama o klimatskoj politici. Tome bi mogli doprinijeti neuspjesi dosadašnje klimatske politike, napredovanje klimatskih promjena, teškoće sistemskih promjena i atraktivnost novih komercijalnih mogućnosti, koje otvara geoinženjersko rješavanje globalnog zatopljenja.

S obzirom na postojanje članaka koji pozitivno ocjenjuju teoretsku učinkovitost geoinženjerskih mjera i ističu neizbježnost njihovog korištenja u budućnosti, kao i članka koji upozoravaju na ozbiljne negativne posljedice uporabe, središnje se istraživačko pitanje bavi teorijskom analizom i usporedbom teorijske učinkovitosti pojedinih geoinženjerskih intervencija za smanjenje predviđenog globalnog zatopljenja, te s proučavanjem možebitnih nenamjernih utjecaja i potencijala za dvojnu primjenu, koji bi se mogli ostvariti u obliku značajnih tehničkih i društvenih rizika.

ANALIZA

1. TEORIJSKI TEMELJI I OSNOVNI POJMOVI

Zbog brzog širenja uvjerenja o stvarnosti i ozbiljnosti posljedica ljudskim faktorom proizročenih klimatskih promjena, kako u široj znanstvenoj zajednici kao i među velikim segmentima javnosti, a također i zbog dosadašnjeg lošeg uspjeha mjera za smanjivanje

antropogenih emisija ugljičnog dioksida u globalnom opsegu, u posljednjih nekoliko godina došlo je do ponovnog porasta interesa za geoinženjering te do širenja niza prijedloga koji su se pojavili u znanstvenoj literaturi.

Analiza potencijalnih ekoloških i društvenih posljedica geoinženjeringa za sada ostaje teorijska, ali u skladu s trendom prethodne analize potencijalnih budućih utjecaja naprednih tehnologija na biosferu, društvo i pojedinca unutar sastava ELSI (etičkih, pravnih i društvenih implikacija) može osigurati bogatiju i bolje informiranu sveobuhvatnu javnu raspravu i može pridonijeti povećanju koristi i smanjenju rizika, odnosno napuštanju previše rizičnih opcija u svjetlu nedovoljnog znanja o utjecajima na prirodne sustave, što je također u skladu s primjenom načela predostrožnosti.

„Geoinženjering“ se općenito definira kao „namjerne modifikacije Zemljinih geofizičkih sustava u velikom opsegu s ciljem mijenjanja okoline“ (Cascio, 2008), a u odnosu na klimu je specifičnije definiran kao „inženjering okoline u velikom opsegu s ciljem sudaranja sa ili djelovanja protiv učinaka promjena u atmosferskoj kemiji, posebice kako bi se smanjili učinci povećanih koncentracija stakleničkih plinova, posebno ugljičnog dioksida“ (Lenton i Vaughan, 2009: 2561). S obzirom na definiciju, geoinženjerski mehanizam djelovanja inače je srodan procesima koji su doveli do antropogenih klimatskih promjena klime, ali se razlikuju od njih u tome što se ne radi za slučajno, već za namjerno utjecanje na klimu.

„Albedo“ označava sposobnost objekta za odbijanje dolaznog elektromagnetskog zračenja i iznosi 0,9 za svježi snijeg, vrlo svijetao materijal (visoka reflektivnost, niska apsorpcija) i 0,04 za ugajl, izvanredno tamn materijal (niska reflektivnost, visoka apsorpcija). Prosječni albedo Zemlje iznosi 0,3.

„Očekivano globalno zatopljenje“ u kontekstu učinkovitosti geoinženjerskih tehnika znači povećanje globalne prosječne temperature u blizini tla na vrijednost, koju pretpostavlja *Međuvladin panel o klimatskim promjenama* u izvješćima iz godina 2001. i 2004. uzimajući u obzir projicirano udvostručenje koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi. Raspon utjecanja specifičnih tehnika je zahvaćen od implementacije u sljedećem desetljeću do godine 2050.

„Tehnologije dvojne primjene“ će biti definirane kao napredne tehnologije koje mogu koristiti društvu ukoliko se koriste za civilne svrhe, ali se također mogu primijeniti u ofenzivne vojničke aplikacije. Klasičan primjer tehnologije dvojne primjene je nuklearna tehnologija, koja se može implementirati tako, da služi konstruktivnim društvenim svrhama, u obliku nuklearnih elektrana, ili tako, da služi destruktivnim svrhama, u obliku nuklearnog oružja.

2. PREGLED GEOINŽENJERSKIH TEHNIKA I RIZIKA NENAMJERNIH POSLJEDICA

Predložene geoinženjerske projekte može se općenito podijeliti u dvije kategorije, i to na mjere, kojima je cilj usmjeravanje sunčevog zračenja odnosno usmjeravanje temperature, te na mjere koje su usmjerene u remediaciju koncentracija stakleničkih plinova (Royal Society, 2009).

2.1. Geoinženjerske tehnike za upravljanje sunčevog zračenja

Kategorija tehnika za upravljanje sunčevog zračenja se sastoji od četiri kategorije, a mehanizmi koje koriste povećano odbijanje dolaznog sunčevog zračenja (povećanje albeda) sa svrhom uravnoteženja ukupne energetske bilance Zemlje (zbroja dolaznog sunčevog zračenja i odlaznog zračenja koje Zemlja emitira u svemir) i, shodno tome, djeluje s namjenom smanjenja globalnog zatopljenja.

2.1.1. Atmosferski projekti

Prvu kategoriju čine atmosferski projekti, koji djeluju kroz mijenjanje atmosferskih mehanizma jačanjem prirodnih procesa kao što su sumporov ciklus, ili pomoću umjetnih tehnika kao što su odbojni baloni.

Korištenje „stratosferskih sumpornih aerosola“ (Crutzen, 2006), dakle unošenje energijski odbojnih čestica u pojedine predjele Zemljine atmosfere s topništvo, zrakoplovima ili balonima, s namjenom povećanja Zemljinog albeda, trebala bi biti, s obzirom na teorijske tehničke analize (Lenton i Vaughan, 2009 2576)¹ jedna od najučinkovitijih geoinženjerskih tehnika, jer bi mogla s odbijanjem od jedan do dva posto dolazne sunčeve svjetlosti u potpunosti smanjiti očekivano globalno zatopljenje. Za tu svrhu bilo bi potrebno da se početno u atmosferu unese od dva do deset milijuna tona sumpora, a godišnje od dvije do deset megatona za održavanje. Najprikladnije mjesto za unošenje bili bi tropski predjeli, a količina unesenog materijala bi zavisila od svojstva upotrijebljenih čestica. S druge strane, korištenje stratosferskih sumpornih aerosola prati razgradnja atmosferskog ozona, povećane pojave suša zbog utjecaja na vodni ciklus², kao što se dogodilo već kod prirodnih unošenja sumpora u atmosferu zbog izbijanja vulkana³ Agung, El Chicon i Pinatubo (Brahic, 2007) ili pojava kisele kiše i drugih štetnih utjecaja sumpora na zdravlje, osobito na disanje, a sve veće količine sumpornih aerosola u atmosferi postale bi također sve manje učinkovite.

Drugi prijedlozi za unošenje odbojnih aerosola ili prašine u nižu stratosferu s namjenom mijenjanja klime uključuju dodavanje sličušnih pahuljica od metala ili silikonskih spojeva u gorivo mlaznih zrakoplova, dok bi smanjivanje učinkovitosti sagorijevanja u motoru

1 Izračuni sposobnosti pojedinih geoinženjerskih tehnika za smanjenje globalnog zatopljenja su bili provedeni pod određenim pretpostavkama o idealnim okolišnim uvjetima i odazivima ili o raspoloživim površinama odnosno industrijskim kapacitetima, zato ne odražavaju nužno i stvarne vrijednosti. Dodatno razmišljanje zahtijeva i izvor i količina energije koja bi bila potrebna za razvoj i implementaciju pojedinih geoinženjerskih tehnika. Ako bi bio potreban unos energije izvanredno visok ili ako bi potrebna energija uglavnom dolazila iz fosilnih goriva, »troškovi proizvodnje« mogli bi značajno okrnjiti potencijalne koristi geoinženjeringa. Za detalje vidi spomenuti članak.

2 Blokirana ili jako filtrirana sunčeva svjetlost inhibira površinsko isparavanje vode zbog kojeg se formiraju oblaci, što znači manje oborina. Postoje i povijesni zapisi o katastrofalnim sušama koje su uslijedile velikim erupcijama. Konačno bi sumporne čestice u atmosferi i uzrokovale, da bi nebo s površine Zemlje izgledalo ponešto maglovito, a kod zalaska sunca bi žarilo u moćnim crvenim bojama.

3 Erupcija vulkana Eyjafjallajökull na Islandu u proljeću 2010. koja je onesposobila zrakoplovni promet u Europi, nije prouzročila privremeno globalno zahlađenje ili smanjivanje globalne temperature zbog odsutnosti sunčanih pjega tokom erupcija, ali je prouzročila gnojidbu oceana željezom (Wikipedia, 2011b).

zrakoplova omogućilo unošenje čađe u atmosferu, ali još uvijek nije jasno koji oblici čađa povećavaju i koje smanjuju zatopljenje, a upitan je i njihov utjecaj na okolinu i na zdravlje. Kao alternativa sumpornim i drugim česticama bilo je predlagano korištenje praha, koji proizlazi iz prirodnog tla i najvjerojatnije ne bi smjelo imati nepredviđenih učinaka kod padanja na površinu. Izravnanje predviđenog globalno zatopljenja bi u tom primjeru zahtijevalo kilogram praha za svakih sto tona ispusta ugljičnog dioksida (Bala, 2009).

Tehnika unošenja čestica u atmosferu zrakoplovima pronašla je svoj popularan utjecaj u teoriji urote "chemtrailsa" (kemijskih tragova) koja tvrdi da vladine organizacije već vrše geoinženjering putem unošenja kemijskih tvari u atmosferu s avionima, s namjerom upravljanja solarnom radijacijom koje imaju štetne učinke za zdravlje, dok drugi zagovornici tvrde da "chemtrails" služe populacijskoj kontroli, nadzoru vremena ili bio-loškom/kemijskom ratovanju (Wikipedia, 2011a).

„Povećavanje odbojnosti oblaka“ moglo bi se postići prskanjem vode u atmosferu (Salter i sur., 2008). Flote automatiziranih rotorskih brodova (takozvanih „Flettnerovih“ plovila) mogle bi na oceanima iz morske vode u zrak prskati maglu što bi uzrokovalo zadebljanje i povećanu bjelinu postojećih oblaka. Tako ojačani oblaci bi odbili veći dio dolazne sunčeve svjetlosti, a s povećanjem niske naoblake za četiri posto bilo bi moguće u potpunosti smanjiti očekivano globalno zatopljenje. Rizici se uglavnom nalaze u utjecajima na oborine i u potencijalnom nastanku ekstremnih vremenskih pojava. Unošenjem materijala za „zasijavanje oblaka“ u atmosferu sa zemnim generatorima, zrakoplovima ili raketama bilo bi moguće dodatno poticati stvaranje novih oblaka i povećavati naoblaku (Mitchell i Finnegan, 2009), ali opet postoji rizik od utjecaja tih materijala na zdravlje i okolinu.

„Jačanje oceanskog sumpornog ciklusa“ (Wingenter, 2007) bi unošenjem željeza u manje područje Južnog oceana za jedan mjesec svakog proljeća povećalo rast fitoplanktona i njegovu proizvodnju sumpornih spojeva koji se, ispušteni u atmosferu, pretvaraju u aerosole za kondenzacijske jezgre novo nastajućih oblaka te povećavaju odbojnost postojećih oblaka. Ova tehnika mogla bi smanjiti do 0,5% predviđenog globalnog zatopljenja (Lenton i Vaughan, 2009: 2578). Negativni aspekti su opisani u nastavku.

Također je bilo predloženo instaliranje milijardi „odbojnih balona“, napunjenih vodikom i prevučeni aluminijem, koji bi tvorili odbojnu barijeru na visini na kojoj ne bi ugrožavali zračni promet (Teller i sur., 1997). Dovoljno veliki broj balona mogao bi izravnati očekivano globalno zatopljenje, a negativne aspekte predstavljaju do dvadeset puta veći troškovi u odnosu na tehniku unošenja praha, eventualni problemi s kontrolom kretanja te s otpadnim balonima.

Smanjenje količine sunčeve svjetlosti koja doseže površinu moglo bi u primjeru uvođenja projekata u ovoj kategoriji također smanjiti učinkovitost većine tehnologija za skupljanje sunčeve energije, a najvjerojatnije bi utjecalo i na floru i faunu te na broj različitih prirodnih ciklusa.

2.1.2. Projekti za mijenjanje površinskog albeda

Drugu skupinu čine tehnike za mijenjanje površinskog albeda, dakle tehnologije koje povećavaju energetska odbojnost kopnenih površina, čime smanjuju količinu apsorbirane sunčeve energije te time smanjuju globalnu prosječnu temperaturu. Svjetle površine,

kao što su svježiji snijeg i led imaju visok albedo, dok tamne površine kao što su zemlja, oceani i asfalt imaju nizak albedo. Koristeći tehnologiju nazvanu "hladni krovovi", pokrivanjem krovova zgrada i drugih popločanih površina s bijelima, blijedima ili zrcalnim bojama mogli bi povećati njihovu odbojnost, što s obzirom na ograničene površine koje zauzimaju gradovi i druga naselja ne bi moglo smanjiti značajan dio globalnog zatopljenja, ali bi ipak predstavljalo atraktivan izbor zbog relativno niskih troškova implementacije te zbog činjenice da bi povećana odbojnost zgrada također smanjila potrebu za klimatiziranjem zatvorenih prostora te time i emisije ugljičnog dioksida (Akbari i sur., 2008). Povećanje albeda svih naselja na svijetu, koja prekrivaju oko 0,5% Zemaljske površine, moglo bi kompenzirati do 17% očekivanog zatopljenja, dok bi povećanje albeda urbanih objekata, koji predstavljaju oko 0,05% Zemaljske površine, moglo smanjiti (kompenzirati) oko 0,3% (Lenton i Vaughan, 2009: 2580).

Korištenje "odbojnih cerada" bi značilo pokrivanje opsežnih površina sa svijetlim plastičnim folijama, gdje bi pokrivanje oko 110.000 km² pustinje odnosno 2% pustinjskih područja Zemlje bilo dovoljno za smanjenje oko polovine predviđenog globalnog zatopljenja (Lenton i Vaughan, 2009: 2578). Učinci takvog pristupa bi inače u većoj mjeri bili regionalni, što znači da bi prouzrokovali regionalno hlađenje, a ujedno ne bi ni mogli spriječiti otapanje arktičkog leda (Gaskill, 2008), dok bi mogli imati snažne utjecaje na funkcioniranje lokalnih ekosustava. Štoviše, neizbježno gomilanje različitih tvari na odbojnom sloju cerada postupno bi veoma smanjilo njihovu učinkovitost.

Rana geoinženjerska ideja je predložila čak i akumulaciju slobodno plutajućih morskih otpadaka blijedih boja na područjima cirkulacije oceanskih struja gdje bi se spojili u velike i stabilne zakrpe koje bi inače povisivale albedo oceana, ali bi mogle i znatno utjecati na životne cikluse morskih organizama na područjima cirkulacije, a osim toga bi i dodatno poticale i legitimirale odbacivanje smeća u more.

2.1.3. Projekti za upravljanje kopnene površine

Treća kategorija obuhvaća tehnike za upravljanje kopnenom površinom, koja kao i prethodna kategorija djeluje kroz povećanje albeda. „Ponovno pošumljavanje“ u tropskim područjima moglo bi povećati albedo površine pokrivanjem tamne zemlje te postići učinak hlađenja, kojeg s evaporacijskom transpiracijom vode uzrokuje drveće, dok bi "deforestacija" u višim zemljopisnim dužinama i na velikim površinama također mogla povećati albedo otkrivanjem svijetlih snježnih područja.

„Mijenjanje ispašnih i otvorenih žbunastih površina te savana“ u više odbojne površine bi moglo smanjiti 17% projiciranog globalnog zatopljenja, dok bi "mijenjanje obrađivanih površina" moglo smanjiti oko 12% (Lenton i Vaughan, 2009: 2579). Požnjete usjeve i popasene površine bi naravno trebalo redovito obnoviti. U potonjem slučaju mogli bi se koristiti „usjevi s visokim albedom“, tj. izbor gospodarskih biljaka, koje su bile selektivno uzgajane ili genetski inženjerane sa ciljem povećanja njihove površine odbojnosti, dakle geoinženjering omogućen bioinženjeringom - biogeoinženjering (Brahic, 2009). Prednosti se nalaze u jednostavnom prelasku od uzgoja prethodne vrste usjeva na usjeve s visokim albedom te u ekonomskoj koristi uzgojenih biljaka, a rizici

gensko-inženjerskih biljaka su ujedno i općeniti rizici korištenja genetsko modificiranih biljaka, osobito prijenos genetskog materijala na druge biljke i životinje, rušenje ostalih biljaka, nepredviđene mutacije te učinci na fiziološko djelovanje modificiranih hranjivih biljaka u drugim organizmima (vidi Horn, 2001).

2.1.4. Svemirski projekti

Četvrta kategorija obuhvaća svemirske projekte, dakle smještanje umjetnih struktura u Zemljinu orbitu ili u točke gravitacijske stabilnosti između Zemlje i Mjeseca, koje bi odbijale određeni dio sunčeve svjetlosti natrag u svemir još prije nego dosegne Zemlju te tako snižavale globalnu temperaturu. Korištenjem „svemirskih zrcala“ odnosno „svemirskih suncobrana“ moglo bi se odsijavati dio dolazne sunčeve svjetlosti (Angel, 2006), a korištenjem oblaka „mesečeve prašine“ (Angel i Worden, 2006) ili „difuznih medija“, na primjer lomne leće debljine nekoliko milimetara i promjera od nekoliko tisuću kilometara, moglo bi se raspršiti dolaznu sunčevu svjetlost i na taj način smanjiti globalnu temperaturu (Teller i sur., 1997). Sa strukturom ili spojevima manjih struktura, koje bi pokrivale površinu od 4,1 milijuna km², bilo bi moguće smanjiti dolaznu sunčevu svjetlost za 1,5% te time u cjelini smanjiti očekivano zatopljenje, iako bi povećavanje koncentracija stakleničkih plinova s vremenom zahtijevalo također i stalno povećavanje strukture (Lenton i Vaughan 2009: 2575). Dok svemirski geoinženjerski projekti obećavaju potpuno smanjenje zatopljenja, visoki stupanj kontrole nad sunčevim zračenjem, visoku učinkovitost i manji rizik od potencijalnih nenamjernih nuspojava, jer se nalaze izvan Zemljine atmosfere, ali su zbog slabe razvijenosti svemirske industrije i iznimno visokih cijena transporta materijala s površine Zemlje u orbitu vjerojatno još uvijek prilično daleko od možebitne realizacije. Glavne prednosti geoinženjerskih tehnika za upravljanje sunčevim zračenjem su dakle mogućnost za kompenzaciju ili barem smanjenje dijela očekivane globalne temperature te brzina kojom se mogu implementirati, kao i kratko vremensko razdoblje u kojem počnu djelovati, što bi u slučaju projekata kao što je unošenje sumpornih aerosola iznosilo samo nekoliko tjedana, stoga bi ih bilo moguće koristiti prvenstveno kao hitne i privremene mjere za kočenje posljedica klimatskih promjena, čime bi osigurali dodatani vremenski raspon za smanjenje koncentracija stakleničkih plinova koristeći mjere za smanjivanje ili geoinženjerske remedijacijske tehnike. Njihov nedostatak je da svojim djelovanjem ne smanjuju koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi i time ne rješavaju druge probleme koje uzrokuju povećane količine ugljičnog dioksida, na primjer povećanje kiselosti oceana⁴. Pored brojnih rizika od nenamjernih posljedica za okolinu i zdravlje, također donose društvene rizike, te bi smanjivanje globalnog zatopljenja moglo ojačati opće uvjerenje da smanjivanje emisija stakleničkih plinova i time povezanih troškova više nije potrebno

⁴ Povećana kiselost oceana zbog prekomjernog sadržaja ugljičnog dioksida u vodi bi prouzrokovala poremećaje u formiranju i topljenje postojećih ledenih kora te probleme u metaboličkim procesima drugih morskih organizama, što bi moglo u ekstremnim slučajevima dovesti do toga, da bi oceani postali negostoljubivi za veći dio postojećeg morskog života, a takvo stanje moglo bi potrajati više tisuća godina.

(Thernstrom, 2010). Hitne mjere postupno bi mogle postati normalno stanje jer bi u tome smislu bilo "lakše" dugoročno izvoditi neremedijacijski geoinženjering, nego se suočiti s kompleksnim pitanjem promjena upotrebe na ugljiku temeljećih goriva. Kod toga se naravno ne uzimaju u obzir negativni učinci na ugljični i na hidrološki ciklus planeta, kao što je povećavanje kiselosti oceana (Science Daily, 2008), a također je moguće da bi daljnji neobuzdani porast emisija stakleničkih plinova doveo do još potpuno nepoznatih poremećaja ili rušenja procesa koji omogućuju postojanje života kakvog poznajemo. Veliki rizik bi također predstavljao brzi prekid djelovanja atmosferskih geoinženjerskih tehnika, jer bi mu slijedio nenadan i nagao porast globalne temperature do razina kakve bi nastajale u odsutnosti upotrebe geoinženjeringa, a to bi moglo dovesti do ozbiljnijih posljedica nego u primjeru dugoročnog postupnog povećavanja temperature do istih vrijednosti (Ross i Matthews, 2009).

2.2. Geoinženjerske tehnike za remedijaciju koncentracija stakleničkih plinova

Druga kategorija, koja obuhvaća tehnike za remedijaciju koncentracija stakleničkih plinova, usmjerena je u uklanjanje prekomjernih količina stakleničkih plinova iz atmosfere putem direktnog uklanjanja ili putem utjecanja na prirodne procese za posredno uklanjanje. Tehnike sekvestracije su usmjerene na dugoročno skladištenje ugljičnog dioksida ili drugih oblika ugljika s ciljem ublažavanja globalnog zatopljenja.

„Gnojidba oceana“ je namjerno unošenje hranjivih tvari u gornje slojeve oceana s ciljem poticanja rasta fitoplanktona (algi), koje bi mogle vezati ugljični dioksid iz atmosfere u svoju strukturu, prvo u živim organizmima, a zatim taloženjem odumrlih organizama na morsko dno. Rast fitoplanktona mogao bi se povećati s uvođenjem fosfora i željeza u oceane u polarnim zemljopisnim dužinama, te dušika u srednjim dužinama (Trautetter, 2009). Do „gnojidbe“ oceana fosforom zbog prekomjerne upotrebe poljoprivrednih gnojiva, koja se kroz rijeke peru u oceane, nenamjerno dolazi već desetljećima, tako da se ovaj oblik geoinženjeringa već ostvaruje, iako potpuno neplanirano. Rizici se nalaze u teškoći predviđanja stvarnih učinaka na morski ekosustav ili odstupanja od očekivane učinkovitosti (Fogarty, 2008), a osobito u opasnosti, da bi opsežne zakrpe algi iscrpile kisik u velikim predjelima oceana i tome pomorile preostali morski život. Već provedeni eksperimenti pojedinih privatnih institucija, kojima bi slijedila komercijalizacija gnojidbe oceana u kontekstu trgovanja ugljikom, mogli bi prouzročiti veće međunarodno prihvaćanje ove tehnike, dok se kritike odnose uglavnom na nepredviđene učinke poticanja rasta te korištenje od Zapadnih država udaljenog Južnog oceana za provođenje takvih „eksperimenta“ (Paull, 2009). Gnojidbom oceana moglo bi se smanjiti oko 2% globalnog zatopljenja dodavanjem fosfora, oko 1,5% dodavanjem dušika i oko 3% dodavanjem željeza (Lenton i Vaughan, 2009: 2583-2585).

„Poboljšavanje protoka morske vode na površinu“ s instalacijom oko 4 milijuna pumpi i velikih vertikalnih cijevi, koje bi pumpale hranjivim tvarima, osobito dušikom i fosforom bogatu vodu s morskog dna, bi također poticalo cvjetanje algi (Lovelock i Rapley, 2007 403), a ponovno bi moglo poremetiti postojeće životne cikluse morskih organizama. Moglo bi izravnati do 0,03% zatopljenja (Lenton i Vaughan, 2009: 2586).

Pošumljavanjem i ponovnim pošumljenjem raspoloživih površina dodatnim šumama, koje bi tvorile dodatni ugljični ponor, moglo bi se smanjiti oko 13% zatopljenja (Lenton i Vaughan, 2009: 2581).

Pirolizom biomase može se stvarati "biougalj" (anaerobni ugalj), a njegovim zakopavanjem se uklanja njegov potencijal za oksidaciju u ugljični dioksid, iako se s vremenom ipak reciklira u tisuće godina dugom ugljičnom ciklusu, a ujedno tvori i izvanredno plodnu *terra pretu* (Lehmann i sur., 2006). Koristeći biougalj, osobito ako nastaje korištenjem obnovljivih izvora energije a upotrijebljena biomasa se nadomješta s novim biljkama, moglo bi se smanjiti oko 3% projiciranog zatopljenja, s time da taj proces ima dodatnu prednost da nije ograničen na postojeće površine i nema brzo dostignute točke zasićenja (Lenton i Vaughan, 2009: 2581).

Korištenje „bioenergije“ zahvaćanjem i skladištenjem ugljika predstavlja dobivanje energije iz izgaranja biomase te hvatanje i pohranu tako oslobođenog ugljičnog dioksida, što bi moglo rezultirati u nultoj bilanci emisija (Azar i sur., 2006). Slični oblici sekvestracije uključuju još pohranu odumrle biomase po uzoru prirodnog procesa kojim su nastala fosilna goriva, sa zakopavanjem na kopnu (Lovett, 2008) ili s uranjanjem i skladištenjem na morskom dnu (Strand i Benford, 2009), što inače predstavlja kršenje zabrane odbacivanja otpada u more i rizik da bi takvo smanjenje restrikcija povećalo baš takav način uklanjanja svih vrsta otpadnih tvari.

„Zahvaćanje ugljičnog dioksida iz vanjskog zraka“ uključuje geoinženjerske tehnike za uklanjanje odnosno „čišćenje“ ugljičnog dioksida iz atmosfere, kojeg bi se potom moglo pohraniti u geološkim rezervoarima. Prednosti ove tehnike nalaze se u njezinoj sposobnosti zahvaćanja iz difuznih izvora, geografskoj fleksibilnosti, koja omogućuje instalaciju pored geološki najprikladnijih lokacija za skladištenje te iz uporabe obnovljivih izvora energije za napajanje postrojenja. Korištenje „umjetnog drveća“ predviđa instaliranje velikog broja uređaja, koji bi filtrirali zrak iz okoline te u tom procesu vezali sadržani ugljični dioksid, a trebalo bi biti tisuću puta sposobnije u tome od biološkog drveća. Prvo bi služili kao kompenzacija za ispuste, kasnije za smanjenje atmosferskih koncentracija, a na kraju mogli bi spojiti uhvaćeni ugljični dioksid s vodikom za proizvodnju tekućeg ne-fosilnog goriva (Adam, 2008). Biološku alternativu umjetnom drveću moglo bi predstavljati korištenje genetski-inženjerskog biološkog drveća, koja bi iz atmosfere apsorbirala ugljični dioksid te ga pretvarala u kemijski stabilan oblik i pohranjivala u tlu, ili ga pretvarala u tekuće gorivo i druge korisne kemikalije (Dyson, 2008). Prednosti se uglavnom nalaze u samo-održavanju i možebitnoj samo-reprodukciji, dok su rizici isti kao u slučaju bioinženjerskih biljaka s povećanim albedom. „Čistačke kule“ bi s ventilatorima pumpale zrak iz okoline kroz strukturu u obliku tornja te u tom procesu kemijskim postupkom vezale ugljični dioksid (Keith, 2009). Prosječna osoba u SAD-u godišnje emitira oko 20 tona ugljičnog dioksida, što je također i godišnji sekvestracijski kapacitet individualnog tornja. „Solarna korita“ bi korištenjem solarnih panela zagrijala zrak pomiješan s parom i u živom vapnu vezala sadržani ugljični dioksid (Kunzig i Broecker, 2009). Ugljični dioksid zarobljen pomoću spomenutih „čistačkih“ tehnika bilo bi moguće dugotrajno pohraniti ubrizgavanjem u iscrpljene podzemne rezervoare

nafta ili plina, kemijskom transformacijom u karbonatne minerale po uzoru prirodnog geološkog procesa (Herzog, 2002), te ubrizgavanjem u oceanski bazalt, gdje je rizik od istjecanja ugljičnog dioksida manji nego kod drugih tehnika (Kalaugher, 2008). Dok tradicionalni oblici proizvodnje cementa ispuštaju velike količine ugljičnog dioksida, neki novi tipovi betona tijekom stvrdnjavanja apsorbiraju i vežu ugljični dioksid iz zraka (JHA, 2008). Različitim oblicima hvatanja i pohrane ugljičnog dioksida iz zraka moglo bi se smanjiti do 19% zatopljenja (Lenton i Vaughan, 2009: 2582), dok su tehnike ograničene samo raspoloživošću rezervoara za skladištenje ugljičnog dioksida.

„Poboljšavanje protoka morske vode na dno“ bi za povećanje prelaženja ugljičnog dioksida iz atmosfere u ocean zahtijevalo djelovanje velikog broja plutajućih pumpi, čime bi se moglo smanjiti oko 0,03% zatopljenja (Lenton i Vaughan, 2009: 2587).

„Dodavanje karbonata“, dakle prskanje drobljenog vapnenca, vulkanska kamenina ili drugih baza u oceane s manjim brodom moglo bi povećati lužnatost oceana i ojačati toplinsku pumpu, proces koji kroz oceane iz atmosfere uklanja prekomjerne koncentracije ugljičnog dioksida (House i sur., 2007), te bi možda ujedno moglo uputiti na opasnosti povećavanja kiselosti oceana za morski život. Takva tehnika mogla bi smanjiti predviđeno zatopljenje za 0,1% (Lenton i Vaughan, 2009: 2587), ali opet je moguće, da bi modificiranje postojećeg sistema ugljikovog ciklusa moglo imati ozbiljne nepredviđene posljedice.

Bila je također predložena „fotokemijska razgradnja CFCja“ moćnog stakleničkog plina s upotrebom lasera (Stix, 1993). Za „uklanjanje metana“, stakleničkog plina koji je dvadeset puta jači od ugljičnog dioksida, za sada još ne postoje nikakve geoinženjerske mjere, ali bi ipak bilo moguće pojačati postojeće procese razgradnje metana, na primjer s izgaranjem, s kemijskom ili biološkom degradacijom, koju u prirodnim sustavima vrše bakterije u tlu.

Geoinženjerske tehnike za remedijaciju stakleničkih plinova dakle u odnosu na prvu kategoriju za izvedbu i početak učinaka trebaju od više desetljeća do nekoliko stoljeća, ali s druge strane nude remedijaciju glavnog uzroka globalnog zatopljenja i time djeluju i na druge nuspojave povećanih koncentracija, kao što su kemijske promjene oceana. Budući da se brojni projekti u ovoj kategoriji preklapaju s projektima za hvatanje i skladištenje te sekvencijaciju ugljika, prema nekim definicijama ne spadaju među geoinženjering, nego među mitigacijske mjere klimatske politike. Veći rizici nenamjernih posljedica primarno su povezani s radikalnim jačanjem pojedinih elemenata prirodnih procesa, kao što su rast fitoplanktona ili pokušaji da se ublaži rastuća kiselost oceana dodavanjem novih tvari, te s uvođenjem novih genetski inženjerskih biljaka, koje bi mogle imati negativne utjecaje na postojeću floru i faunu.

2.3. Arktički geoinženjering

Dodatnu treću kategoriju predstavlja arktički geoinženjering, dakle tehnike za sprječavanje daljnjeg topljenja arktičkog leda, koji igra važnu ulogu u reguliranju globalne klime sa svojim albedom te s zadržavanjem ogromnih količina metana, moćnog stakleničkog plina u obliku metanskog leda, zarobljenog pod permafrostom. Predložena je bila mjera prskanja ili pumpanja svježe slade vode na gornji dio ledene kape što bi dovelo do

stvaranja debljeg leda koji je otporniji na otapanje (Watts, 1994: 419). Na očuvanje arktičkog leda mogle bi utjecati uglavnom geoinženjerske tehnike za upravljanje sunčevog zračenja, dakle posredno s smanjivanjem globalnog zatopljenja, a neposredno s unošenjem stratosferskih sumpornih aerosola nad Arktikom ili pokrivanjem arktičkog leda odbojnim ceradama. To bi pak ponovno moglo imati nepredviđene utjecaje na lokalne procese i ekosustave. U ekstremnom slučaju katastrofalnog toka klimatskih promjena, određene geoinženjerske mjere mogle bi se upotrijebiti u ograničenom, regionalnom opsegu baš na Arktičkom području.

2.4. Potencijal geoinženjerskih tehnika za dvojnju primjenu

Opasnosti geoinženjeringa za ljude i preostatak biosfere proizlaze prvenstveno iz nepredviđenih i nenamjernih posljedica nedostatnog znanja o funkcioniranju kompleksnih sistema koji generiraju klimu i njome povezane geofizikalne cikluse, ali kod određenih tehnika ipak postoji još dodatni rizik namjerne neprijateljske primjene.

Procijenjeni troškovi nekih geoinženjerskih projekata, posebice korištenja stratosferskih sumpornih aerosola, koji bi iznosili nekoliko milijardi dolara, poboljšanja odbojnosti oblaka i gnojidbe oceana sa željezom, koji bi iznosili nekoliko milijuna dolara, nalaze se unutar dosega pojedinih država te čak dovoljno bogatih pojedinaca i organizacija. Uz porast kompleksnosti dinamičkih modela klime, koji su sve bliže stvarnosti, moguće je, da bi pojedini akteri, koji raspolažu s odgovarajućim resursima, iskoristili nenamjerne negativne učinke koji proizlaze iz triju prethodno spomenutih tehnika s namjenom pogoršanja vremenskih uvjeta u ciljanim regijama ili državama (Cascio, 2008). Pojedine države su, naime, različito osjetljive na negativne utjecaje klimatskih učinaka, koji uz geografske datosti ovise i od nacionalne ekonomske snage te od tehnološko dotjerane infrastrukture, a u tome su siromašnije države i države u razvoju mnogo više ranjive.

S obzirom na namjerno manipuliranje klime u vojne svrhe već postoje starije studije, kao što su studije vojske SAD o mogućnosti upotrebe vremena kao taktičkog oružja (Stehr i von Storch, 2010: 79-82). Konvencija o modifikaciji okoline (ENMOD), preciznije Konvencija o zabrani vojnog ili bilo kojeg neprijateljskog korištenja tehnika za modifikaciju vremena, inače implicitno zabranjuje korištenje geoinženjerskih tehnika za promjenu vremena ili klime u svrhe ratovanja (ZN, 2010), ali u stvarnosti bi bilo zbog kompleksnosti klimatskih procesa teško povući jasne veze između uzroka i posljedica, slično kao što se događalo u slučaju ispuštanja otpadnih plinova iz tvornica na jednom kraju svijeta, koji su uzrokovali padaline kisele kiše na drugom kraju svijeta. Klimatsko ratovanje bilo bi dakle suptilno, dugoročno i strateško. Upletenost velikih vojnih istraživačkih i razvojnih agencija, kakva je DARPA, u geoinženjerska istraživanja, na jednoj strani budi zabrinutost zbog potencijalne upotrebe projekata u neprijateljske svrhe, dok na drugoj strani vojska ima na raspolaganje potrebnu infrastrukturu, financijska sredstva i iskustvo u razvoju velikih projekata, te je politički i društveno manje ograničena. Realpolitičkim argumentima, da je potrebna pripremljenost za primjer kada bi došlo do razvoja neprijateljskih geoinženjerskih kapaciteta u državama „otpadnicama“, moglo bi se doći do nove „klimatske“ utrke u naoružanju (Caldeira, 2009).

Dodatno bi „geostrateško“ pogoršanje klime u drugim područjima moglo biti povezano s regionalnim poboljšanjem klime država, koje izvode geoinženjering, čime razlika između namjernog neprijateljskog korištenja i nuspojava postaje još nejasnija. Geografska distribucija država osigurava da postoje konfliktni ciljevi o željenoj temperaturi i uvjetima okoline, ali ne postoje nikakve konvencije ni institucije, koje bi regulirale tko odlučuje o implementaciji ili prestanku možebitnih projekata te o optimalnoj temperaturi i globalnom stanju klime (Cascio, 2009a). Uvođenje nekoliko različitih nacionalnih geoinženjerskih projekata, koji bi se sa svojim djelovanjem i učincima suprotstavili, moglo bi dovesti do daljnjeg pogoršanja već ionako nestabilne klime.

S obzirom na rizike koji proizlaze iz naglog prekida upotrebe atmosferskih geoinženjerskih tehnika za upravljanje sunčevog zračenja, moguća je također namjerna neprijateljska primjena u smislu terorističkog napada s namjerom uništenja geoinženjerskog projekta u djelovanju, što bi moglo imati ozbiljne regionalne ili čak globalne posljedice. Kao što je razvidno, potencijal za dvojnu primjenu imaju posebno atmosferski i svemirski projekti u kategoriji upravljanja sunčevog zračenja, koji su istovremeno centralizirani i krupni poduhvati. Manjem riziku dvojne primjene bi uglavnom pridonijela transparentnost provedbe studija i istraživanja o provedbi geoinženjerskih projekata (Royal Society, 2011), širenje mreže senzora i satelita za promatranje klime i okoline, kao i jačanje međunarodnih struktura za kontrolu i donošenje odluka (Cascio, 2008).

ZAKLJUČAK

Kao što je evidentno, pojedine geoinženjerske tehnike se znatno razlikuju, jer nemaju jednake razine (poznatih) rizika od nenamjernih posljedica. Sve također nemaju ni potencijala za dvojnu primjenu, a razlikuju se i s obzirom na teorijsku učinkovitost smanjenja predviđenog globalnog zatopljenja, koje varira s obzirom na vremensko razdoblje. Uspoređivanje uglavnom otežava činjenica da za sve predložene tehnike nije bilo moguće pronaći procjene o njihovoj učinkovitosti za smanjivanje očekivanog globalnog zatopljenja, tako da takve tehnike nisu bile uključene u konačnu analizu.

Sve tehnologije koje su obuhvaćene pod oznakom geoinženjeringa s obzirom na svoje učinke i rizike izdaleka nisu identične. Kao i obično, veća učinkovitost predviđene upotrebe i brzina početka djelovanja povezani su sa znatno većima rizicima od nenamjernih posljedica, te s većim mogućnostima za namjernu neprijateljsku primjenu, dok ipak ne postoji izravna veza između većih ili manjih nenamjernih posljedica i između podjela na prvu odnosno drugu kategoriju geoinženjerskih tehnika.

Skupina atmosferskih geoinženjerskih projekata poput unošenja stratosferskih sumpornih aerosola ili drugih inženjerskih čestica obuhvaća tehnički najsposobnije tehnike, koje mogu početi djelovati u vrlo kratkom vremenskom razdoblju s relativno niskim troškovima razvoja i implementacije, ali ujedno donose i najznačajnije rizike nenamjernih posljedica i imaju potencijal za dvojnu primjenu. Isto valja i za skupinu svemirskih projekata, koje naprotiv hrome visoki troškovi razvoja i implementacije.

Najprihvatljivije između tehnika u prvoj kategoriji su u pogledu ravnoteže koristi i rizika za uravnoteženje Zemljinog albeda korištenje bljedih ili zrcalnih boja za prekrivanje

krovova zgrada i popločanih površina te sadenje drveća⁵ u urbanoj okolini (Romm, 2009)⁶, ponovno pošumljenije te povećano korištenje gospodarskih biljaka s visokim albedom. Takav pristup mogli bismo označiti kao „mekani“ geoinženjering, odnosno remedijaciju, jer ispravlja neravnotežu koja proizlazi iz smanjenog albeda, kojeg je pro-uzrokovalo prekrivanje krovova i površina tamnim, energetski visoko upijajućim materijalima te otkrivanje tamnih površina krčenjem šuma i drugog raslinja. Budući da je u kraćem vremenskom razdoblju moguće izravnati samo manji postotak očekivanog zatopljenja takve tehnike mogu činiti samo potpurnu, dodatnu mjeru za kočenje klimatskih promjena koja bi mogla osigurati više vremena za djelovanje klimatskih politike smanjenja ili remedijacijskih mjera, dok se u dugoročno njihova učinkovitost značajno povećava. Projekti u skupini tehnika za mijenjanje površinskog albeda i za upravljanje kopnene površine imaju dakle manju teoretsku učinkovitost za smanjivanje predviđenog globalnog zatopljenja, uglavnom nemaju poznatih nenamjernih posljedica, a također ni potencijala za dvojni primjenu. Upotreba odbojnih cerada ima veći rizik od nepredviđenih posljedica za lokalne ekosustave, dok korištenje genetsko-inženjerskih biljaka s visokim albedom donosi rizike, koji su jednaki unošenju drugih genetski modificiranih organizama u okolinu.

Druga između manje rizičnih kategorija sastoji se od geoinženjerskih pristupa koji su usmjereni u smanjivanje povećanih koncentracija stakleničkih plinova, u prvom redu skupina sekvestracijskih mjera. Njihova prednost je u tome, da direktno uklanjaju tvari koje ubrzavaju globalno zatopljenje, dok je njihova učinkovitost niža, a početak djelovanja znatno duži nego kod projekata u prvoj kategoriji. Rizici od nenamjernih negativnih posljedica su dakle prema trenutnim spoznajama niski, osim u primjeru rizičnijih mjera za poticanje rasta oceanskog fitoplanktona i algi te uvođenja genetsko-inženjerskog „drveća“ za sekvestraciju ugljičnog dioksida, koji pak opet predstavljaju tehnički učinkovitije pristupe. Kao što je bilo spomenuto, već danas dolazi do povećanog rasta fitoplanktona zbog prekomjerne upotrebe poljoprivrednih gnojiva. Ova kategorija nema znatnog potencijala za dvojni primjenu.

Korištenje biougla i drugih tehnika za skladištenja biomase u odnosu na koristi i rizike predstavlja najprihvatljivije geoinženjerske tehnike u drugoj kategoriji. Prihvatljivost upotrebe umjetnog drveća, čistačkih kula i solarnih korita povezana je također s načinom skladištenja uhvaćenog ugljičnog dioksida. Niži rizik predstavljaju projekti koji zahvaćeni ugljični dioksid iznova vraćaju u tisućljeća duge prirodne procese rotacije i transformacije

5 Drveće može evaporacijskom transpiracijom, apsorpcijom vode iz tla, koja onda kroz drvo ispariva u okoliš, osobito u urbanim okolinama, značajno smanjiti temperaturu u svojoj blizini, a ujedno i vezati ugljični dioksid i pružati hlad.

6 Ako bi bile predložene mjere za »mitigaciju urbanih toplinskih otoka« upotrijebljene u svim većim gradovima svijeta gdje se pojavljuje značajan učinak toplinskog otoka, smanjeni bidoprinos globalnoj temperaturi i smanjenje proizvodnje ugljičnog dioksida zbog klimatskog zahlađenja imali sličan učinak kao kad bi za 18 godina prestali koristiti svih oko 600 milijuna automobila u svijetu. Niža temperatura u urbanim okolinama bi također znatno smanjila stvaranje smoga, osobito ozona, koji se uglavnom formira na višim temperaturama.

u ugljičnom ciklusu planete, dok tehnike, koje ga pohranjuju u izoliranim geološkim ili ljudsko izgrađenim odlagalištima, gdje postoji također opasnost dugoročnog postupnog curenja ili čak iznenadne erupcije u atmosferu, kojoj bi slijedio znatan porast zatopljenja. Štoviše, čini se da su manje rizične tehnike koje u najvećoj mogućoj mjeri uključuju upotrebu prirodnih geofizičkih procesa te u postojeće sustave ne unašaju dodatnih tvari, što na primjer predviđaju pokusi „izravnavanja“ pH vrijednost u oceanima, ili one koje postojeće sustave ne pokušavaju pretjerano ubrzati ili usporiti. Obuhvaćene geoinženjerske tehnike bile su analizirane pojedinačno te je dodana ocjena njihove predviđene učinkovitosti do 2050 godine. Tablica 1 razvrstava tehnike od najviše (lijevo) do najmanje (desno) učinkovitih.

Tablica 1. Usporedba učinkovitosti geoinženjerskih tehnika

Svemirski suncobrani	Zahvaćanje i skladištenje ugljičnog dioksida iz zraka	Albedo ispašnih površina	Gnojidba oceana	Dodavanje karbonata	Poboljšavanje protoka na dno
Stratosferski aerosoli	Povećavanje odbojnosti oblaka	Albedo obrađivanih površina	Albedo naselja	Zasijavanje oblaka s fitoplanktonom	Poboljšavanje protoka na površinu
	Albedo pustinja	Biougalj		Albedo urbanih objekta	
		Pošumljavanje			

Izvor: Lenton i Vaughan 2009: 2589.

Procjena učinkovitosti geoinženjerskih tehnika na dužim vremenskim razdobljima i/ili u različitim ukupnim kombinacijama znatno se razlikuje od ove analize (vidi Lenton i Vaughan, 2009: 2591).

Procjene rizika pojedinačnih tehnika su također u većoj mjeri teorijske i još uvijek u velikoj mjeri neistražene. Tablica 2 prikazuje kvalitativno rangiranje rizika (tako rizika od nepredviđenih posljedica kao i rizika od dvojne primjene) pojedinih tehnika, od navodno najrizičnijih (lijevo) do najmanje rizičnih (desno), iako treba napomenuti da mogu kod tehnika, koje su opredijeljene kao manje rizične, postojati za sada još nepoznati rizici, koji mogu potpuno promijeniti klasifikaciju.

Tablica 2. Kvalitativna procjena rizika geoinženjerskih tehnika

Stratosferski aerosoli	Albedo pustinja	Dodavanje karbonata	Zahvaćanje i skladištenje ugljičnog dioksida iz zraka	Albedo ispašnih površina	Albedo urbanih objekta
Povećavanje odbojnosti oblaka	Gnojidba oceana	Poboljšavanje protoka na dno		Albedo obrađivanih površina	Albedo naselja
Svemirski suncobrani	Zasijavanje oblaka s fitoplanktonom	Poboljšavanje protoka na površinu			Biougalj
					Pošumljavanje

Tako geoinženjerski projekti za upravljanje sunčevog zračenja kako i remedijacijski projekti također uključuju politički i moralni hazard, jer bi javno prihvaćanje njihove upotrebe moglo ukočiti ili barem usporiti razvoj i implementaciju tehnologija za proizvodnju energije, koje se temelje na čistim, obnovljivim izvorima. Ako bi bile upotrijebljene u dovoljno velikom opsegu mogle bi znatno smanjiti negativne posljedice korištenja energetske tehnologije na bazi ugljika. Tako bi i dalje ostao rizik društvene ovisnosti od opadajućih zaliha fosilnih goriva, što dugoročno moglo dovesti do socijalnih nemira uz iscrpljenje zaliha, osobito ako bi razvoj obnovljivih izvora privremeno zamro, a također bi i dalje dolazilo do popratnog zagađivanja različitim tvarima štetnim okolini i zdravlju, koje se oslobađaju izgaranjem fosilnih goriva.

Dakle, ako bi došlo do korištenja geoinženjerskih tehnika koje su bile definirane kao manje kontroverzne i manje rizične, u odnosu na njihovu predviđenu učinkovitost je jasno, da same po sebi u primjeru nepromijenjenih ili čak povećanih emisija stakleničkih plinova neće moći uravnotežiti atmosferske koncentracije. Njihova se uloga tako nalazi unutar sklopa MAG pristupa, gdje mogu činiti jedino treću, dodatnu mjeru pored smanjivanja i prilagodbe.

Korištenje "radikalnih" geoinženjerskih tehnologija, osobito atmosferskih tehnika, kakva je unošenje sumpornih aerosola u atmosferu, bila bi u vrijeme kad još nema jasnih dokaza o ekstremnim vremenskim događajima koji bi ukazivali na katastrofalni tok klimatskih promjena ili znakova o približavanju točke prijelaza iz jednog stabilnog klimatskog stanja u drugo, bilo bi, kao što je zapisao Joe Romm (2007), kao da vam je liječnik rekao, da imate ozbiljnu bolest koju je moguće sigurno izliječiti sa striktnom prehranom i tjelesnom aktivnošću (klimatska politika smanjivanja i remedijacija emisija stakleničkih plinova), ali se radije odlučite za eksperimentalnu terapiju (radikalni geoinženjering), gdje inače nije potrebno mijenjati životne navike, ali je uspjeh izlječenja nesiguran dok su ozbiljne nuspojave skoro sigurne. Nažalost, u stvarnosti su odluke mnogih pacijenata u takvim okolnostima jednake kao u Rommovoj prisposobi, a zato su i ponašanje i odluke mnogih građana i država u vezi s rješavanjem problema klimatskih promjena upitna.

Iako studije, koje istražuju tehničku učinkovitost i rizike te etičke, pravne i društvene implikacije možebitne upotrebe geoinženjeringa, opetovano naglašavaju da se u njihovom djelu radi o teoretskom istraživanju, koje samo ispituje buduće opcije za rješavanje klimatskih problema, te se ne zagovara, podupire ili potiče upotrebu geoinženjeringa, u primjeru određenih tehnika već je moguće zapaziti stvaranje prvih mreža dionika i aktera, koji teže komercijalnom razvoju. Takva djelatnost je posebno uočljiva u vezi s tehnikom gnojidbe oceana⁷, koja bi mogla potaknuti rast planktona te komercijalizirati

7 Nedavno je pažnju uže javnosti uzbudila patentna prijava Billa Gatesa i suinvestitora, među kojima je također klimatolog i stručnjak za geoinženjering Ken Caldeira, za tehniku kojom bi barke, opremljene s pumpama za hlađenje vode na površini oceana po projiciranom putu kretanja orkana mogle smanjiti razornu snagu tih oluja. U prijavi je također spomenuto poduzeće Atmocean, koje se bavi s pumpanjem oceanske vode (vidi Vergano, 2009). Iako bi se ova tehnika mogla koristiti za ublažavanje ekstremnih vre-

njegove sposobnosti da veže višak ugljičnog dioksida iz atmosfere u oceansku biomasu. Prema nekim studijama je količina planktona u svjetskim oceanima tijekom posljednjih tri desetljeća padala (Greg i sur., 2002), te bi ambiciozni program obnove vjerojatno mogao otvoriti potencijalni ponor za oko 3-5 milijardi tona ugljičnog dioksida, tržišna vrijednost kojeg bi iznosila oko 75 milijardi eura. Sama tehnika gnojidbe oceana željezom je relativno jeftina u usporedbi s drugim geoinženjerskim tehnikama, te čak i u primjeru minimalne učinkovitosti troškovi gnojidbe ne bi nadmašili 20 milijardi eura. Provedeni su već bili brojni pokusi, osobito u Južnom oceanu, koji su dokazali izvedivost projekta. Iako su eksperimenti bili provedeni kao znanstveno proučavanje, već su nastala poduzeća poput Planktosa i Climosa (Ritch, 2007) koja nastoje razviti nastalu tržišnu priliku. U suvremenom post-akademsom sustavu znanosti, koji zahtijeva brz prijenos istraživačkih spoznaja iz akademske sfere u praktičnu tržišnu aplikaciju te što brži i što veći profit na početne investicije, takvi pokusi su stoga direktno povezani s praktičnom implementacijom i stvaranjem novih komercijalnih pothvata, na što ukazuju i početni eksperimenti i naknadni tržišni poduhvati instituta za istraživanje Alfred Wegener (Paull, 2009).

Takav razvoj se nastavlja unatoč kritikama da gnojidba može poticati rast toksičnog planktona, koji onemogućava život za mnoge druge organizme u obližnjim vodama ("crvena plima"), da se u primjeru odumiranja množe bakterije koje potroše većinu kisika u vodi, stvarajući anoksičnu okolinu, da poticanje umnožavanja pojedinih morskih organizama može posljedično izazvati nestabilnosti u cijeloj prehranbenoj mreži, da može izazvati promjene u ekosustavima, gdje je količina željeza prirodno niska, u potpuno drugačije ekosustave, te konačno, da se je količina planktona u oceanima tijekom protekla tri desetljeća zbog prekomjernog korištenja gnojila u stvari povećala umjesto smanjila (Antoine et al., 2005). Zagovornici s druge strane tvrde, da je u povijesti života na Zemlji već došlo do mnogih, čak i opsežnijih prirodno poticanih cvjetanja algi, koje nije pratio nijedan od navedenih rizika. Kritičari dodatno naglašavaju da je korištenje načela predostrožnosti protiv gnojidbe oceana, jer intervencije u oceanske ekosustave donose značajne, nepoznate i potencijalno nepopravljive rizike, a ujedno su to kompleksni sustavi, bitni za život kakvog poznamo i premalo istraženi da bi bilo moguće predvidjeti sve međusobne utjecaje i učinke takvih intervencija. Zagovornici primjene istog principa tvrde, da su rizici (ne)poznatih posljedica gnojidbe oceana manji od poznatih posljedica klimatskih promjena, koje će se neizbježno pojaviti u slučaju neaktivnosti. Prema teoriji društva rizika modernizacijski tehnološki proces u težnji prema dominaciji nad prirodom i time prirodnim opasnostima inherentno proizvodi rizike rastućeg opsega, moći i utjecaja, koje u duhu iste paradigme rješava s novim tehnološkim intervencijama, koje iznova proizvode nove, vlastite rizike. Tako se postavlja pitanje, je li zapravo

menskih događaja koji bi s vremenom mogli nastupiti kao posljedice klimatskih promjena, ova tehnika u pogledu svoje funkcije spada u kategoriju tehnika za manipulaciju vremenom (u smislu klimatskih pojava s lokalnim utjecajem i učincima) i stoga nije bila obrađivana u nizu istraživanih geoinženjerskih tehnika (koje se odnose na manipulaciju globalnog klimatskog stanja).

moгуće smanjiti početni rizik tehnokratskim rješenjem, koje sadrži nove i možda čak i veće rizike. Refleksivnost modernosti barem u određenoj mjeri omogućava "svjesno" donošenje odluka o implementaciji rizičnih rješenja za rješavanje prijetnji, koje su u društvu općenito priznate kao neprihvatljive. Ovako neka društvo ne bi više rješavalo prijetnje isključivo s klasičnim birokratsko-racionalnim pristupom u kontekstu upravljanja rizicima, osobito kada se o prihvatljivosti rizika odlučuje u uskom krugu stručnjaka, a ne u javnim raspravama, bogatim profesionalnim i protustrukovnim znanjem te s uključivanjem što većeg dijela dionika (vidi Royal Society, 2009), osobito skupina koje će biti najviše izložene potencijalnim nuspojavama, mada su baš ove skupine obično najviše potisnute od glavnih kanala komunikacije i donošenja odluka.

U raspravi o geoinženjeringu su si tako zagovornici kao protivnici složni, da su potrebne daljnje i temeljitije studije, koje bi bacile svjetlo na šire mehanizme djelovanja, možebitne nenamjerne posljedice te etičke, pravne i društvene implikacije. Primjernijoj i bolje uravnoteženoj javnoj raspravi bi osobito doprinijeli transparentnost istraživanja i javni dostup rezultatima istraživanja (vidi Royal Society, 2011). Kod toga se osim rizika od jednostranog razvoja i implementacije tehnika zbog komercijalizacije, što je razvidno u primjeru gnojidbe oceana, otvara i rizik povećavanja prihvatljivosti geoinženjerskih mjera u općoj javnosti. Nedavna ispitivanja (Anissimov, 2010) o javnim stavovima prema medicinskim aplikacijama i fizičkim poboljšanjima, koja se temelje na nanotehnologiji u SAD, pokazuju da upravo upoznatost kako s rizicima tako i s koristima povećava javnu potporu za nove tehnologije. Vezanost istraživanja na naknadnu komercijalizaciju moglo bi se zaobići s transparentnim i bespovratnim javnim financiranjem istraživačkog rada, što je predložila i studija Royal Society (2009) sa desetgodišnjim geoinženjerskim istraživačkim programom s proračunom 10 milijuna britanskih funta godišnje, ali činjenica je, da se u suvremenom post-akademsom sustavu čak i javno financiranje u sve većoj mjeri dodjeljuje na temelju procjene o budućim tržišnim potencijalima istraživanja. Ništa manje teško nije traženje ravnoteže između tajnosti i javnosti objave novih spoznaja, jer s jedne strane osjećaj upoznatosti s rizičnim intervencijama može dovesti do povećane prihvatljivosti mjera s "poznatim" rizicima, dok s druge strane tajnost istraživanja vrlo lako može dovesti do gubitka povjerenja javnosti te do razvoja i implementacije u okviru netransparentnih vojnih programa.

Unatoč tome da razvoj tehnologije i modernizacijskih procesa proizvodi raznovrsne „civilizacijske“ rizike, ne treba zaboraviti da zajedno s rizicima nastaju također koristi (doduše često ograničene na razvijene države) koje se rasprostiru od povećane sigurnosti opskrbe hranom, preko dostupna zdravstvenim uslugama, sve do novih i nekada nezamislivih informacijskih i komunikacijskih sposobnosti, te mogućnosti za manipuliranje svijetom, te, konačno, do, barem prema nekim stručnjacima, izostanka konvencionalnih ratova u globalnom opsegu upravo zbog postojanja nuklearnog oružja, koje osigurava uzajamno uništenje (Dworsky, 2009).

Konačno i kompleksni sustav prirodnih fizičkih procesa inherentno proizvodi rizike, koji se u usporedbi s ljudsko proizvedenim globalnim katastrofalnim rizicima inače pojavljuju na (dugotrajnim) geološkim vremenskim rasponima, ali su također globalni, vrlo

destruktivni i u odsutnosti tehnoloških intervencija čovječanstva praktično neizbježni. Dokazi o brojnim masovnim izumiranjima, koje su u 3,5 milijarde godina dugoj povijesti života na Zemlji bez ljudske prisutnosti prouzročili prirodni procesi, među koje spadaju također izravno ili neizravno uzrokovane prirodne ekstremne promjene klime (vidi Bostrom i Ćirković, 2009), upućuje na to da će čovječanstvo, ako želi osigurati i daljnji nastavak postojanja vlastite i drugih vrsta života te stanja postojeće globalne okoline, u nekoj točki u budućnosti između ostalog morati početi provoditi aktivno upravljanje globalnom klimom. Dok neke od spomenutih geoinženjerskih tehnika predstavljaju prve koncepte mehanizama za dugoročno upravljanje klime, njihova je primarna svrha ipak ublažavanje globalnog katastrofalnog rizika koji proizlazi iz nenamjernih posljedica ljudske aktivnosti, dakle iz antropogenih klimatskih promjena. S obzirom na spoznaje iz znanosti o kompleksnosti i iz teorije kaosa, jasno je da su svi naši modeli još daleko od toga da bi obuhvaćali sve obimnosti djelovanja, međusobnog utjecanja te odaziva prirodnih sustava. Zato će možebitni prvi pokušaji namjernog mijenjanja klime s namjerom ublažavanja klimatskih promjena biti provedeni pod rizikom velike neizvjesnosti utjecanja i nepredviđenih posljedica. Drugu alternativu predstavlja prilagođavanje čovjeka i ljudskih društva na promijenjene (klimatske) prilike, ali je upitno koliko opsežnim promjenama u koliko kratkom vremenskom razdoblju se suvremena tehnološka društva još mogu prilagoditi prije nego što bi došlo do suvremenog propadanja civilizacija. Ako bi zbog uvjerenja o skorašnjem nastupu naglih i katastrofalnih nelinearnih klimatskih promjena koje proizlaze iz globalnog zatopljenja, upotreba "radikalnih" geoinženjerskih tehnika postala i javno i političko prihvatljiva, moguće je, da će se o njihovom uvođenju odlučivati na međuvladinim ili globalnim forumima, u multidioničkim raspravama, utemeljenim na opsežnim znanstvenim studijama i ograničenim eksperimentima. Međutim, zbog usporedivo niskih troškova provedbe nekih pojedinih mjera također je moguće da će dovoljno imućni pojedinci ili organizacije, uvjereni u neizbježnost naglih i katastrofalnih klimatskih promjena ili možda pak iz komercijalnih interesa, sami započeti s provedbom geoinženjeringa. Takav tok događaja mogle bi pokrenuti i očajne države, koje bi pogodile ekstremne vremenske neprilike, ili države koje bi željele poboljšati svoje vlastite klimatske i okolne uvjete, ili možda neke od razvijenih država s namjerom poboljšanja svoje regionalne klime ili osiguranja vlastite geostrateške situacije s kapacitetima za dvojnju primjenu geoinženjeringa. I upravo u prenatrpanom, jednostranom te nacionalno ili komercijalno poticanom razvoju, bez uzimanja u obzir ograničenja našeg znanja i mogućnosti ozbiljnih nenamjernih posljedica, nalaze se najveći rizici.

LITERATURA

- Adam, D. (2008). Could US scientist's 'CO2 catcher' help to slow warming? *The Guardian*. URL: <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/may/31/carbonemissions.climatechange> (16. studenog 2010).
- Akbari, H., S. Menon i A. Rosenfeld (2008). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO2. *Climatic Change* 94(3): 275-286.

- Angel, R. (2006). Feasibility of cooling the Earth with a cloud of small spacecraft near the inner Lagrange point (L1). *PNAS* 103 (4), 17184–17189.
- Angel, R. i S. P. Worden (2006). Making Sun-Shades from Moon Dust. National Space Society, *Ad Astra* 18(1): 34-36.
- Anissimov, M. (2010). Survey: Hiding Risks Can Hurt Public Support for Nanotechnology. *Accelerating Future blog*. URL: <http://www.acceleratingfuture.com/michael/blog/2010/05/survey-hiding-risks-can-hurt-public-support-for-nanotechnology/> (15. studenog 2010).
- Antoine, D., A. Morel, H. R. Gordon, V. F. Banzon i R. H. Evans (2005). Bridging ocean color observations of the 1980's and 2000's in search of long-term trends. *J. Geophys. Res.* URL: http://www.obs-vlfr.fr/LOV/OMT/fichiers_PDF/Antoine_et_al_JGR_05.pdf (16. studenog 2010).
- Azar, C., K. Lindgren, E. Larson u K. Moellersten (2006). Carbon Capture and Storage From Fossil Fuels and Biomass – Costs and Potential Role in Stabilizing the Atmosphere. *Climatic Change* 74(1-3): 47-79.
- Bala, G. (2009). Problems with geoengineering schemes to combat climate change. *Current Science* 96(1): 41-48.
- Beck, U. (2009). Družba tveganja. Na poti v neko drugo moderno. Ljubljana: Založba Krtina.
- Bostrom, N. i Čirković M. M. (ur.) (2009). *Global Catastrophic Risks*. Oxford: Oxford University Press.
- Budyko, M. I. (1977). *Climate Changes*. Washington DC: American Geophysical Union.
- Brahic, C. (2007). »Sunshade« for global warming could cause drought. *New Scientist*. URL: <http://www.newscientist.com/article/dn12397> (15. studenog 2010).
- Brahic, C. (2009). A high albedo diet will chill the planet. *New Scientist*. URL: <http://www.newscientist.com/article/dn16428-a-highalbedo-diet-will-chill-the-planet.html> (16. studenog 2010).
- Caldeira, K. (2009). DARPA and Geoengineering. *Geoengineering group*. URL: http://groups.google.com/group/climateintervention/browse_thread/thread/60f448608e209134?pli=1 (16. studenog 2010).
- Cascio, J. (2008). Battlefield Earth. *Foreign Policy*. URL: http://www.foreignpolicy.com/articles/2008/01/27/battlefield_earth (15. studenog 2010).
- Cascio, J. (2009a). It's Time to Cool the Planet. *The Wall Street Journal*. URL: <http://online.wsj.com/article/SB10001424052970204771304574181522575503150.html> (16. studenog 2010).
- Cascio, J. (2009b). *Hacking the Earth: Understanding the Consequences of Geoengineering*. Lulu Press.
- Crutzen, P. J. i E. F. Stoermer (2000). The »Anthropocene«. *Global Change Newsletter* 41: 17-18.
- Crutzen, P. J. (2006). Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma? *Climatic Change* 77: 211–220.

- Dyson, F. (2008). The Question of Global Warming. *The New York Review of Books*. URL: <http://www.nybooks.com/articles/archives/2008/jun/12/the-question-of-global-warming/> (15. studenog 2010).
- Dworsky, G. (2010). The perils of nuclear disarmament: How relinquishment could result in disaster. *Sentient Developments blog*. URL: <http://www.sentientdevelopments.com/2009/03/perils-of-nuclear-disarmament-how.html> (16. studenog 2010).
- Greg, W. W., M. E. Conkright, J. E. O'Reilly, F. S. Patt, M. H. Wang, J. A. Yoder i N. W. Casey (2002). NOAA-NASA Coastal Zone Color Scanner Reanalysis Effort. *Appl. Opt.* 41: 1615-1628.
- Kalaugher, L.(2008): Carbon storage in undersea basalt offers extra security. *Environmental Research Letters*. URL: <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/news/35017> (16. studenog 2010).
- Fogarty, D. (2008). RPT-FEATURE-Scientists urge caution in ocean-CO2 capture schemes. *Thomson Reuters Foundation*. URL: <http://www.alertnet.org/thenews/newsdesk/SP39844.htm> (16. studenog 2010).
- Frame, D. i M. R. Allen (2009). Climate change and global risk. U: Bostrom, Nick i Milan M. Ćirković (ur), *Global Catastrophic Risks* (str. 265-286). Oxford: Oxford University Press.
- Gaskill, A. (2008). Global Albedo Enhancement Project. URL: <http://www.global-warming-geo-engineering.org/Albedo-Enhancement/Surface-Albedo-Enhancement/Calculation-of-Coverage-Areas-to-Achieve-Desired-Level-of-ForcingOffsets/Desert-Area-Coverage/ag28.html> (15. studenog 2010).
- Herzog, H. (2002). Carbon Sequestration via Mineral Carbonation: Overview and Assessment. *Massachusetts Institute of Technology*. URL: <http://sequestration.mit.edu/pdf/carbonates.pdf> (16. studenog 2010).
- Horn, R. (2001). What we know – and what we don't know – about ecological risks of genetically engineered plants. URL: <http://www.macrovu.com/image/GMimg/infoMrlUnknwnsInGMv7.pdf> (16. studenog 2010).
- House, K. Z., C. H. House, D. P. Schrag i M. J. Aziz (2007). Electrochemical Acceleration of Chemical Weathering as an Energetically Feasible Approach to Mitigating Anthropogenic Climate Change. *Environmental Science & Technology* 41(24): 8464-8470.
- Institution of Mechanical Engineers (2009). Mitigation, Adaptation and Geoengineering. URL: http://www.imeche.org/Libraries/Key_Themes/IMechE_MAG_Report.sflb.ashx (15. studenog 2010).
- Jha, A. (2008). Revealed: The cement that eats carbon dioxide. *The Guardian*. URL: <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/dec/31/cement-carbon-emissions> (16. studenog 2010).
- Keith, D. (2009). Why Capture CO2 From The Atmosphere. *Science* 325: 1654-1655.
- Kunzig, R. i W. Broecker (2009). Can technology clear the air? *New Scientist* 2690: 34-37.
- Lehmann, J., J. Gaunt i M. Rondon (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 403-427.

- Lenton, T. M. i N. E. Vaughan (2009): The radiative forcing potential of different climate geoengineering options. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 9: 2559-2608.
- Lovelock, J. E. i C. G. Rapley (2007). Ocean pipes could help the earth to cure itself. *Nature* 449: 403-403.
- Lovett, R. (2008). Burying biomass to fight climate change. *New Scientist* 2654: 32-35.
- Lukšič, A. A. (1999): *Rizična tehnologija: izaziv demokraciji*. K politični ekologiji. Inštitut za ekologijo in Časopis za kritiko znanosti 193, Ljubljana
- Mitchell, D. L. i W. Finnegan (2009). Modification of cirrus clouds to reduce global warming. *Environmental Research Letters* 4. URL: <http://iopscience.iop.org/1748-9326/4/4/045102/fulltext> (16. studenog 2010).
- Paull, J. (2009). Geo-Engineering in the Southern Ocean. *ELEMENTALS – Journal of Bio-Dynamics Tasmania* 93: 16-20.
- Ritchel, M. (2007). Recruiting Plankton to Fight Global Warming. *The New York Times*. URL: http://www.nytimes.com/2007/05/01/business/01plankton.html?_r=1 (15. studenog 2010).
- Roco, M. C. i W. S. Bainbridge (ur.) (2003). *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. Dordrecht: Springer.
- Romm, J. (2007). Geo-Engineering is NOT the Answer. *Climate Progress blog*. URL: <http://climateprogress.org/2007/08/15/geo-engineering-is-not-the-answer/> (16. studenog 2010).
- Romm, J. (2009). The best stimulus, Part 1: What is geo-engineering and adaptation and CO2 mitigation all in one? *Climate Progress blog*. URL: <http://climateprogress.org/2009/01/04/green-stimulus-geoengineering-adaptation-mitigation-urban-heat-island-mitigation-cool-roofs/> (16. studenog 2010).
- Ross, A. in H. D. Matthews (2009). Climate engineering and the risk of rapid climate change. *Environmental Research Letters* 4. URL: <http://iopscience.iop.org/1748-9326/4/4/045103/fulltext> (16. studenog 2010).
- Royal Society (2009). *Geoengineering the climate: Science, governance and uncertainty*. RS Policy document 10/09. The royal Society.
- Royal Society (2011). *Solar radiation management: the governance of research*. The royal Society.
- Salter, S, G. Sortino i J. Latham (2008). Sea-going hardware for the cloud albedo method of reversing global warming. *Phil. Trans. R. Soc. A* 366(1882): 3989–4006.
- Science Daily (2008). *Geoengineering Could Slow Down Global Water Cycle*. URL: <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/05/080527155519.htm> (16. studenog 2010).
- Steffen, A. (2009). Save the Holocene! *Worldchanging*. URL: <http://www.worldchanging.com/archives/009704.html> (16. studenog 2010).
- Stehr, N. i H. von Storch (2009). *Climate and Society*. Singapore: World Scientific Publishing Co.
- Stix, T. H. (1993). Removal of chlorofluorocarbons from the troposphere. *IEEE International Conference on Plasma Science*. Vancouver, BC, Canada.

- Strand, S. E. i G. Benford (2009). Ocean Sequestration of Crop Residue Carbon: Recycling Fossil Fuel Carbon Back to Deep Sediments. *Environ. Sci. Technol.* 43(4): 1000-1007.
- Teller, E., L. Wood i R. Hyde (1997). Global Warming and Ice Ages: Prospects for Physics-Based Modulation of Global Change. URL: <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/231636.pdf> (16. studenog 2010).
- Thernstrom, S. (2010). What Role for Geoengineering? *The American: The Online Magazine of the American Enterprise Institute*. URL: <http://www.american.com/archive/2010/march/what-role-for-geoengineering> (16. prosinca 2011).
- Trautetter, G. (2009). Slowing Global Warming with Antarctic Iron. *Spiegel Online*. URL: <http://www.spiegel.de/international/world/0,1518,599213,00.html#ref=rss> (16. studenog 2010).
- Vergano, D. (2009). Hurricane-calming technology? Bill Gates has a plan. *USA Today*. URL: http://www.usatoday.com/weather/research/2009-07-15-gates-hurricanes_N.htm (16. studenog 2010).
- Watts, R. G. (1997). *Cryospheric processes. Engineering Response to Global Climate Change: Planning a Research and Development Agenda*. CRC Press.
- Wikipedia (2011a). *Chemtrail conspiracy theory*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Chemtrail_conspiracy_theory (18. prosinca 2011).
- Wikipedia (2011b). *2010 eruptions of Eyjafjallajökull*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/2010_eruptions_of_Eyjafjallaj%C3%B6kull#Short-_and_long-term_weather_and_environmental_effects (18. prosinca 2011).
- Wingenter, O. W. (2007). New Directions: Enhancing the natural sulfur cycle to slow global warming. *Atmospheric Environment* 41(34): 7373–7375.
- Združeni Narodi (2010). Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques. *Center for a World in Balance*. URL: <http://www.worldinbalance.net/intagreements/1976-envmodification.php> (16. studenog 2010).

RISK TECHNOLOGIES AND CONTEMPORARY SOCIAL CHALLENGES: GEO-ENGINEERING IN RISK SOCIETY

Toni Pustovrh, Andrej A. Lukšič

Summary

The paper introduces the issue of man-made climate change as well as social, political and technological development that led to the construction and spread of the ideas about the ability of geo-engineering interventions to mitigate expected climate changes. At the same time geo-engineering, defined as large-scale environmental engineering able to counteract the changes in atmospheric chemistry, is observed together with the concept of risk society as well as technological attempts to resolve contemporary problems that are at least partially of socio-cultural and not only of technical or natural origin.

The central part of the paper presents an overview and categorization of specific geo-engineering techniques considering their mechanisms, supposed theoretical efficiency to reduce global warming and possible unintended negative consequences. The paper also discusses the potential of mentioned geo-engineering techniques for purposeful adversarial use in the sense of dual-use technology. The concluding part summarizes the findings from the analysis and identifies geo-engineering techniques that involve the least risk. The paper also discusses the position of technology and risk in risk society, as well as possible dangers of the commercialization of geo-engineering that might, through post-academic models of science, lead to the normalization and implementation of those geo-engineering techniques that have the highest potential for side effects.

Key words: risk society, dual-use, geo-engineering, global warming, commercialization, risk technologies

RISIKOTECHNOLOGIEN UND ZEITGENÖSSISCHE SOZIALE HERAUSFORDERUNGEN: GEOENGINEERING IN DER RISIKOGESELLSCHAFT

Toni Pustovrh, Andrej A. Lukšič

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel bietet eine Einführung in die Problematik der von Menschen verursachten Klimaänderungen, sowie der gesellschaftlichen, politischen und technologischen Entwicklungen, die zum Entstehen und zur Verbreitung der Ideen von Geoengineering-Eingriffen gebracht haben, zum Zweck der Milderung von zu erwartenden Klimaänderungen. Gleichzeitig wird der Geoengineering, der als Umweltengineering definiert ist und dessen Absicht größtenteils aus Aktivitäten gegen Folgen der Änderungen in der Atmosphärenchemie besteht, in ein Konzept der Risikogesellschaft platziert und in die technologischen Versuche, die zeitgenössischen Probleme zu lösen, die wenigstens teilweise von gesellschaftlich-kulturellem und nicht nur technischem oder natürlichem Ursprung sind.

Der mittlere Teil beinhaltet Analyse, Übersicht und Kategorisierung einzelner vorgeschlagener Geoengineering-Techniken mit Hinblick auf Wirkungsmechanismen, auf die vorgesehene theoretische Wirksamkeit der erwarteten Globalerwärmung und mögliche unabsichtliche negative Folgen. Auch erörtert man das Potenzial genannter Geoengineering-Techniken für absichtliche feindliche Nutzung im Sinne einer Technologie der dualen Anwendung. Der Schluss fasst Erkenntnisse der Analyse zusammen und identifiziert die am wenigsten riskanten Geoengineering-Techniken. Im Artikel wird auch über die Stellung der Technologie und des Risikos reflektiert, sowie über mögliche Gefahren der Kommerzialisierung des Geoengineering, die durch Mechanismen des post-akademischen Wissenschaftsmodells zur Normalisierung und Implementierung von Geoengineering-Techniken mit den größten potentiellen Nebenwirkungen führen könnte.

Schlüsselwörter: Risikogesellschaft, duale Anwendung, Geoengineering, globale Erwärmung, Kommerzialisierung, Risikotechnologien