

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

ZAKLJUČNA NALOGA
ETIŠKE DILEME V VAROVANJU NARAVE S
POMOČJO PRISTOPOV SINTEZNE BIOLOGIJE

JURE PEROŠ

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Zaključna naloga

**Etiške dileme v varovanju narave s pomočjo pristopov sintezne
biologije**

(Ethical dilemmas in nature conservation with the help of synthetic biology
approaches)

Ime in priimek: Jure Peroš

Študijski program: Biodiverziteteta

Mentor: doc. dr. Tomaž Grušovnik

Koper, avgust 2017

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Jure PEROŠ

Naslov zaključne naloge:

Etiške dileme v varovanju narave s pomočjo pristopov sintezne biologije

Kraj: Koper

Leto: 2017

Število listov: 29

Število referenc: 49

Mentor: doc. dr. Tomaž Grušovnik

Ključne besede: CRISPR, etične paradigme, sintezna biologija, utilitarizem, deontologija, etika vrlin, okoljska etika, moralni trpnik, moralni akter

Izveček: Razvoj novejših metod v sintezni biologiji (še posebej CRISPR) je idejo uporabe bioloških sinteznih metod v naravnih populacijah in ekosistemih spremenila od hipotetične in prihodnje v realno in aktualno. Na začetku naloge je opisano delovanje, klasifikacija in razvoj sinteznih pristopov s poudarkom na CRISPR/Cas9 sistemu. Da bi si zastavili pravilna etična vprašanja, katera so nujna za razumno in posledično varno uporabo sinteznih metod se je potrebno obrniti na obstoječo filozofsko etično teorijo, saj objektivna znanstvena teorije ne more presojati o moralni sprejemljivosti določenih dejanj. Dominantne etične paradigme (deontologija, utilitarizem, etika vrlin in okoljska etika) so predstavljene in na kratko razložene. Skozi te paradigme so tudi obravnavani posamezni etični problemi uporabe sintzne biologije v naravovarstvu.

Predstavljeno je teoretično, filozofsko in znanstveno, odzadje znotraj katerega se nahaja večina predvidenih konkretnih problemov. V zaključku je skupaj z izpostavljenimi prihodnjimi nevarnostmi sintezne biologije predstavljen tudi »algoritem« za določanje spornosti določenih naravovarstvenih posegov z uporabo glavnih vprašanj posameznih etičnih paradigem.

Key words documentation

Name and SURNAME: Jure PEROŠ

Title of the final project paper:

Ethical dilemmas in nature conservation with synthetic biology approaches

Place: Koper

Year: 2017

Number of pages: 29

Number of references: 49

Mentor: Assist. Prof. Tomaž Grušovnik, PhD

Keywords: CRISPR, ethical paradigms, synthetic biology, utilitarianism, deontology, virtue ethics, environmental ethics, moral patient, moral agent

Abstract: The development of new methods in synthetic biology (especially CRISPR), changed the idea of using synthetic biology methods in natural populations and ecosystems from a hypothetical and still to come, to a real and actual one. The beginning of the assignment describes the function, classification and development of synthetic approaches with an emphasis on the CRISPR/Cas9 system. To pose the correct ethical questions which are paramount for a reasonable and consequently safe use of synthetic methods we have to turn to the existing philosophical ethical theory, as objective scientific theory can not judge the moral acceptability of particular acts. Dominant ethical paradigms (deontology, utilitarianism, virtue ethics and environmental ethics) are presented and briefly explained. Particular ethical problems of the use of synthetic biology in nature conservation are viewed through the aforementioned paradigms. The philosophical and scientific theoretical background within which most of the expected concrete problems are situated is presented. The conclusion includes some extrapolated future dangers of synthetic biology together with an »algorithm« for determining the controversiality of specific nature conservation interventions with the use of questions from the main ethical paradigms.

ZAHVALA

Zahvaljujem se predvsem staršem za katere ne obstaja dovolj besed s katerimi bi lahko napisal pravično zahvalo.

Zahvaljujem se tudi Manji Tišler, za neizmeren trud pri vsakodnevnem prenašanju mojega teoretiziranja v prazno, dodatno pa se še zahvaljujem mentorju Tomažu Grušovniku za potrpežljivost pri prebijanju skozi moj tekst, kateri je na čase bil nenamerna žalitev tako njemu kot samemu Slovenskemu jeziku.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	GENETSKE METODE IN NJIHOV POMEN	2
2.1	ZFN.....	3
2.2	TALEN	3
2.3	CRISPR/cas	4
2.3.1	CRISPR-Cas9.....	5
2.3.2	Genska gonila in inhibicija CRISPR/Cas9 sistema.....	6
3	POGLED NA PROBLEMATIKO SKOZI DOMINANTNE ETIČNE PARADIGME	7
3.1	Etika vrlin	7
3.2	Deontologija.....	9
3.2.1	Teorija božje zapovedi ali »vesoljnega redu«	9
3.2.2	Kant	10
3.2.3	Kontraktualizem	12
3.2.4	Utilitarizem.....	13
3.3	Okoljska etika	14
3.3.1	Aldo Leopold.....	15
3.3.2	Arne Naess.....	15
4	ETIČNA VPRAŠANJA SINTEZNE BIOLOGIJE	17
4.1	Razširitev skupine moralnih trpnikov	17
4.2	Teoretičen pogled na uporabo sintezne biologije	18
4.3	Spornost sintezne biologije v predvidenih praktičnih primerih.....	20
4.3.1	<i>A priori</i> nesporni posegi	20
4.3.2	<i>A priori</i> sporni posegi.....	21
5	ZAKLJUČEK	23
6	LITERATURA IN VIRI.....	25

1 UVOD

Prirejanje narave po meri človeka ima zelo dolgo zgodovino, saj je spreminjanje živali in rastlin z umetno selekcijo že pred več kot 10.000 leti omogočilo obstoj civilizacij in s tem spremenila tok zgodovine (Mazoyer in Roudart 2006).

Kljub močnemu prizadevanju človeštva po spreminjanju narave je bilo neposredno poseganje v samo genetsko strukturo naravnih populacij omejeno. Z nezaustavljivo hitrim razvojem sintezne biologije pa nam grozi prav to, da genetske manipulacije naredijo velik neposredni učinek na vseh stopnjah organiziranosti narave, obenem pa nam predstavljajo izjemno orodje pri naravovarstvenih prizadevanjih.

Trenutno smo v obdobju, ko je stopnja izumiranja organizmov na Zemlji veliko večja kot bi bila brez prisotnosti človeka (Primm in Raven 2000) zaradi globalne degradacije habitatov, globalnih klimatskih sprememb, onesnaževanja, netrajnostnega izrabljanja naravnih virov in vse pogostejših groženj invazivnih vrst. Zaradi teh razlogov in dodatno zaradi same praktičnosti in lažje dostopnosti novih tehnologij genskih manipulacij postaja iniciativa za poseganje po radikalnih metodah sintezne biologije v naravovarstvu vse močnejša (Piaggio in sod. 2017). Uporaba sinteznih metod je zelo realna in izvedljiva (Corlett 2016), ampak s seboj prinese tudi razna etična, politična, sociološka, ekonomska vprašanja in tveganja (Hagen in sod. 2016).

2 GENETSKE METODE IN NJIHOV POMEN

V ospredju etičnega diskurza o uporabi sintezne biologije bo poseben pristop pri genetskih manipulacijah, pri katerem igrajo osrednjo vlogo programabilne nukleaze. Te metode, ne pa katere druge, bodo izpostavljene zato, ker omogočajo najširšo aplikacijo in imajo izjemno močan efekt na tarčne organizme, zato praktično predstavljajo epitom za razvijanje etične teorije sintezne biologije.

Uporabnost metod s programabilnimi nukleazami omogoča sposobnost celic, da popravijo dvoverižni rez (DR) v lastni DNA vijačnici (Doudna in Sontheimer 2014; Chandrasegaran in Carroll 2015), saj je značilnost programabilnih nukleaz ta, da naredijo DR v bližini specifičnega nukleotidnega zaporedja (katerega določi znanstvenik s programiranjem nukleaze).

Za nekoga ki izvaja sintezno biologijo, programabilna metoda genetske modifikacije pomeni: Na kakšen način in s kakšno lahkoto lahko priredi molekularno orodje (sistem kateri bo naredil efekt), da bo delovalo po željah programerja?

Za manipulacije genetskega materiala se praviloma uporabljajo nukleaze. Do zdaj so najbolj uporabne nukleaze bile nukleaze cinkovih prstov (*zink finger nuclease* ang.), aktivator-like transkripcijske efektornukleaze (*transcription activator-like effectornucleases* ang.) ter najobetavnejše in najnovejše CRISPR asociirane Cas9 nukleaze, kjer CRISPR stoji za *clustered regulaly interspaced palindromic repeats* ang., Cas9 pa označuje proteine povezane s CRISPR kompleksom (Cas – *CRISPR associated* ang., število 9 pa označuje tip proteina). Vsi trije tipi orodja imajo dve glavni funkciji. Prva je, da prepoznajo željeno nukleotidno zaporedje na tarčni DNA verigi, druga pa, da na temu prepoznanemu specifičnem mestu naredijo DR.

DR predstavlja za celico veliko nevarnost izgube genetskega materiala in nevarnost spremembe v rakave celice, zato ima celica razvit sistem za popravilo (Ochiai in Yakamoto 2015).

Razlog zakaj je DR tako pomemben je nabor načinov, s katerimi celica popravi ta rez, namreč s tem, ko celica popravi rez, vedno vsaj minimalno spremeni zaporedje genetskega koda na mestu reza.

Načini popravila so pa večinoma zelo natančno predvidljivi in tu se kaže moč tega pristopa. Način popravila se deli na dve kategoriji:

- *Nonhomologous end-joining* (NHEJ) ang.

To je način popravila dvovertičnega reza celične DNA, ki je »inherentno sklon napakam« (Ochiai in Yakamoto 2015), kar pomeni, da bo celica v procesu popravila na mestu reza vedno spremenila DNA zaporedje za nekaj nukleotidov in oba konca potem združila. To dovoljuje programabilnim nukleazam induciranje majhnih delecij in insercij na željenem mestu (Ochiai in Yakamoto 2015).

- *Homology directed repair* (HDR) ang.

HDR je za razliko od NHEJ zelo natančen pod pogojem, da ima priskrbljeno matrično DNA, katero celica vstavi vmes med dve razrezani verigi (Choulika in sod. 1995). V matrično DNA pa lahko vstavimo željene gene (Ochiai in Yakamoto 2015).

Da bi lažje dojeli posebnost CRISPR metode je pa uporabno, če pogledamo druge starejše metode in s tem naredimo referenčno točko, ki nam omogoči bolj obsežno dojemanje novosti in razsežnosti CRISPRja.

2.1 ZFN

Ena od pionirjev programabilne nukleaze je metoda z uporabo nukleaze cinkovih prstov. Če je nekdo hotel pred to metodo dobiti nove restrikcijske encime, je moral uporabiti najdene naravne encime izolirane od drugih organizmov. Če mu pa nobeden od znanih encimov ni bil prav, je moral počakati na nove najdbe ali sam iskati željeni encim. Seveda iskanje potrebnih novih encimov v naravi je izjemno dolgotrajno in potratno delo, še dodaten problem pa je, da večina naravnih encimov ima zelo kratko prepoznavno mesto, kar pomeni, da niso dovolj specifični za želje znanstvenikov, ki izvajajo genske manipulacije (Kim in sod. 1996; Chandrasegaran in Carroll 2015)

V nukleazi cinkovih prstov opravljajo funkcijo prepoznavanja zaporedja različni proteini cinkovih prstov, funkcijo dvovijačnega reza DNA pa Fok I nukleaza. Elementa s tema dvema funkcijama sta umetno združena in skupaj tvorita endonukleazo cinkovih prstov. Ker se cinkovi peptidi vežejo kot neodvisni moduli jih lahko povezujemo skupaj v po želji oblikovane peptide, ki se vežejo na vnaprej določeno DNA zaporedje (Kim in sod. 1996).

2.2 TALEN

TAL efektorji imajo pomembno vlogo pri patogenosti večine fitopatogenih bakterij iz taksona *Xanthomonas*. Bakterija uporablja TAL efektorje na način, da jih vstavi v celice gostitelja, kjer se potem vežejo na DNA celic in manipulirajo s transkripcijo, kar proizvede razne učinke koristne za bakterijo (Boch in Bonas 2010).

TALE struktura je sestavljena iz ponavljajoče domene katere struktura določi specifičnost vezave mesta na DNA zaporedju, pri čemer je vsaka ponovljena enota specifična za posamezni bazni par v DNA (Miller in sod. 2011).

Prav ta ponavljajoča domena pa omogoča umetno spreminjanje posameznih segmentov in s tem določanja specifičnosti za željeno DNA zaporedje (Boch in sod. 2009).

Pri nukleazah cinkovih prstov je ena od največjih težav programiranje specifičnosti same nukleaze. Z drugimi besedami, problem je sestaviti mesto, ki bo prepoznalo željeno DNA zaporedje. Da bi olajšali ta problem, so vzeli enaka rezalna FokI proteina kot pri ZFNjih, ampak namesto proteinov cinkovih prstov (prepoznavna mesta) so uporabili TALE proteine. Iz tega je nastal nukleazni encim, ki se imenuje *transcription activator-like effector nuclease* (TALEN) ang. (Chandrasegaran in Carroll 2015).

2.3 CRISPR/cas

Gene za Cas proteine odkrite v arhejah in bakterijah so sprva povezovali s funkcijo popravila organizmom lastne DNA, saj so bili originalno odkriti pri organizmih, ki živijo v vrelih in so zato bolj izpostavljeni uničevanju DNA (Makarova in sod. 2002). Po odkritju dejstva, da se genetski zapis teh proteinov vedno pojavlja v bližini območja genetskega zapisa za CRISPR (Jansen in sod. 2001) in da se v teh zapisih nahaja prepoznavno mesto za nekatere vrste virusov (Mojica in sod. 2004), pa je bilo jasno, da CRISPR-Cas sistem služi imunskemu odzivu bakterij proti virusom, kot je bilo predvideno od Makarova in sod. (2006) ter potrjeno od Barangou in sod. (2007).

V naravnih organizmih so CRISPR-Cas sistemi sestavljeni iz dveh glavnih komponent, vsaka s svojo funkcijo:

- CRISPR RNA za prepoznavanje specifičnega zaporedja v DNA (Marraffini in Sontheimer 2008) in
- Eden ali več CRISPR asociiranih (Cas) proteinov s funkcijo manipulacije tarčne DNA, kar potrjuje njihova klasifikacija pod helikaze, nukleaze, polimeraze in druge proteine, kateri se vežejo na DNA (Makarova in sod. 2006).

2.3.1 CRISPR-Cas9

Področja v bakterijski in arhejski DNA, ki kodirajo CRISPR-Cas sisteme, so izjemno variabilna (Makarova in sod. 2006), kar je pričakovano glede na to, da predstavljajo adaptivni imunski sistem za te mikroorganizme (Barangou in sod. 2007). To se odraža v zelo kompleksni in pestri evolucijski zgodovini ter oteženi klasifikaciji posameznih sistemov, zaradi njihovih raznolikih funkcij (Makarova in sod. 2015).

V splošnem so CRISPR-Cas sistemi klasificirani hierarhično. Na vrhu so trije tipi sistemov (tip I - III) (Makarova 2011) in od teh treh se bomo osredotočili na tip II, saj se pod to klasifikacijo nahaja CRISPR-Cas9 sistem.

Skupina avtorjev članka Jinek in sod. (2012) je skozi raziskovalno delo prišla do zaključkov, da je CRISPR-Cas9 sistem eden od enostavnejše delujočih CRISPR sistemov, saj je sestavljen le iz CRISPR RNA (ta usmeri nukleazo na pravilno DNA zaporedje), ene Cas9 nukleaze (ta naredi tarčni DR v DNA) in tracrCRISPR (nekodirajoča RNA, katere ena od funkcij je, da sproži rezilno učinkovanje CRISPR-cas9 sistema na specifičnem tujem DNA zaporedju). Obenem pa je prej omenjeni skupini znanstvenikov uspelo ustvariti CRISPR-Cas9 sistem z enoverižno himerično RNA, kar pomeni, da so vzeli obe potrebni RNA verigi (crRNA in tracrRNA) ter ju združili v enotno RNA verigo. S tem so močno poenostavili celotni CRISPR-Cas sistem, ki je od tega trenutka naprej lahko deloval z le dvema glavnima komponentama (Cas9 protein in himerično CRISPR RNA).

Vse te strukturne in funkcionalne značilnosti CRISPR-Cas9 sistema pa kulminirajo v sistemu, ki je zelo lahko programabilen (zaradi enostavne RNA strukture), kar omogoča prilagajanje novim tarčam. Sistem je tudi zelo zanesljiv in predvidljiv zaradi odvisnosti od enega samega proteina (Cas9) in možnost večtarčnega programiranja enega sistema, zaradi strukture večih usmerjevalnih delov RNA v enem samem CRISPR sistemu (Chandrasegaran in Carroll 2015).

Spreminjanje prepoznavnega mesta, katero temelji na RNA, pa je tudi veliko enostavnejše in ceneje, kot pa spreminjanje prepoznavnih enot, ki temeljijo na proteinih, kot npr. pri zgoraj omenjenih ZFNjih in TAL efektorjih (Chandrasegaran in Carroll 2015). Že razlika v ceni ene enote je zelo nazorna, saj ena specifična enota CRISPR-Cas9 sistema stane približno petinšestdeset evrov, če se jo naroči v obliki plazmida, preko neprofitne organizacije ADD GEN. To je za povprečen laboratorij zanemarljiv strošek v primerjavi z npr. ZFNji, kateri stanejo okoli petindvajset tisoč ameriških dolarjev in zahtevajo mesece planiranja vnaprej (Doudna in Sternberg 2017).

2.3.2 Genska gonila in inhibicija CRISPR/Cas9 sistema

Genska gonila predstavljajo pogoj za manipulacijo z naravnimi populacijami, saj zagotavljajo, da se geni, katere hočemo širiti, fiksirajo v naravni populaciji. Champers in sod. (2016) opišejo funkcijo genskih gonil tako:

»V spolni reprodukciji se vsak od dveh alelov katerega koli gena prenesejo na 50% potomcev. Genska gonila so genetski elementi, ki obidejo ta pravila in s tem v veliki meri povečajo verjetnost, da bodo potomci podedovali alel, ki vsebuje element genskega gonila, namesto naravnega alela. Zaradi tega se lahko gensko gonilo širi skozi populacijo tudi, če povzroča ceno v fitnesu organizma, zato ker bodo posamezniki z elementom genskega gonila proizvajali več potomcev z alelom genskega gonila, kot pa tisti brez.«

Dodatno še opisujejo, da genski pogoni zavzemajo približno dve glavni obliki delovanja:

- Kopiranje samega sebe na homologni kromosom (homing ang.) ali
- Zmanjšanje sposobnosti preživetja naravnega alela in s tem dajanje prednosti v fitnesu alela z genskim pogonom.

S temi pogoni lahko v naravne populacije vnašajo »modifikacijske gene« koristne za populacije (npr. gene za odpornost proti določenim boleznim) ali pa supresijska gonila, katerih namen je zmanjševanje tarčnih populacij (Champers in sod. 2016).

Takšna evolucijska moč nad populacijami pa je eden od razlogov, zakaj so se začele razvijati tehnike inhibicije, ki bi odstranile ali izničile efekt npr. genskih gonil, če bi to bilo potrebno.

Metode inhibicije CRISPR/Cas9 sistemov trenutno temeljijo predvsem na naravnih najdbah inhibitornih proteinov v virusih, ki so produkt koevolucijske prilagoditve na imunološke funkcije CRISPR/Cas9 sistemov proti tem virusom (Rauch in sod. 2017).

3 POGLED NA PROBLEMATIKO SKOZI DOMINANTNE ETIČNE PARADIGME

Ideja posameznega naravovarstvenika, da je varovanje narave dobro in zaželeno, je etično načelo in zaradi tega je izvajanje naravovarstvenih posegov velikokrat tudi utemeljeno v etiki. Prisvojitve sintezne biologije kot novega orodja naravovarstva je trenutno neizbežna (glej 2. poglavje), kar je problem, saj se npr. CRISPR metode zelo težko nadzoruje s trenutno zakonodajo, ker ne spadajo pod definicije GSO organizmov (Waltz 2016). To pa pomeni, da se znanstveniki velikokrat znajdejo brez enostavnega moralnega kompasa v obliki zakonov in regulativ, ampak, etična teorija potrebna za kritično razmišljanje o uporabi znanosti obstaja vsaj od časa klasične Grčije in se še danes razvija in ta teorija je zato tudi temeljna za etično obravnavo sintezne biologije.

Trenutno obstajajo različni pristopi k etičnim problemom, a najbolj v ospredju so ponavadi tri vrste etičnih paradigem. To so: etika vrlin, utilitarizem in deontologija. Posamezne paradigme so razložene in interpretirane skozi njihove glavne predstavnike ali pa tiste predstavnike kateri so pomembni za temo te zaključne naloge. Na koncu poglavja pa so razložene še osnove okoljske etike.

3.1 Etika vrlin

Etika vrlin načeloma zagovarja, da ravnati etično pomeni ravnati v skladu z vrednotami, katere so utemeljene s pojmom dobrega, kjer je vrlina definirana kot neka stabilna značajska lastnost. Torej vrline, ki veljajo kot dobre, so zaželeno in če ravnamo v skladu z njimi, ravnamo moralno. Torej moralno vprašanje v tem primeru bi bilo: ali je naše dejanje v skladu z dobrimi vrlinami?

Skupaj z utemeljitvijo v pojmu dobrega pa teorija vrednot vključuje v svojo razlago: kaj vrednota je, potem seznam vrednot in še navedbo kaj te vrednote sestavlja. Ker pa etika vrednot načeloma eksplicitno navaja, da se vrednote lahko razlikujejo od človeka do človeka in od kulture do kulture, velikokrat v posamezni etični teoriji navede za koga veljajo te razlike, če obstajajo (Rachels in Rachels 2012). Takšno formo teorije vrlin je prvi oblikoval Aristotel, katerega delo *Nikomahova etika* je ena od prvih knjig, ki vključuje sistematsko dodelano etično teorijo. V knjigi razvije in opiše svoje kategorije vrlin, katere so za njega vedno neka mediana med dvema skrajnima pozicijama. Npr. pogum je mediana med strahopetnostjo na eni skrajnosti in nepremišljenostjo na drugi (Aristoteles 2002).

Ena od značilnosti etike vrlin je tudi ta, da upošteva vrline kot nekaj spreminjajočega, zato nikoli ne »počiva«, ker je v neskončnem hermenevtičnem procesu preizpraševnja tako

vsebine kategorij (npr. kaj pomeni biti zvest, pogumen, pravičen...) kot medkategoričnih odnosov samih (zaradi neizbežnih konfliktov med kategorijami), ker so vrline po definiciji drugačne glede na različne kulture in posameznike ter spremenljivosti obojega skozi čas.

Ta ideja, da je naše dožemanje etike v veliki meri oblikovano glede na našo vpetost v konkretne socialne strukture in edinstvenosti posameznih subjektov, pa je dovolilo že Aristotelesu zanimiv vpogled v samo ozadje etičnih problemov in njegova pozicija, kar se tiče najvišjega dobrega (in posledično etičnega) je ključna za vse naše specifične etične probleme povezane z (bio)tehnologijo:

»Dejali bi, da je to (najvišje dobro) področje tiste znanosti ki je najvplivnejša in najbolj vodilna; takšna pa se nam zdi politična znanost. Le-ta namreč določa, kakšne oblike znanosti naj gojimo v neki družbi, katerih spretnosti se naj uče državljani in v kakšnem obsegu.« (Aristoteles 2002)

Danes je kompleksno določiti tako jasne povezave med politiko in etiko, dodatno pa je res, da ima politika drugačen pomen, ampak v našem primeru je za etično uporabo sintezne biologije povezava neizbežna. Razlika je le v temu, da so v času Aristotelesa mestne države določale zakone o znanosti in njeni uporabi, v našem času pa so pogoji za uporabo sintezne biologije določeni z nacionalnimi zakoni in mednarodnimi akti¹. Torej etična uporaba sintezne biologije ne pomeni samo sledenje obstoječim zakonom, saj namen je, da jih spremenimo in prilagodimo nevarnostim, ki pretijo zaradi izjemno hitro razvijajočega področja genetike.

Primer uporabe etike vrlin pri sintezni biologiji pa bi bil naslednji: glede na to, da smo, uničili naravo, do take mere kot smo jo, bi bilo pravično uporabiti sintezno biologijo za reševanje teh problemov. V tem primeru se nanašamo na vrlino pravice ampak z lahkoto si lahko predstavlja problem, ko bi neka naša druga vrlina lahko prišla navzkriž z prejšnjo. Npr. lahko smo zvesti svoji kulturi in posledično nekim običajem, ki grejo s tem z roko v roki, ampak velikokrat so različni kulturni običaji lahko škodljivi za naravo. Če je to res, potem pridemo do kontradikcije med vrlino zvestobe do kulture na eni strani in pravičnosti ohranjanja narave na drugi.

¹ Npr. Na nivoju zakonodaje EU glede genetsko spremenjenih organizmov(GSO; GMO ang.) obstajajo: Direktiva 2001/18/EC o namernih izpustitvah GSOjev v okolje, Regulativa (EC) 1829/2003 za genetsko modificirano hrano in krmo, Direktiva 2015/412 spreminja prvo navedeno direktivo glede možnosti članic EU za omejitve in prepoved vzgajanja GSOjev na njihovem teritoriju, Regulativa 1830/2003 glede omogočanja sledenja in označevanja produktov hrane in krme produciranih z GSOji in direktiva 2009/41/EC o omejeni uporabi genetsko modificiranih mikro-organizmov. K temu potem še lahko dodamo lokalne zakone vsake posamezne države.

3.2 Deontologija

V deontološkem pristopu vedno obstajajo absolutne moralne zapovedi, katerim moramo brezpogojno slediti. Skozi zgodovino je bila zelo povezana s teologijo ali določenimi vesoljnimi redovi, saj npr. vse Božje zapovedi predstavljajo deontološki pristop. Obstajata pa dve deontološki paradigmi kateri nista utemeljeni teološko ali z vesoljnim redom, to sta Kantov kategorični imperativ, kateri je utemeljen v razumu človeka in kontraktualizem, kateri je utemeljen na sledenju dogovorjenih pravil in zakonov neke skupnosti.

3.2.1 Teorija božje zapovedi ali »vesoljnega redu«

Ena od najstarejših oblik deontološke paradigme predstavljajo božji zakoni ali zakoni vesoljnega redu kateri se velikokrat neposredno ukvarjajo z odnosom človeka do narave. To poglavje je predstavljeno s primerom Krščanstva zaradi boljšega poznavanja tematike in zaradi prevelike obsežnosti tematike katera bi bila enostavno preveč, če bi hoteli enakomerno predstaviti vse povezave večjih svetovnih verstev in kultur do narave.

Dober in velikokrat citiran primer povezave Krščanskega dojetja narave in naravoslovja najdemo takoj na začetku svetega pisma stare zaveze v knjigi Geneza:

»Bog je rekel: »Naredimo človeka po svoji podobi, kot svojo podobnost! Gospoduje naj ribam morja in pticam neba, živini in vsej zemlji ter vsej lazni, ki se plazi po zemlji« (1Mz 1, 15-19).

Takoj v naslednji vrstici Bog dodatno potrdi prej napisano in to zapove Adamu in Evi:

»Bodita rodovitna in množita se, napolnita zemljo in si jo podvrzita; gospodujta ribam v morju in pticam na nebu ter vsem živalim, ki se gibljejo po zemlji« (1.Mz 1, 21-24).

Ta primera nam zelo nazorno pokažeta enega od glavnih problemov večine Božjih zapovedi in paradigem vesoljnih redu saj ju lahko interpretiramo na zelo različne načine. Npr. lahko rečemo, da nam Bog daje oblast nad vsemi organizmi, da jih izkoriščamo kolikor hočemo brez etičnih zadržkov ali pa lahko interpretiramo vse skupaj kot, da nam Bog daje naravo v našo skrb, da jo negujemo in na njo pazimo.

Medtem ko obstajajo ti problemi pa moramo upoštevati, da je ta paradigma ena od najpogostejših svetovnih nazorov in obenem najbolj radikalnih zato pa nikakor ne smemo podcenjevati vere za doseganje velikih sprememb, tako slabih kot dobrih.

Npr. če vzamemo resno drugo interpretacijo katera nam govori, da je skrb za varstvo narave utemeljena v sami Božji volji izpade naravovarstvenik kot instrument Božje volje

in v kolikor sam princip sintezne biologije ne krši Božjih zakonov nas pri uporabi teh metod ne zaustavlja noben drug moralni zadržek.

3.2.2 Kant

Pri Kantu se ta brezpogojni zakon imenuje kategorični imperativ, katerega lastnost je utemeljenost morale v čistem razumu. To po Kantu pomeni, da bo dejanje razumnega bitja, v kolikor hoče narediti moralno dejanje, zavzelo formo kategoričnega imperativa ne glede na vsebino dejanja. Po Kantu torej ne obstaja več moralnih zakonov glede na različne kulture ali različne ljudi (empirična antropološka dejstva za Kanta) kot pri etiki vrlin, ampak bo vsako praktično (moralno) delovanje samo partikularna manifestacija univerzalnega a priori zakona.

»Torej ni le tako, da se med vsemi praktičnimi spoznanji moralni zakoni skupaj s svojimi načeli po bistvu razlikujejo od vseh drugih, v katerih je kaj empiričnega, marveč sloni vsa moralna filozofija v celoti na svojem čistem delu, ko pa je aplicirana na človeka, si prav nič ne izposoja od vednosti o njem (od antropologije), ampak mu kot umnemu bitju predpisuje zakone a priori.« (Kant 2005).

Kant je potegnil paralelo s fizikalnimi dosežki njegovega časa, ki splošno rečeno zapovedujejo, da se bo narava ne glede na neskončne različne pojave, obnašala v skladu s formalnimi (npr. Newtonovimi) zakoni.

»Vsaka stvar v naravi deluje po zakonih. Samo umno bitje ima zmožnost, da deluje glede na predstavo zakonov, se pravi po načelih, ima torej voljo. Za to, da bi iz zakonov izpeljali dejanja, je potreben um, tako da volja ni nič drugega kot praktični um.« (Kant 2005)

Moralni zakon ima po Kantu obliko kategoričnega imperativa. Kjer so impetivi »formule, ki izražajo razmerje objektivnih zakonov hotenja nasploh«, kategorični imperativ pa bi potem bil »imperativ, ki predstavlja neko dejanje kot objektivno nujno samo na sebi, brez odnosa do nekega drugega smotra«. Če bi pa imel odnos do nekega druge smotra pa bi se imenoval hipotetični imperativ.

Kategorični imperativ se glasi: »deluj tako, da lahko velja maksima tvoje volje vselej hkrati kot načelo obče zakonodaje.«

Poenostavljeno to pomeni, da se moramo pred vsakim moralno spornim problemom vprašati kako bi bilo, če bi vsi tako ravnali. Npr. študent poskusi podkupiti komisijo za zaključno nalogo in člani komisije to sprejmejo. V tem primeru bi se obča zakonodaja, ki

bi prišla iz tega glasila: Vedno sprejmi podkupnino (kar je maksima) kot član komisije. Če privedemo to misel do konca, vidimo, da to početje sploh nima smisla (se kontradiktira) saj, če bi vsi tako delali potem komisije verjetno sploh nebi obstajale, ker bi jih nadomestil samo račun kdo ima dovolj denarja, da naredi zaključno nalogo, v tem primeru – če komisije ne bi več obstajale – pa ravno ne bi imelo več smisla zapovedati, da naj člani prejemajo podkupnine. Kar nam med drugim pokaže Kantov kategorični imperativ, je to, da je pravično ravnanje takšno, da ga lahko storijo vsi, medtem ko je krivično ravnanje takšno, ki je možno le kot izjema, torej da ga izvedejo le nekateri posamezniki. Iz tega lahko tudi vidimo, da je osrednji element Kantovega kategoričnega imperativa ideja enakosti in da je za Kanta nemoralno ravnanje tisto, ki temelji na kršenju tega načela.

Ne daje nam točnih navodil kaj moramo ali kaj ne smemo, ampak nam daje absolutno svobodo in s tem odgovornost za svoja dejanja. Torej namen kategoričnega imperativa ni samo, da opravljaš svojo dolžnost, ampak si sam odgovoren za to, da si določiš kaj ta dolžnost je. Lahko rečemo, da kategorični imperativ deluje na sam motiv osebe in glede na to, da se odloča, mu predpostavi, da je popolnoma svoboden (Kant 2005).

To pomeni, da kar se tiče etičnih odločitev, se ljudje velikokrat obnašamo kot da smo nesvobodni, prisiljeni v neko etično odločitev (na to kažejo izgovori kot npr. saj sem samo upošteval zakon ali sem samo sledil navodilom ipd.), ampak Kant nam daje več svobode kot bi si je včasih želeli (Žižek 2013).

Kako bi pa kategorični imperativ izgledal pri uporabi sintezne biologije? Prvo, kar je potrebno omeniti je to, da po Kantu lahko delujemo moralno samo, do sočloveka tako, da bo vsako posredovanje v naravo moralno dobro, samo kot posredni učinek izpolnjevanja naše dolžnosti do človeka, kateri predstavlja edini smoter. Morali bi se seveda vprašati, kako bi bilo, če bi vsi uporabljali te metode za moralno dolžnost do sočloveka? Npr. kako bi bilo, če bi vsi uporabljalo sintezno biologijo za modificiranje rastlin, katere se lahko prideluje na ekološki način, da bi lahko proizvajale surovine katere se trenutno pridobivajo iz ogroženih vrst ali pa vrst katerih vzgajanje je netrajnostno in bi s tem koristili človeštvu? Rezultat tega bi bil že *prima facie* sprejemljiv saj samo zamenjujemo izrazitejše antropogene vplive za bolj ekološko sprejemljive in s tem izpolnjujemo našo dolžnost do sočloveka. Seveda pa obstaja tudi možnost, da enostavno razširimo Kantov koncept in vključimo tudi naravo kot smoter moralnega delovanja ampak, da bi to potezo naredili legitimno jo je potrebno dobro utemeljiti znotraj kompleksne Kantove teorije, če je to sploh možno.

3.2.3 Kontraktualizem

Kontraktualizem je etična teorija ki pravi, da so moralna dejanja tista, katera so v skladu z vnaprej določenimi dogovori in zakoni. Glavni utemeljitelj te teorije je Thomas Hobbes, ki pravi:

»Prekršiti zavezo po tem, ko je sklenjena je nepravilno in definicija nepravilnosti ni nič drugega kot ne-udejanjanje zaveze. In vse kar ni nepravilno je pravilno.« (Hobbes 1651)

Po teoriji Hobbsa je človeštvo brez pravil in zavez v naravnem stanju kjer enostavno prevlada najmočnejši, v katerem velja rek *homo homini lupus* (človek človeku volk). Ko pa človeštvo začne posegati po zakonih in zavezah pa preide iz tega naravnega stanja v civilno stanje za katerega velja kontraktualizem.

Seveda pa ima tudi ta teorija svoje probleme in eden izmed najbolj temeljnih je izpostavljen v knjigi Grušovnik (2016):

»Vprašajmo se namreč, kako je lahko dogovor o pripadnosti moralnih trpnikov sklenjen? Gotovo ne »iz nič«. Gotovo si morajo pogodbeniki že vnaprej deliti skupno življenjsko okolje (se razumeti, govoriti isti jezik, imeti približno podobne interese), če želijo dogovor sploh skleniti. Problem kontraktualizma je torej v tem, da je še ena teorija post festum, ki že vnaprej predpostavlja moralne trpnike, medtem ko bi jo morala šele specificirati: v moralne trpnike vključi prav tiste posameznike, ki jih že vnaprej moralno upošteva.«

To pa potem odpre vprašanje: Kaj pa z tistimi, ki niso znotraj zakona zato, ker nočejo ali zato ker ne morejo? Po definiciji Hobbsa ti etično sploh ne obstajajo tako, da npr. nobeno ubijanje ali izkoriščanje teh niti ne pride pod vprašanje zakona in posledično etike saj sta ta dva pojma pod strogim kontraktualizmom enaka.

Torej moralno vprašanje, ki ga ta paradigma postavlja je: ali je naše ravnanje v skladu z vnaprej določenimi formalnimi pravili in zakoni? Npr. bi bilo moralno prav, če bi v Sloveniji hoteli modificirati rastline z metodo CRISPR/Cas9 in jih vzgajati brez kakršnik koli dovoljenj? Glede na teorijo kontraktualizma bi to bilo celo moralno saj v Sloveniji trenutno, še ne obstaja noben zakon kateri se eksplicitno nanaša na upravljanje z organizmi spremenjenimi z CRISPR/Cas9 metodo saj ta metoda ne izpolnjuje definicije gensko spremenjenega organizma, kateri je definiran v zakonu o ravnanju z gensko spremenjenimi organizmi (ZRGSO).

3.2.4 Utilitarizem

Etična paradigma klasičnega utilitarizma ima zelo dolgo tradicijo, vse od klasične grške filozofije, z zametki v Epikuru (Mill 1897; Bentham 1781). Utemeljitelja klasičnega utilitarizma, katera sta imela najverjetneje največjo vlogo v dojemanju teorije utilitarizma skozi čas, sta Jeremy Bentham in John S. Mill. Značilnost te teorije je, da kot najvišje dobro zagovarja produciranje največje možne sreče, največjemu možnemu številu ljudi pri čemer se sreča producira skozi večanje užitka.

Ta teorija se torej osredotoča na končni produkt našega moralnega početja in nas vedno na koncu vpraša: »Kaj si s tem moralnim dejanjem dosegel?« Tudi če so naši vzgibi bili »plemeniti«, ampak niso naredili več sreče na svetu smo izgubljali čas ali pa ravnali nemoralno. Ta značilnost pa uvršča utilitarizem v širšo kategorijo konsekvencializma, zaradi osredotočanja izključno na konsekvence nekega dejanja kot standarda za moralno upravičenost.

Konsekvencialisti so zagovorniki ideje, da vsako moralno dejanje posameznika, ne glede na to katero paradigmo upošteva, na nek način temelji na posledicah (konsekvencah). To utemeljijo z dejstvom, da je vsako moralno dejanje izvršeno z namenom, da spremeniš tok zgodovine v najširšem smislu. Torej vedno, vsaj minimalno, pričakujemo neko konsekvenco naših moralnih dejanj (Hare 2009), drugače tega dejanja nebi naredili.

Da bi lažje dojeli konsekvencialistično logiko utilitarizma pa bi bilo koristno, če opišemo znan problem utilitarizma, tako imenovani problem »kirurga«:

Predstavljajmo si kirurga, ki ima 4 umirajoče paciente in vsak od njih rabi transplantacijo nekega organa. Ta kirurg potem slučajno naleti na popolnoma zdravega človeka, ki bi lahko doniral svoje organe vsem štirim osebam. V tem primeru, če bi kirurg ubil zdravega človeka in dal organe štirim pacientom, ki bi potem srečno živeli naprej, bi po logiki utilitarizma kirurg ravnal popolnoma moralno.

Konsekvenca, ki jo utilitaristi pričakujejo od moralnih dejanj, pa je sreča: »Utilitaristična doktrina je, da je sreča edina stvar, ki je zaželena kot smoter; vse druge stvari pa so zaželene samo kot sredstva za doseg tega smotra« (Mill 1897)

Torej zelo podobno kot pri Aristotlovi etični teoriji, je pri utilitarizmu najvišje dobro sreča posameznika (kjer je zaželjeno, da je čimvečje število posameznikov srečnih), ampak s to razliko, da je za Aristotla sreča (bolj natančno eudaimonia) produkt predvsem vrlin, užitek pa kot partikularno dobro prispeva k eudaimoniji manjši delež (Aristoteles 2002). Medtem

ko je v teoriji utilitarizma pojem užitka zelo tesno (praktično izključno) povezan s srečo, saj celo služi kot neko merilo za etičnost dejanja. Drugače rečeno: če s svojim moralnim dejanjem povzročiš več užitka moralnim trpnikom ali pa jim odvzameš bolečino, je tvoje dejanje bilo moralno dobro. Povezavo med užitkom in utilitarizmom razloži in utemelji John S. Mill v svojem klasičnem tekstu o utilitarizmu, kjer izpelje (in s tem utemelji) vlogo užitka v utilitarizmu iz vloge užitka v »teoriji življenja«:

»Užitek in odsotnost bolečine sta edini stvari zaželjeni kot sami sebi namen; in vse zaželjene stvari (katere so številne tako v utilitaristični kot v kateri drugi shemi) so zaželjene zaradi užitka inherentnega v njih ali kot sredstvo za zagotavljanje užitka in preprečevanja bolečine« (Mill 1879).

Da bi se utilitarizem utemeljil v družbi Mill predlaga, da bi se to paradigmo moralo ljudi učiti kot neko rahlo obliko vere. To razmišljanje izhaja iz njegovega prepričanja, da je skrb posameznega človeka za splošno srečo vseh drugih v skladu s človeško naravo, če smo tako naučeni. To razloži v naslednjem odstavku:

»Ampak za tiste, ki to imajo, ima vse značilnosti naravnega občutka. Ne predstavlja se v njihovem umu kot praznoverje izobrazbe ali pa despotski zakon vsiljen od moči družbe, ampak kot atribut brez katerega jim nebi nebi bilo dobro biti« (Mill 1879).

Moralni čut znanosti glede sintezne biologije pa je velikokrat v skladu z utilitarističnim pristopom, saj daje velik poudarek na epistemološko upravičljivost nekega dejanja. Drugače rečeno, se konstantno sprašuje ali vemo dovolj, da bi naredili nek moralno sporen ukrep. Takšna previdnost pa je še toliko bolj izrazita pri naravovarstvenikih (Redford in sod. 2014).

Primer utilitarističnega presojanja pri sintezni biologiji bi bil, če bi npr. hoteli »obuditi« nekatere izumrle vrste živali. Če bi proizvedli neko populacijo osebkov katera bi lahko normalno živela v nekem naravnem okolju bi to bilo utilitaristično sprejemljivo saj s tem, da je več osebkov dobimo tudi več užitka katerega brez njih nebi bilo. Za utilitarizem bi to bilo moralno sprejemljivo tudi, če bi v procesu obujanja teh vrst prišlo do veliko abortiranih primerkov (kar je praktično neizbežno) kateri bi verjetno umirali v velikih mukah.

3.3 Okoljska etika

Dva predstavnika, katera sta imela največji vpliv na razvoj okoljske etike, sta Aldo Leopold in Arne Naess. Vsak od njiju ponuja poseben pristop k problemu etičnega pristopa

do narave, zato je nujno, da ju v sklopu raziskovanja etičnih dilem v navezavi na varovanje narave s pomočjo orodij sintezne biologije posebej obravnavamo, saj njuna etiška misel neposredno posega na področje človekovega moralnega odnosa do okolja.

3.3.1 Aldo Leopold

Leopold v svojem najbolj znamenitemu delu *Sand County Almanah* predstavi svojo teorijo Deželske etike, katero imenuje tretji korak. Tretji korak obravnava odnos človeka do svojega celotnega okolja, medtem ko je prvi korak etike obravnaval odnose med posameznimi ljudmi in drugi korak, odnose med človekom in družbo. V osnovi interpretira razvoj 3. koraka etike skozi analogijo Darwinovega koncepta evolucije in ga na ta način legitimira (Callicot 2001). Ljudi dojema kot bitja katera pripadajo biotski združbi kot so-člani ne pa, da ljudem pripada biotska združba. Zato je osrednji etični trpnik v Leopoldovi etiki biotska združba, kar nam pove s svojim etičnim pravilom:

»Neka stvar je pravilna kadar teži k ohranitvi integritete, stabilnosti in lepote biotske skupnosti. Napačna je, kadar k temu ne teži.« (Leopold 2010)

Callicott razloži na primeru ubijanja organizmov kaj pomeni poseganje v naravo za holistični pristop Leopoldove Deželske etike:

»Lahko bi rekli, da je integriteta in stabilnost biotske združbe odvisna tako od smrti kot od življenja; dodatno bi še lahko rekli, da je življenje enega člana možno zaradi smrti drugega. Zato ne moremo argumentirati, da je ubijanje so-članov biotske združbe *prima facie* etično narobe za deželsko etiko. Odvisno je od tega koga ubijamo, iz katerega razloga, pod katerimi pogoji in na kakšen način.« (Callicott 2001).

Iz te razlage Leopoldovega pristopa pa lahko razberemo, da tu naletimo spet na problem kirurga kot je opisan pri poglavju o utilitarizmu, samo, da v tem primeru, koncept velja za vse organizme ne pa samo za ljudi.

3.3.2 Arne Naess

Naessova teorija okoljske etike temelji na intrinzični (inherentni) vrednosti narave. S to teorijo izpostavlja, da narava nima samo instrumentalne (uporabne) vrednosti ampak tudi vrednost samo na sebi, neodvisno od človeka. Ta pristop se imenuje globoka ekologija (ang. *deep ecology*) zato ker bi naj postavljala »globoka« vprašanja za razliko od izraza plitke ekologije s katerim Naess označuje ekološka prizadevanja katera imajo antropocentrične motive (Mathews 2001).

Za boljše razumevanje razlike so v delu Naess (2011) opisane razlike na primerih. Eden od teh je primer onesnaževanja:

»Plitki pristop: tehnologija poskuša očistiti zrak in vodo ter bolj enakomerno razporediti onesnaževanje. Zakoni omejujejo dovoljeno onesnaževanje. Onesnažujoče industrije se poskušajo izvoziti v države v razvoju.«

»Globoki pristop: onesnaževanje se ovrednoti z biocentričnega stališča, ki se ne osredotoča izključno na vplive na človeško zdravje, temveč prej na življenje kot celoto, vključujoč življenske razmere vsake vrste in sistema ...«

Eden od problemov s tem pristopom je, da nikjer ne definira kaj intrinzična vrednost sploh je, od kod pride (je produkt evolucije?), če je empirična, merljiva, estetska ali je to dimenzija narave katero ne moremo dojeti zaradi našega omejenega fenomenološkega horizonta, z drugimi besedami, zaradi dejstva, da smo končna bitja?

Druga težava pa je v tem, da mi težko prepoznamo dejanske interese drugih bitij in se lahko zgodi, da mislimo da smo ugotovili kaj koristi neki živali ali rastlini v bistvu pa ji ali sploh ne koristimo ali pa celo škodujemo. V temu ugotavljanju je včasih težko ločiti dejanske probleme od nelegitimnih antropomorfij katere spontano pripisujemo naravi.

4 ETIČNA VPRAŠANJA SINTEZNE BIOLOGIJE

4.1 Razširitev skupine moralnih trpnikov

Pri etični teoriji izraz moralni trpnik definira nekoga ali nekaj do česar ima moralni akter moralno odgovornost. Npr. če se nekdo utaplja in mu nekdo priskoči na pomoč. V tem primeru je utapljaljoča oseba moralni trpnik, moralni akter pa oseba katera je priskočila na pomoč².

Lotevanje kakršnega koli spreminjanja populacij in posledično ekosistemov ima v večini primerov velik efekt tako na ljudi kot na živali, pri čemer so živali velikokrat dojemane le kot posamezni del ekosistema, nerazločen od rastlin, gliv, posameznih procesov itd. To razmišljanje je upravičljivo pod pogojem, da v določenih primerih zagovarjamo totalno ekosistemsko varstvo, kjer varovanje ekosistema pomeni *de facto* totalno varovanje živali in obratno.

Živali predstavljajo ponavljajočo se temo v zgodovini filozofije, kjer se jih večinoma prikazuje kot kontrast človeku v namene razumevanja človeka, kar opisuje Žižek (2013) - skozi interpretacijo Derridaja - kot velikokrat zgrešeno ali površno.

»Taka negativna karakterizacija živali (kot negovoreče, brezbesede, itd.) proizvedejo prikaz pozitivne determinacije, ki je napačna: živali kot ujete v svojem okolju itn.« (Žižek 2013).

Tu tudi etična teorija ni izjema glede na delo Grušovnika (2016), kjer pokaže, da do nekaterih živali enostavno ne moremo zanikati moralne odgovornosti na podlagi utemeljitve v različnosti od človeka, saj se zelo hitro znajdemo v situaciji, ko pogoji za vključevanje ljudi pod moralne trpnike nimajo smisla brez vključevanja tudi živali. Z drugimi besedami, če definiramo pozitivne lastnosti človeka (razum, čutnost, čustva ...), ki bi ga naj uvrščale v sferi moralnih trpnikov in akterjev, opazimo, da tudi nekatere živali imajo te lastnosti, kar nas prisili, da vse te definicije ovržemo ali pa same sfere moralnih trpnikov in akterjev razširimo.

Ta dognanja imajo močan efekt na same etične paradigme, katere je treba posledično razširiti ali ovreči in obenem jih enostavno moramo upoštevati kar se tiče etike sintezne

² Ta definicija moralnih trpnikov in akterjev pa nam bolj nazorno prikaže tudi nekatere etične paradigme. Npr. pri Kantu opazimo, da je vsak moralni trpnik obenem tudi moralni akter, ker lahko imamo moralno dolžnost samo, do bitij z razumom (živali za Kanta nimajo razum) za razliko od nekaterih vrst Utilitarizma, ki štejejo pod moralne trpnike tudi živali katere niso obenem moralni akterji.

biologije, ne glede na to ali so vplivi posredni (s spreminjanjem nekega ekosistema posredno vplivamo na živali) ali neposredni (direktne genske manipulacije z živalmi). Dodatna komplikacija nastane, če upoštevamo tudi celotne ekosisteme kot moralne trpnike, kar ima korenine v delu Leopolda (1968).

4.2 Teoretičen pogled na uporabo sintezne biologije

Ena od pomembnih (in obenem spornih) sposobnosti CRISPR tehnologije je ta, da ko spremenimo spolne celice nekega organizma, se bo ta sprememba ohranila naprej skozi generacije. Torej spremembe na temu nivoju dobesedno spremenijo potek evolucije in strukturo ekosistemov, kar predstavlja potencialno etično oviro saj bi naj s tem do neke mere odstranili »naravnost« narave in jo naredili umetno. Ko pridemo do te točke pa se enostavno moramo vprašati kaj sploh je ta »naravnost« narave? Je to nekaj merljivega, estetičnega, koristnega itd.?

Mogoče se pa skriva problem v temu, da sintetična biologija bolj spreminja našo percepcijo narave kot pa naravo samo. Kako si lahko drugače razložimo razliko med zelo intenzivno in popularno debato implementacije CRISPR tehnologije in npr. več ali manj tihemu sprejemanju ali napol neodobranju globalne devastacije habitatov. Mar ni res, da nam že nek spontani »šesti čut« govori, da je sprememba par nukleotidov zaporedja organizma temeljno bolj drugačna in globlja (čeprav manj obsežna) sprememba od npr. goloseka nekega gozda? Ena od razlag je, da se gozd velikokrat zaraste nazaj tudi, če naredimo golosek, medtem ko se pa genetska sprememba na videz bolj obdrži, ampak dejstvo je, da uničeni ekosistemi niso dobesedno popravljivi. Ko je enkrat odstranjen ekosistemski kompleks ne obstaja vrnitev prejšnjemu stanju saj je specifična biodiverzitetna kombinacija genov, procesov in organizmov v posameznem ekosistemu unikatna. Kvečjemu lahko dobimo ekosistemski približek kateri deluje funkcionalno podobno³. Mogoče je ta naš »šesti čut« lažen in izgleda, da nas premami nek spontani redukcionizem kateri jemlje genetske manipulacije kot bolj temeljne v primerjavi z ekosistemskimi manipulacijami.

Ponavljajoče kritično vprašanje glede takšnih genetskih manipulacij pa je od kod nam pravica, da se igramo Boga? Na kar pa lahko odgovorimo z novim vprašanjem: Če upoštevamo globalne klimatske spremembe, globalno uničevanje ekosistemov in celo proglasitev trenutne geološke ere kot Antropocen (Crutzen in sod. 2002), zaradi tako močnega človeškega vpliva na geološko zgodovino zemlje, ali ni res, da smo se nehali

³ S tem stavkom ne zagovarjam stav, da je vsaka večja ekosistemska sprememba *a priori* nemoralna ampak le opisujem dejstvo same spremembe.

»igrati« Boga in smo to vlogo že dolgo časa vzeli skrajno resno ter jo udejanjili na nivoju totalne globalne izvršitve?

Ostane še kritično vprašanje: Če smo zaradi tehnološkega napredovanja prišli do krize biodiverzitete ali ne bi z uporabo sintezne biologije le-to še dodatno poglobili? To je seveda popolnoma možno, ampak obenem je jasno kakšno rešitev ta kritika predlaga. To je želja za odstranitev konflikta med naravo in človekom skozi vračanje neki organski ali harmonični skupnosti, ki je v sožitju ali v ravnovesju z naravo. Ta želja je med drugim tudi globoko zakoreninjena v okoljski etiki kjer je dovolj prebrati en stavek v knjigi, enega izmed glavnih figur okoljske etike, Leopold (1968) ko pravi da je »varovanje narave stanje harmonije med ljudmi in deželo«.

Iz te interpretacije konflikta izhajata dva načina reševanja problema pri čemer je prvi praktična zahteva po zaviranju ali zavračanju napredkov tehnologije (primer Leopolda in mnogih današnjih naravovarstvenih skupin) drugi pa je neko neskončno ugotavljanje kaj »ugaja« Zemlji (še posebej Gaia teorija od Lovelock 2000) ali neki drugi globlji harmoniji, da se z njo uskladimo. Problem je, da obe rešitvi izhajata iz nelegitimne predpostavke, da obstaja neko predvidljivo ali temeljno ravnovesje narave kar pa nima absolutno nobene utemeljitve s strani znanosti (Wu in Loucks 1995).

Primeri ravnovesja in kaotičnosti raznih naravnih sistemov so v svoji osnovi kontingenčni (Dolar 1991) in s tem nedeterminirani. Lahko rečemo, da ne obstaja nekdo ali nekaj izven človeštva ali nad njim, kar bi postavilo etično referenčno točko glede na katero bi lahko potem usmerjali in legitimirali naše ravnanje. Tu moramo biti pazljivi saj so naravni sistemi lahko do neke mere predvidljivi ampak to še ne implicira determinacije v ontološkem smislu. Npr. lahko predvidimo in rečemo, da se bodo praktično vsi nealpski travniki v Sloveniji brez človeškega posega zarasli skozi naraven proces sukcesije ali pa jih bomo ohranjali z košnjo, ampak ne moremo reči, da se ti travniki **morajo** zarasti ker je to naraven proces ali pa da jih **moramo** ohranjati ker narava to na nek način hoče, potrebuje, rabi ipd. saj s tem pripisujemo naravi popolnoma nelegitimno antropomorfično dimenzijo **determiniranosti**. Iz tega sledi, da ne moremo vnaprej opredeliti neke splošne, jasne in enostavne recepte kateri nam govorijo kaj je moralno pravilen poseg v naravo in kaj ni.

Trenutno lahko predvidimo, da v kolikor se bodo stvari nadaljevale tako kot se trenutno, nam grozi ekološka katastrofa in za reševanje le-te potrebujemo vsa sredstva s katerimi si lahko na razumen in kontroliran način pomagamo. Izgleda, da nam CRISPR tehnologija lahko priskoči na pomoč saj obstaja veliko primerov kjer bi posredovanje s sintezni pristopi bilo realno in potrebno (Piaggio in sod. 2017) in pri večini CRISPR/Cas9 metod se

zdi, da bi lahko pristopili problemu na zelo kontroliran način skupaj s potencialnimi metodami reverzibilnosti povzročene učinka (Pawluk in sod. 2016).

4.3 Spornost sintezne biologije v predvidenih praktičnih primerih

Ene od najbolj obetavnih študij in praks uporabe CRISPR/Cas9 in drugih metod v naravnih populacijah so trenutno na komarjih (Carvalho in sod. 2015; Gantz in sod. 2015; Hammond in sod. 2016). Ker komarji delujejo kot vektorji boleznin in so posledično odgovorni za veliko število smrti na leto (okoli 303,000 smrti v letu 2015 glede na podatke WHO), obstaja velik interes za uporabo vsakega načina, da se število posrednih smrtnih žrtev zmanjša in CRISPR sistem izgleda v tem področju zelo obetaven. Medtem ko namen teh genskih manipulacij na komarjih ni naravovarstven, pa vseeno ponuja prikaz, da je možno upravljati z naravnimi populacijami na kontroliran način.

Piaggio in sod. (2017) so izpostavili naravovarstvene probleme, ki bi se jih dalo potencialno rešiti s sintezno biologijo in katere sem razdelil glede na *a priori* etično sporne ali nesporne. Kjer so *a priori* sporni posegi tisti kateri vplivajo na samo naše dožemanje naravnih organizmov, populacij, ekosistemov itd.

4.3.1 *A priori* nesporni posegi

4.3.1.1 Invazivne vrste:

Manipulacije invazivnih vrst niso sporne (dokler nimamo opravka z živalmi, katere moramo upoštevati kot moralne trpnike, glej poglavje 4.1), saj je skoraj vedno zaželena popolna odstranitev vrste in glede na to, da je vrsta praktično ekološki tujek vemo, da njena odstranitev ne bo imela širših slabih posledic, kar nam da proste roke. Posredni problem je lahko, če pride do kontaminacije naravnih populacij.

4.3.1.2 Odstranjevanje antropogenih vplivov iz habitatov:

Problem spreminjanja habitatov povzroča v veliki meri agronomija ali pridobivanje surovin. Sem vključujejo spremembe rastlin na način, da bi rabili manj fitofarmaceutskih sredstev, preusmerjanje genov za proizvodnjo palmovega olja iz palm v rastline, katere se lahko prideluje brez uničevanja tropskih gozdov ali vstavljanje genov v rastline za proizvodnjo fosilnih goriv, kar bi izničilo vpliv na podnebje in direktno uničevanje okolja z vrtinami in potencialnimi razlitji nafte itd. Te prakse so *a priori* nesporne zato, ker spreminjamo kulturne rastline in živali, katere so spreminjane že tisočletja in vsi efekti praktično zmanjšujejo naše poseganje v ekosisteme.

4.3.1.3 Uporaba za izkoriščanje surovin:

Spreminjanja organizmov za preprečevanje prekomernega izkoriščanja surovin je nesporno zaradi praktično enakih razlogov kot problem spreminjanja habitatov in enako velja za druge probleme povezane z zmanjševanjem obsega človeških vplivov s pomočjo genskih manipulacij na kulturnih rastlinah in živalih.

4.3.2 *A priori* sporni posegi

To so situacije pri katerih direktno manipuliramo z naravnimi populacijami. Sem spada odstranjevanje in vstavljanje genov (npr. proti patogenom) v naravnih populacijah ogroženih organizmov in obujanje izumrlih vrst. Spornost tega izhaja tako iz problema identitete (saj to potem naj nebi bila več ista populacija, če jo spremenimo) kot iz prej omenjenega primera igranja Boga medtem ko je pa večina prej opisanih paradigem sklona izvedbi. Tu lahko še na kratko opišemo problem identitete kateri je naslednji:

Genom se spreminja konstantno preko vsake generacije in dodatno znotraj trenutne generacije prihaja do epigenetskih sprememb. Vsak problem, ki ga imamo, da umetno spreminjamo strukturo nekega organizma že obstaja znotraj samega delovanja organizma in na splošno narave. Če kot ljudje vplivamo na genom organizma, dojemamo to kot problem, ker si predpostavljamo naravo kot neko fiksno urejeno entiteto, kar narava ni (beri poglavje 4.2.).

Primer: Predstavljajmo si, da izumira neka vrsta žabe zaradi invazivne glivične bolezni in mi imamo sposobnost vstaviti gen za imunost v to vrsto žabe ampak to ne naredimo, ker nočemo spremeniti identitete žabe. Potem pa žaba slučajno skozi mutacijo in naravno selekcijo sama pridobi ta gen in ga fiksira v populaciji.

Vprašanje je: Zakaj bi v primeru, da vplivamo mi na genom prišlo do moralno nesprejemljive spremembe identitete, v primeru ko pa do tega pride skozi mikroevolucijo pa problem ne obstaja?

Eden od odgovorov bi lahko bil, da je evolucija naravni proces in zato ni etično sporen, ampak tu govorimo o primerih, ko je takšna evolucija samo reakcija na antropogene vplive. Znotraj tega pa obstaja še dodaten močan argument za uporabo sintezne biologije, namreč lahko argumentiramo, da je sama neuporaba sintezne biologije neetična v primeru, ko imamo z njo možnost odstranjevanja antropogenih vplivov iz narave.

Kratek pogled skozi dominantne etične paradigme:

Glede na utilitarizem bi s temi posegi naredili več sreče za vse, saj bo večinoma več osebkov preživelo ali pa bolje živelo (z predpostavko, da so tudi živali vključene v sfero moralnih trpnikov). Glede na etiko vrlinpa lahko rečemo, da bi bilo pravično postopati tako glede na to, da smo te vrste spravili v tako situacijo.

Pri Kantu pa je problem kompleksnejši, saj bi prvo morali razširiti njegov koncept in vključiti te vrste pod moralne trpnike, da bi za njih lahko veljal kategorični imperativ. Ampak potem bi se bilo potrebno vprašati ali je možno, da je to zapoved katera izhaja iz čistega uma, iz uma očiščenega vseh empiričnih motenj?

Lahko bi pa imeli dolžnost da povrnemo ekosistemske storitve za ljudi ali pa da smo dolžni ohranjati naravo za bodoče generacije kot gre rek. To bi se pa po Kantu imenoval hipotetični imperativ⁴, saj bi organizmi bili sredstvo za doseganje smotra, ki nam zapoveduje dolžnost do drugih ljudi.

⁴ V primeru ohranjanje narave za bodoče generacije bi lahko govorili o hipotetičnem hipotetičnem imperativu, saj ti moralni trpniki še ne obstajajo.

5 ZAKLJUČEK

Če ne pride do intenzivnega globalnega diskurza držav za kontrolo in upravljanje z CRISPR metodo bo kompleksnost in moč metode zagotovila netransparentnost delovanja privatnih interesov ali držav, kar lahko privede do katastrofalnih posledic (od nove vrste evgenike do nekontroliranega globalnega spreminjanja vrst, ekosistemov ...). Edina možnost za varno, kontrolirano in posledično etično uporabo sinteznih bioloških metod je absolutna demokratizacija in transparentnost znanstvenega in socio-političnega diskurza.

Izgleda, da je varovanje vrst s sintezno biologijo neizbežno saj predstavlja izjemno enostavno in poceni orodje za popravilo ogromnih problemov z varovanjem narave, zaradi česar bi najverjetneje bila neetična neuporaba metode. Moramo se pa zavedati da »zdravljenje« biodiverzitete s temi metodami predstavlja le zdravljenje simptomov, ki so trenutno prehudi, da bi jih prepustili samim sebi, kajti trenutna kriza biodiverzitete je sistemična in globalna, kar nam jasno pove, da je posredni (npr. klimatske spremembe) ali neposredni (npr. direktno uničevanje ekosistemov) produkt trenutnega predominantnega socio-ekonomskega političnega sistema. S sintezniimi metodami bomo sicer trenutno ohranili vrste, ampak z uničevanjem in spreminjanjem habitatov bo edino mesto za njih v živalskih in botaničnih vrtovih.

Treba se je torej zavedati, da vsakič ko smo prisiljeni uporabiti sintezno biologijo v naravi, je to poraz trenutnega sistema, ki bi naj te vrste varoval.

Dodatno pa še dajem enostaven algoritem za določanje spornosti naravovarstvenega posega kateri je samo povzetek vprašanj obdelanih v sklopu vsake posamezne etične paradigme v poglavju 3. To ni črna skrinja za določanje, če je neko dejanje moralno sprejemljivo ali ne ampak samo neke vrste določevalni ključ za lažje ugotavljanje spornosti ali problematičnosti nekih določenih dejanj glede na obravnavane paradigme. Na splošno lahko rečemo, da če je odgovor na večino NE potem je dejanje najverjetneje precej kontroveržno, če pa je odgovor na večino DA pa je dejanje najverjetneje dokaj družbeno sprejemljivo (seveda je to treba vzeti z veliko rezervo in razumeti v približno kakšen kontekst posamezne paradigme spada dejanje):

ALGORITEM ETIŠKEGA ODLOČANJA

Ali bo dejanje proizvedlo največ sreče za največje število posameznikov? – Utilitarizem, glej poglavje 3.3.

Ali je dejanje v skladu z „vesoljnim redom“? – Vesoljni red ali božji zakoni, glej poglavje 3.2.1.

Ali je dejanje v skladu s pravili/pravicami? – Kontraktualizem, glej poglavje 3.2.3.

Ali je možno, da bi VSI tako ravnali? – Kantov kategorični imperativ, glej poglavje 3.2.2.

Ali je dejanje v skladu z vrlinami in moralnimi vzorniki? – Etika vrlin, glej poglavje 3.1.

Ali druge upoštevam kot „smotre-na-sebi“ (bitja z intrinzično vrednostjo)? – Kant, glej poglavje 3.2.2.

Ali dejanje prispeva k integriteti, stabilnosti in lepoti ekosistema? – Leopoldova deželjska etika, glej poglavje 3.3.1.

Ali bitja pojmem kot posameznike z intrinzično vrednostjo? – Naessova globoka ekologija, glej poglavje 3.3.2.

6 LITERATURA IN VIRI

Aristoteles, Gantar K. 2002. Nikomahova etika. Ljubljana: Slovenska matica.

Barrangou R., Fremaux C., Deveau H., Richards M., Boyaval P., Moineau S., Romero D. A., Horvath P. 2007. CRISPR Provides Acquired Resistance Against Viruses in Prokaryotes. *Science* 315: 1709-1712.

Bentham J. 2000. An introduction to the Principles of Morals and Legislation. Ontario: Batoche books.

Boch J., Bonas U. 2010. *Xanthomonas* AvrBs3 Family Type III Effectors: Discovery and Function. *Annual Review of Phytopathology* 48: 419-436.

Boch J., Scholze H., Schornack S., Landgraf A., Hahn S., Kay S., Lahaye T., Nickstadt A., Bonas U. 2009. Breaking the Code of DNA Binding Specificity of TAL Type III Effectors. *Science* 326: 1509-1512.

Carvalho D. O., McKemey A. R., Garziera L., Lacroix R., Donnelly C. A., Alphey L., Malavasi A., Capurro M. L. 2015. Suppression of a Field Population of *Aedes aegypti* in Brazil by Sustainable Release of Transgenic Male Mosquitoes. *PLoS Negl Trop Dis* 9: 1-15.

Callicott J. B. 2001. The land ethic 14: Jamieson D. (Ur.) A Companion to Environmental Philosophy. Blackwell publishers: 204-217.

Champer J., Buchman A., Akbari O. S. 2016. Cheating evolution: engineering gene drives to manipulate the fate of wild populations. *Nature reviews. Genetics* 17: 146-159.

Chandrasegaran S. Carroll D. 2015. Origins of Programmable Nucleases for Genome Engineering. *Journal of Molecular Biology* 428: 963-989.

Choulika A., Perrin A., Dujon B., Ois J. F. 1995. Induction of Homologous Recombination in Mammalian Chromosomes by Using the I-SceI System of *Saccharomyces cerevisiae*. *Molecular Cellular Biology* 15: 1968-1973.

Corlett T. R. 2016. A Bigger Toolbox: Biotechnology in Biodiversity Conservation. *Trends in Biotechnology*.

Crutzen P.J. 2002. Geology of mankind. *Nature*, 415: 23.

Dolar M. 1991. Znanost o kontingenci, predgovor: Gould S. J. Darwinova revolucija. Knjižna zbirka Krt: VII-XIV.

Doudna J. A., Sontheimer E. J. 2014. The Use of CRISPR/cas9, ZFNs, TALENs in Generating Site Specific Genome Alterations. Academic Press.

Doudna J. A., Sternberg S. H. 2017. A crack in creation: gene editing and the inthinkable power to control evolution. New York: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.

Gantz V. M., Jasinskiene N., Tatarenkova O., Fazekas A., Macias V. M., Bier E., James A. A. 2015. PNAS 112: E6736-E6743.

Grušovnik T. 2016. Etika živali. O čezvrstni gostoljubnosti. Koper, Univerzitetna založba Annales.

Hagen T., Toepfer G., Engelhard M. 2016. Ambivalences of Creating Life: Societal and Philosophical Dimensions of Synthetic Biology. Switzerland, Springer International Publishing.

Hammond A., Galizi R., Kyrou K., Simoni A., Sinischalchi C., Katsanos D., Gribble M., Baker D., Marois E., Russel S., Burt A., Windbichler N., Crisanti A., Nolan T. 2016. A CRISPR-Cas9 Gene Drive System Targeting Female Reeproduction in the Malaria Mosquito vector *Anopheles gambiae*. Nat Biotechnol. 34: 78-83.

Hobbes T. 1651. Leviathan or the matter, forme & power of a Common-wealth Ecclesiastical and Civil. London, Green Dragon in St. Pauls Church-yard.

Jansen R., Embden J. D. A., Gaastra W., Schouls L. M. 2002. Identification of genes that are associated with DNA repeats in prokaryotes. Molecular Microbiology 43: 1565-1575.

Jinek M., Chylinski K., Fonfara I., Hauer M., Doudna J. A., Charpentier E. 2012. A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. Science 337: 816-821.

Kim Y. G., Cha Y., Chandrasegaran S. 1996. Hybrid restriction enzymes: Zinc finger fusions to Fok I cleavage domain. Biochemistry 93: 1156-1160.

Kant I. 2005. Utemeljitev metafizike nravi. Založba ZRC, ZRC SAZU.

Leopold A. 1968. *A Sand County Almanac and Sketches Here and There*. New York: Oxford university press.

Leopold A. 2010. Deželska etika. *Filozofska revija za učitelje filozofije, dijake in študente* 3/4.

Lovelock. J. E. 2000. *Gaia: A new look at life on earth*. Oxford, Oxford university press.

Hare R. M. 2009. *A Utilitarian Approach*. 9: Kuhse H., Singer P. (Ur) *A Companion to Bioethics*. Wiley Blackwell publishing: 85-90.

Makarova K. S., Aravind L., Grishin N. V., Rogozin I. B., Koonin E. V. 2002. A DNA repair system specific for thermophilic Archaea and bacteria predicted by genomic context analysis. *Nucleic Acids Research* 30: 482-496.

Makarova K. S., Grishin N. V., Shabalina S. A., Wolf Y. I., Koonin E. V. 2006. A putative RNA-interference-based immune system in prokaryotes: computational analysis of the predicted enzymatic machinery, functional analogies with eukaryotic RNAi, and hypothetical mechanisms of action. *Biology Direct* 1: 1-26.

Makarova K. S., Haft D. H., Barrangou R., Brouns S. J. J., Charpentier E., Horvath P., Moineau S., Mojica F. J. M., Wolf Y. I., Yakunin A. F., van der Oost J., Koonin E. V. 2011. Evolution and classification of the CRISPR–Cas systems. *Nature Reviews Microbiology* 9: 467-477.

Makarova K. S., Wolf Y. I., Alkhnbashi O. S., Costa F., Shah S. A., Saunders S. S., Barrangou R., Brouns S. J. J., Charpentier E., Haft D. H., Horvath P., Moineau S., Mojica F. J. M., Terns R. M., Terns M. P., White M. F., Yakunin A. F., Garrett R. A., Van der Oost J., Backofen R., Koonin E. V. 2015. An updated evolutionary classification of CRISPR–Cas systems. *Nature Reviews Microbiology* 13: 1-15.

Marraffini L. A., Sontheimer E. J. 2008. CRISPR Interference Limits Horizontal Gene Transfer in Staphylococci by Targeting DNA. *Science* 322: 1843-1845.

Mathews F. 2001. *Deep ecology* 15: Jamieson D. (Ur) *A Companion to Environmental Philosophy*. Blackwell publishers: 218-232.

Mazoyer M., Roudart L. 2006. *A History of World Agriculture: From the Neolithic Age to the Current Crisis*. London, Earthscan.

Mill J. S. 1879. *Utilitarianism*. The Floating Press.

Miller J. C., Tan S., Qiao G., Barlow K. A., Wang J., Xia D. F., Meng X., Paschon D. E., Leung E., Hinkley S. J., Dulay G. P., Hua K. L., Ankoudinova I., Cost G. J., Urnov F. D., Zhang S. H., Holmes M. C., Zhang L., Gregory P. D., Rebar E. J. 2011. A TALE nuclease architecture for efficient genome editing. *Nature Biotechnology* 29: 143-148.

Mojica F. J. M., Diez-Villasenor C., Garcia-Martinez J., Soria E. 2005. Intervening Sequences of Regularly Spaced Prokaryotic Repeats Derive From Foreign Genetic Elements. *Journal of Molecular Evolution* 60: 174-182.

Naess A. 2011. Okoljska etika. *Filozofska revija za učitelje filozofije, dijake in študente* 3/4.

Ochiai H., Yamamoto T. 2015. *Genome Editing Using Zinc-Finger Nucleases (ZFNs) and Transcription Activator-Like Effector Nucleases (TALENs)*. chapter 1: Yamamoto T. (Ur.) *Targeted Genome Editing Using Site-Specific Nucleases: ZFNs, TALENs and the CRISPR/Cas system*. Springer 3-6.

Pawluk A., Amrani N., Zhang Y., Garcia B., Reyes Y. H., Lee J., Edraki A., Shah M., Sontheimer E. J., Maxwell K. L., Davidson A. R. 2016. Naturally Occuring Off-Switches from CRISPR/Cas9. *Cell* 167: 1-10.

Piaggio A. J., Segelbacher G., Seddon P. J., Alphey L., Bennett E. L., Carlson R. H., Friedman R. M., Kanavy D., Phelan R., Redford K. H., Rosales M., Slobodian L., Wheeler K. 2017. Is it Time for Synthetic Biodiversity Conservation? *Trends in Ecology & Evolution* 32.

Primm S. L., Raven P. 2000. Biodiversity: extinction by numbers. *Nature* 403: 843 - 845.

Rachels J., Rachels S. 2012. *Elements of moral philosophy*. New York, McGraw-Hill.

Rauch B. J., Silvis M. R., Hultquist J. F., Waters C. S., McGregor M. J., Krogan N. J., Denomy J. B. 2017. Inhibition of CRISPR-Cas9 with Bacteriophage Proteins. *Cell* 168: 1-9.

Redford K H., Adams W., Carlson R, Mace G. M., Ceccarelli B. 2014. Synthetic biology and the conservation of biodiversity. *Oryx* 48: 330-336.

Svetopisemska družba Slovenije. 2007. Sveto pismo Stare in Nove zaveze: Slovenski standardni prevod iz izvirnih jezikov. Ljubljana, Svetopisemska družba Slovenije.

Waltz E. 2016. Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation. *Nature* 532: 293.

Wu J. Loucks O. L. 1995. From Balance of Nature to Hierarchical Patch Dynamics: A Paradigm Shift in Ecology. *Chicago Journals* 70: 439-466.

Žižek S. 2013. *Less than nothing: Hegel and the shadow of dialectical materialism*. London, New York: Verso.