

# Bodoči trendi v nevro- znanstvenem raziskovanju: rezultati procesa predvidevanja

## Uvod

Katere teme bodo v prihodnosti na področju nevroznanosti še posebej relevantne? Od katerih raziskovalnih področij si znanstveniki pri proučevanju človeških možganov obetajo največje spoznavne pridobitve? Katere teme naj bi spodbujanje in financiranje raziskovanja z inovacijsko-političnega vidika v prihodnosti še posebej upoštevalo? Ta vprašanja so bila v središču obsežnega procesa napovedovanja, ki sta ga izvedla Fraunhofer ISI in Fraunhofer IAO, financiralo pa BMBF. V tem prispevku so predstavljeni osrednji rezultati predvidevanja za raziskovalno področje nevroznanosti, kakor tudi na novo razvito tematsko področje »sodelovanja med človekom in tehniko«.

## Proces predvidevanja: ozadje in metoda

Strateški oddelek nemškega Zveznega ministrstva za izobraževanje in raziskovanje (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)) je novembra 2010 pooblastilo Fraunhofer Institute ISI in IAO za izvedbo obsežnega postopka predvidevanja, da bi identificirali raziskovalne teme, ki za prihodnost napovedujejo najboljše. Postopek je bil končan poleti leta 2009, javnost pa je dobila dostop do rezultatov maja leta 2010 (Cuhls in drugi, 2009a; Cuhls in drugi, 2009b).

Postopek predvidevanja je bil sestavljen iz analize bodočih trendov na štirinajstih uveljavljenih, tehnično usmerjenih raziskovalnih področjih, kot so na primer raziskovanje materialov, informacijska in komunikacijska tehnologija, nanotehnologija, nevroznanosti ali biotehnologija (1. faza) in pregleda razvojov in trendov onkraj teh področij (2. faza). Cilj postopka predvidevanja je bil dopolniti in razširiti visokotehnološko strategijo nemške zvezne vlade, ki je usmerjena v desetletni časovni razpon, z dolgoročnejšo perspektivo.

V teh poljih so »koordinatorji tem« z udeleženi inštitutov Fraunhofer z ustreznimi strokovnimi pristojnostmi razdelali prevladujoče perspektive prihodnosti. Izhodišče »faze iskanja« tem

prihodnosti v posameznih izhodiščnih poljih je poleg analize literature vključevalo tudi delavnice z notranjimi in zunanji strokovnjaki s posameznih raziskovalnih področij. Ugotovitve so bile nato obravnavane in dopolnjene v številnih individualnih pogovorih z domačimi in mednarodnimi strokovnjaki. Bibliometrična analiza je bila namenjena potrditvi in obogatitvi doseženih rezultatov. Poleg tega je bila izvedena spletna anketa, v kateri je večje število strokovnjakov ocenilo pridobljene teme prihodnosti. Tako je bil po končani I. fazi za vsako od štirinajstih polj predložen seznam relevantnih tem prihodnosti. V tem članku bodo predstavljeni rezultati za področje nevroznanosti.

Vzporedno z iskanjem v definiranih poljih je bilo delo vse od začetka usmerjeno tudi v stalno oblikovanje pregleda. Pri tem je bila pozornost najprej usmerjena na bilateralna presečišča. Tako sta že na uvodnih delavnicah vsakokrat skupaj zasedali dve strokovni skupini in vsaka strokovna skupina je izdelala matrico z navzkrižnimi povezavami na vsa druga področja. Ko so bili predloženi prvi izsledki, je bila pozornost usmerjena na celoten skupek presečišč in posameznih tem, za katere so strokovnjaki potrdili izjemen bodoči pomen. Pri tem so bila identificirana »polja prihodnosti novega preseka«, okrog katerih se razvidno kopiči večje število tem prihodnosti z različnih strokovnih področij. V povezavi z nevroznanostmi je še zlasti pomembna nova tema »sodelovanja med človekom in tehniko«, ki bo predstavljena v drugem delu tega članka.

## Teme prihodnosti v nevroznanstvenem raziskovanju

Predmet aktualnega nevroznanstvenega raziskovanja zajema dojemanje, predstavljanje in obdelavo zunanjih dražljajev in vedenja v človeških možganih. Pri tem gre tako za nevrobiološke načine delovanja kot tudi za psihološke in družbene vtise zaznavanja, mišljenja, motorike, jezika in učenja.

Iz nevroznanosti izhajajo bistvene pobude za boljše razumevanje kognicije in zavesti, kot tudi za zdravljenje in odpravo nevrodegenerativnih bolezni. Zelo pomembne so biokemične in nevrološke podlage mišljenja, ki so v nevroznanostih prednostno raziskovane. Tu je v zadnjih letih prišlo do napredka zaradi novih postopkov za slikanje, novih medicinskih spoznanj in tudi računalniško podprtih postopkov za simulacijo možganskih tokov. Vizija nevroznanstvenega raziskovanja je v celoti razvozlati možgane in doseči neprotislovni opis bioloških podlag obdelave dražljajev, zavesti in svobode delovanja.

To je izhodiščni položaj, na podlagi katerega je bila opravljena identifikacija tem prihodnosti za prihodnjih 15 do 20 let. Ob koncu postopka je bilo razdelanih in identificiranih šest tem prihodnosti za nevroznanosti, ki bodo podrobneje predstavljene v nadaljevanju članka. Namreč, še pred začetkom obravnave posameznih tem je treba poudariti pomen medicinskega raziskovanja, usmerjenega v zdravljenje bolezni možganov in živčnega sistema, za napredek spoznanj v nevroznanostih. Medicinsko-klinično raziskovanje se v Nemčiji in drugih državah že obsežno spodbuja in financira in za njegovo izvajanje obstajajo ustaljene strukture. Ker so bili v ospredju procesa predvidevanja teme prihodnosti in še ne uveljavljena področja, je bilo področje medicinskega raziskovanja izvzeto. Vendar pa s tega področja vedno znova prihajajo osrednje spodbude, kar se bo nadaljevalo tudi v prihodnosti.

Pri kliničnem raziskovanju sta v ospredju razumevanje vzrokov in zdravljenje nevroloških bolezni (na primer Alzheimerjeva in Parkinsonova bolezen, multipla skleroza) in psihičnih obolenj (na primer shizofrenija, depresija). Glede na raziskavo Evropskega sveta za možgane

(European Brain Council) približno 127 milijonov ljudi trpi za obolenji možganov ali živčnega sistema. Te bolezni poleg individualnega trpljenja povzročajo tudi visoke družbene stroške.

Nadaljnji cilj kliničnega raziskovanja je razviti zmožnost omejevanja psihične nenormalnosti na možganske spremembe ter diagnosticirati in zdraviti napake v razvoju oziroma vedenjske dispozicije. Iskanje medicinskih aplikacij je že danes največje področje raziskovanja možganov in bo v prihodnosti postalo še pomembnejše. Poleg tega bo imelo to področje koristi od integracije spoznanj z drugih področij, kot so na primer nevroinformatika ali nove tehnike nevroslivanja (Roloff in Beckert, 2006; TAB, 2007; BMBF, 2007)

## Modeliranje možganov

Prvo področje prihodnosti, ki se je v postopku predvidevanja za nevroznanosti izkazalo za relevantno, je modeliranje možganov. Kot vemo, je mogoče raziskovanje razdeliti na tri ravni: na spodnji ravni se preiskujejo procesi na nivoju posameznih celic in molekul. Na srednji ravni je v ospredju opis dogajanja v združenjih nevronov in celic. Na zgornji ravni pa gre za določanje tistih območij možganov, ki so aktivna pri specifičnih dejanjih oziroma postopkih mišljenja.

Po mnenju vodilnih nevroznanstvenikov je predvsem srednja raven tista, ki bo v prihodnosti igrala pomembno vlogo pri raziskovanju (Monyer in drugi, 2004). Pri tem gre za poskuse razumevanja tistih nevronskega procesov, ki se izvajajo pri učenju, prepoznavanju in načrtovanju dejanj. Eno najpomembnejših vprašanj je, kako »integrirana vezja« sto ali tisoč nevronov v združenju celotnih možganov kodirajo, vrednotijo, shranjujejo in prebirajo informacije. Vendar danes nismo oblikovali enotne »teorije možganov«. V prihodnosti bodo morali nevroznanstveniki izdelati teoretične temelje, iz katerih bodo izhajali pojasnjevalni modeli, kar se danes že dogaja na primer v součinkovanju teoretične in aplikativne fizike.

Povodenj podatkov iz laboratorijev dejansko narašča v takšni meri, da so izvajalci poskusov preobremenjeni z njihovim tolmačenjem in obdelovanjem. V tem pogledu so empirično delujoči nevroznanstveniki odvisni od podpore matematikov, fizikov in informatikov. S tem je mišljeno predvsem področje računske nevroznanosti. Računska nevroznanost podpira izvajalce poskusov pri analizi tako, da pretvarja podatke v funkcionalne modele možganov (Ritzert, 2006; BMBF, 2006).

Pri proučevanju »srednje ravni« je po mnenju v postopku predvidevanja vprašanih strokovnjakov še zlasti pomembno razumeti možgane v okviru »sistemskega pristopa«. Sistemska biologija je v tem primeru lahko za vzor. Pri tem gre predvsem za večjo spojitve teoretikov in razvijalcev modelov z empiričnim raziskovanjem.

## Nevroproteze in nevrovsadki

Raziskovalna in tehnološka področja nevroprotetike in nevrovsadkov se ukvarjajo s povrnitvijo senzoričnih in motoričnih sposobnosti z električno stimulacijo nevronskega procesov in jih je v širšem pomenu mogoče uvrstiti v medicinsko-klinično domeno. Procese krmiljenja sensorike in motorike v možganih spremlja električna dejavnost, ki je osnova za prenos signalov med posameznimi nevronskega elementi v osrednjem živčnem sistemu. S tem se odpira možnost priključitve tehničnih sistemov prek nevroelektričnih vmesnikov na živce. Elektrode, ki jih je mogoče vstaviti v možgane, ne nadomeščajo (več) zgolj obstoječih nevronskega povezav.

Trenutno se razlikuje med tremi grozdi obolenj, za zdravljenje katerih se uporabljajo nevroelektrični vmesniki: prvič, za zdravljenje obolenj in poškodb na področju čutnih sistemov. Tu se uporabljajo slušni vsadki, vidni vsadki, kakor tudi vsadki za obnovitev čuta za ravnotežje (TAB, 2007; Rosahl in Samii, 2004).

Drugi grozd se nanaša na obolenja in poškodbe motoričnega sistema. V njem je mogoče najti motnje gibanja, katerih vzrok se nahaja na področju nehotene motorike, kot sta na primer Parkinsonova bolezen ali distonija, pa tudi motnje motorike, katerih glavna vzroka sta paraplegičnost in kap. Sistemi, ki se uporabljajo v te namene, omogočajo pacientu določeno mero nadzora nad gibanjem v njegovem okolju. Do zdaj uporabljeni sistemi so med drugim tako imenovani vmesniki med možgani in stroji, kakor tudi globinska stimulacija možganov (TAB, 2007; Stieglitz in Roshal, 2005).

Tretje področje motenj se nanaša na »milieu intérieur« človeškega telesa. V to so vključena kronična bolečinska stanja, prisilne nevroze, depresije in epilepsije. Uporabljeni vmesniki so na primer globinska možganska stimulacija, stimulacija motoričnega korteksa ali stimulacija hrbtne mozga.

Razvoj nevroelektričnih vmesnikov se v zadnjem času močno pospešuje in pozornost je usmerjena na celo vrsto novih področij uporabe. Gre za trend, ki se napaja iz napredkov v informacijsko-komunikacijski tehnologiji, iz miniaturizacije mehaničnih in elektronskih sistemov, kot tudi iz najnovejših spoznanj o načinih delovanja možganov. Nove kombinacije različnih področij znanja in tehnologije omogočajo na primer oblikovanje novih vmesnikov med možgani in računalniki. Značilen primer za to področje je projekt mentalnega pisalnega stroja, ki sta ga v sodelovanju razvila Fraunhofer FIRST in Charité iz Berlina in ki hromim ljudem omogoča »tipkanje« besedila zgolj z miselnim naporom.

Teme »modeliranje možganov« in »nevroproteze in nevrovsadki« so bile skupaj s temo »razvojna biologija« med strokovnjaki, ki so bili vključeni v postopek predvidevanja, deležne velikega odobravanja. Pri vprašanju o relevantnosti posameznih tematskih področij čez deset let je bil tem temam pripisan največji pomen.

Pri modeliranju možganov gre za tematsko področje temeljnega raziskovanja. Nevroproteze in nevrovsadki so nasprotno bolj aplikativno usmerjeni in odvisni od inženirskih znanosti. To, da so vprašani strokovnjaki obe tematski področji uvrstili kot približno enako relevantni, odraža dejstvo, da sta nadaljnji razvoj teoretičnih konceptov in razvoj praktičnih aplikacij medsebojno močno prepletena in odvisna ter da med njima prihaja do številnih raznovrstnih prekrivanj.

Na tematskem področju »modeliranja možganov« je še zlasti v intervjujih postalo jasno, da je čedalje več sodelovanja med razvijalci modelov in nevrobiologi, ki se ukvarjajo z empiričnimi raziskavami. Ta rezultat podpira tudi bibliometrija: povečano sodelovanje se izraža v krepitvi koavtorskih publikacijskih dejavnosti matematikov, informatikov, nevrobiologov in nevro psihologov. Po ocenah strokovnjakov se bo takšen razvoj nadaljeval tudi v prihodnjih desetih letih.

## Razvojna nevrobiologija [razvoj možganov]

Na splošno se razvojna nevrobiologija ukvarja z nastankom in dozorevanjem živčnih sistemov (nevrogeneza). Pri ljudeh med drugim raziskuje, kako možgani razvijajo najprej splošne, nato pa čedalje bolj podrobne gradbene načrte. Glavna spoznanja institucionalizirane razvojne

nevrobiologije se nanašajo na proizvodnjo in delovanje kemičnih snovi, ki prenašajo sporočila (prenašalci) v možganih. Tako je bilo na primer prikazano, da se živčne celice možganov v prvih tridesetih dneh življenja »izurijo« za funkcijo, ki jo bodo opravljale vse življenje. Možganske živčne celice so na začetku sposobne proizvajati številne različne prenašalce, v določenem pomenu se »igrajo« s svojimi zmoglostmi, dokler se ne »odločijo« za določen repertoar. V odraslem stanju se lahko v skrajnem primeru – na primer pri epileptičnem napadu – znova vrnejo k zgodaj naučenemu delovanju.

Pomembna tema je v razvojni nevrobiologiji plastičnost možganov. Pod tem pojmom nevroznanost razume zmožnost človeških možganov za prilagajanje s prestrukturiranjem na spreminjajoče se zahteve okolja. Pred tem so raziskovalci izhajali iz predpostavke, da je sposobnost možganov za spreminjanje zaradi novih nalog v starosti komaj še prisotna. Raziskovalci so domnevali, da so plastični procesi prilagajanja mogoči predvsem v zgodnji fazi razvoja. Novejši raziskovalni rezultati pa nasprotno kažejo, da ni tako. Z napredovanjem starosti se sicer delno kaže upadanje kognitivne zmogljivosti. Tako imenovane tekoče sposobnosti, torej procesno usmerjene sposobnosti, se v prevladujoči meri priučijo v prvih treh do štirih letih življenja. Kolikor intenzivneje se v tem obdobju uporabljajo kognitivni viri, toliko lažje je integrirati nove vsebine in toliko lažje je mogoče delovati proti morebitnemu kognitivnemu razkroju. Razvoj možganov v starosti je odločilno odvisen od njihovih kognitivnih naporov. Razdelani mehanizmi obdelave lahko vse do pozne starosti vplivajo na plastičnost človeških možganov.

## Nevrobionika in bioanaloga obdelava podatkov

Nevrobionika je novo, naglo razvijajoče se področje raziskovanja, ki ima koristi tako od napredkov v metodiki in spoznanj v nevroznanostih kakor tudi od raziskovanja materialov, nanotehnologije ter informacijske in komunikacijske tehnologije. Značilnost nevrobionike je, da pretok informacij poteka v drugo smer kot pri »normalnem« raziskovanju možganov, in sicer od nevrobiologije do inženirskih znanosti ali k informatiki. Biologija v številnih primerih nakazuje rešitve, ki jih tehniki lahko uporabijo za reševanje specifičnih problemov. Tako je na primer mogoče uporabiti posebne zmogljivosti živalskih živčnih sistemov za razvoj biološko navdihnjenih senzorjev (Ritzert, 2006; BMBF, 2007).

Pomembna področja z velikim potencialom so metode za bioanalogo obdelavo informacij in bioračunalniki s funkcijami pomnjenja in učenja (BMBF, 2006; BMBF, 2007). Pri tem se uporabljajo načela programiranja in strojne opreme, ki so bila odkrita pri proučevanju načinov delovanja možganov. Tako ne nastajajo zgolj nove aplikacije programske opreme, temveč tudi nove rešitve za strojno opremo, ki ne temelji na siliciju. Ključne besede na tem področju so: biostrojna oprema, optični pomnilniki in DNK-računstvo.

Pri intervjujih s strokovnjaki je bilo poudarjeno, da gre pri teh vrstah raziskovanja predvsem za razumevanje mrež v možganih. Raziskovanje s transgenskimi živalmi je na tem področju že veliko pripomoglo k razumevanju funkcionalne mrežne arhitekture v možganih.

Poseben cilj tega področja raziskovanja bi moral biti po mnenju strokovnjakov razvoj umetne sinapse, ki bi omogočila uporabo vsadkov brez stranskih učinkov. Za zdaj vsadki delujejo tako, da električno vzdražijo nevrone. To področje zahteva nadaljnje temeljno raziskovanje za razvoj novih materialov, ki bi se uporabljali kot ustrezni naravnemu procesu biokemičnega vzdraženja.

## Družbena in kulturna nevroznanost

Rezultati raziskovanja možganov kažejo, da so procesi medmrežnega povezovanja v možganih pri malih otrocih in mladostnikih pogosto povezani z družbenimi izkuštvami iz neposrednega okolja odraščajočih. Družbene izkušnje s starši, vrstniki in učitelji pustijo vtise. Trenutno se iz teh spoznanj razvija nova raziskovalna disciplina, ki raziskovanje možganov povezuje tudi z družboslovnimi in kulturološkimi raziskovalnimi okoljem: »družbena nevroznanost«.

Znanstveniki na tem področju raziskovanja obravnavajo nevronske procese kot izmenično učinkujoče z družbenimi (Markowitsch in Welzer, 2005). Pri tem postane še posebno pomembna zgodovinska perspektiva: možgani in njihovi potenciali se sorazvijajo s kulturo, ki sama ustvarja temeljne pogoje za razvoj določenih potencialov. Pri naravnosti zastavljanja vprašanj se evropski raziskovalci razlikujejo od svojih kolegov iz ZDA, katerih cilj je ugotoviti, na podlagi katerih možganskih struktur nastajajo posamezne družbene strukture.

K področju, ki trenutno spodbuja številne razprave, spada tudi raziskovanje spomina in biografije, pri kateri se vzpostavljajo povezave med različnimi pripovednimi oblikami in vsebinami ter nevronskimi vzorci in procesi sprožanja. Druga področja so družbeni in nevronski temelji razvoja »empatije in zaupanja«.

Glede področja »družbena in kulturna nevroznanost« so si bili udeleženci delavnice in intervjuvani partnerji soglasni, da bo v prihodnosti postala pomembna tema ter da je trenutno deležna premajhnega pospeševanja in spodbujanja. Nekateri pa so bili tudi kritični in so poudarili, da obstaja nevarnost banaliziranja, ker je skupni imenovalec, ki ga je mogoče proizvesti v sodelovanju različnih disciplin, dokaj majhen.

## Možganski doping / neuroizboljševanje

Napredek v vedenju o manipulaciji nevronskih procesov onkraj zdravljenja bolezni omogoča tudi izboljšanje možganskih zmogljivosti pri zdravih ljudeh. V tem primeru lahko govorimo o »možganskem dopingu« ali »neuroizboljševanju« in s tem mislimo na povečanje sposobnosti koncentracije, spominskih zmožnosti, sposobnosti dojetja in zmožnosti učenja, podaljšanje obdobja budnosti in izboljšanje razpoloženja in zaznavanja z zdravili (tako imenovanimi možganskimi pilulami), nevrokirurškimi posegi ali postopki nevrostimulacije (z vsaditvijo elektrod ali uporabo naglavnih kompletov elektrod).

Na tem področju so v razvojnem pogledu trenutno vodilne ZDA, v Evropi pa je to področje raziskovanja možganov obravnavano zlasti v povezavi z etičnimi vprašanji. Kljub temu so bili tudi v Nemčiji zaznani veliki znanstveni in gospodarski potenciali v povezavi z možganskim dopinom oziroma neuroizboljševanjem (BMBF, 2006). Še posebej zanimivo delno področje možganskega dopinga je področje nevrovsadkov, pri katerem je cilj opremiti možgane z »razširitvami pomnilnika« ali »moduli za sposobnosti« (na primer za jezike, analitične sposobnosti, poznavanje krajev) (Beckert in drugi, 2006). Tu prihaja do prekrivanja s področjem »nevroproteze in nevrovsadki«.

V intervjujih z znanstveniki je bilo poudarjeno, da sta napredek in nadaljnji razvoj na področju neuroizboljševanja odvisna predvsem od družbene razprave. Osrednja vprašanja v tej razpravi so, kaj je dovoljeno in kaj je družbeno sprejemljivo. Prav tako je bilo opozorjeno na dejstvo, da je nujno treba razviti natančnejša orodja, ki bodo omogočila zmanjšanje stranskih

učinkov. Nekatere farmakološke učinkovine za izboljševanje so problematične predvsem zato, ker njihovih stranskih učinkov do zdaj ni bilo mogoče nadzorovati.

Pri oceni teme »Možganski doping / nevroizboljševanje« v spletni anketi se je pokazalo, da so predvsem nemški strokovnjaki do te teme dokaj zadržani. Po ocenah teh vprašanih nima raziskovanje možganskega dopinga ne potencialov za pozitivne vplive na kakovost življenja ljudi ne za pozitiven gospodarski razvoj Nemčije. Veliko vprašanih strokovnjakov ni hotelo priznati niti, da ta tema pripomore k znanstvenemu napredku. Ocene so dokumentirale kritično stališče do posegov v nevronske sisteme za povečanje zmogljivosti oziroma za izboljšanje kognitivnih sposobnosti v Nemčiji. V anglosaškem in azijskem prostoru je tema nevroizboljševanje ocenjena veliko manj skeptično.

Številni strokovnjaki, predvsem v ZDA, vidijo v možnostih za izboljševanje gonilno silo raziskovalnih prizadevanj na »nevro«področju. Na to, da gre pri skeptičnosti do možganskega dopinga in nevroizboljševanja za nemško posebnost, ki se še posebej osredinja na vidik povečanja zmogljivosti, kažejo ocene tematskega področja nevroprotez in nevrovsadkov. Kot je bilo že poudarjeno, nemški strokovnjaki to temo ocenjujejo kot pomembno in relevantno. Ciljno usmerjene manipulacije možganov za zdravljenje nevrodegenerativnih bolezni, torej z nedvoumnim medicinskim predznakom, so torej sprejemljive tudi za nemške strokovnjake in so obetavna raziskovalna tema. Kot vemo, pa je od medicinske uporabe do izboljševanja kognitivnih sposobnosti pri zdravih ljudeh potreben le majhen korak. Ta rezultat kaže, da je razprava o družbeni sprejemljivosti možganskih zdravil in možganskih vsadkov, ki povečujejo zmogljivost, šele na začetku, konkretni potenciali za uporabo, še zlasti invazivne metode (na primer vsadki s čipi, ki delujejo kot moduli za tuje jezike) pa v nemški raziskovalni skupnosti trenutno še niso prepoznani.

## Polje prihodnosti novega preseka »Sodelovanje med človekom in tehniko«

Cilj druge faze postopka predvidevanja je bil identificirati »Polja prihodnosti novega preseka«, v katerih se vsakokratno odražajo prekrivajoče se značilnosti oziroma teme. Takšno polje prihodnosti novega preseka, ki se napaja predvsem iz razvojov v nevroznanostih, a jih sočasno na določen način presega, je tematsko področje »Sodelovanja med človekom in tehniko«.

Pregled razvoja v nevroznanosti, informacijski in komunikacijski tehnologiji, nanotehnologiji, biotehnologiji, zdravstvenem raziskovanju kakor tudi raziskovanju materialov, kaže skupen pojav: tehnika se čedalje tesneje povezuje s človekom.

Inovacije na področju nevroprotektike, nanomedicine, biosenzorike, avtonomne robotike, okoljske inteligence, na kontekst občutljivih prilagodljivih okolij ali farmakološkega »izboljševanja« na neposreden način sodelujejo s človeškim mišljenjem, zaznavanjem, čutenjem in delovanjem.

Vedno tesnejše približevanje in povezovanje tehnologije in človeka delno že vodi do pravih »spojitev«. Spojitve so lahko realizirane v različnih merah: pri prilagodljivih učnih okoljih, v katerih se računalniki prilagajajo napredovanju učenca, ali pri novih tipih navidezne resničnosti gre za drugačno mero spojitve človeka in tehnike kot pri vmesnikih med možgani in računalniki ali pri celičnih sklopih živih bitij in informacijske tehnologije v laboratorijskem okolju. Vsekakor pa je po opravljeni analizi razvojnih smeri na različnih področjih postalo jasno, da se

meja načeloma pomika k čedalje močnejšemu »utelešenju« tehnike oziroma k vedno tesnejši povezanosti in sodelovanju človeka in tehnike.

Številne od teh novodobnih »simbioz« med človekom in tehniko se izvajajo tam, kjer se tradicionalno začne človek. Pri tem pride do premika ustaljenih meja na različnih ravneh. Tako se na primer z živčnimi vsadki, ki gredo dobesedno »pod kožo«, na novo zarisujejo oziroma zabrisujejo zunanje meje. Notranje meje postajajo negotove s tem, ko je mogoče neposredno prebirati in ciljno učinkovati na čustva, občutke in misli človeka, na primer z uporabo virtualnih okolij ali pa s kemično stimulacijo. »Digitalna avra« naj bi premostila meje med človekom in zunanjim svetom tako, da bi prek vmesnikov v obleki, nakita ali mobilnih končnih naprav samostojno sodelovala z okoljem, ter slednje brezhibno prilagodila človeku.

Nekatere od teh aplikacij so danes še znanstvena fantastika ali pa se nahajajo v zgodnji konceptni fazi. Druge so se v zadnjih letih bliskovito razvijale naprej in so zdaj že v specializirani uporabi. Ne glede na aktualno stopnjo realizacije pa te aplikacije nakazujejo na razvoj, ki bo zaznamoval bodočo rabo tehnike in bodoči tehnični razvoj. Izvaja se v jedru človeka, prodira čedalje globlje v sfero njegovih prvotnih kognitivnih in fizičnih sposobnosti ter imitira ali manipulira njegov gradbeni načrt in zgradbo.

Očitno je, da je s tem povezana vrsta etičnih vprašanj, med njimi tudi vprašanje o človeškem stanju na splošno. Poleg etičnih vprašanj se zastavljajo z inovacijami povezana raziskovalna vprašanja, ki še posebej poudarjajo organizacijo interdisciplinarnih raziskovalnih projektov, ki se razprostirajo prek več različnih področij, s pogledom na nove aplikacije, izvirajoče iz presečišča med človekom in strojem.

Za ustrezno naslovitev teh izzivov je glede na izsledke postopka predvidevanja potrebna transdisciplinarna raziskovalna perspektiva, ki je usmerjena v premik meja med človekom in tehniko ter v inovacije, temelječe na tem premiku. Takšno raziskovalno perspektivo bi bilo mogoče sprva navezati na danes že uveljavljeno raziskovanje interakcij med človekom in tehniko. Vendar pa bi se dolgoročno lahko razvil samostojen dostop do inovacij na meji med človekom in tehniko, ki bi združeval vidike danes popolnoma ločenih področij raziskovanja.

Da bi lahko odprli bodoči potencial »inovacij na meji med človekom in tehniko«, je potrebno predvsem razumevanje součinkovanja družbenih in tehničnih sprememb, ki spremlja takšne inovacije. V ta namen je treba – glede na predlog ekipe, ki je opravila postopek predvidevanja – vzpostaviti integriran raziskovalni pristop naravoslovnih, tehničnih, humanističnih in družbenih ved, ki sega onkraj vključenih področij tehnologije. Tu je pomembna zlasti raziskovalna perspektiva »pomik meja med človekom in tehniko«, ki združuje več tehnoloških področij s specifičnimi vprašanji premikanja meja, kot sta na primer dinamika inovacij na presečišču človek in tehnika in integracija oblik vedenja za inovacije na meji med človekom in tehniko (Beckert in drugi, 2010).

**Prevedel Toni Pustovrh**

## Literatura

BECKERT, B., ROLOFF, N., FRIEDEWALD, M. (2006): R&D Trends in Converging Technologies. Deliverable 1.3 of the CONTECS Project. Avgust: Fraunhofer ISI. Dostopno prek: [www.contecs.fraunhofer.de](http://www.contecs.fraunhofer.de) (13. januar 2008).

- BECKERT, B., GRANSCHKE, B., WARNKE, P., BLÜMEL, C. (2010): Mensch-Technik-Grenzverschiebung. Perspektiven für ein neues Forschungsfeld. Ergebnisse des Workshops am 27. Mai 2009 in Karlsruhe im Rahmen des BMBF-Foresight Prozesses, Stuttgart, Fraunhofer IRB.
- BMBF (2006): Bernstein Zentren - Forschung für die Zukunft. Bonn, Berlin, BMBF.
- BMBF (2006): Leitvision „Das Denken Verstehen« FUTUR: Der deutsche Forschungsdialog. Eine erste Bilanz, BMBF, Berlin, maj 2003: 30–32.
- BMBF (2007): Roadmap für das Gesundheitsforschungsprogramm der Bundesregierung. Dostopno prek: [www.bmbf.de/pub/roadmap\\_Gesundheitsforschung07\\_lang.pdf](http://www.bmbf.de/pub/roadmap_Gesundheitsforschung07_lang.pdf) (13. januar 2008).
- CUHLS, K., GANZ, W., WARNKE, P. (UR.) (2009): Foresight-Prozess im Auftrag des BMBF. Etablierte Zukunftsfelder und ihre Zukunftsthemen. Karlsruhe/Stuttgart.
- CUHLS, K., GANZ, W., WARNKE, P. (UR.) (2009a): Foresight-Prozess im Auftrag des BMBF. Zukunftsfelder neuen Zuschnitts. Karlsruhe/Stuttgart. Dostopno prek: <http://www.bmbf.de/de/12673.php> (13. januar 2008).
- MARKOWITSCH, H. J., WELZER, H. (2005): Das autobiographische Gedächtnis. Hirnorganische Grundlagen und biosoziale Entwicklung. Stuttgart, Klett-Cotta.
- MONYER, H., RÖSLER, F., ROTH, G. ET AL. (2004): Das Manifest. Elf führende Neurowissenschaftler über Gegenwart und Zukunft der Hirnforschung. Gehirn und Geist 6/2004: 30–37.
- RITZERT, B. (2006): Der Kosmos im Fokus der Forschung. Innovationsreport, 6. julij 2006. Bericht von der Tagung des Forums der Förderung der europäischen neurowissenschaftlichen Gesellschaften (FENS) na Dunaju od 8. do 12. junija 2006.
- ROLOFF, N., BECKERT, B. (2006): Staatliche Förderstrategien für die Neurowissenschaften. Programme und Projekte im internationalen Vergleich. TAB Hintergrundpapier 15, april 2006. Berlin, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- ROSAHL, S. K., SAMII, M. (2004): Vanishing Senses – Restoration of Sensory Functions by Electronic Implants. Poiesis & Praxis 2(4): 285–295.
- STIEGLITZ, T., ROSAHL, S. (2005): Neuro-elektrische Schnittstellen zum zentralen Nervensystem des Menschen. Wissenschaftliches Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages im Rahmen der TAB-Vorstudie: Hirnforschung – Themenfeld 5: Medizinisch-technische Anwendungen der Hirnforschung – Neuroprothetik, Neurobionik, Neuroinformatik.
- TAB (UR.) (2007): TA-Projekt Hirnforschung. Endbericht. Arbeitsbericht. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Berlin, TAB.