

PODNEBNA KOOPERACIJA V IGRI ZAPORNIKOVE DILEME

Climate Change Cooperation in the Prisoner's Dilemma Game

Aleksandra Murks-Bašič

Sektor upravljanja tveganj, Nova KBM d.d.
sandra666.basic@gmail.com

Matjaž Perc

Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru
Inštitut za fiziko
<http://www.matjazperc.com/>

Prejeto/Received:
Januar 2011

Popravljeno/Revised:
Julij 2011

Sprejeto/Accepted:
Avgust 2011

Izvleček

Podnebne spremembe so obravnavane kot eden izmed največjih izzivov na ravni mednarodne kooperacije, s katerimi se sooča človeštvo. Podnebni problem je namreč klasičen problem, ki se ukvarja z javnimi dobrinami. Teorija iger je eno izmed orodij, s pomočjo katerih lahko definiramo glavne kriterije za izvedbo mednarodnih skupnih aktivnosti obvladovanja podnebnih sprememb. Takšne skupne aktivnosti bodo v članku uporabljene z namenom predstavitve evolucije uspešnega sodelovanja. Svet je spoznal, da obvladovanje podnebnih sprememb povzroča stroške, in nagnjenost k onesnaževanju bo vedno prisotna. Zato se vprašajmo, ali lahko stohastični element v podnebni igri, ki pomeni neko stopnjo negotovosti, zviša verjetnost prevzema strategije kooperacije. Naš model temelji na igri zapornikove dileme, ki proučuje evolucijo kot sodelovanje med sebičnimi posamezniki.

Ključne besede: podnebne spremembe, teorija iger, zapornikova dilema, evolucija kooperacije, stohastičnost, socialna dilema, javne dobrine

Abstract

Climate change has been described as one of the greatest challenges to international cooperation that the world has faced thus far. Indeed, the climate problem is a classic problem of dealing with global goods. Game theory is one of the tools that can be used to identify key criteria for designing frameworks for international collective action on climate change. Such collective action is used in the current paper to present the evolution of cooperative behaviour. The world has realised that tackling the climate change will be costly; therefore, the temptation to pollute will always be present. Can the stochastic element in our climate game, which refers to some level of uncertainty, increase the probability of adopting the cooperation strategy? Our model is based on the prisoner's dilemma game, in which the evolution of cooperative behaviour among egoistic individuals is considered.

Keywords: Climate change, game theory, prisoner's dilemma, evolution of cooperation, stochasticity, social dilemma, public goods

1 Uvod

V odnosih med državami se največkrat zgodi, da so interesi ene države v konfliktu z interesi druge. Najbolj drastičen primer takega križanja interesov je vojno stanje. Tedaj si vsaka prizadeta stran prizadeva, da bi na kar najhitrejši in temeljit način uničila ali vsaj začasno izločila vse sile nasprotnika. Križanje interesov imenujemo kar konfliktne situacije. Teorija iger je teorija ukrepanja ravno v konfliktnih situacijah (Jamnik 1973). Igra zapornikove dileme, ki jo bomo uporabili za proučevanje medsebojnih odnosov na področju varovanja okolja, je

NG

Naše gospodarstvo / Our Economy
Vol. 57, No. 5-6, 2011
pp. 53-62

UDC: 304:551.583
JEL: C73

nastala na samem vrhuncu hladne vojne. Ameriška vojska je zaposlila številne znanstvenike, da bi analizirali nasprotnika in njegove poteze. Zelo hitro so se soočili s problemom medsebojnega zaupanja, ki ga zelo jasno predstavi igra zapornikove dileme (Axelrod 1984).

V naši igri zapornikove dileme si namesto igralcev predstavljamo posamezne države oz. njihove zastopnike, med katerimi so vzajemni odnosi zelo pomembni – velikokrat je prisotna ideja: če jaz tebi pomagam danes, boš ti meni pomagal jutri – in hkrati skrivnost uspeha (Milinski in Rockenbach 2008). Igre socialne dileme jasno kažejo, da kaznovanje spodbuja sodelovanje, vendar povzroča stroške tako za tiste, ki kaznujejo, kot za tiste, ki so kaznovani (Milinski in Rockenbach 2006). Zelo pomembno dejstvo je, da je potem, ko je sodelovanje vzpostavljeno v svetu konfliktnih situacij, sodelovanje treba ohraniti. Medsebojno sodelovanje ostane stabilno, če je prihodnost relativno pomembnejša od sedanjosti. Za vsako državo je bolje, če si bodo vsi delili koristi javnih dobrin. Podnebje je javna dobrina, pri kateri se pojavljajo problemi lastništva in delitve stroškov.

Zunanji negativni stroški, ki se pojavijo pri javnih dobrinah, se lahko odpravijo z ekonomskimi ali socialnimi instrumenti. Med slednje spadajo posebni dogovori med udeleženci. Pri ekonomskih instrumentih imamo na voljo dva pristopa, prvi je tradicionalni Pigoujev, drugi pa moderni Coasov pristop. Pigoue predvideva obdavčitev oz. drugo finančno kaznovanje onesnaževalca (okoljske dajatve, subvencije, trgovanje z emisijskimi kuponi). Coase pravi, da so okoljski problemi posledica neustrezno določenih lastninskih pravic, ki jih je treba jasno določiti. Pigou je za aktivno, Coase za pasivno vlogo države (Murks 2010).

Podnebna igra je igra, ki je ne smemo izgubiti. Naučiti se moramo, kako sodelovati na globalni ravni in kako spoštovati mnenja drugih udeležencev. Globalni podnebni dogovor naj bi dopuščal različne vzorce obnašanja za sodelujoče države, a vse skupaj mora biti definirano v smeri dolgoročnega vzajemnega sodelovanja. Model, ki ga bomo predstavili v članku, kaže eno izmed rešitev, kako rešiti podnebni problem s pomočjo igre zapornikove dileme, ki na račun stohastičnega elementa dopusti možnost prevzema strategije kooperacije namesto strategije defekcije, kar bi se zgodilo v primeru odsotnosti stohastičnega elementa. Rezultat je, da bodo kooperatorji – to so države, ki so pripravljene sodelovati – prevladali nad defektorji, torej državami, ki niso pripravljene sodelovati.

2 Mednarodne podnebne aktivnosti

Kjotski protokol je začel veljati 16. februarja 2005 in se začel izvajati 1. januarja 2008. Protokol pomeni odločilen korak v smeri izvajanja mednarodne podnebne aktivnosti. Uspešen je v definiranju niza mednarodnih pravil, tržnih fleksibilnih mehanizmov in skladov za obvladovanje podnebnih sprememb. Kjotski protokol od industrijskih držav zahteva, da emisije toplogrednih plinov (TGP) zmanjšajo za več kot 5,2 % v obdobju 2008–2012 glede na izhodiščno leto 1990. Emisije TGP so izražene v ekviva-

lentih CO₂, ki predstavljajo splošno enoto za ugotavljanje učinkov emisij drugih TGP; npr. 1 kg metana – CH₄ predstavlja 21 kg ekvivalenta CO₂, 1 kg C₂F₆, ki spada med PFC-je, pa predstavlja kar 9200 kg ekvivalenta CO₂. Vsak TGP predstavlja nevarnost globalnega segrevanja: 1 t CH₄ ima učinek globalnega segrevanja, ki je 21-krat močnejši kot 1 t CO₂ v 100 letih, 1 t N₂O ima 310-krat močnejši učinek, 1 t HFC-jev ima od 140-krat do 11.700-krat močnejši učinek, 1 t SF₆ pa ima 23.900-krat močnejši učinek kot 1 t CO₂ (Murks 2002).

Slovenija je zavezana zmanjšati emisije TGP za 8 % v obdobju 2008–2012 glede na izhodiščno leto 1986. Glavni cilj je doseči globalno trajnostno gospodarstvo; to pomeni poslovno priložnost predvsem v smislu tehnološke inovacije, ki lahko še naprej omogoča gospodarsko rast in ustvarjanje novih delovnih mest. Evropa se je trdno odločila, da bo popolnoma izkoristila prednosti takšnih prihodnjih poslovnih priložnosti (Murks 2009a).

Tabela 1: Izpolnjevanje Kjotskega protokola leta 2008

Država	Kjotski cilj (%)	Δemisij (2008/izhodiš. leto*; %)
Avstralija	8	31,40
Belorusija	-8	-35,10
Bolgarija	-8	-44,80
Kanada	-6	24,10
Hrvaška	-5	-0,90
Češka	-8	-27,50
Estonija	-8	-50,40
EVROPSKA UNIJA (EU-15)	-8	-6,50
Madžarska	-6	-36,10
Islandija	10	42,90
Japonska	-6	1,00
Latvija	-8	-55,60
Liechtenstein	-8	14,70
Litva	-8	-51,10
Monako	-8	-11,40
Nova Zelandija	0	22,80
Norveška	1	8,00
Poljska	-6	-29,90
Romunija	-8	-46,90
Rusija	0	-32,90
Slovaška	-8	-33,90
Slovenija	-8	5,20
Švica	-8	0,50
Ukrajina	0	-53,90

Opomba: * Izhodiščna leta po Kjotskem protokolu se razlikujejo od države do države (Slovenija si je za CO₂, CH₄ in N₂O izbrala izhodiščno leto 1986, za F-pline pa leto 1995. Izhodiščna leta drugih držav za CO₂, CH₄ in N₂O so 1987, 1988, 1989 in najpogosteje izbrano leto 1990. Za F-pline je najpogosteje izbrano izhodiščno leto 1995, medtem ko si je le Romunija izbrala izhodiščno leto 1989).

Viri podatkov: UNFCCC (2009), UNFCCC (2010) in lastni izračuni (stolpec Δemisij, ki pomeni spremembo – porast ali padec – emisij TGP leta 2008 glede na izhodiščno leto).

Izpolnjevanje zastavljenih ciljev Kjotskega protokola se v posameznih državah zelo razlikuje. Podatki o emisijah TGP za leto 2008 kažejo, da je Slovenija edina država, ki med novimi članicami EU-10 ne izpolnjuje kjotskega cilja, kar pomeni, da domači ukrepi za zmanjšanje emisij TGP niso dovolj učinkoviti (Murks in Perc 2010). V skladu z zadnjimi projekcijami slovenskih povprečnih emisij TGP za obdobje 2008–2012 iz leta 2009 naj bi se te emisije gibale na ravni 21.112 tisoč ton ekvivalenta CO₂. Napovedane slovenske emisije TGP presegajo kjotski cilj za 1.066 tisoč ton ekvivalenta CO₂. Kjotski fleksibilni mehanizmi bodo Sloveniji omogočili izpolnitev kjotskega cilja, kar pomeni, da bo naša država neto kupec kjotskih emisijskih enot (OP TGP-1 2009).

Po podatkih o emisijah TGP za leto 2008 med starimi članicami EU-15 devet članic ne izpolnjuje kjotskega cilja (Avstrija, Belgija, Danska, Irska, Italija, Luksemburg, Nizozemska, Portugalska, Španija), šest članic pa ga izpolnjuje (Finska, Francija, Grčija, Nemčija, Švedska, Velika Britanija; EEA 2010). Prav tako ni izpolnjen skupni kjotski cilj držav članic EU-15, kar je vidno tudi v tabeli 1. Države članice EU-15 so se zavezale v povprečju zmanjšati emisije TGP za 8 % v obdobju 2008–2012 glede na izhodiščno leto 1990. Po podatkih o proizvedenih emisijah TGP v letu 2008 so države članice EU-15 zmanjšale emisije TGP le za 6,5 % glede na leto 1990. Seveda pa Kjotskega protokola niso ratificirale samo države članice EU, ampak tudi druge. V tabeli 1 prikazujemo stanje izpolnjevanja Kjotskega

protokola po podatkih o emisijah TGP za leto 2008. Ali bodo cilji iz Kjotskega protokola izpolnjeni ali ne, bo znano šele po poročanju podatkov o proizvedenih emisijah TGP za leto 2012. Zastavljeni kjotski cilj se namreč nanaša na povprečne emisije TGP v obdobju 2008–2012. Po podatkih o emisijah TGP za leto 2008 med državami, vključenimi v Aneks B Kjotskega protokola, zastavljenega cilja ne izpolnjujejo naslednje države: Avstralija, Kanada, Hrvaška, EU-15, Islandija, Japonska, Liechtenstein, Slovenija in Švica, ki smo jih v tabeli 1 osenčili.

Med državami, ki izpolnjujejo kjotske cilje, so najuspešnejše naslednje: Ukrajina, Latvija, Litva, Estonija, Romunija, Bolgarija, Rusija, Madžarska, Belorusija, Slovaška, Poljska, Češka. Kjotski cilj, ki znaša 0 %, Ukrajini dovoljuje povprečno proizvodnjo emisij TGP v obdobju 2008–2012, ki je enaka proizvodnje iz leta 1990. Ukrajina je leta 2008 glede na leto 1990 beležila nižje emisije TGP za 53,90 %, kar pomeni, da je kjotski cilj presegla za omenjeni odstotek. Češka se je zavezala h kjotskemu cilju v višini –8 %, dejansko pa je leta 2008 beležila za 27,50 % nižje emisije TGP glede na leto 1990. Najmanj uspešna med obravnavanimi državami je bila Islandija, ki ji je celo dovoljeno povečati emisije TGP za 10 % po kjotskem cilju. Vendar je država leta 2008 glede na leto 1990 povečala emisije TGP za 42,90 %. Slovenija je leta 2008 glede na izhodiščno leto 1986 povečala emisije TGP za 5,20 % in odstopa od zastavljenega kjotskega cilja za 13,20 %.

Tabela 2: Cilji za reševanje problemov na področju ublažitve negativnih vplivov podnebnih sprememb za deset največjih gospodarstev

Država	Načrtovani cilji
Brazilijska	povečanje deleža obnovljivih virov energije (biomasa, veter in voda) na 10% do leta 2030 programi za zaščito javnih gozdov
Francija	stabiliziranje emisij TGP na raven 0 % (kjotski cilj, ki je trenutno izpolnjen) zmanjšanje emisij TGP za 25 % do leta 2020 glede na leto 1990 zmanjšanje emisij TGP za 75–80 % do leta 2050 (dolgoročni nacionalni cilj)
Italija	zmanjšanje emisij TGP za 6,5 % (kjotski cilj, ki trenutno ni izpolnjen) povečanje deleža proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije na 20 % (nacionalni cilj)
Indija	znižanje emisijske intenzivnosti TGP za 20–25 % do leta 2020 glede na leto 2005 povečanje uporabe obnovljivih virov energije povečanje učinkovitosti pri proizvodnji in distribuciji električne energije
Japonska	zmanjšanje emisij TGP za 6 % (kjotski cilj, ki trenutno ni izpolnjen) znižanje energetske intenzivnosti bruto domačega proizvoda za 30 % v obdobju od 2003 do 2030
Kitajska	znižanje energetske intenzivnosti bruto domačega proizvoda za 20 % zmanjšanje emisij zračnih onesnaževal za 10 % povečanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije za 15 %
Nemčija	zmanjšanje emisij TGP za 21 % (kjotski cilj, ki je trenutno izpolnjen) zmanjšanje emisij TGP za 40 % do leta 2020 glede na leto 1990, če EU sprejme skupni cilj v višini 30 % zmanjšanja (nacionalni cilj) 20 % proizvedene električne energije iz obnovljivih virov energije do leta 2020
Rusija	stabiliziranje emisij TGP na raven 0 % (kjotski cilj, ki je trenutno izpolnjen)
Velika Britanija	zmanjšanje emisij TGP za 12,5 % (kjotski cilj, ki je trenutno izpolnjen) zmanjšanje emisij CO ₂ za 20 % do leta 2010 glede na leto 1990 (nacionalni cilj) zmanjšanje emisij CO ₂ za 60 % do leta 2050 glede na leto 2000 (nacionalni cilj)
ZDA	znižanje emisijske intenzivnosti TGP za 18 % do leta 2012 glede na leto 2002 (prostovoljni zvezni cilj) zmanjšanja emisij CO ₂ za 80 % do leta 2050 glede na leto 1990 (Kalifornija) zmanjšanje emisij TGP v obdobju od 2009 do 2015 na raven emisij iz leta 2005 in dodatno 10 % zmanjšanje v obdobju 2015 do 2018

Vir podatkov: Stern (2006).

Podnebno-energetski paket, ki ga je Evropska komisija sprejela januarja 2008, velja za eno izmed korenitejših sprememb na področju energetske in okoljske politike EU. Za države članice EU je ta paket pomembnejši vsesplošni gospodarski sporazum po petdesetih letih, kolikor je minilo od prvega evropskega sporazuma (Murks 2009b). Vendar pa omenjeni paket ni pomemben samo za evropske države, ampak za cel svet. Res je, da velja Evropa za gonilno silo na področju varovanja naravnega okolja, predvsem na področju podnebnih sprememb in uvajanja čistih tehnologij, vendar so tudi druge države zelo aktivne pri definiranju prihodnjih ukrepov za izpolnitev podnebnih ciljev (Stern 2006). V tabeli 2 prikazujemo cilje desetih največjih svetovnih gospodarstev, s pomočjo katerih naj bi se ublažili negativni vplivi podnebnih sprememb in omogočil nadaljnji razvoj nizkoogljičnih tehnologij.

Podnebje kot javna dobrina lahko kaj hitro pripelje do zavajajočih ukrepov posameznih držav, ko bodo hotele prispevati manj na račun drugih držav in s takšnim obnašanjem povzročile socialno dilemo. Če socialne dileme ne rešujemo ustrezno, se kaj hitro soočimo s t. i. tragedijo javnih dobrin (Miller idr. 2009). Tragedijo javnih dobrin, ki jo lahko v našem primeru poistovetimo s problemom uspešne in učinkovite stabilizacije globalnega podnebja, je že leta 1968 uvedel Hardin, in sicer kot metaforo za našo nesposobnost vzdrževanja javne dobrine, ki jo lahko vsi brezplačno prekomerno uporabljamo (Hardin 1968). Uporaba javnih dobrin ne ustvarja skupne (kolektivne) koristi, saj so individualni interesi ponavadi drugačni od skupnih. Pri obravnavanju individualnih interesov so ključnega pomena informacije. Rezultati raziskave Milinskega in sodelavcev so pokazali, da so bili bolje informirani udeleženci pripravljeni večkrat sodelovati in prispevati višja denarna sredstva k reševanju globalnega podnebnega problema (Milinski idr. 2006).

Podnebna igra torej vključuje investiranje v javno dobro, vendar ne z namenom ustvarjanja dobička, ampak z namenom izognitvi izgube, ki bi ogrozila obstoj in delovanje prihodnjih generacij (Dreber in Nowak 2008). Globalni podnebni sporazum bo dosežen le, če bo sodelovanje med državami udeleženkami uspešno. Države so igralci, ki bodo v podnebni igri sodelovali ali ne. Kooperacijska teorija pravi, da se lahko sodelovanje začne v zelo majhnih skupinah posameznikov, četudi noben drug na svetu v tistem trenutku ni pripravljen sodelovati (Axelrod 1984).

3 Teorija iger in zapornikova dilema

3.1 Evolucijska teorija iger

Teorija iger je pripomoček, ki se uporablja za analiziranje izzivov skupne akcije za reševanje problemov javnih dobrin. Teorija iger obravnava situacije, ki z igrami načeloma nimajo nobene zveze; npr. pri izkoriščanju naravnih virov je večkrat treba investirati, ne da bi vedeli natančno, kakšen bo učinek investicije – primer javne dobrine. Na splošno delimo socialne igre v dve skupini. Prve so igre na srečo, pri katerih je rezultat odvisen samo

od naključja. Druge so strateške igre, pri katerih je rezultat odvisen tudi od spretnosti in odločitev igralcev. Teorija iger se ukvarja s strateškimi igrami. Najpogostejša je igra z enim igralcem in vsoto nič, ki pa ni zanimiva za teorijo iger, saj ne tvori sporne situacije. V pravi igri morata sodelovati vsaj dva igralca (Jamnik 1973). Teorija iger proučuje odločitve igralcev in njihovih medsebojnih odnosov. Njen cilj je ustvariti družbo, ki bo sestavljena iz skrbnih posameznikov, in hkrati doseči evolucijsko stabilno medsebojno sodelovanje (Rasmusen 2007).

Ena temeljnih predpostavk v ekonomski teoriji iger je, da se ljudje obnašajo razumno in strategije izbirajo na način, ki jim bo prinesel pričakovani maksimalni dobiček. Kadar ljudje med seboj ne sodelujejo in se vsak od igralcev trudi, da bi maksimiral svoj pričakovani dobiček, imamo opravka z nekooperativnimi igrami. John Forbes Nash je v letih 1950–1953 predstavil strateško ravnovesje, ki velja za nekooperativne igre, in predlagal, kako naj bi kooperativne igre reševali prek nekooperativnih (Nash 1950). Nashevo ravnovesje je najboljši kooperativni kriterij izbire kombinacije strategij. V tabeli 3 prikazujemo Nashevo ravnovesje na primeru igre zapornikove dileme, ki jo bomo podrobneje opisali v nadaljevanju.

Tabela 3: Igra zapornikove dileme in Nashevo ravnovesje

		Igralec 2	
		strategija A	strategija B
Igralec 1	strategija A	(3, 3)	(0, 5)
	strategija B	(5, 0)	(1, 1)

Opomba: Najprej so navedeni donosi za igralca 1 v vrstici, nato pa donosi za igralca 2 v stolpcu.

Vir: Osborne (2003).

Nashevo ravnovesje predstavlja kombinacija strategij B, ki jo izbereta oba igralca; rezultat takšne izbire je (1, 1) in pomeni donos 1 za oba igralca. Najprej predpostavimo, da igralec 1 izbere strategijo B, potem je igralec 2 v boljšem položaju, da tudi on izbere strategijo B. Kajti če bi igralec 2 izbral strategijo A, bi njegov donos namesto 1 znašal 0. Podoben rezultat dobimo pri drugi predpostavki: ko igralec 2 izbere strategijo B, ima igralec 1 večjo korist, če izbere strategijo B, saj v tem primeru zasluži 1 (če pa bi izbral strategijo A, bi zaslužil 0). Nobena druga kombinacija strategij A in B ni Nashevo ravnovesje. Vendar moramo zelo paziti, kdaj je Nashevo ravnovesje izpolnjeno in kdaj ne. Takoj ko želi eden od igralcev spremeniti svojo strategijo, Nashevo ravnovesje namreč ne bo več izpolnjeno. Pri kooperativnih igrah se lahko igralca vnaprej dogovorita za skupno ravnanje, medtem ko pri nekooperativnih igrah sporazumevanje ni mogoče. Nekooperativna igra je po Nashu rešljiva, če so v njej vse ravnovesne kombinacije zamenljive. V realnosti je človek omejen na različne načine in hkrati nagnjen k temu, da dela napake (Montet in Serra 2003).

Teorija iger z upoštevanjem njenega evolucijskega elementa je postala dragoceno orodje za proučevanje evolucijskega sodelovanja. Najpomembnejši mehanizmi sodelovanja so neposredna in posredna vzajemnost, prostovoljno sodelovanje in prostorska struktura. Neposredna vzajemnost pomeni, da bom jaz sodelovala s teboj, ker si ti sodeloval z menoj. Posredna vzajemnost pa pomeni, da bom jaz sodeloval s teboj, ker si ti sodeloval z drugimi. Skupno vsem mehanizmom je, da so odvisni od različno razporejenih medsebojnih odnosov. Takšna razporejenost se lahko izvede aktivno z različnimi strateškimi vzorci obnašanja igralcev ali pasivno s pomočjo uvedbe prostorsko-okoljske omejitve (Hauert in Szabo 2005). V modernih družbah postaja vse bolj pomembno sodelovanje med sebičnimi posamezniki. Splošno matematično orodje za proučevanje sodelovanja med sebičnimi posamezniki je evolucijska teorija iger. Pri tem se najpogosteje uporabljata dve igri, igra zapornikove dileme in igra snežnega zameta. V igri snežnega zameta gre za dva voznika, ki ju na poti domov ujame snežni vihar in se znajdetta sredi snežnega zameta (Hauert in Doebeli 2004). Voznika imata dve možnosti: ali gresta oba iz avta in začeta odstranjevati sneg (strategija kooperacije) ali pa ostaneta oba na toplem v avtu (strategija defekcije). Če sta oba voznika pripravljena odstranjevati sneg, ima vsak od njiju določeno korist, da pride domov, in hkrati si delita stroške dela, torej gre za vzajemno kooperacijo. Če oba voznika izbereta strategijo defekcije, sta oba kaznovana. Če en voznik odstranjuje sneg, bosta sicer oba prispela domov, vendar bo imel le defektor celotno korist. V igri snežnega zameta je vrstni red izplačil ravno obraten kot v igri zapornikove dileme. Glavna razlika med obema igrama je v kaznovanju igralcev, ki sočasno uporabijo strategijo defekcije. Podnebno igro bomo v nadaljevanju podrobneje predstavili na osnovi igre zapornikove dileme.

3.2 Igra zapornikove dileme

Igra zapornikove dileme je najbolj znan matematični model proučevanja medčloveških odnosov. V igri zapornikove dileme sta dva igralca. Vsak od njiju ima možnost izbire med strategijo kooperacije (sodelovanja) ali defekcije (nesodelovanja). Posamezni igralec mora vnaprej sprejeti svojo odločitev, ne da bi pri tem vedel, kako se bo odločil drugi igralec (Axelrod 1984). Višina izplačil v igri zapornikove dileme, odvisna od odločitev igralcev, je prikazana v tabeli 4. Če bosta igralca sodelovala, bosta oba nagrajena z R za medsebojno sodelovanje. Če se en igralec odloči za strategijo sodelovanja, drugi pa za strategijo defekcije, bo slednji prejel izplačilo za zavajanje T , prvi pa bo prejel izplačilo naivneža S . Če se oba igralca odločita za strategijo defekcije, bosta oba kaznovana s P za medsebojno defekcijo. V najboljšem primeru lahko igralec dobi T , to je defekcija in hkrati sodelovanje (kooperacija) nasprotnika. V najslabšem primeru igralec dobi S , to je kooperacija in hkrati defekcija nasprotnika. Vrstni red višine donosov od najboljšega do najslabšega v igri zapornikove dileme je $T > R > P > S$. Če igralca igro ponovita večkrat, se doda še pogoj $2R > T + S$ (Miller idr. 2009). Model temelji na t. i. šibki zapornikovi

dilemi, za katero res ne velja $P > S$. Vendar pa so rezultati te verzije enaki rezultatom verzije, če $P > S$ velja, kar je pokazano tudi v prispevku M. A. Nowaka in R. M. Maya (1992). Za poenostavitev simulacij maksimalno zmanjšamo število prostih parametrov, kar je natančneje opisano v naslednjem poglavju.

Matrika izplačil, prikazana v tabeli 4, jasno kaže, da je pod dobro mešanimi pogoji – če je vsak igralec povezan z vsakim igralcem in če so igralci racionalni ter da to tudi vsi vedo – edino stabilno Nashevo ravnovesje defekcija (P_1, P_2).

Tabela 4: Matrika izplačil za igro zapornikove dileme

		Igralec 2	
		kooperacija	defekcija
Igralec 1	kooperacija	$(R_1=1, R_2=1)$	$(S_1=0, T_2=2)$
	defekcija	$(T_1=2, S_2=0)$	$(P_1=0, P_2=0)$

Opombe: T – izplačilo za zavajanje
 R – nagrada za medsebojno sodelovanje
 P – kaznovanje za medsebojno defekcijo
 S – izplačilo naivneža

Viri: Nowak in May (1992) in lastni izračuni (določitev višine posameznih izplačil).

Kadar igro ponovimo večkrat, je najboljša deterministična strategija je t. i. »tit for tat« ali TFT (»kakor ti meni, tako jaz tebi«). Pri strategiji TFT je prvi korak igralca vedno kooperacija, naslednji njegovi koraki pa so odvisni od strategije nasprotnika v predhodnem koraku. Axelrod je v knjigi *The Evolution of Cooperation*, ki je rezultat kompleksnega niza računalniških simulacij, definiral pogoje, ki morajo biti izpolnjeni, če želimo, da bo izbrana kombinacija strategij dolgoročno uspešna – evolucijsko stabilna. Ti pogoji so (Axelrod 1984):

- ne bodi nevoščljiv: drugemu igralcu nima smisla biti nevoščljiv za njegov uspeh, saj je ta prvi pogoj za uspeh prvega igralca;
- ne bodi prvi, ki uporabi strategijo defekcije: bodi prijazen in na začetku vedno uporabi strategijo kooperacije;
- povrni tako kooperacijo kot defekcijo: strategija TFT je v celoti stabilna, kadar je prihodnost pomembnejša od sedanjosti;
- ne bodi preveč pameten: za sodelovanje je treba jasno pokazati svoje poteze.

Podnebna igra lahko pripelje do optimalne rešitve, saj bodo udeleženci (države) slej ali prej ugotovili, da je strategija sodelovanja dolgoročno učinkovitejša in uspešnejša izbira od strategije defekcije. Za države je temeljnega pomena, da določijo pomembnejše elemente, ki spodbujajo dolgoročno sodelovanje in prostorsko vzajemnost (Nowak in Sigmund 1998).

4 Podnebna igra kot zapornikova dilema

Igra zapornikove dileme se ponavadi uporabi za raziskovanje evolucije kooperativnega obnašanja med sebičnimi posamezniki (Perc 2006a). V okoljskih študijah je igra zapornikove dileme velikokrat uporabljena za analiziranje vzorcev obnašanja posameznih držav pri iskanju globalnega cilja. Vse države bi imele korist od čistejšega okolja oz. zmanjšanih emisij TGP, vendar bi po drugi strani veliko držav ostalo neaktivnih pri ukrepih za zagotavljanje trajnostnega razvoja in bi še naprej onesnaževale okolje (Wood 2010).

Emisije TGP bi se lahko do leta 2035 podvojile v primerjavi s proizvedenimi emisijami v predindustrijskem obdobju (1750–1850), če države ne bodo takoj začele ukrepati (Murks in Perc 2010).

Če bi svet začel ukrepati danes, bi stroški prilagajanja v povprečju znašali 1 % letnega svetovnega BDP. Če se svet odloči še počakati, bi se lahko stroški prilaganja povečali tudi do 20-krat. Potencialne podnebne stroške, ki se po trenutnih izračunih gibljejo med 1 % in 20 % letnega svetovnega BDP, lahko s pomočjo matrike izplačil neposredno povežemo s klasično igro zapornikove dileme, ki jo prikazujemo v tabeli 5 (Liebreich 2007). Višine potencialnih podnebnih stroškov, ki so bile uporabljene v matriki izplačil, so bile definirane na osnovi naslednjih glavnih predpostavk:

- *takojšnje ukrepanje držav*: podnebni stroški znašajo 1 % letnega svetovnega BDP;
- *države ne ukrepajo*: analiza Sternovega poročila kaže, da bi lahko podnebni stroški v primeru nenadzorovanih emisij TGP znašali od 5 % do 20 % letnega svetovnega BDP, zato upoštevamo najvišje potencialne stroške v višini 20 %;
- *samo nekatere države ukrepajo*: za države, ki ne ukrepajo, predpostavimo, da nimajo stroškov (0 %), za države, ki ukrepajo, pa predpostavimo stroške v višini 4 % letnega svetovnega BDP; v Sternovem poročilu je namreč navedeno, da bi lahko podnebni stroški dosegli 1 % svetovnega letnega BDP z odstopanjem ± 3 %, kar pomeni maksimalno 4 %.

Stabilizacija emisij TGP na raven, s katero bi se izognili podnebnim škodam, zahteva zmanjšanje emisij za najmanj 25 % do leta 2050 in pomeni stabiliziranje koncentracije CO₂ v ozračju od 500 do 550 ppm, kar upošteva tudi analiza Sternovega poročila.

Tabela 5 jasno kaže, da če država X prevzame strategijo defekcije, država Y pa strategijo kooperacije, bo imela država X nižje podnebne stroške od države Y, zato se raje obe odločita za strategijo defekcije. Če pa se obe državi odločita za strategijo kooperacije – torej je cilj obeh takoj zmanjšati emisije TGP –, bodo skupni podnebni stroški minimalni. Opisano kombinacijo strategij imenujemo socialni optimum. Za izbrani državi je najbolje, da obe izbereta strategijo kooperacije.

V realnosti pa končni rezultat ni odvisen samo od dveh igralcev ali dveh držav, ampak tudi od drugih dejavnikov, npr. asimetričnosti (podnebni stroški niso enaki za vse države), pogajalske in politične moči (sta različni za sodelujoče države) ter dejavnikov, ki so stohastične narave (negotovost in nepredvidljivost informacij).

Stohastičnost se v zadnjem času pojavlja kot potencialni dejavnik zagotavljanja kooperativnega obnašanja v igri zapornikove dileme, ob predpostavki upoštevanja določene ravni intenzivnosti šuma oz. iracionalnih odločitev. Intenzivnost šuma je sorazmerna z varianco Gaussove porazdelitve naključnih vrednosti, ki modelirajo stohastične motnje (Perc in Marhl 2006).

5 Podnebna kooperacija in stohastično okolje

Deterministično okolje je okolje, v katerem imamo zanesljive informacije in na podlagi njih sprejemamo odločitve. Deterministični modeli so enostavni in hitro rešljivi. V nasprotju z determinističnim okoljem je stohastično okolje nepredvidljivo, se zelo hitro spreminja in informacije so nezanesljive. Izbira strategij je v večji meri naključna. Realni procesi, s katerimi se srečujemo v vsakdanjem življenju, kažejo značilnosti stohastičnih procesov.

Podnebna igra, ki jo označimo kot igro javnih dobrin, se obravnava s pomočjo navadnih interakcijskih mrež. Izberemo si enega igralca in enega njegovega sosedo; ob tem predpostavimo, da je sosed z njim povezan. Interakcij-

Tabela 5: Poenostavljena matrika izplačil v obliki podnebnih stroškov z uporabo igre zapornikove dileme (ocenjeni stroški v % BDP)

		Država Y	
		želi zmanjšati emisije (kooperacija)	ne želi zmanjšati emisij (defekcija)
Država X	želi zmanjšati emisije (kooperacija)	država X: 1 % država Y: 1 %	država X: 4 % država Y: 0 %
	ne želi zmanjšati emisij (defekcija)	država X: 0 % država Y: 4 %	država X: 20 % država Y: 20 %

Viri: Liebreich (2007) in lastni izračuni (določitev višine posameznih izplačil).

ske mreže niso nič drugega kot povezave med posameznimi igralci. Na osnovi igre zapornikove dileme smo ugotovili, da je lahko vsak igralec ali kooperator ali defektor z enako verjetnostjo.

Stohastični element, ki je prisoten v realnih procesih, povzroči, da trenutna situacija odraža samo navidezno prednost, medtem ko je realnost popolnoma drugačna, npr. igralec, ki kaže veliko prednost, ima v realnosti veliko manj. Zato moramo vključiti element negotovosti, ki ga bomo označili s K . Razvoj dveh strategij (kooperacije in defekcije) se izvaja na osnovi pravila, po katerem primerjamo pare igralcev, ob tem pa ti igralci ustvarjajo donose, ko igrajo s svojimi sosedi. Strategijo igralca x označimo s s_x , strategijo igralca y pa s s_y . S seštevanjem donosov P_x in P_y bo igralec x poskušal uveljaviti svojo strategijo s_x pri igralcu y z ustrezno verjetnostjo. Verjetnost, da igralec y prevzame strategijo s_x , lahko ponazorimo z enačbo (1; Perc in Szolnoki 2010).

$$W(s_x \rightarrow s_y) = \frac{1}{1 + \exp[(P_y - P_x)/K]} \quad (1)$$

pri čemer pomeni:

$W(s_x \rightarrow s_y)$ – verjetnost prevzema strategije igralca x (s_x) s strani igralca y ;

s_x – strategija igralca x ;

s_y – strategija igralca y ;

P_y – donos igralca y ;

P_x – donos igralca x ;

K – parameter negotovosti.

Predpostavimo, da je strategija igralca x (s_x) kooperacija in strategija igralca y (s_y) defekcija. Verjetnost, da bo igralec y prevzel strategijo igralca x – to pomeni spremembo iz defekcije v kooperacijo –, je odvisna od višine donosov P_y in P_x . Če je $P_y > P_x$, sledi $W(s_x \rightarrow s_y) \rightarrow 0$ in v tem primeru ne bo prevzema strategije s_x . Če pa je $P_x > P_y$, sledi $W(s_x \rightarrow s_y) \rightarrow 1$ in to pomeni prevzem strategije s_x . Prosti parameter K v okviru igre zapornikove dileme določa raven neracionalnih odločitev (Milinski 1987) oz. negotovost, povezano s prevzemom določene strategije (Szolnoki, Perc in Szabó 2009).

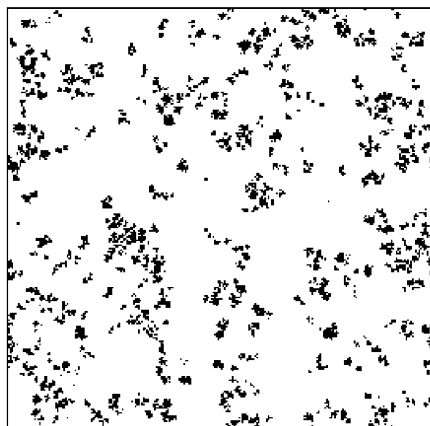
Če je parameter negotovosti majhen, je verjetnost, da bo igralec y prevzel strategijo s_x , manjša, kot če je parameter negotovosti visok. Kadar je torej stopnja negotovosti visoka, se verjetnost prevzema strategije (predpostavimo, da je to strategija igralca z nižjim donosom) spremeni in se lahko kaj hitro soočimo s situacijo, ko bo strategija prevzeta, kar pa zagotovo ne bo veljalo v razmerah z nizko stopnjo negotovosti (Perc 2006a). Za $K > 0$ velja, da so lahko prevzete tudi slabe strategije, in sicer na osnovi negotovih razmer ali napak v sprejetih odločitvah (Perc 2006b).

V tabeli 4 smo definirali vrednost parametrov $R = 1$ in $P = 0$. Nadalje predpostavimo, da je $P = S = 0$. Ostane nam še edini prosti parameter T , za katerega določimo $T = b$, pri čemer velja $b \in [1, 2]$. Parameter K je poleg parametra T ključnega pomena za končni izid igre zapornikove dileme ter s tem tudi za uspešen in učinkovit dolgoročni globalni podnebni dogovor.

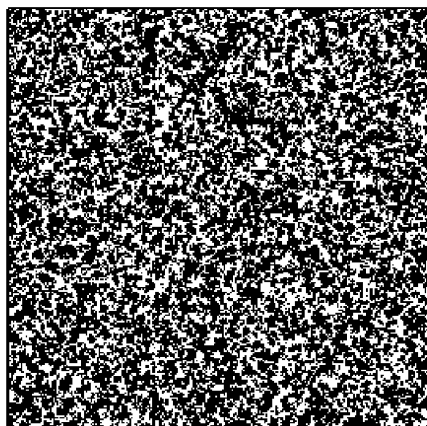
Svet je sestavljen iz držav, ki so kooperatorji in defektorji. To pomeni, da ko delež kooperatorjev narašča, delež defektorjev pada in obratno. Ob različnih vrednostih b se delež sodelujočih in nesodelujočih ustrezno spreminja.

Slika 1: Prostorska distribucija kooperatorjev (črni kvadrati) in defektorjev (beli kvadrati) ob različnih vrednostih K in vrednosti $b=1,04$

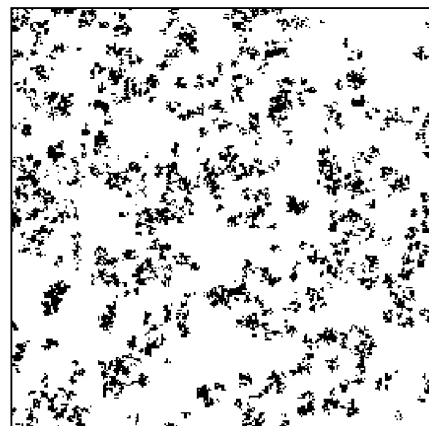
a) $K=0,01$



b) $K=0,35$



c) $K=2$



Viri: Perc (2006b) in lastni izračuni (upoštevane različne vrednosti K in b).

Zavedati se moramo, da z večanjem vrednosti parametra b delež kooperatorjev upada in ob določeni vrednosti b , ki jo imenujemo kritična vrednost b , kooperatorji izumrejo. Če želimo doseči optimalno podnebno kooperacijo, je za nas zelo pomembna prostorska distribucija kooperatorjev in defektorjev ob različnih vrednostih parametrov b in K . Ob nizki fiksni vrednosti K se število kooperatorjev z naraščanjem vrednosti parametra b zmanjšuje.

Nastanek majhnih skupin kooperatorjev (angl. clusters) omogoča, da kooperatorji dejansko preživijo. Slika 1 kaže, da lahko kooperatorji preživijo tudi pri vrednostih $b > 1$, kar je v nasprotju s teorijo, ko naj bi preživel samo defektorji. Slika 1 je razdeljena na tri panele, ki so predstavljeni na prostorski mreži 400×400 in ob upoštevanju vrednosti $b = 1,04$. Za večje vrednosti K je prostorska distribucija strategij kooperacije in defekcije podobna tisti, ki velja za nizke vrednosti K (Perc 2005a, Perc 2005b).

Na sliki 1 je jasno prikazano, da kooperatorji tvorijo majhne skupine in tisti, ki so znotraj teh majhnih skupin, so zaščiteni pred defektorji. Nizka vrednost parametra negotovosti, ki je prikazana na sliki 1a, ponazarja deterministično okolje; visoka vrednost parametra, ki je prikazana na sliki 1c, pa ponazarja stohastično okolje. Srednja vrednost parametra negotovosti pomeni vmesno okolje in ga ponazarja slika 1b. Zato lahko ugotovimo, da je srednje intenzivno stohastično okolje optimalno za evolucijo kooperacije.

Sedaj pa prenesimo omenjene rezultate v podnebno igro. Za uspešen globalni podnebni dogovor je kooperacija (sodelovanje med državami udeleženkami) ključnega pomena. Rezultati na sliki 1 kažejo, da morajo države spodbujati medsebojno sodelovanje in zato je podnebna kooperacija v stohastičnem okolju mogoča. Vendar ne smemo pozabiti dejstva, da tudi ko bo število kooperatorjev preseglo število defektorjev, bodo slednji kljub manjšemu številu znova in znova poskušali prevladati nad kooperatorji. Čeprav so učinki podnebnih sprememb negotovi, bodo nekatere države vedno pripravljene sodelovati (kooperatorji), medtem ko bodo druge države večni defektorji. Negotovost je element, ki lahko zagotovo pripomore k učinkovitemu reševanju podnebnih in drugih okoljskih težav, kot so zmanjševanje energetske revščine, zagotavljanje zadostne količine hrane in pitne vode v državah v razvoju.

6 Sklepne ugotovitve

Glavni namen Kjotskega protokola in novega globalnega podnebnega dogovora je zagotoviti čim manjše negativne vplive na naše okolje. Podnebni problem je problem vseh nas, saj sta podnebje in okolje javni dobrini, ki povzročata socialno dilemo na področju iskanja najugodnejše in najprimernejše rešitve. Če želimo doseči trajnostno globalno gospodarstvo in višjo stopnjo globalne okoljske ozaveščenosti, so skupne aktivnosti nujno potrebne. Socialna dilema pomeni, da bodo nekatere države vedno poskušale prispevati manj na račun tistih držav, ki bodo prispevale več.

Igra zapornikove dileme je primerno orodje za iskanje rešitev na področju podnebnega problema. Kooperatorji morajo vedno poskušati premagati defektorje, do uspeha pa jim lahko pomaga element stohastičnosti oz. negotovosti. Nekaj, kar je v determinističnem okolju predvidljivo, se lahko v stohastičnem okolju obravnava ravno nasprotno. Nepredvidljive motnje lahko izvirajo iz igralcev ali iz okolja. Obe vrsti motenj zagotovo vplivata na skupno stopnjo negotovosti. Ugotovili smo, da ekstremne vrste okolja niso optimalne za uspešno podnebno kooperacijo, izbiro dolgoročno stabilnih strategij omogoča srednje intenzivna stohastičnost. Prisotnost stohastičnosti ali nepredvidljivosti v vsakdanjem življenju ne pomeni pomanjkljivosti, ampak dejansko lahko pripomore k uspešnemu sodelovanju na globalni ravni, ki bo prisotno tudi dolgoročno.

Uporabljeni viri

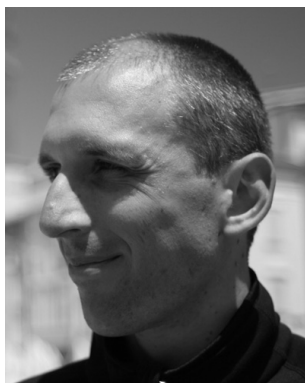
1. Axelrod, Robert (1984). *The Evolution of Cooperation*. United States of America: Basic Books.
2. Dreber, Anna in Nowak Martin A. (2008). Gambling for global goods. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 2261–2262.
3. EEA – European Environment Agency (2010). *Tracking progress towards Kyoto and 2020 targets in Europe*. EEA Report No 7/2010. Dosegljivo: <http://eea.europe.eu>.
4. Hardin, Garrett (1968). The tragedy of the commons. *Science* 162, 1243–1248.
5. Hauert, C. in M. Doebeli (2004). Spatial structure often inhibits the evolution of cooperation in the spatial Snowdrift game. *Nature* 428, 643–646.
6. Hauert, Christoph in György Szabo (2005). Game theory and physics. *Am J. Phys.* 73 (5), 405–414.
7. Jamnik, Rajko (1973). *Teorija iger*. Ljubljana: Državna založba Slovenije.
8. Liebreich, Michael (2007). *How to Save the Planet: Be Nice, Retaliatory, Forgiving & Clear*. New Energy Finance, White Paper. Dosegljivo: <http://bnef.com>.
9. Milinski, Manfred (1987). TIT FOR TAT in sticklebacks and the evolution of cooperation. *Nature* 325, 433–435.
10. Milinski, Manfred in Bettina Rockenbach (2006). The efficient interaction of indirect reciprocity and costly punishment. *Nature* 444, 718–723.
11. Milinski, Manfred, Dirk Semmann, Hans-Jürgen Krambeck in Jochem Marotzke (2006). Stabilizing the Earth's climate is not a losing game: Supporting evidence from public goods experiments. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 3994–3998.
12. Milinski, Manfred in Bettina Rockenbach (2008). Human behaviour: Punisher pays. *Nature* 452, 297–298.
13. Miller, Frederic P., Agnes F. Vandome in John McBrewster (2009). *Collective Action*. Mauritius: VDM Publishing House.

14. Montet, Christian in Daniel Serra (2003). *Game Theory and Economics*. New York: Palgrave Macmillan.
15. Murks, Aleksandra (2002). *Onesnaževalna dovoljenja in prostovoljni pristopi za spodbujanje trajnostnega razvoja: magistrsko delo*. Maribor: Ekonomsko-poslovna fakulteta.
16. Murks, Aleksandra (2009a). Podnebne spremembe so globalni izziv. *Okolje in odpadki*, št. 2, str. 10–11.
17. Murks, Aleksandra (2009b). Prehod na nizkoogljična gospodarstva: prihodnost evropske sheme trgovanja z emisijami. *Naš stik*, str. 46–47.
18. Murks, Aleksandra in Matjaž Perc (2010). Podnebne spremembe in teorija iger: Igra zapornikove dileme. *Gospodarjenje z okoljem* 75, 2–5.
19. Murks, Aleksandra (2010). *Moderni ekonomski pristop ponotranjenja zunanjih negativnih stroškov*. Maribor: Vabljeni predavanja na EPF, Katedra za ekonomsko politiko.
20. Nash, John Forbes (1950). Equilibrium Points in n-Person Games. *Proceedings of the National Academy of Science* 36, 48–49.
21. Nowak, Martin A. in Robert M. May (1992). Evolutionary games and spatial chaos. *Nature* 359, 826–829.
22. Nowak, Martin A. in Karl Sigmund (1998). Evolution of Indirect reciprocity by image scoring. *Nature* 393, 573–577.
23. OP TGP-1 (2009). *Operativni program zmanjševanja emisij toplogrednih plinov do leta 2012*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor. Dosegljivo: <http://www.mop.gov.si>.
24. Osborne, Martin J. (2003). *An introduction to game theory*. Oxford: Oxford University Press.
25. Perc, Matjaž (2005a). Spatial coherence resonance in excitable media. *Phys. Rev. E* 72, 016207.
26. Perc, Matjaž (2005b). Persistency of noise-induced spatial periodicity in excitable media. *Europhys. Lett.* 72, 712–718.
27. Perc, Matjaž (2006a). Chaos promotes cooperation in the spatial prisoner's dilemma game. *Europhys. Lett.* 75, 841–846.
28. Perc, Matjaž (2006b). Coherence resonance in a spatial prisoner's dilemma game. *New Journal of Physics* 8, 22.
29. Perc, Matjaž in Marko Marhl (2006). Evolutionary and dynamical coherence resonances in the pair approximated prisoner's dilemma game. *New Journal of Physics* 8, 142.
30. Perc, Matjaž in Attila Szolnoki (2010). Coevolutionary games – A mini review. *BioSystems* 99, 109–125.
31. Rasmusen, Eric (2007). *Games and Information: An Introduction to Game Theory*. Fourth edition. United Kingdom: Blackwell Publishing.
32. Stern, Nicholas (2006). *Stern review on the economics of climate change*. HM Treasury, UK economics and finance ministry. Dosegljivo: http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm.
33. Szolnoki, Attila, Matjaž Perc in György Szabó (2009). Topology-independent impact of noise on cooperation in spatial public goods games. *Phys. Rev. E* 80, 056109.
34. UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2009). Annual compilation and accounting report for Annex B Parties under the Kyoto Protocol. Dosegljivo: <http://unfccc.int>.
35. UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2010). GHG data and KP data. Dosegljivo: <http://unfccc.int>.
36. Wood, Peter John (2010). Climate Change and Game Theory: a Mathematical Survey. *Environmental Economics Research Hub*, Research Report No. 62. Dosegljivo: <http://ccep.anu.edu.au>.



Mag. **Aleksandra Murks - Bašič** je leta 2002 uspešno končala podiplomski študij z zagovorom magistrskega dela, v katerem je obravnavala sisteme trgovanja z emisijami in prostovoljne pristope v smeri trajnostnega razvoja. Bila je prva, ki je v tistem času analizirala danes dobro znane fleksibilne instrumente. Vpisana je na doktorski študij fizike na Fakulteti za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru. Njeno raziskovalno delo, ki je sprva zajemalo analiziranje globalnih emisijskih trgov, sedaj vključuje tudi raziskave na področju evolucijske teorije iger, socialnih dilem, kompleksnih mrež in stohastičnih procesov.

Aleksandra Murks-Bašič completed her master's degree on emissions trading systems and voluntary approaches towards sustainable development in 2002 and was at that time the first researcher in Slovenia to write about what today is recognised as very flexible instruments. She is currently a PhD student at the Department of Physics at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Maribor. She has mainly been involved in the analysis of the global emissions markets, but recently extended her interests into evolutionary games, social dilemmas, complex networks, and stochastic processes.



Dr. **Matjaž Perc** je doktoriral iz fizike leta 2006 s študijem vpliva stohastičnih motenj na dinamiko prostorsko razširjenih ekscitabilnih medijev. Leta 2009 je prejel Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju teoretične fizike. Trenutno je vodja Inštituta za fiziko na Fakulteti za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru. Ukvarja se predvsem s fiziko sociološki sistemov, pa tudi s študijem stohastičnih procesov, nelinearne dinamike, kaosa ter cikličnih interakcij. Več informacij je dostopnih na <http://www.matjazperc.com/>.

Matjaž Perc obtained his PhD in physics in 2006 by studying the impact of stochasticity on the dynamics of excitable media. In 2009 he received the Zois recognition award for outstanding achievements in theoretical physics. Currently, he is the head of the Institute of Physics at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Maribor. His research focuses on physics of social systems as well as stochastic processes, nonlinear dynamics, chaos, and cyclical interactions. More information is available via <http://www.matjazperc.com/>.