

Franc Mali

DRUŽBENE ZNANOSTI IN RAZVOJ NOVIH NAPREDNIH TEHNOLOGIJ: SINTEZNA BIOLOGIJA

IZVLEČEK

Živimo v času, ko razvoj novih, naprednih tehnologij zahteva široko družbeno podporo, saj lahko te le tako kakorkoli prispevajo k blagostanju celotnega človeštva. V tem okviru se povečuje pomen sodelovanja naravoslovcev in družboslovcev. Sintezna biologija kot ena najbolj naprednih novih tehnologij zasluži posebno pozornost družbene in humanistične misli. Področje sintezne biologije je za družbo še vedno precej velika neznanka. Prispevek podaja kritično oceno družbenih koristi in tveganj današnjega ter prihodnjega razvoja sintezne biologije. Avtor prispevka izhaja iz osnovne predpostavke, da danes različne nadzorne institucije veliko pozornosti namenjajo okoljskim tveganjem sintezne biologije, vse premalo pa se ukvarjajo z ekonomskimi tveganji, ki v končni fazi lahko pripeljejo do zaustavitve razvoja te nove in za prihodnost družbe pomembne tehnologije.

KLJUČNE BESEDE: sintezna biologija, nove napredne tehnologije, negativni družbeni imaginariji, znanstvena in tehnološka tveganja, ekonomska tveganja

Social sciences and the progress of the new emerging technologies: synthetic biology

ABSTRACT

In modern societies, the progress of the new emerging technologies needs broad social support. Only in this way will it be possible to achieve the benefits of technological progress for the whole of humankind. In this context, cooperation between social-humanistic and natural-technical thought is very important. As one of the newest emerging technologies, synthetic biology deserves special attention from the social sciences. Namely, synthetic biology is still very unknown in broader society. The main thesis of the article is that the various audit institutions (mostly in Europe) are directing too much attention to the possible biorisks that could appear with the progress of synthetic biology, but do not take the economic risks into account even though such economic risks could even bring the further progress of synthetic biology to a halt.

KEY WORDS: synthetic biology, new emerging technologies, negative social hype, scientific and technological risks, economic risks

1 Uvod¹

Ena ključnih nalog današnje družboslovne in humanistične misli je, da prispeva k ozaveščanju ljudi o družbeni relevantnosti razvoja novih in naprednih tehnologij. Živimo v času, ko nove in napredne tehnologije potrebujejo široko družbeno podporo, da bi lahko z novimi, revolucionarnimi preboji prispevale svoj delež k blagostanju celotnega človeštva. V preteklosti so družboslovni in humanistični misleci pogosto poudarjali negativne plati znanstvenega in tehnološkega razvoja – kot da bi znanstveni in tehnološki razvoj sam po sebi vodil k škodljivim družbenim učinkom. Vzroki za takšne poglede segajo daleč nazaj, pravzaprav že v dobo romantike 18. stoletja, ki je zoper na novo nastopajoče industrijske tehnologije ustvarila vrsto iracionalnih oblik strahov. Posamezni družboslovni in humanistični misleci 19. in 20. stoletja so ravno tako (večinoma neupravičeno) širili negativne poglede na razvoj novih znanosti in tehnologij. Takšno negativno prikazovanje tehnologije je v posameznih primerih vodilo celo v skrajno obliko tehnofobije.

Zdi se, da se družboslovje in humanistika še danes nista povsem osvobodila želje po prikazovanju distopičnih scenarijev razvoja novih tehnologij. Kolikor je takšen negativni diskurz v nekaterih delih družboslovnih in humanističnih znanosti še prisoten, potem ga ni mogoče imeti za kaj drugega kot za že zdavnaj preživeti miselni anahronizem. Živimo v znanstveno in tehnološko vedno bolj razvitem svetu, kjer so vse sfere družbenega življenja na takšen ali drugačen način odvisne od novih dosežkov znanosti in tehnologije. Zato se ni mogoče postaviti na piedestal domnevno objektivne resnice, ki od zunaj opazuje in kritično presoja možne stranpoti tehnološkega razvoja. V današnjem svetu vedno bolj integriranega in medsebojno povezanega znanstvenega vedenja – ne govorimo naključno o transdisciplinarni naravi moderne znanosti – vsi njegovi deli nosijo enak delež odgovornosti za nadaljnji družbeni razvoj. V tej luči zlasti razvoj sodobne biogenetike zahteva vedno bolj tesno sodelovanje znanstvenikov različnih disciplinarnih profilov. Paul Rabinow in Gaymon Bennett i v uvodnem poglavju knjige *Designing Human Practices. An Experiment With Synthetic Biology* (2012) pravita, da ravno zato, ker med sodobnimi bioznanostmi in humanističnimi znanostmi tako glede statusa njihovega predmeta preučevanja kot glede samih razmerij med njima ni nekih dokončnih rešitev, potrebujemo čim več pristopov, ki bodo presegli stare predmetne in disciplinarne delitve. Zanimivo je, da so številne pobude za skupno družboslovno in naravoslovno obravnavo različnih vidikov razvoja prihajale s strani tistih vodilnih znanstvenikov, ki so utirali pot novim biogenetskim področjem raziskovanja. Nobelovec James Watson, eden od soavtorjev DNK-ja in direktor velikega projekta »Human Genom Project«, je bil eden prvih, ki se je neposredno zavzel za

1. Avtor izjavlja, da je rezultate raziskovanja, ki so plod njegovega sodelovanja v evropskem raziskovalnem projektu »Synthetic biology – Engaging with New and Emerging Science and Technology in Responsible Governance of the Science and Society Relationship«, in so objavljeni v tem znanstvenem članku, predstavil tudi v poljudnem prispevku za Sobotno prilogo dela, 28.02.2015 (glej: <http://www.delo.si/sobotna/mikrobi-ne-bodo-spreminjali-svinca-v-zlato-lahko-pa-bi-spremenili-gnoj-v-elektriko.html>), zato preverba obeh prispevkov preko sistema Turnitin, ki ga je opravilo uredništvo Družboslovnih razprav, izkazuje 18% ujemanja med obema tekstoma.

tesno sodelovanje družboslovcev in naravoslovcev v okviru velikih projektov biogenetskih znanosti. S tem ko je zahteval, da se del proračuna nameni preučevanju družbenih vidikov razvoja biogenetske znanosti, je odprl prostor – če uporabim mednarodno sprejeto kratico ELSI² – »elsifikaciji« znanosti.

Od takrat naprej tudi vodilni akterji na področju znanstvene in tehnološke politike, ki skrbijo za institucionalne okvire ter financiranje raziskovanja in razvoja, pričakujejo – nenazadnje v duhu že omenjene transdisciplinarne narave znanstvenega vedenja – da bodo predlogi projektov s področja novih bioznanosti vključevali tudi vsebine, ki zadevajo etične, pravne in družbene vidike njihovega razvoja. To velja tudi za različne vidike družbene regulacije sintezne biologije, ki je eno najnovejših in najobetavnejših področij biogenetskih znanosti. Področje sintezne biologije ne sloni na neki enotni definiciji in v ničemer ni epistemološko in raziskovalno strogo zamejeno. Kljub temu obstaja vedno širši konsenz v znanstveni skupnosti in med podporniki znanosti, da to področje potrebuje posebno skrbno pozornost glede družbenih, etičnih in pravnih vidikov njenega razvoja. Gre za eno izmed tistih tehnologij, ki zaradi močno prisotnih anticipacij, kaj vse lahko prispeva k družbenemu napredku, močno vpliva na orientacije in delovanja različnih družbenih akterjev v današnjem času. Gre torej za novo in napredno tehnologijo, ki pred nas postavlja celo vrsto novih družbenih izzivov. Danes je tako med naravoslovci kot tudi družboslovci in humanisti, ki se ukvarjajo z različnimi vidiki razvoja sintezne biologije, vedno večji konsenz, da odkritje genomskih zapisov ni bilo že tudi ključ do odkritja bistva življenja, temveč zgolj »konec začetka« biologije. Z nastopom sintezne biologije bo treba na novo premisliti in najbrž tudi rekonceptualizirati prvotni koncept »elsifikacije« znanosti, ki ga je spodbudil nobelovec James Watson. Tudi Paul Rabinow in Gaymon Bennett (2012: 13) pozivata k rekonceptualizaciji bistva »koncepta ELSI«, saj sodobni postgenomski raziskovalni programi, kakršnega predstavlja sintezna biologija, ne morejo več temeljiti na povsem enakem tipu družbenih, etičnih in pravnih razmislekov, ki so veljali pred nekaj leti.

V tej luči novih družbenih, etičnih in pravnih izzivov razvoja sintezne biologije se v prispevku ukvarjamo z dvema temeljnima raziskovalnima vprašanjema. Prvo se nanaša na družbene koristi razvoja sintezne biologije. V zvezi z njim gre še vedno pogosto za pričakovane družbene koristi. Zato je tako pomembno, da v ocenah o družbeni dobrobiti razvoja sintezne biologiji ne zaidemo na območje spekulativnih pričakovanj, ki segajo daleč v prihodnosti, temveč da se vprašamo o kratkoročnih družbenih koristih razvoja sintezne biologije. V okviru našega prvega raziskovalnega vprašanja tako skušamo poiskati nekaj odgovorov na vprašanje, kakšno vlogo bo igrala sintezna biologija v nastopajoči bioekonomiji. Drugo raziskovalno vprašanje pa se nanaša na problem tveganj, ki so povezana z razvojem sintezne biologije. Zanimata nas dve vrsti tveganj, ki bi lahko imeli posledice tako za družbo kot za sam razvoj biogenetskih znanosti. Pri prvem tveganju gre za biotveganje, kar ni enako kot biovarnost, o kateri v tem prispevku ne bomo razpravljali, drugo tveganje pa je ekonomsko tveganje, ki je povezano z vprašanjem (ne)upoštevanja modela odprtega pretoka znanstvenih informacij. V prispevku izhajamo iz predpostavke,

2. Kratica ELSI se v angleščini nanaša na etične, pravne in družbene implikacije razvoja naravoslovnih in tehničnih znanosti.

da bi druga vrsta tveganja lahko imela vrsto dolgoročnih negativnih učinkov na (ne) razvoj same sintezne biologije.

Prispevek je razdeljen na pet podpoglavij. Po uvodnem delu v drugem podpoglavju skušamo podati nekaj pojasnil, zakaj bi razvoj sintezne biologije prinesel radikalne spremembe zlasti na področju industrijske proizvodnje. V tretjem podpoglavju se ukvarjamo z vprašanjem, ali so strahovi v zvezi z biotveganji, ki naj bi jih prinesel razvoj sintezne biologije, upravičeni. V četrtem podpoglavju je poudarek na analizi ekonomskih tveganj za razvoj sintezne biologije, ki jih prinaša omnipotentnost patentnih pravic. Sledi še kratka sklepna misel.

2 Zakaj sintezna biologija ne želi vreči sveta z njegovih tečajev, temveč mu želi predvsem koristiti

Po zadnji, sicer že nekoliko starejši, vendar nikakor ne povsem zastareli evrobarometriški raziskavi iz leta 2010, ki je bila izvedena že po tistem, ko je Craig Venter na široko medijsko oznanil, da je njegovi raziskovalni skupini uspelo izdelati prvi sintetični genom, so Evropejci še vedno izkazovali nizko stopnjo poznavanja sintezne biologije. Rezultati raziskave Evrobarometer (2010) so pokazali, da »povprečni« Evropejec zelo malo ve o sintezni biologiji, če pa že kaj ve, se ne trudi ravno preveč, da bi pridobil več znanja o koristih in prednostih te nove tehnologije. Kar 83 % anketirancev evrobarometriške raziskave je namreč izjavilo, da področja sintezne biologije ne pozna. Od 17 %, ki so o tej tehnologiji že kaj slišali, jih je 8 % dejalo, da informacije o sintezni biologiji spremljajo površno in da si niso nikoli prizadevali pridobiti več informacij o njej. V zvezi z omenjeno raziskavo je morda zanimiv tudi naslednji podatek: od vseh držav, ki so bile zajete v raziskavo, so najvišji delež poznavanja sintezne biologije pokazali Švicarji (30 %), najmanjšega Turki (10 %). Res je tudi, da poznavanje sintezne biologije ni pretirano niti v drugih delih sveta. Leta 2010, v istem času torej, ko je potekala raziskava Evrobarometer, je samo 26 % Američanov odgovorilo, da so seznanjeni s sintezno biologijo (Peter D. Hart Research Associates 2010).

Vseeno lahko pričakujemo, tudi glede na izkušnje iz preteklosti (primer je odnos javnosti do gensko spremenjenih organizmov), da se bo zanimanje javnosti v Evropi in tudi pri nas za sintezno biologijo povečevalo. Zato ni nepomembno, da se širša (laična) javnost v odnosu do te nove in napredne tehnologije, ki bo dala tako pomemben prispevek družbi, ne prepusti pesimizmu in distopičnim družbenim imaginarijem. Nekatera civilnodružbena gibanja in nevladne organizacije, ki delujejo tako na globalni kot nacionalni ravni, želijo to novo napredno tehnologijo anatemizirati in jo prikazati kot eno večjih groženj sodobnemu človeštvu. Primer takšnega civilnodružbenega gibanja, ki prikazuje razvoj sintezne biologije v zelo negativni luči, je transnacionalna skupina t. i. ljubiteljev Zemlje (ETC). V sintetizirani bakteriji, ki jo je prispevala raziskovalna skupina Craiga Venterja (nadeli so ji izraz »M.MycoidesnJCVIsyn1.0«), so pristaši tega gibanja prepoznali tisti trenutek, ko naj bi sintezni biologi prestopili skrajno dopustno točko in se začeli – če uporabimo njihovo metaforo – »igrati boga« (ETC 2010).

Četudi so takšne obtožbe o »igranju boga« bioznanstvenike spremljale vedno, ko so ti

v svojem raziskovanju stopili korak naprej, pa naj je šlo – kako absurdno – za anestetike proti bolečini, kontracepcijska sredstva, transplantacijsko medicino ali matične celice, se zdi, da se je ta besedna skovanka najpogosteje uporabljala potem, ko se je začela razvijati sintezna biologija. Sintezni biologi naj bi namreč dobili moč ustvarjanja življenja iz nežive materije. Širjenje takšnih in podobnih ideološko in versko fundiranih družbenih imaginarijev lahko zavre nadaljnji razvoj sintezne biologije, še posebej če je v funkciji spodbujanja širše družbene tehnofobije. Še več, postane lahko resna ovira razvoju vseh drugih naprednih tehnologij (več glej v Dabrock 2009; Caj 2009), saj – kot vemo – so današnje napredne tehnologije med sabo tako povezane, da se druga brez druge sploh ne morejo razvijati. V programu Evropske komisije, ki nosi naslov »New and Emerging Science and Technology«, so že kmalu po nastopu tega novega raziskovalnega področja zapisali, da je »najpomembnejši izziv sintezne biologije pravzaprav ‚sintezna‘ integracija obstoječih disciplin« (NEST 2005). Ali če uporabimo drugi, še preprostejši primer: večina vodilnih znanstvenikov, ki delujejo na področju sintezne biologije, prihaja iz drugih znanstvenih disciplin, samo iz klasične biologije ne. Drew Endy je tehnik, Tom Knight informatik, Randy Rettberg, pobudnik tekmovanja iGEM, je eden od »očetov« interneta. Eno najmočnejših spodbud pri razvoju sintezne biologije dajejo informacijske tehnologije, ki imajo ključno vlogo pri kodiranju genetskega materiala, modeliranju in konstruiranju bioloških sistemov, ter nanotehnologije, ki so pomembne pri prebiranju in pisanju DNK-ja.

Morebitne sanje ljudi, da bi jim sintezna biologija ustvarjala »hišne ljubljence« po njihovih predstavah, so danes še daleč od praktične uresničitve. Zato pa je bolj realno razmišljanje o številnih drugih koristih, ki bi jih oziroma jih že prinaša razvoj sintezne biologije.

Ocenjuje se, da bo sintezna biologija že v bližnji prihodnosti dala ključni prispevek k proizvodnji ekološko čistejše bioenergije, odpravljanju velikih ekoloških onesnaževanj, donosnejši proizvodnji kmetijskih pridelkov, napredku medicine in zdravju ljudi ter novim vrstam industrijske proizvodnje. Revolucionarne spremembe lahko pričakujemo tudi na področju medicine, tj. novih vrst terapevtskih in diagnostičnih produktov, novih postopkov ciljnega usmerjanja zdravil, novih možnosti pri razvoju farmacevtskih proizvodov itd. Tu so že bili doseženi številni odmevni rezultati. Jay Keasling z univerze Berkeley je s svojo raziskovalno skupino uspel izdelati mikrob za proizvodnjo artemisinina, osnovne substance za zdravila proti malariji (Conor in Stemerding 2014).

Veliko si lahko obetamo tudi od nove vrste sintetičnih mikroorganizmov v industrijski proizvodnji. Danes se veliko govori o skorajšnjem vstopu v nov tip ekonomije, tj. bioekonomije, ki naj bi slonel na treh stebrih: biotehnologiji, obnovljivi biomasi ter integraciji generičnih znanj in njihovi aplikaciji.³ Ekonomisti glede na to, kakšni so njihovi družbeno-ekonomski učinki, inovacije delijo na zmerne, prelomne in radikalne. Zmerne inovacije se v večini primerov dobro prilegajo obstoječim ekonomskim in s tem povezanim pravno-političnim

3. Koncept bioekonomije so v zadnjih nekaj letih razvile mednarodne institucije ter vodilne znanstvene in tehnološke sile v svetu (OECD, EU, ZDA itd.). Strateški načrti v smeri bioekonomskega razvoja se v zadnjem času širijo na vse ravni, od transnacionalne prek nacionalne do regionalne ravni (OECD 2014).

strukturam. To ne velja za prelomne in radikalne inovacije; te vodijo k spremembam obstoječih ekonomskih in pravno-političnih struktur. V ta krog sodijo inovacije na področju sintezne biologije, ki naznanjajo vstop današnjih družb v bioekonomsko produkcijo. Ker bo šel današnji in prihodnji razvoj biotehnologije vedno bolj v smer celovitih tehnoloških »platform«, ki ustvarjajo izredno diferencirano, vendar tesno prepleteno verigo novih inovacij, se bodo med sabo ločeni različni industrijski sektorji, ki danadanes sledijo vsak svojemu cilju, »poenotili okrog novih tehnologij, zlasti okrog sintezne biologije« (Zhang 2013: 107).

Na področju praktične uporabe sintezne biologije se na neki način že dogaja – če uporabim terminologijo ameriškega teoretika znanosti Thomasa Kuhna – tiha znanstveno-tehnološka revolucija.⁴ Trditve vodilnih sinteznih biologov, da gre tu za tehnološki »preboj«, ki je primerljiv z uvajanjem parnega stroja v 19. stoletju, zato niso pretirane. Če je namreč izum parnega stroja pomenil podreditev fizične energije človeku, s čimer je nastopila doba industrializacije, potem naj bi izumi na področju sintezne biologije vodili v nov tip (bio)industrije, v okviru katere bodo na novo producirani biološki sistemi (od novih vrst goriv do inteligentne proizvodnje in pametnih terapevtskih sredstev) prevzemali osnovno proizvodno funkcijo.

Vodilni sintezni biolog Drew Endy v uvodu knjige *Synthetic Aesthetic: Investigating Synthetic Biology's Designs of Nature* (Endy 2014) trdi, da če je 19. in začetek 20. stoletja doba industrijske revolucije ter druga polovica 20. stoletja doba informacijske revolucije, potem naj bi ravno sintezna biologija na začetku 21. stoletja napovedovala novo dobo – dobo biotehnološke revolucije. Prehod iz »tradicionalnega« genskega inženiringa v sintezno biologijo lahko ponazorimo s prehodom iz obrtniškega (serijski) tip industrijske proizvodnje. »Tradicionalni« genski inženiring je gen proteina, ki je odporen proti zmrzovanju, lahko prenesel z ribe na paradižnik, s čimer so prišli do rastline, ki je bolj odporna proti mrazu. Reševanje problema izhaja v okviru »tradicionalnega« genskega inženiringa iz enega primera. V nasprotju s tem je cilj sintezne biologije gene proti zmrzovanju vstaviti v številne druge organizme, vključno z bakterijo, njihove učinke pa je mogoče ves čas vnaprej predvidevati in uravnovati. Sintezna biologija tako v primerjavi s predhodnimi stopnjami razvoja genskega inženiringa prinaša možnosti, da na temelju novih (bioceličnih) linij enormno zmanjša stroške in čas serijske izdelave novih proizvodov.

Dva druga pionirja na področju sintezne biologije, Georg Church in Ed Regis z univerze Harvard, v delu *Regenesis: How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves* (2012) navajata uspešne primere, kjer se sintetično izdelani biološki organizmi spreminjajo v »orodje« visokotehnološke proizvodnje. Podobno kot so računalniki postali univerzalni stroji, potem ko so znanstveniki razvili ustrezne programe, ki simulirajo delovanje vsakega drugega stroja, se tudi biološki organizmi spreminjajo v univerzalne producente, in sicer

4. Gre za spremembo v znanosti, ki ne nastopa nujno zelo pompozno zunaj znanosti kot celote ali celo zunaj vsakokratne posamezne znanstvene discipline. Vseeno pa na področju, kjer se dogaja, vodi do epokalnih sprememb (to velja zlasti za njene praktične posledice), ki jih lahko označimo za revolucionarne (več glej v Kuhn 1962; Hoyningen-Heune 1989).

tako, da lahko z ustreznimi spremembami svojih genskih programiranj ustvarijo praktično katerikoli zamišljeni produkt. »Navsezadnje so biološki organizmi že *vneprej izdelani* produkcijski sistemi, ki jih, tako kot računalnike, uravnavajo programi, v tem primeru njihovi genomi« (Church in Regis 2012: 4).

Tukaj seveda ne smemo iti mimo omembe raziskovanj, v katera so vključeni slovenski vrhunski sintezni biologi, ki ravno na tem izredno obetavnem področju raziskovanja s svojimi dosežki povsem enakovredno sledijo svetovnemu znanstvenemu vrhu. Raziskovalna skupina prof. dr. Uroša Petroviča z Instituta Jožef Stefan skuša v sodelovanju s tujimi znanstveniki z uporabo sintezne biologije v enem samem mikroorganizmu združiti več koristnih lastnosti za specifični biotehnološki proces. Z omenjenimi raziskovanji nameravajo izdelati kompleksne celične tovarne, saj bodo iz enega organizma uporabili gene, ki omogočajo fermentacijo lignocelulozne biomase, iz drugih pa gene za biosintezo pot, ki omogoča pretvorbo takšne obnovljive surovine v molekule, uporabne kot biogoriva ali pa za namene kemijske, farmacevtske ali živilske industrije. Uroš Petrovič (2015; 2015a) ocenjuje, da so prve kompleksne celične tovarne odmaknjene le še nekaj let v prihodnost.

Ko bodo biološki sistemi s pomočjo sintezne biologije (v praksi, ne samo v teoriji) postali takšna visokotehnoška »tovarna«, bodo dobili izredno moč pri odpravljanju globalnih problemov današnjega sveta, od odprave lakote na svetu do uničenja odpadkov na zemeljski obli, ki so posledica dve stoletji trajajoče industrializacije. Osnovno vprašanje v tem primeru ne bo več, kaj lahko ustvarimo, temveč česa sploh ne moremo ustvariti. To seveda ne pomeni, da bi takšne biološke »tovarne« proizvajale katerikoli stvar; meje materialnih procesov in proizvodov bi še vedno določali osnovni zakoni narave. Ali če ponovno citiram Georgea Churcha in Eda Regisa (2012: 4): »Sintetični mikrobi ne morejo spremeniti svinca v zlato, lahko pa spremenijo gnoj v elektriko.«

Glede na predhodno prikazane družbene koristi razvoja sintezne biologije potrebujemo namesto skepticizma in neupravičenih strahov pred njenim razvojem čim bolj celovito in objektivno družbeno refleksijo, ki bo upoštevala tako dobre kot slabe plati njenega razvoja danes in v prihodnje. Tudi pri vprašanju družbenih in ekonomskih aplikacij sintezne biologije ni na mestu vzbujanje lažnih iluzij, da se bodo spremembe zgodile čez noč. Zelo težko je napovedovati, kdaj točno v prihodnosti bodo inovacije na področju sintezne biologije dosegle stopnjo množične uporabe. Zato sicer povsem konkretna vprašanja, ki zadevajo prihodnji razvoj sintezne biologije, lahko hitro zdrknejo v polje – če si izposodimo pojem nemškega filozofa Alfreda Nordmana (2007: 35) – »spekulativnih etičnih presoja«. Da bi se izognili vsem oblikam takšnih ali drugačnih utopičnih ali distopičnih imaginarijev, je treba razviti ustrezne mehanizme »anticipativne regulacije na novo nastajajočih tehnologij« (Barben in dr. 2008: 281). Bistvo anticipativne regulacije je vključevanje čim širšega kroga različnih deležnikov pri utiranju novih tehnologij v širši družbeni prostor.

Izredno pomembno oporo pri umeščanju sintezne biologije v (današnji in prihodnji) družbeni prostor predstavljajo udeleženci tekmovanj iGEM (General Engineered Machine competition). iGEM deluje kot globalno stičišče srečevanja in tekmovanja mladih znanstvenikov. Prvo tako tekmovanje je potekalo že leta 2004, istega leta, ko so raziskovalci,

ki so svoje področje definirali kot področje sintezne biologije, organizirali svojo prvo mednarodno konferenco. Od leta 2004 naprej so tekmovanja iGEM doživljala vedno večji svetovni sloves in odmevnost.⁵ Lahko bi rekli, da so preseгла najbolj drzna pričakovanja njihovih sklicateljev in organizatorjev. Joy Y Zhang (2013: 108) opozarja, da se vse prevečkrat pozablja, da »sintezna biologija kot novo področje raziskovanja ni samo sijajen primer spoja biologije in inženiringa, temveč tudi neverjeten primer raziskovalnega področja, kjer nove, inovativne ideje množično ustvarjajo mladi, neveljavljeni nadobudneži, večinoma študentje, ki so polni entuziazma in idej, ne pa že etablirane raziskovalne skupine iz razvojnih oddelkov multinacionalk«.

Posebna vrednost tekmovanj iGEM so tudi večkulturne in interdisciplinarne izmenjave znanja, timsko delo, mreženje v mednarodnih okvirih in ne nazadnje popularizacija spoznanj na področju sintezne biologije v javnosti. Najuspešnejše skupine v okviru tega tekmovanja pri načrtovanju svojih projektov, s katerimi tekmujejo, vanje vedno bolj vključujejo družbene in etične vidike. Na konkretni ravni to pomeni, da vključujejo tudi mentorje in študente s področja družbenih in humanističnih znanosti, da bi lažje povezali naravoslovno-tehnične probleme z etičnimi, pravnimi in ekonomskimi problemi ter problemi bioterorja in (ekološke) biovarnosti. Za marsikatero vodilno znanstveno silo na svetu, na primer Kitajsko ali Veliko Britanijo, je sodelovanje na takšnem mednarodnem tekmovanju mladih talentov pomenilo spodbudo za izdelavo lastnih (nacionalnih) strategij, ki bi »animirale« mlade nadarjene ljudi za vprašanja bioznanosti pri njih doma. Zato lahko upravičeno trdimo, da so dosežki mladih talentov na tem tekmovanju pomemben kazalec za oceno posameznih nacionalnih znanstvenih in tehnoloških politik.

Ne smemo pozabiti še enega prispevka k razvoju moderne znanosti, ki se dogaja pod okriljem tekmovanj iGEM, tj. podpore odprtemu modelu razvoja znanosti. V jedru teh tekmovanj je zahteva po prispevku k Repozitoriju standardiziranih biogradnikov (Registry of BioBricks), ki se nahaja kot odprta podatkovna baza na MIT. Nekaj mesecev pred tekmovanjem prijavljene ekipe prejmejo paket delcev DNK. V poletnem času študentski timi na svojih univerzah oblikujejo sintetizirane sisteme, ki delujejo v živih celicah. Eden izmed pogojev za sodelovanja na tekmovanju je, da tekmujoča ekipa Repozitoriju standardiziranih gradnikov predloži vsaj en biološki del, najsi bo naraven ali umetno inženiran. Takšni biološki gradniki se zbirajo v skladu z uniformnim oziroma standardiziranim protokolom. Rezultat takšnega zbiranja in povezovanja vnaprej izdelanih standardiziranih bioloških gradnikov je velika stopnja standardizacije na področju bioinformacij, ki je ključni pogoj za nadaljnji razvoj na področju sintezne biologije.

V zvezi s tekmovanjem iGEM je treba na tem mestu posebej izpostaviti, da sta Georg Church in Red Regis, danes vodilna sintezna biologa v svetu, v že omenjeni knjigi *Regenesi: How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves* (2012) tekmujočim ekipam v

5. Vrhunec tekmovanja iGEM so skupni zbori vseh tekmujočih ekip, na katerih ekipe predstavijo svoje projekte, ki so jih dokončale v poletnih počitnicah. Od leta 2011 se tekmovanje ekip vedno začne oktobra z regionalnimi zbori. Tretjina najboljših ekip v okviru teh regionalnih tekmovanj napreduje v naslednji krog tekmovanja, ki poteka prvi teden novembra na Massachusetts Institute of Technology (MIT). V manj kot desetletju se je število tekmujočih ekip izredno povečalo. Leta 2006 se je tekmovanja udeležilo 32 ekip, leta 2008 že 84 in leta 2011 kar 165.

okviru iGEM namenila pravi slavospev, znotraj tega zlasti ekipi ljubljanske univerze, ki je pod vodstvom prof. Romana Jerala nekaj let zaporedoma pobirala najvišje nagrade na tem tekmovanju; slovenska ekipa je zmagala leta 2006 in 2008. To ji je ponovno uspelo leta 2010 med 130 tekmujočimi ekipami s skupno več kot 1300 tekmovalci, ki so se še zadnjič zbrale na enem mestu, na MIT v Bostonu. Church in Regis v svoji knjigi ocenjujeta, da je bilo to eno najbolj kakovostnih tekmovanj, hkrati pa posebej izpostavita dosežek slovenske ekipe: »Slovenska ekipa je ustvarila standardno molekulo DNK z združevanjem specifičnih zaporednih blokov v naprej določenem zaporedju. /.../ V bistvu je šlo za industrijsko revolucijo, ki pa je odigrala svojo vlogo le na ravni molekul. V tem raziskovalnem postopku je slovenska skupina MIT-ovemu javno dostopnemu repozitoriju biogradnikov dodala 151 novih bioloških gradnikov« (Church in Regis 2012: 199).

Pomemben del dejavnosti, ki jo opravijo študentske skupine, ki sodelujejo na tekmovanjih iGEM, se ne nanaša samo na delo na projektih znotraj laboratorijev, temveč tudi na družbene vidike njihovega raziskovanja. Hvale vredno je, da vključitev poznavalcev družbenih in etičnih vprašanj znanosti ter ne nazadnje načel, ki jih razvija paradigma odgovornega raziskovanja in inovacij, v še večji meri vodi k interdisciplinarnemu in družbeno odgovornemu značaju tekmovanj iGEM.

3 Ali so strahovi pred tveganji sintezne biologije upravičeni?

Razvoj sintezne biologije vsebuje tudi določena tveganja. V tem se v ničemer ne razlikuje od drugih naprednih tehnologij. Vsak razvoj tehnologije v zgodovini človeštva je na neki stopnji svojega razvoja vseboval tudi tveganja in negotovosti. Se pa pri sintezni biologiji srečujemo s fenomenom, ki jo včasih upravičeno postavlja v vlogo stalno izmikajoče se »gibljive tarče«. Ocene glede tveganj njenega razvoja so namreč močno odvisne od tega, ali jo bomo definirali kot enostavno nadaljevanje »tradicionalnega« genskega inženiringa ali pa jo bomo imeli za tehnologijo, ki je radikalno prekinila s preteklostjo. Strokovnjaki, ki želijo sintezno biologijo umestiti na zemljevid novih znanstvenih disciplin in tehnologij, si glede tega niso enotni. Odgovor na vprašanje, ali gre pri sintezni biologiji zgolj za »staro vino v novih sodih«, še zdaleč ni enoznačen. Podobno velja za poskus odgovora na vprašanje, ali je smiselno postavljati zelo natančne meje med sintezno in sistemsko biologijo, saj sta se obe raziskovalni področji pojavili praktično sočasno, obenem pa obe po različnih kazalcih doživljata izredno hitro rast. Po analizi Karen Kastenhofer z dunajskega Inštituta za ocenjevanje tehnologij je bilo mogoče leta 2000 v Science Citation Index Expanded pod ključno besedo »sistemka biologija« najti štiri zadetke, pod ključno besedo »sintezna biologija« pa enega. Leta 2011 je bilo to razmerje 1378 proti 363 (Kastenhofer 2013).

V strokovni literaturi bomo našli na množico definicij sintezne biologije. Strokovnjaki treh znanstvenih svetov, ki delujejo pod okriljem Evropske komisije, tj. Znanstvenega sveta za okoljska tveganja in tveganja za zdravje ljudi (SCHER), Znanstvenega sveta za pojav novo nastalih tveganj zdravja (SCENIHR) in Znanstvenega sveta za varnost potrošnikov (SCCS), so v najnovejši analizi s konca leta 2014 z naslovom *Opinion on Synthetic Bio-*

logy – Definition opravili sistematični pregled definicij sintezne biologije, ki so v obtoku v zadnjih nekaj letih (EC 2014). Prišli so do številke 35. Glavna težava množice med seboj zelo heterogenih definicij sintezne biologije je, da so splošne teoretske (konceptualne) narave in da zaradi pomanjkanja ustreznih operacionalizacij niso vedno najbolj v pomoč tistim družbenim deležnikom, ki morajo razvijati ustrezne modele družbene regulacije ter metode ocenjevanja družbenih in ekoloških tveganj ter najti odgovore na številna družbena in etična vprašanja. V tem pogledu ni vseeno, ali je sintezna biologija enostavno izenačena s »tradicionalnim« genskimi inženiringom ali pa je pojmovana kot povsem novo znanstveno in tehnološko področje, ki nima nič skupnega s »tradicionalnim« genskimi inženiringom.

Zdi se, da so v začetnih fazah razvoja sintezne biologije strokovnjaki, ki so se ukvarjali z definiranjem tega področja, manj poudarjali razliko med »tradicionalnim« genskimi inženiringom in sintezno biologijo. Še pred leti so člani Evropskega sveta za etiko znanosti poudarjali, da »je genski inženiring izhodiščna točka za sintezno biologijo in da zato, ker se prvi staplja z drugo brez jasnih meja, lahko govorimo zgolj o postopni spremembi, od ustvarjanja enostavnih k ustvarjanju kompleksnih sistemov« (EGE 2009: 48).

V zadnjem času strokovnjaki vedno bolj poudarjajo, da se je z nastopom sintezne biologije pojem biologije dejansko izenačil s pojmom tehnologije in obratno. Ali kot pravi Armin Grunwald (2012: 178): »Sintetična biologija je triumf tehničnega mišljenja v gledanju na naravo.« Podobno razmišlja tudi Drew Endy (2014: 12): »Če je bila v biologiji vedno ‚na delu narava‘, je v danšnji sintezni biologiji, ko to naravo obravnavamo kot ‚del mašinerije‘, ta narava nepopolna, zato jo lahko spreminjamo in izpopolnjujemo s tehniko.« V skladu s tem konceptom »tehnizacije« biologije se v novejših opredelitvah sintezne biologije poudarja, tudi v smislu odmika od »tradicionalnega« genskega inženiringa, izredno pomembna vloga postopkov standardizacije osnovnih bioloških gradnikov, modularnosti, ortogonalnosti in refaktoriranja.⁶

V nasprotju s klasičnim inženiringom, ki je bil usmerjen v razmeroma zmerno spreminjanje obstoječih DNK-struktur znotraj živih organizmov, se sintezna biologija postopoma spreminja v področje racionalnega konstruiranja artificiozanih organskih sistemov, ki so vedno bolj odtujeni od tega, kar naj bi izvorno našli v naravi. Cilj sintezne biologije naj bi bilo preoblikovanje (klasične) biologije v popolnoma standardizirano in abstraktno inženirsko disciplino, ki bi bila povsem analogna z električnim in računalniškim inženiringom (Rabinow in Bennet 2009, 2012).

Sintezna biologija se na doseženi stopnji svojega razvoja ukvarja s samoobnavljajočimi biološkimi sistemi, ki so podvrženi stalni dinamiki. Zato so analogije med sintezno

6. Pri moduliranju gre za ključni postopek sintezne biologije, v okviru katerega geni in proteini, ki nastopajo kot promotorji, dobijo obliko modulov. Moduli se kombinirajo, da bi ustvarili novo funkcionalnost. Koncept moduliranja se tesno navezuje na ortogonalnost, v kateri so moduli (geni, proteini, genske verige) teoretsko uporabljeni, ne da biupoštevali internomolekularne funkcionalne podrobnosti. To omogoča stalne postopke dekonstrukcije in rekonstrukcije. Primer navzočnosti načela ortogonalnosti: uporaba prokariotske regulacije genskih sistemov v evkariotskih organizmih (in obratno). Pri refaktoriranju gre za programsko-inženirski koncept, ki se nanaša na proces substancionalnega prepisovanja obstoječih programskih kodov brez sprememb v njegovem obnašanju navzven (več glej v Frank in dr. 2015; Koenig in dr. 2013).

biologijo in računalniškimi inženiringom ali klasičnim elektroinženiringom, kjer je mogoče vse »trajektorije« natančno vnaprej predvideti in jih tudi podvreči strogemu nadzoru, pogosto pretirane. Veljalo naj bi prej nasprotno. Takšen »avtopoetični« značaj umetno konstruiranih bioloških sistemov naj bi ob njihovi sočasni zmožnosti, da so v stalni interakciji z naravnim (človeškim, živalskim in rastlinskim) svetom, pomenil največje tveganje za naravni in družbeni svet. Seveda bi se bilo naivno izogibati vprašanjem, ali razvoj sintezne biologije prinaša kakšna okoljska tveganja. Institucije Evropske komisije, ki se ukvarjajo s tveganji znanstvenega in tehnološkega razvoja ter vplivajo na sprejemanje regulativnih okvirov v posameznih članicah EU, se zavedajo, da sintezna biologija prinaša nove izzive na tem področju. Področje sintezne biologije trenutno pokriva dve direktivi Evropske komisije, ki se nanašata na že dlje prisoten problem GSO. Gre za direktivo o namernem sproščanju GSO iz leta 2001 in direktivo o uporabi gensko spremenjenih mikroorganizmov v zaprtih sistemih iz leta 2009. V obeh direktivah so primeri dejanskih in možnih tveganj ter škodljivih učinkov genskega inženiringa na človekovo zdravje in okolje.

Že samo omejitve, ki so na temelju predhodno omenjenih direktiv vnesene v zakonodaje evropskih držav glede gensko spremenjenih organizmov in v domeno katerih trenutno spadajo tudi odkritja na področju sintezne biologije, bi lahko pomembno vplivale na nadaljnje pogoje njenega razvoja. Na to opozarjajo številne analize (Bailey in dr. 2012; COGEM Topic Report 2013; Kelle 2009). Regulacija v zvezi z GSO, ki jo uveljavlja Bruselj, se je namreč v nekaterih članicah EU razvila v sistem, ki je (pravno) tako zahteven in drag, da zlasti majhna in srednje velika inovativna podjetja vedno manj sledijo potencialno izredno obetajočim področjem raziskovanja na področju genskega inženiringa nasploh. Kolikor se bo regulacija, ki se nanaša na GSO, zaostrovala, bo preprečila oziroma vsaj oslabilo prihodnje inovacije na področju sintezne biologije, saj bi lahko v kalu zatrla obetajoče aplikacije na področju medicine, ki bi bile potencialno zelo koristne za družbo, ali pa bi raziskovanje sintezne biologije iz sfere človekovega zdravja potisnila na druga področja, ki so podvržena nižjim regulativnim preprekam (kozmetika ipd.).

Z razlogi za tak pristop Evrope smo se ukvarjali že večkrat (Mali 2004; 2009; Mali in Groboljšek 2011), zato tu zgolj omenimo, da v okviru različnih družbenih skupin in gibanj v Evropi še vedno naletimo na stališče, da je ukvarjanje biotehnologije z GSO nekaj, kar zahteva popolno prepoved. V tem se Evropa močno razlikuje od drugih delov sveta. Očitna je razlika med »filozofijo«, ki stoji za ocenami tveganj GSO v Evropi in ZDA. V Evropi prisegamo na »načelo previdnosti« (*precautionary principle*) – gre predvsem za preprečevanje negativnih posledic razvoja novih tehnologij. Načelo previdnosti se strogo drži naslednje logike: če znanstveni podatki v zvezi s širjenjem GSO v okolje ne omogočajo nedvoumne ocene tveganj za okolje, potem je treba te aktivnosti takoj ustaviti (Schettler in Raffensperger 2004). V ZDA v skladu s filozofijo »proakcionizma« (*proactionarism*) prednost dajejo tistim možnostim razvoja novih tehnologij, ki se kažejo kot najbolj obetavne. Steve Fuller in Vera Lipinski (2014: 99) sta »ontološko« razliko med načelom previdnosti in proakcijskim načelom jedrnato podala na naslednji način: »Zagovorniki načela previdnosti pravijo, da smo zavezani neki višji entiteti, tj. ‚naravi‘ kot taki, in z njo povezanemu metafizičnemu smislu našega življenja (da ne omenjamo zgolj

golega preživetja). V nasprotju s tem zagovorniki proakcijskega načela pravijo, da mi nismo samo del te narave; s svojim obstojem ji šele dajemo smisel; če ne bi služila našim namenom, narava ne bi imela nikakršnega smisla.«

Od opredelitve sintezne biologije kot ene izmed niš sodobnega biogenetskega raziskovanja bo v veliki meri odvisno, v katero smer bo šla evropska regulativa, ki se nanaša na znanstvena in tehnološka tveganja. Posamezni strokovnjaki tako že ves čas zagovarjajo stališče, da se razvoj sintezne biologije – zato ker ne predstavlja pomembnega premika od že dolgo uveljavljenih postopkov genskega inženiringa – ne bi smel dramtizirati, ko gre za vprašanje biotveganja.⁷ Po njihovem mnenju »izbira novega imena za staro tehnologijo še ne pomeni ustvarjanja novega tveganja« (Benner in Sismour 2005: 536). Na drugi strani je mogoče zaslediti vedno več dramatičnih opozoril predvsem različnih (bio)etičnih in drugih ekspertnih gremijev, da obstoječe direktive EU, ki se nanašajo na GSO, ne lovijo koraka z novimi tveganji, ki jih prinaša razvoj sintezne biologije. Tovrstne dramtizacije se glede na tipologijo različnih stopenj tveganj, s katero pa se na tem mestu ne bomo ukvarjali, rade poigravajo zlasti s tveganji, ki naj bi bila v zvezi s sintezno biologijo tako neznana, da jih družba enostavno ignorira. Za Evropsko skupino za etiko znanosti in novih tehnologij, ki deluje pri Evropski komisiji, je pri veljavnih direktivah EU najbolj težavno to, da se malo ali pa sploh ne dotikajo situacij, ko vnos multiplih genskih lastnosti poteka s strani (potencialno) mnogovrstnih »donatorjev«, tako da postaja primerjava z izvornim naravnim svetom nemogoča (EGE 2009).

Strokovnjaki treh znanstvenih svetov, SCHER, SCENIHR in SCCS, ki delujejo pod okriljem Evropske komisije, zahtevajo, da se zaradi zadnjih napredkov na področju sintezne biologije – kot so integracija protocelic znotraj živih organizmov, prihodnji razvoj avtonomnih protocelic, uporaba nestandardiziranih biokemičnih sistemov v živih celicah, izredna hitrost pri spreminjanju novih tehnologij za sintezo DNK in genoma v okviru obstoječih mehanizmov, ki regulirajo GSO – uvedejo tudi nove metode ocenjevanja tveganj (EC 2014a). Navajajo naslednje primere, kjer bi bilo treba čim prej uvesti nove tehnike in metode merjenja tveganj, saj obstoječe tehnike in metode, ki se nanašajo zgolj na GSO, ne zadostujejo: (1) negativni učinki, ki nastopajo zaradi integracije protocelic v žive organizme in njihov avtonomni razvoj v prihodnost, (2) nove ksenobiološke (t. i. tuje biološke) različice ter njihovo tveganje za človeško zdravje in okolje, ki naj bi bile inženirane za izboljšano biozadrževanje (izolacijo od interakcije z okoljem), (3) sinteza DNK in spreminjanje genoma, ki prek neposrednega editiranja genoma zigot (oplojenih jajčec) omogoča genske modifikacije v višjih živalih v razponu ene generacije, (4) nove multipleksirane genske modifikacije, ki povečujejo število genskih modifikacij, sočasno (vzporedno) vnesenih prek obsežne sinteze DNK in/ali visokosobnega (vzporednega) editiranja genoma. Avtorji študije predlagajo, da se ocene tveganj glede morebitnih negativnih učinkov razvoja sintezne biologije na zdravje ljudi in drugih živih vrst ter naravnega

7. V angleški strokovni literaturi, ki govori o tveganjih sodobnih bioznanosti, obstaja razmejitev med *biosecurity* in *biosafety*. Prvi termin naj bi se nanašal na nevarnosti bioterorja (angl. *bioterror*), tj. na namerne zlorabe znanosti s strani posameznikov in institucij, drugi naj bi se nanašal bolj na »bionapake« (angl. *bioerror*), tj. na nepredvidljive škodljive posledice za okolje in zdravje ljudi (glej Zhang in dr. 2012: 8).

okolja naredijo vsaj za deset let naprej. Pozivajo h kombiniranim tehnikam ocenjevanja, saj naj z nobenim individualnim pristopom ne bi mogli rešiti teh kompleksnih zadev.

Zgoraj omenjeno stališče strokovnjakov treh znanstvenih svetov Evropske komisije je samo eno izmed številnih pogledov na tveganja razvoja sintezne biologije. Ob vsej množici različnih in med seboj tudi nasprotujočih si razprav o tveganjih razvoja sintezne biologije ni mogoče zaobiti tistih stališč, ki pravijo, da naj bi samo dejstvo, da gre sintezna biologija v smeri produkcije novih bioloških sistemov – tu koncept »prejemnika« in »darovalca« DNK izgublja svoj pomen (posamezni del ali celotni genom naj bi sintezni biolog vedno bolj inženiral z računalniško tehnologijo) –, stopnjo tveganj zmanjševalo, in ne zviševalo. Po tej logiki razmišljanja naj bi sintetični organizmi, s tem ko bodo vedno manj podobni izvorno naravnim organizmom, predstavljali manj, in ne več tveganja za okolje (Marliere 2009). Helge Torgersen in Markus Schmidt (2013: 50) ugotavljata, da se »inženiriji« na področju sintezne biologije vedno bolj podajajo na utrudljivo pot sintezne biologije z oporo na »XNA« kot nosilca informacije, ki ga ne moremo najti v naravi, zato si zastavljata vprašanje: »Zakaj se ne premakniti k drugačne vrste strojni opreми, ki je neskladna z vsem, kar je bilo v naravi kadarkoli ustvarjeno, in oblikovati gensko požarno steno, ki bo enkrat za vselej rešila težave biotveganij?«

4 Omnipotentnost patentnih pravic in (ne)razvoj sintezne biologije

V zvezi z razvojem sintezne biologije ne smemo zanemariti ekonomskih tveganj, ki so povezana z vprašanjem zaščite intelektualne lastnine in lahko ravno tako usodno vplivajo na to, ali se bo razvoj sintezne biologije upočasnil. Zaščita intelektualne lastnine se praviloma jemlje – ne nazadnje v skladu z izkušnjo tehnološkega napredka v preteklosti – kot ustrezen mehanizem spodbujanja inovativne aktivnosti. Z nastopom novih naprednih tehnologij pa se tudi na tem področju postavlja cela vrsta novih izzivov. Še posebej to velja za takšne tehnologije, kot je sintezna biologija, ki se težko primerja s tehnologijami, ki so se razvile pred njo. Današnje razprave se vrtijo predvsem okrog vprašanja, ali še naprej dajati prednost različnim oblikam zaščite intelektualne lastnine inovacij na področju sintezne biologije ali morda spodbujati modele prostega dostopa znanja (glej Van Doren in dr. 2013; Van den Belt 2013; Gaisser in Reiss 2009). V okviru novih naprednih tehnologij je prost dostop do znanja vedno bolj pomemben dejavnik za to, da se kreativni inovativni potenciali sploh lahko razvijajo (Stemering in Rerimassie 2013; Krikorian in Kapczynski 2010). V primeru sintezne biologije ne gre zgolj za to, da se ta nahaja vedno bolj na stičišču biotehnologije in računalništva, zaradi česar jo je težko enostransko potiskati v naročje trše (patenti) ali mehkejše (*copyright*) lastninske zaščite. Gre predvsem za to, da obstaja velika nevarnost, da bo dostop do genskih in drugih bioinformacij zaradi omnipotentnosti patentnih in licenčnih pravic v celoti onemogočen. To pomeni, da se nadaljnji razvoj na najbolj propulzivnih področjih biotehnologije lahko izredno upočasnijo ali celo ustavi. Po nekaterih ocenah je v današnjem času že patentiranega 20 % človeškega genoma ter tudi na tisoče verig DNK iz živalskega in rastlinskega sveta ter virusov in bakterij. Ti so se milijone let razvijali naravno, sedaj pa

se jih je odtegnilo od javnega dobrega ter se jih prek patentov in drugih oblik zaščite intelektualne lastnine prepustilo zasebnim rokam (glej Hanson in Hoffman 2014). Zato so prizadevanja za odprtim dostopom do genskega materiala in drugih bioinformacij za napredek vse biotehnoške znanosti, ne samo sintezne biologije, tako pomembna. Za področje sintezne biologije to velja še posebej, saj je zahtevo po razširjenih patentnih pravicah tu še lažje uveljavljati, ker t. i. doktrina »naravnega proizvoda« (tisto, kar že obstaja v naravi in ni proizvod človeka, ne more biti patentirano) nima več prave veljave. O tem tipu (ekonomskega) tveganja, ki spremlja razvoj sintezne biologije, je bilo več napisanega na drugih mestih (npr. Mali in Kramberger 2014), zato naj zgolj izpostavimo, kako pomembna so prizadevanja, ki gredo v smer odprtih registrov in podatkovnih baz osnovnih bioloških gradnikov. Prizadevati si moramo za čim bolj odprt dostop do bioinformacij in na drugi strani ne zadušiti spodbud za inovacije. Primer dobre prakse je že omenjeni Repozitorij standardiziranih biogradnikov (Registry of Biobricks) v okviru MIT, ki temelji na filozofiji »oddaj in prejmi« (*give and get*) in na ta način zagotavlja odločilno vlogo pri razvoju odprtega dostopa do rezultatov sintezne biologije. Če bi bili osnovni biogradniki v okviru Biobricks patentno zaščiteni, bi imeli – glede na to, da vsak proizvod sintezne biologije zahteva množico teh gradnikov – opraviti s popolno »patentno goščo«, ki bi zavirala normalen razvoj te napredne »niše« raziskovanja. Znašli bi se pred bolj ekstremnimi situacijami, kot jih poznamo iz primera »Zlati riž«, mednarodnega projekta razvoja gensko spremenjenega riža, ki proizvaja β -karoten (in karotenoide) v endospermu in je zato pomemben v borbi proti pomanjkanju vitamina A, kar predstavlja globalni zdravstveni problem, prisoten zlasti v manj razvitih državah Afrike in jugovzhodne Azije. Izvajalci omenjenega projekta so se na začetku izvajanja raziskave znašli pred težavo, kako pridobiti licence nič manj kot 70 biopatentov, nad katerimi je imelo lastninsko pravico 32 različnih pravnih subjektov. Zaradi takšnih primerov ne bi smeli zanemariti tveganj, ki bi razvoj vseh novih in naprednih tehnologij, ne samo sintezne biologije, lahko upočasnila ali celo zaustavila.

5 Zaključek

Prispevek je obravnaval nekatere vidike družbenih koristi in tveganj razvoja sintezne biologije. Sintezna biologija je ena najbolj naprednih in z vidika uporabnosti njenih rezultatov tudi ena družbeno najbolj obetavnih sodobnih tehnologij. Predstavlja področje znanstvenega raziskovanja, ki se nahaja praktično na stičišču vseh ostalih naprednih tehnologij. Njeno koristnost lahko pričakujemo na vseh področjih družbenega življenja. V tem oziru se tudi skozi razvoj sintezne biologije uresničuje koncept konvergentnega tehnološkega razvoja, ki sta ga v začetku tega stoletja razvila ameriška znanstvenika William S. Bainbridge in Mihail C. Roco. Prikazovanje različnih distopičnih družbenih scenarijev, ki naj bi nastopili kot posledica razvoja teh novih tehnologij, je rezultat neupravičenih strahov in predsodkov, ki jih v javnosti širijo različna civilnodružbena gibanja, prežeta z religioznim in ekološkim fundamentalizmom. V prispevku sem skušal pokazati, da so ti strahovi in dvomi povsem neupravičeni, saj sintezna biologija vzbuja silna pričakovanj, ne zato, da bi – če uporabim metaforo – »igrala boga« (ustvarjala živi svet iz nežive materije), temveč da

bi prispevala k reševanju številnih povsem konkretnih težav današnjega globaliziranega sveta – od tega, kako odpraviti lakoto in podhranjenost ljudi, do tega, kako pomagati pri odpravi težav z onesnaženostjo okolja in izčrpavanjem naravnih virov. Na področju praktične uporabe sintezne biologije se na neki način že dogaja tiha znanstveno-tehnološka revolucija. Ob vseh silnih družbenih koristih, ki jih prinaša razvoj sintezne biologije, bi bilo seveda skrajno naivno sklepati, da njen razvoj ne prinaša tudi možnih tveganj. V prispevku sem se dotaknil dveh možnih tveganj, in sicer tveganja, ki zadeva okolje in zdravje ljudi, ter ekonomskega tveganja (problem zaščite intelektualne rešitve). Gre za možna tveganja, ki zahtevajo družbeno odgovorno obravnavo. K temu lahko prispeva tudi družbena in humanistična misel, ki mora, enako kot vsa druga znanstvenoraziskovalna področja, prispevati svoj delež k razumevanju družbenih koristi in tveganj razvoja novih in naprednih tehnologij.

Literatura

- Bailey, Claire, Metcalf, Heather, in Crook, Brian (2012): SynBio. A review of the technology, and current and future needs from the regulatory framework in Great Britain. Health and Safety Executive, Research Report RR944. Dostopno prek: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr944.pdf> (9. 1. 2015).
- Barben, Daniel, Fisher, Erik, Selin, Cynthia, in Guston, David (2008): Anticipatory Governance of Nanotechnology, Foresight, Engagement, and Integration. V J. Hackett in dr. (ur.): *The Handbook of Science and Technology Studies*: 979–1000. Massachusetts in London: The MIT Press.
- Benner, Steven, in Sismour, Michael (2005): Synthetic Biology. *Nature Review Genetics*, 6 (7): 533–543.
- Church, Georg, in Regis, Ed (2012): *Regenesi. How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves* New York: Basic Books.
- Coady, Caj (2009): *Playing God*. V J. Savulescu in N. Bostrom (ur.): *Human enhancement*: 155–180. Oxford: Oxford University Press.
- COGEM Topic Report (2013): *The Netherlands Commission on Genetic Modification. Synthetic Biology – Update 2013: Anticipating developments in synthetic biology*. The Hague: The State Ssecretary for Infrastructure and the Environment.
- Conor, Douglas, in Stemerding, Dirk (2014): Challenges for the European governance of synthetic biology for human health. *Life Sciences, Society and Policy. A Springer Open Journal*, 10 (6): 1–45.
- Dabrock, Peter (2009): *Playing God? Synthetic biology as theological and ethical challenge*. *System and Synthetic Biology*, 3 (1–4): 47–54.
- Dusek, Val (2006): *Anty-technology. Romanticism, Luddism, and the Ecology Movement*. V V. Dusek (ur.): *Philosophy of Technology*: 176–197. Oxford: Blackwell Publishing.
- Endy, Drew (2014): Introduction. How would you design nature? V D. Endy in dr. (ur.): *Synthetic Aesthetics. Investigating Synthetic Biology's Designs on Nature*: 7–22. Cambridge in London: The MIT Press.
- Frank, Daniel, Reinhard, Heil, Christopher, Coenen, in König, Harald (2015): Synthetic biology's self-fulfilling prophecy – dangers of confinement from within and outside. *Biotechnol Journal*, Article first published online: 16. december 2014.

- Fuller, Steve, in Lipinska, Veronika (2014): *The Proactionary Imperative. A Foundation for Transhumanism*. New York in Hampshire: Palgrave Macmillan.
- Gaisser, Sibylle, in Reiss, Thomas (2009): *Shaping the science-industry-policy interface in synthetic biology*. *System and Synthetic Biology*, 3 (1-4): 109-114.
- Groboljšek, Blanka, in Mali, Franc (2011): *Nekatere etične dileme in vprašanja biotehnološkega razvoja v Evropi*. *Družboslovne razprave*, 27 (68): 7-24.
- Grunwald, Armin (2012): *Technikzukuenfte als Medium von Zukunftsdebatten und Technikgestaltung*. *Karlsruher Studien Technik und Kultur*. Band 6. Karlsruhe Institut fuer Technologie: Scientific Publishing.
- Hanson, Jaydee, in Hoffman, Eric (2014): *Synthetic biology: the next wave of patents on life*. Genewatch. CRG - Council for Responsible Genetics. Dostopno prek: <http://www.councilforresponsiblegenetics.org/genewatch/GeneWatchPage.aspx?pagelid=310> (20. 1. 2015).
- Hoyningen-Heune, Paul (1989): *Die Wissenschaftsphilosophie* Thomas S. Kuhn Rekonstruktion und Grundprobleme. Braunschweig & Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn.
- EC (2014): *Opinion on Synthetic Biology I. - Definition*. Prepared by Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER), Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS). Dostopno prek: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/policy/index_en.htm (2. 2. 2015).
- EC (2014 a): *Preliminary Opinion on Synthetic Biology II - Risk assessment methodologies and safety aspects*. Prepared by Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER), Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS). Dostopno prek: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_048.pdf (3. 2. 2015).
- EGE (2009): *Ethics of synthetic biology*. Opinion No. 25. The European Group on Ethics in Science and New Technology to the European Commission. Brussels, 17. november 2009. Dostopno prek: https://www.erasynbio.eu/lw_resource/datapool/_items/item_15/ege__opinion25_en.pdf (1. 12. 2014)
- Eurobarometer (2010): *Europeans and biotechnology in 2010. Winds of change? A report to the European Commission's Directorate-General for Research*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- ETC (2007): *Extrem genetic engineering: an introduction to synthetic biology*. ETC Group Releases Report on Synthetic Biology, 16. januar 2007. Dostopno prek: www.etcgroup.org/es/node/602 (15. 1. 2015).
- FoE (2012): *The Principles for the Oversight of Synthetic Biology*. Declaration of civil society groups. Marec 2012. Dostopno prek: <http://www.synbioproject.org/process/assesssts/files/6620> (14. 1. 2015).
- Kastenhofer, Karen (2013): *Synthetic biology as understanding, control, construction, and creation? Techno-epistemic and socio-political implications of different stances in talking and doing technoscience*. *Futures*, 48 (april 2013): 13-22.
- Kelle, Alexander (2009): *Ensuring the security of synthetic biology - towards a 5P governance strategy*. *System and Synthetic Biology*, 3 (1-4): 85-90.
- Koenig, Harald, Daniel, Frank, Reinhard, Heil, in Coenen, Christopher (2013): *Synthetic Genomics and Synthetic Biology Applications Between Hopes and Concerns*. *Current Genomics*, 14 (1): 11-24.
- Kuhn, Thomas (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Krikorian, Gaelle, in Kapczynski, Amy (ur.) (2010): *Access to knowledge in the age of intellectual property*. New York: Zone Books.
- Mali, Franc (2009): Bringing converging technologies closer to civil society : the role of the precautionary principle. *Innovation – The European Journal of Social Science Research*, 22 (1): 53–75.
- Mali, Franc (2004): Recent dilemmas in the social and legal regulation of biotechnology in the European Union. *Vest – Journal of Science Technology Studies*, 17 (3–4): 39–60.
- Mali, Franc, in Kramberger, Anton (2014): Recent challenges in the social regulation of new emerging technologies: the case of synthetic biology. *Teorija in praksa*, 51 (5): 850–865.
- Marliere, Philippe (2009): The farther, the safer: a manifesto for securely navigating synthetic species away from the old living world. *Systems and Synthetic Biology*, 2 (1–2): 77–84.
- NEST (2005): *Synthetic biology: Applying engineering to biology*. Report of a NEST High-Level Expert Group. Luxembourg: Office for Official Publications of European Communities. Dostopno prek: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nect/docs/syntheticbiology_b5_eur21796_en.pdf (18. 2. 2015).
- Nordmann, Alfred (2007): If and Then: A Critique of Speculative NanoEthics. *Nanoethics*, 1 (1): 31–46.
- OECD (2014): *Emerging Policy Issues in Synthetic Biology*. OECD Publishing. Dostopno prek: http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/emerging-policy-issues-in-synthetic-biology_9789264208421-en (11. 11. 2014).
- Peter D. Hart Research Associates (2012): *Awareness and Impressions of Synthetic Biology 2010. A Report of Findings* (9. november 2012). Dostopno prek: www.synbioproject.org/library/publications/archive/6456 (17. 1. 2015).
- Petrovič, Uroš (2015): Biogoriva bi lahko v celoti nadomestila fosilna goriva. *Tromba – Agencija za promocijo znanosti, kreativnosti in inovativnosti*. Dostopno prek: <http://www.tromba.si/prof-dr-uroš-petrovič-ij-s-biogoriva-bi-lahko-v-celoti-nadomestila-fosilna-goriva> (19. 2. 2015).
- Petrovič, Uroš (2015a): Slovenci v milijardnem poslu biogoriv. Intervju z Urošem Petrovičem z Inštituta Jožef Stefan, *Finance*, 8. 1. 2015. Dostopno prek: <http://www.finance.si/8815541/Slovenci-v-milijardnem-poslu-biogoriv> (19. 2. 2015).
- Rabinow, Paul, in Bennet, Gaymon (2012): *Designing Human Practices. An Experiment with Synthetic Biology*. Chicago in London: The University of Chicago Press.
- Rabinow, Paul, in Bennet, Gaymon (2009): Synthetic biology: ethical ramifications. *Systems and Synthetic Biology*, 3 (1): 99–108.
- Schmidt, Marcus (2010): Xenobiology: A new form of life as the ultimate biosafety tool. *Bioessays*, 32 (4): 322–331.
- Schettler, Thomas, in Raffensperger, Christopher (2004): Why is a precautionary approach needed? V M. Martuzzi in M. Tickner (ur.): *The precautionary principle: protecting public health, the environment and the future of our children*: 63–83. Copenhagen: WHO Regional Office of Europe.
- Stemerding, Dirk, in Rerimassie Virgil (2013): *Discourses on Synthetic Biology in Europe*. Working Paper. Den Haag: Rathenau Institute. Dostopno prek: http://www.rathenau.nl/uploads/tx_tferathenau/Working_Paper_Discourses_on_Synthetic_Biology_in_Europe_01.pdf (6. 1. 2015).
- Torgersen, Helge, in Schmidt, Markus (2013): Frames and comparators: How might a debate on synthetic biology evolve? *Futures*, 48 (april 2013): 44–54.

- Van Doren, Davy, Stefan, Koenigstein, in Reiss, Thomas (2013): The development of synthetic biology: a patent analysis. *Systems and Synthetic Biology*, 7 (4): 209-220.
- Van den Belt, Henk (2013): Synthetic biology, patenting, health and global justice. *Systems and Synthetic Biology*, 7 (3): 87-98.
- Zhang, Joy (2013): The art of trans-boundary governance: the case of synthetic biology, *Systems and Synthetic Biology*, 7 (3): 107-114.
- Zhang, Joy, Claire Marris, in Nikolas, Rose (2011): The Transnational Governance of Synthetic Biology. Scientific uncertainty, cross-borderness and the ‚art‘ of governance. BIOS working paper no: 4. London School of Economics and Political Science: Center for the Study of Bioscience, Biomedicine, Biotechnology and Society.

SUMMARY

The article is dealing with the recent and future social implications of the progress of synthetic biology. Synthetic biology is one of the newest and the most promised emerging technologies which is in the last time the subject of increased attention by social scientists. The starting-point thesis in the article is that social scientists in the past times expressed many times the pessimistic attitudes toward the technological progress. This pessimism concerning technological progress was turned at some occasions even in some kind of technophobia. Unfortunately, the civic society groups are still watching development of synthetic biology with a lot of concern and doubt. The sensationalistic rhetorical figures (synthetic biologists are "playing God") are part of ideological discourse and they are launching dystopian imaginaries about the future technological scenarios. The public awareness about synthetic biology in Europe is also low. A 2010 Eurobarometer survey showed that 83% of EU-citizens have never heard of syntehtic biology. For that reason there is coming time for the changes. In the context of social sciences, we need to follow the discourse which will evaluate social benefits as well as risks of the future development of synthetic biology. We need an ongoing dialogue between synthetic biologists, artists, designers and social scientists, all with very different views on the new emerging technologies. In the paper, there are extensively pesented the reasons, why the future progress of synthetic biology is so important to establish new bioeconomy of 21. Century. Bioeconomy strategies focus on sustainability and the application of biotechnology (including synthetic biology) to grand and societal challenge such as climate change mitigation, energy and food security. Synthetic biology brings about a fresh way of looking at living systems, not as complex objects to be thoroughly understood, but as source of amaizing building blocks (biobricks) that can be rertived from their natural context, reshaped, standardized and used in production of artificial (non-natural) systems. This characteristic of synthetic biology has extremely transformative and applicative potential for various social and economic sectors, such as energy, industry, medicine, enviroment and agriculture. In the paper, there is also given a detailed attention to the biosafety issue in the progress of syntehtic biology. Namely, the thinking among experts, if the current regulation and risk managment in synthetic biology is currently sufficient are polarised. This polarization strongly depends from the definition of syntehtic biology. The newest opinions of the European Commisison's

expert committees consider that synthetic biology is in some aspect different from classical genetic engineering in terms of regulation of biorisk and that the current regulation and the principles of risk assessment as applied for classical genetic engineering may need some upgrades. According to European Commission's expert committees, there are specific cases in which new approaches in risk management may be necessary, such as routes of exposure and adverse effects arising from the integration of protocells into living organisms and future developments of autonomous protocells, new xenobiological variants and their risk on human health and the environment that should be engineered for improved biocontainment, etc. In the paper, there are given arguments that we need to treat the possible biorisk in synthetic biology realistic. Every kind of "overhypes" or "exaggerations" are socially unproductive. In that sense, there must be find the new way in current regulation and risk management in synthetic biology, i.e. the third way between "precautionary" and "proactionary" principles. Namely, the biggest challenge to anticipatory governance of all new emerging technologies (not only of synthetic biology) is to define the balance between caution and progress. Finally, the author of article addresses the economic risk of synthetic biology which is connected with the increasing trends of commodification of synthetic biology and its aggressive submitting to ownership protection. These trends could in the future threaten or even stop the further progress of basic research in synthetic biology.

Podatki o avtorju

Prof. dr. Franc Mali

Fakulteta za družbene vede, Kardeljeva pl. 5, 1000 Ljubljana, Slovenija

e-mail naslov: franc.mali@fdv.uni-lj.si