

*Andrej ULE**IZVIRNI
ZNANSTVENI
ČLANEK**STRUKTURA PRENOSA ZNANJA
OD ZNANOSTI V TEHNOLOGIJE**

Povzetek: Predstavim nekaj osnovnih značilnosti znanstvenega in tehniškega znanja. Zavračam misel, da je tehniško znanje zgolj aplikacija znanstvenega znanja, čeprav priznavam, da je v kognitivni strukturi procesa znanstvenih in tehničnih odkritij veliko skupnih potez. Opišem nekaj značilnosti tehniških paradigem in jih primerjam z znanstvenimi paradigmi. Podam oris strukturalno-teorijskega modela tehniškega znanja. Tehniško znanje vsebuje inferenčna pravila, ki omogočajo povezovanje med različnimi vrstami referenčnih znanj. Tehniško znanje upošteva specifične zahteve po korektnih tehniških rešitvah problemov. To presega domet "aplikacij" znanstvenih dosežkov v tehniki in spreminja tehniko v posebno družbeno organizirano obliko znanja. Zato je uveljavljanje tehnološkega sistema tudi družbeno dejanje, ki terja ponotranjanje sistema v naziranj ljudi.

Ključni pojmi: znanost, tehnika, tehniško znanje, ciljna struktura, logika odkritja, inferenčna pravila, aplikacija znanosti, struktura modelov

Ali je tehnika le aplikacija znanosti?

Splošno reklo je, da znanstvena spoznanja postajajo družbena moč skozi njihovo tehnično implementacijo in uporabo v proizvodnji. Vendar je le malo znane o tem, kako se ta implementacija znanosti dogaja in sicer tako v primeru individualnih odkritij v tehniki kot tudi na ravni njihove družbene uporabe v različnih oblikah proizvodnje. Poleg tega to podoba bremeni vtis o linearnosti in monokavzalnosti, namreč vtis o tem, da je prehod od znanstvenih spoznanj k njihovi tehniški implementaciji premočrten, nekako tako kot je uporaba kakega splošnega pravila ali zakona v posebnih primerih. Drug soroden vtis je o tem, da je tehniški razvoj povsem odvisen od razvoja znanosti, da je razvoj znanosti avtonomen in primaren družbeni kognitivni razvoj, medtem ko razvoj tehnike nima svoje kognitivne logike razvoja in ne vpliva bistveno na razvoj znanosti. Oba vtisa sta seveda napačna. Čeprav zlasti sodobna tehnika resnično v osnovi gradi na znanstvenih spoznanjih, pa je razvoj kakega novega tehniškega orodja oz. kake nove tehnologi-

* Dr. Andrej Ule, profesor na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

je vse kaj drugega, kot le aplikacija poznanih znanstvenih spoznanj v omejenem primeru, ki ga ponuja kak tehniški problem.¹

Več dejstev govori zoper prvi vtis o tem, da je tehniška invencija zgolj aplikacija znanstvenih spoznanj na posebna področja uporabe znanosti. Tehnični strokovnjak mora upoštevati še celo vrsto zahtev, ki izhajajo iz posebnosti tehnološkega procesa ali sistema, katerega sestavni del naj bi bilo iskano tehnično orodje ali tehnična rešitev. Mora upoštevati na primer zahteve ekonomičnosti, varnosti, odpornosti zoper poškodbe, upoštevati mora razne tehnične in druge standarde itd. Da bi ustregel tem zahtevam, mora tehnični strokovnjak spretno kombinirati vrsto dejavnikov, tako idealnih (miselnih) kot konkretnih in ob pomoči nujno potrebnih znanstvenih spoznanj ustvariti določeno tehniško rešitev. Zato tehnični strokovnjak posebuje tehnično iznajdljivost in inventivnost, ki ni zgolj varianta znanstvene iznajdljivosti in inventivnosti.

Je tudi več razlogov, ki govorijo zoper vtis o linearnosti in monokavzalnosti razvoja tehnike glede na razvoj znanosti. Zgodovinarji tehnike ugotavljajo, da sta se znanost in tehnika dolgo časa razvijali relativno samostojno. Znanost se je razvijala prvenstveno v kognitivnem mediju, na ravni teoretičnega spoznanja sveta, tehnika in tehnologija pa sta se razvijali v mediju obrti, kmetijstva, medicine, skratka t.i. praktičnih vedenj. Do resnejšega plodnega stika je prišlo šele v novem veku, točneje od konca osemnajstega stoletja dalje, t.j. v obdobju industrijske revolucije. A industrijska revolucija sama je veliko širši in kompleksnejši proces kot zgolj aplikacija znanosti v industriji. Prej bi lahko rekli, da je to družbeni proces, ki je omogočil znanosti in tehniki, ki sta poprej stopali vsaksebi, zblížati se in se medsebojno oplajati. Renesančni urarji so npr. izdelovali izvrstne ure (za svoj čas), ne da bi kaj dosti vedeli o mehaniki oz. so imeli o tem zelo neizdelane nazore. Tudi sodobni inženirji velikokrat "pozabijo" teorijo in jo imajo le za dodatno oporo svojemu tehniškemu znanju in izkustvu. Pogosto je razvoj znanosti sledil razvoju kake nove tehnologije. Tako je bilo npr. ob izumu parnih strojev, ko je ta razvoj vzbudil razvoj termodinamike, razvoj letalskih priprav pa je razvil teorijo letenja in sploh aerodinamiko. Tudi razvoj kibernetike je nekaj časa capljal za razvojem računalništva.

¹ V tem tekstu bom razlikoval med *tehniko* in *tehnologijo*. *Tehnika* mi predstavlja načrten postopek za reševanje problemov pri obvladovanju zunanjega sveta, *tehnologija* pa mi predstavlja sistem med seboj povezanih tehnik, ki se opirajo na utrjeno in preverjeno izkušnjo in znanje (danes je to največkrat znanstveno znanje). Mnogi teoretiki ne delajo teh razlik ali prav nasprotno razlikujejo oba pojma. Zlasti v anglosaskem svetu sta termina *tehnika* in *tehnologija* pogosto sinonimna.

To seveda ne pomeni, da zavračam obstoj tesne medsebojne povezave med znanostjo in tehniko.² Pač pa zavračam poenostavljene predstave o teh povezavah, ki nas silijo v takšno ali drugačno redukcijo. Od 18. stol. dalje nedvomno lahko opazamo progresivno integriranje kognitivnih map in kognitivnih metod znanstvenikov in tehnikov, pri čemer predstavljata "metodična hipotetičnost" zasnutkov in rastoča ostrina testiranja teh zasnutkov osrednjo skupno potezo znanstvene in tehniške produkcije. V znanosti je to potezo jasno izpostavil in sistematično opisal K. Popper v svojih delih, predvsem v "Logiki znanstvenega odkritja" (1959, 1968). V teoriji tehničnega mišljenja in odkritij je ta misel manj prisotna, vendar pa je metoda hipotetičnih konstrukcij in njihovega potencialnega zavračanja močno prisotna tudi tam. Pomislimo le na številne osnutke, delne načrte, testne modele in podobne tehnične konstrukte, ki služijo za preverjanje tehničnih rešitev. Osnutki, modeli itd. služijo kot nekakšne poskusne hipoteze, na njihovi podlagi pa se kasneje zgradi dejanski projekt rešitve tehničnega problema. Pa tudi kasneje, ko je kak tehnični proizvod že vpeljan v proizvodni proces, se ga stalno preverja in dopolnjuje. V kolikor ne zadošča zastavljenim normam in pričakovanjem, ga zvržemo oz. modificiramo. Res pa je, da merilo teh preverjanj ni "narava", temveč sam tehnološki proces in njegova uspešnost glede na zastavljene smotre.

Preden lahko kaj natančnejšega povem o odnosu med znanstvenim in tehničkim znanjem, si oglejmo nekaj značilnosti kognitivnega procesa znanstvenega in tehničnega odkritja kot ga uspeva dešifrirati sodobna kognitivna znanost. Pri tem se bom v glavnem naslonil na delo S. Dasgupte "Ustvarjalnost v izumih in (tehničnem) oblikovanju" (1994), ki je poskus računalniškega modela miselnega procesa, ki vodi do tehničnih odkritij.

Strukturalna ujemanja v kognitivnem procesu znanstvenih in tehničnih odkritij

Proces tehničnega odkritja je po Dasgupti ciljno usmerjena dejavnost, ki ga formalno lahko predstavimo kot t.i. usmerjeni graf, t.j. mreža vozlišč, ki so medsebojno povezana z usmerjenimi vezmi. Vsako vozlišče predstavlja kak pojem, predstavo, pravilo, ki nastopa v kognitivni mapi posameznika, povezave med vozlišči pa predstavljajo različne asociacije teh pojmov, predstav, pravil, tako da dobimo nove

² Kot povsod v tem članku, sem prisiljen govoriti v hudo splošnih in abstraktnih terminih, ki prikrivajo notranjo diferenciacijo in strukturo pojmov, na katere se nanašajo. Tako npr. govorim o "znanosti" in "tehniko", kot da bi bila dva uniformna "objekta", čeprav sta v resnici strukturi znanj in dispozicij, individualnih in kolektivnih, ki se jih ne da zvesti na enostavne definicije. Tako "znanost" kot "tehniko" predstavlja družinska (ali še bolje, rodbinska) pojma, ki bi ju bilo treba dalje specializirati in opisati v ustreznih mrežnih strukturah. Za pojem znanosti gl. poskus takšne opredelitve v Ule, 1992, str. 11-17. Sicer pa bom pod "znanostjo" v tem spisu v glavnem menil naravnoslovnno-tehniške znanosti, pod "tehniko" pa industrijsko uporabne tehniške discipline. Paradigmi "znanosti" v zgornjem smislu sta npr. matematika in fizika, pradtigni tehnike pa npr. strojništvo in elektronika. A to zožitve pojmov sem sprejel predvsem zaradi večje enostavnosti in preglednosti predstavitve, nikakor pa ne zaradi kake redukcije vseh znanosti na naravnoslovnotehniške vede ali vse tehnike na strojništvo in industrijsko tehniko v ožjem smislu.

pojme ali njihova uprimerjenja oz. uporabe pravil. Začetna struktura takšnega grafa je struktura ciljev, pri čemer končni cilj predstavlja vozlišče, h kateremu se stekajo vsi ostali podcilji, t.j. naloge, ki morajo biti opravljene, da bi se končno lahko realiziral končni cilj. T.j. delni cilji predstavljajo nekakšna sredstva na poti do glavnega cilja, npr. rešitve kakega problema. Splošna struktura miselnih dejanj na poti do odkritja torej sledi logiki "praktičnega delovanja", kjer ob pomoči ciljev in ustreznih sredstev "sklepamo" na dejanja, ki naj privedejo do realizacije cilja. Seveda pa nastopajo v konkretnem odkritju številni drugi miselni koraki, ki jih je Dasgupta skrbno zabeležil.³ Zaradi bistvene vloge ciljev v tej mreži, imenuje Dasgupta ustvarjalni proces *teleološki* proces. Ustvarjalnost kakega kreatorja se kaže v tem, kako razvija svojo miselno matriko, kako jo širi, a obenem ne izgublja iz vida osnovni cilj, t.j. rešitev kakega tehničnega (ali znanstvenega) problema. V splošnem oziru ta postopek ni različen od drugih znanih postopkov reševanja problemov, ki jih deloma že uspešno modeliramo s sredstvi umetne inteligence. Vendar ima proces znanstvenega ali tehničnega odkritja svoje posebnosti.

Po Dasgupti karakterizira matriko ciljev in sredstev relativno majhno število podrejenih ciljev, ki pripadajo kakemu določenemu cilju v mreži. Obratno je tudi vsak cilj "podcilj" le omejenega, manjšega števila nadrejenih ciljev. Seveda bi bila idealna struktura povsem linearni usmerjeni graf, kjer bi vsak cilj "podedoval" le en podcilj in le en način povezave med podciljem in nadrejenim ciljem. Vendar je takšna struktura največkrat zgolj idealizacija, ki zanemarja številne konkretne podrobnosti, ki spreminjajo dejansko mentalno mrežo v bolj zapleteno mrežo ciljev. Seveda preveč razvejane mreže tudi niso zaželeno, saj takšne mreže preprosto ni mogoče mentalno obvladati (niti zavestno niti nezavedno).⁴

Ustvarjalec se pri razvijanju ciljno usmerjene mentalne mreže naslanja na obstoječe znanje, ki ga ima in to na obstoječe skupno znanje relevantne znanstvene oz. tehnične skupine, ki ji pripada in na svoje lastno znanje (imenujmo ga situacijsko znanje). To znanje ostaja večidel latentno (nezavedno) in implicitno prisotno v času mentalne obdelave problema, vendar odločilno pripomore k rešitvi problema. Dasgupta poudarja *hipotetski* značaj kognitivne strukture, po kateri se usmerja ustvarjalec. Cilji, podcilji, podpodcilji kot tudi povezave med njimi so po večini podani kot delovne hipoteze, so provizornega značaja. To pomeni, da jih ustvarjalec lahko zamenjuje in spreminja, če tako pokažejo rezultati uporabe teh hipotez. Zato lahko služijo napredku v reševanju problema. Seveda teh delovnih hipotez ne sme biti veliko. Idealno je, če je le ena sama takšna hipoteza, vendar se to običajno zgodi šele ob koncu ustvarjalnega procesa, ko je ustvarjalec blizu pravi rešitvi.

³ Za primer analize si je izbral znamenito odkritje mikroročanja, ki je postavilo temelje sodobnega računalništva. Gre za M. V. Wilkesovo odkritje posebne računalniške enote, v katero se vpisuje program, ki naj se izvede in ki tudi izvaja zabeleženi program. To je takorekoč računalnik v računalniku. Wilkes je nalogo rešil s pomočjo posebne matrične povezave diod (kasneje so jih seveda nadomestili tranzistorji in še kasneje mikrovezja, vgrajena v silicijeve ploščice).

⁴ Prav tu se kaže velika korist umetne inteligence, ki lahko razvije programska orodja, ki simulirajo zelo zapleteno in miselno nepregledno mrežo ciljev in povezav med njimi. Tako lahko pomaga ustvarjalcem pri oblikovanju delovnih hipotez, pri čemer hitro "izračuna" različne možnosti za realizacijo glavnega cilja.

Dasgupta je s svojim natančnim računalniško podprtim modelom kognitivnega procesa odkritja pokazal, da je vtis o hipnem značaju odkritja (ki ga spremlja značilno "Aha" ali "Evreka" doživetje) po večini napačen. Mnogi teoretiki ustvarjalnosti so poudarjali pomen te "hipnosti" oz. kvalitativnega preloma, ki vsaj v duševnosti ustvarjalca pomeni preskok od latentne faze analize in raziskovanja alternativnih rešitev k uvidu v rešitev problema (t.i. stopnja iluminacije).⁵ Pokaže se, da tudi izkušnje hipnosti odkritja, evreka doživljaji ipd. temeljijo na mešanici zavestnih in nezavednih dejavnikov kognitivne vrste, ki se razvijajo postopno. Navidezno veliki "skoki" po mreži ciljev so posredovani v množico vmesnih "mikroskokov", ki jih posreduje množica delovnih hipotez. Dasgupta meni, da igra glavno vlogo v teh procesih postopek asociacije predstav in pojmov, ki se včasih približa shemam sklepanja dedukcije ali abdukcije. Nasloni se na Koestlerjevo zamisel o "bisociaciji" idej. Po Koestlerju, ki je napisal obsežno delo o ustvarjalnosti, kjer je zbral ogromno zanimivega gradiva, ustvarjalne osebnosti zmorejo povezovati različne ravni (matrike) konceptov. Medtem ko ljudje običajno mislimo v okviru ene konceptualne matrike, pa ustvarjalci zmorejo medsebojno povezovati več različnih konceptualnih matrik (Koestler 1964). Ta Koestlerjeva hipoteza se je delno potrdila tudi v Dasguptovi analizi Wilkesovega odkritja mikroračunanja. Wilkes je namreč uspel plodno povezati dve bistveno pomembni, pred tem nepovezani zamisli, namreč uporabo t.i. diodskih matrik zato, da bi dosegel pravilno urejenost elektronskih sestavin računalnika in zamisel o shranjenem programu, ki omogoča fleksibilnost in spremenljivost v zaporedju t.i. kontrolnih signalov računalnika (Dasgupta 1994, 196). Rezultat "bisociacije" teh dveh zamisli je bila zamisel o programirani kontrolni entiti.

Dasgupta je pokazal, kako tovrstna bisociacija izhaja iz množice manj opaznih kognitivnih prehodov, namreč zaporednih "pogonov" posameznih primerkov (tokenov) "objektov" v konceptualni mreži ustvarjalca in inferenčnih (sklepalnih) operacij med temi objekti. Rezultati takšnih operacij so bili novi cilji, nova pravila ali spoznana dejstva. Ti rezultati nato zopet nastopajo kot sestavine kognitivne mreže ustvarjalca, torej so izvori za nove kognitivne operacije itd.

Tako se znova pokaže plodna zamisel o t.i. *logiki odkritja*. Znano je, da so Popper in drugi teoretiki znanosti ostro zavračali zamisel o kaki logiki znanstvene ustvarjalnosti. Logika je po Popperju primerna le za analizo posledic odkritij, ne pa za doseganje odkritij (Popper 1998, 27-29). Vendar pa so Dasgupta in drugi avtorji računalniških modelov procesa znanstvenega in tehničnega ustvarjanja pokazali, da med ustvarjanjem in preverjanjem ustvarjenega ni tako velika razlika, kot se je zdela do sedaj. Langley s sodelavci je npr. v več računalniških modelnih predstavitev (zaporedje programov tipa Bacon) posameznih znanstvenih odkritij "računalniško rekonstruiral" določena znanstvena odkritja (npr. odkritje tretjega

⁵ Po Hadamardu naj bi v psihološkem procesu ustvarjanja razlikovali štiri faze: pripravljalno fazo (obdobje študija, raziskovanja, analize problema), obdobje inkubacije (problem se iz zavestne ravni pomakne v nezavedno, posameznik ne razmišlja več zavestno o njem, pač pa prevladujejo nezavedne asociacije), obdobje iluminacije (še vedno na nezavedni ravni, vendar pa se porodi zasnutek rešitve problema, ki se vtisne v zavest posameznika), obdobje verifikacije, kjer posameznik znova zavestno preverja rešitev (Hadamard 1945).

Keplerjevega zakona, Boylevega plinskega zakona, Ohmovega zakona, Coulombovega in Arhimedovega zakona, zakona o odboju svetlobe, zakona o ohranitvi gibalne količine in celo Newtonovega zakona težnosti (Langley idr., 1987). Podobno so dosegli z nekoliko drugačnimi modeli Thagard (1988) idr. avtorji. Seveda to ne pomeni, da imamo sedaj na voljo nekak avtomatski proces odkritja ali shemo eksplicitnih pravil, ki avtorja vodijo k odkritju. Pač pa je znanih nekaj pravil razmišljanja, ki so pomembna za ustvarjalni proces. Gre predvsem za vrsto splošnih inferenčnih pravil, ki omogočajo najdenje novih pravil ali novih dejstev.

Dasgupta navaja štiri vrste takšnih splošnih pravil, ki se tipično pojavljajo v miselnem ustvarjalnem procesu: pravila vstavitve, pravila logičnega sklepanja (dedukcije), pravilo abdukcije in pravila posplošitve. *Pravila vstavitve* omogočajo partikularizacijo (oposebljanje) kakega splošnega pravila v določenem kontekstu uporabe, *logična pravila* omogočajo prenos resnice od premis k zaključkom, *pravilo abdukcije* omogoča oblikovanje novih hipotez, *pravila posplošitve* pa omogočajo oblikovanje splošnejših hipotez, če imamo na voljo spoznanje o regularnosti določenih procesov (Dasgupta 1994, 200). Dasgupta meni, da so ta pravila tako splošna, da jih vsaj v neki meri posedujemo vsi ljudje, vendar pa jih znanstveno izobraženi ljudje upoštevajo veliko pogosteje in bolj sistematično, kot znanstveno neizobražene osebe. Poleg teh splošnih pravil ustvarjalci razvijajo specifična pravila, ki so vezana na konkretno območje raziskovanja.⁶ Zato je seveda potrebno še več specifičnega znanja.⁷ Če govorimo o "logiki ustvarjanja", potem seveda ne gre za deduktivno logiko, čeprav je dedukcija eden od elementov te logike. Po Dasgupti njena pravila niso bistveno različna od pravil vsakdanjega razmišljanja, pač pa so uporabljena bolj sistematično in medsebojno povezano kot je to primer v običajnem življenju.

Zanimiva je tudi Dasguptina ugotovitev, da je Wilkes v svojem procesu odkritja relativno malo uporabljal formalne metode, npr. matematične metode, čeprav je bil izvrsten logik in matematik. Veliko pomembnejše so bile kvalitativne komponente spoznavnega procesa. To pomeni, da je bilo vsaj v tem primeru kvalitativno razmišljanje in spoznanje pomebnije od kvantitativnega, kalkulatoričnega mišljenja oz. spoznanja. Pač pa formalno mišljenje, npr. izračuni, postaja pomembno po odkritju, v obdobju preverjanja in detajliranja odkritja in v dobi njegove javne predstavitve strokovni javnosti. Pomembno je tudi, da ustvarjalec ni kako popolno racionalno bitje, nasprotno, razpolaga le z omejeno racionalnostjo (npr. ne more izvesti poljubno dolgih sklepov, ne more upoštevati prevelikega števila podatkov naenkrat, lahko se zmoti v sklepanju itd.). Kljub temu je miselni ustvarjalni proces tako močan, da premaga tudi te ovire. Vsekakor pa mora slediti *osnovni normi racionalnosti*, t.j. da izbira za uresničenje svojih zamisli takšna sredstva, ki so po njegovem prepričanju najprimernejša. Za Wilkesa je bilo značilno tudi veliko strokovno znanje iz svojega področja raziskovanja. Le visoko strokovno

⁶ Wilkes je npr. pogosto uporabil analizo ciljev in sredstev, ugotavljal in izločal napačne hipoteze, kar so že bolj specifična znanstvena pravila razmišljanja.

⁷ Zanimivo je, da abdukcija ne nastopa tako pogosto, kot so to domnevali razni teoretiki od Petreceja dalje, ki so jo priglašali za osnovno znanstveno metodo. Po Dasgupti je Wilkes uporabil abdukcijo le v dveh od petindvajsetih ključnih inferencah. Druga pravila je uporabil precej pogosteje.

znanje mu je omogočilo "odprti um", namreč relativno prosto prehajanje med različnimi konceptualnimi matrikami ter povezovanje navidezno zelo različnih ciljev ali dejstev.

Na podlagi svoje raziskave Wilkesovega odkritja, je Dasgupta postavil osem domnev o znanstvenem in tehničnem ustvarjalnem procesu:

1. Izum – t.j. ustvarjanje originalnih umetnih oblik – je ciljno usmerjena oz. teleološka dejavnost. Je posebna oblika procesa iskanja rešitev;
2. Ustvarjanje je (vsaj v domeni znanosti in tehnike) po svoji naravi oportunistično (cilji so provizorične in poskusne narave, so delovne hipoteze, ki se lahko hitro zavržejo), ni garanta uspeha oz. pravilnosti rešitve;
3. Pomembni in široki uvidi sestojijo iz morda zamotane mreže opisljivih malih korakov. Ustvarjalna dejanja so postopkovna in stopenjska;
4. Kombinacija oz. bisociacija zamisli temelji na precej vsakdanjih sklepalnih pravilih (t.j. takšnih, ki jih uporabljamo tudi v vsakdanjem reševanju problemov);
5. Procesi ustvarjanja so procesi razmišljanja v tem smislu, ker vsebujejo pravila sklepanja (deduktivnega in ne-deduktivnega) in druga pravila, s katerimi se pridobijo nova pravila, ugotovijo nova dejstva in porajajo novi delni cilji;
6. Ustvarjalni procesi, vsaj tisti v naravoslovju in tehniki, so epistemsko intenzivni. Terjajo stalen dostop do širokega spektruma znanj, od povsem specifičnih znanj iz posebnih območij vednosti do abstraktnejših, celo filozofskih postavk;
7. Ustvarjalna oseba ni zgolj polna znanja, temveč je sposobna za prosto in asociacijsko potovanje skozi prostore znanj in zmožna uporabljati različna spoznanja in podatke, zato da bi proizvedla določen cilj (Dasgupta 1994, 209).

Dasgupta posebej poudarja pomen zadnjih dveh točk, ki po njegovem mnenju najbolj odlikujeta ustvarjalni miselni proces in ustvarjalne osebnosti od njihovih neustvarjalnih "sorodnikov". Dejstvo, da lahko teh sedem značilnosti ustvarjalnega mišljenja lahko najdemo tako v znanostih kot v tehniki nam pove, da je ustvarjalni proces v obeh disciplinah kognitivno soroden. Seveda se razlikujejo cilji ustvarjanja v znanostih in tehniki, prav tako se razlikuje metodologija dela. Kljub temu pa je veliko sorodnosti. Dasgupta zato brani domnevo o "tehničnem odkritju kot znanstvenem odkritju" (design-as-scientific-discovery, DSD hipoteza).

Če ta hipoteza drži, potem se lahko vprašamo, ali ima tehnično mišljenje še kake druge skupne poteze z znanstvenim mišljenjem, kot pa je podobnost v kognitivnih procesih odkritja. Tu mislim predvsem na nadindividualne oz. bolj intersubjektivne sestavine tehničnega znanja v primerjavi z intersubjektivnimi sestavinami znanstvega znanja. Kot rečeno, Dasgupta odkriva globoko vpletenost bazičnega strokovnega znanja v ustvarjalnem tehničnem mišljenju. Toda v tem znanju imajo znanstvene sestavine nedvomno glavno vlogo. Poleg tega obstajajo tehniške strokovne skupnosti (npr. skupnost strojnikov, elektrotehnikov, računalnikarjev, strokovnjakov na raznih strokovnih področjih). Nedvomno te skupine delijo določene vrste skupnega znanja, ki se razvija po svoji dinamiki, ki ni zgolj seštevek individualnih znanj.

Zato se legitimno zastavlja vprašanje, ali in v kolikšni meri lahko tudi v razvoju tehnike govorimo o *tehniških paradigmah*, ki bi bile primerljive z znanstvenimi paradigmi. Ali je razvoj tehnike v tem smislu primerljiv z razvojem znanosti.

Zanesljivo tehniški strokovnjaki sledijo razvoju znanosti in v tem smislu nanje vpliva morebitna sprememba znanstvenih paradigem. Vendar to ni dovolj za pojasnitev dinamike tehničnega znanja. Tehnično znanje je specifično organizirano in ima posebne cilje, kar ga razlikuje od znanstvenega znanja, ne glede na podobnost v miselnem ustvarjalnem procesu, ki jo je izpostavil Dasgupta.

Tehniške in znanstvene paradigme in revolucije

Podobno kot ponujajo znanstvene paradigme znanstveni skupnosti določene teorijske vzore in vzorce "reševanja problemov", lahko domnevamo, da določene tehniške/tehnološke paradigme povezujejo tiste posameznike, ki obvladajo določeno tehniko, jim omogoča in narekuje razpoznavanje smiselnih problemov, iskanje primernih postopkov oz. rešitev problemov (tehnološka hevristika) ter vrednotenje (preverjanje) rezultatov. Lahko domnevamo, da zgodovinska in sistemska povezanost ljudi, ki se ukvarjajo s podobnimi problemi, ki uporabljajo podobne hevristike in podobna merila vrednotenja rešitev problemov, ustvarja določeno strokovno skupnost, ki ji rečem *tehnološka skupnost*, podobno z *znanstveno skupnostjo* v znanstveni dejavnosti. Takšna skupnost razvije lahko kognitivno-praktične strukture, ki so podobne znanstvenim paradigmam in dajejo tem skupnostim notranjo homogenost in enotnost.

Podobne teze je branila R. Laudanova v sestavku "Kognitivna sprememba v tehnologiji in znanosti" (1984). Po njenem mnenju so tehniki razpeti med obstoječimi tehničnimi vzorci in vzori reševanja problemov in iskanjem novih rešitev. Če bi tehniki predolgo vztrajali pri starih tehnologijah, bi to lahko povsem zavrla reševanje problemov, kar bi privedlo do nazadovanja dane tehniške skupnosti in proizvodnje sploh. A če bi se prehitro odpovedali dotedanjim vzorcem in vzorom reševanja problemov, bi jim grozila neuspešnost in poslabšanje položaja.

Po mnenju Laudanove je tehniška/tehnološka paradigma tisti vzor, ki določa "normalno tehnologijo" v določenem obdobju. Normalna tehnologija oz. njena paradigma določa meje relevantnih problemov, t.j. tistih, ki jih je mogoče reševati v njenem okviru. Omogoča tudi kopičenje tehničnega znanja in napredek tehnologije. Vsaka inovacija v okviru dane paradigme se pokaže kot nadgradnja preteklih rešitev. Laudanova je razlikovala tri stopnje tehničnega/tehnološkega znanja: individualne tehnike, tehnološke komplekse in tehnološke sisteme (povezave kompleksov). *Tehnološki kompleksi* proizvajajo zapletene končne produkte, medtem ko posamezne *tehnik*e največkrat proizvajajo le sestavine za končne produkte. Tehnološki kompleksi vsebujejo dolgožive tehnologije in so relativno stabilni v daljšem časovnem obdobju. Za tehnološke komplekse je najpomembnejše vzdrževanje ravnovesja med dobro integracijo posameznih tehnik in spremembami, ki nujno nastajajo zaradi občasnega pomanjkanja integracije, ki jo sprožajo novi tehnični/tehnološki izzivi.

Najobsežnejše tehnološke celote po Laudanovi so *tehnološki sistemi*, ki povezujejo več tehnoloških kompleksov med seboj. Posameznik le težko spozna in dojame zapleteno zgradbo tehnološkega sistema (npr. tehnološki sistemi energe-

tike, elektronike, gradbeništva). Posamezne tehnike ustrezajo nekako posameznim področnim teorijam v znanosti, tehnološki kompleksi ustrezajo povezanim superteorijam, tehnološki sistemi pa posameznim znanostim v celoti. Iz zgodovine civilizacije je znano, da so nekatere obsežne tehnološke spremembe povzročile prave tehnološke revolucije, ki so zajele celotne tehnološke sisteme. Te spremembe so podobne znanstvenim revolucijam. Tako je npr. sistemu, za katerega je bila značilna trojica les-veter-voda sledil sistem železo-premog-para. Temu sistemu pa je sledil sistem električna-atomika-sintetika.

Včasih lahko določena neintegriteta med posameznimi kompleksi, ki sprožajo kak tehnološki sistem, sproži globalno tehnološko spremembo, vendar praktični tehniki le redko vidijo celoto sistema in se ne zavedajo neuravnovešenosti med sestavinami sistema. Šele za nazaj, ko se spremembe v sistemu že zgodijo, se ljudje zavedo globine in obsežnosti sprememb. To je podobno poteku znanstvenih revolucij, kot jih je opisoval T. Kuhn (1970). Znanstveniki se namreč tudi redko takoj zavedo pomena paradigmatičnih sprememb za znanost.

Po Laudanovi pogosto spremembe v okolju silijo tehnike k novih tehničnim rešitvam, te silijo tehnike k novim tehnološkim kompleksom in ti zopet k novim tehnološkim sistemom. Primer teh sprememb so npr. spremembe v Angliji v 17. in 18. stol., npr. množično izsekavanje gozdov, kar je napotilo tehnike v iskanje novih pogonskih sredstev in virov, rezultat pa je bil izum parnega stroja. Laudanova poudarja tudi velik pomen vzročnih primerov uporabe paradigmatičnega tehniškega znanja. Po njenem mnenju so vzorčne rešitve v tehniki še pomembnejše kot v znanostih. Znanstvena paradigma poleg vodilne teorije vsebuje posebne vzorčne primere rešitev problemov (ki obenem zarisujejo mrežo podobnosti med relevantnimi primeri in izločajo neprimerne primere uporabe paradigme). Podobno kot v znanostih tudi v tehniki/tehnologiji posamezne rešitve postanejo standardi, ki so obvezni v posamezni stroki. Skupno s teorijskim tehnološkim znanjem sestavljajo vzorčne rešitve problemov "normalne tehnologije" v določenem obdobju. Podobno kot znanstvene revolucije spremenijo teorijo in prakso kake znanosti, s tem, ko nove teorije uvajajo tudi nove vzorce za izbiro in rešitev znanstvenih problemov, tudi tehnološke revolucije spremenijo teorijo in prakso posamezne tehnologije oz. tehnološkega kompleksa.

Kako sedaj razumeti tehnološke revolucije? Ali gre tudi tu za nagle kvalitativne zamenjave paradigem, ki ne dopuščajo racionalne odločitve o tem, katera paradigma je boljša, kot se po Kuhnu dogaja v znanostih? Ali se tudi tu merila za primerjavo razvijajo šele po prevladi nove paradigme? Laudanova se le delno strinja s tem mnenjem. Npr. uvedba parnega stroja je povsem spremenila tehnično reševanje problema strojnega pogona. V tedanjem času res ni bilo zadostnih meril za primerjavo starih in novih sistemov. Zato se je tedaj pojavljala za nas nesmiselna razprava o prednostih in nevarnostih parnih strojev (takšne razprave so ponovno zavrele v času uvajanja železnic). Šele ko se je uveljavila nova mera za moč stroja (konjska sila), so ljudje dobili neko merilo za primerjanje novih in starih (vodnih, vetrnih idr.) pogonskih strojev. Vendar je velika uspešnost nove tehnologije hitro "dokazala" svojo vrednost. Podobno se je zgodilo še nejkakrat ob

uvajanju novih tehničnih izumov v proizvodnjo in v vsakdanje življenje. Merila primerjave so se razvila šele po izumu.

Kljub tem podobnostim med razvojem tehnike in znanosti pa ne moremo povsem slediti primerjavi s Kuhnovim pojmom znanstvene revolucije. V tehniški praksi ima namreč navezovanje na preteklo znanje in izkušnje drug pomen kot v znanostih. V tehniki se namreč veliko sklicujemo na specifična tehniška znanja in sposobnosti, ki niso derivat znanstvenega znanja, temveč so lastna prav določeni tehniški skupnosti. Zato predajanje tehniškega znanja ne tiči primarno na kaki skupni teoriji ali skupnem pogledu na svet, kot je to primer v znanostih, temveč na množici spretnosti, praktičnih in teorijskih znanj, ki se "dedujejo" iz generacije v generacijo in ob tem spreminjajo. Razne teorije so le del tega izkustva, ki predstavlja referenčno bazo tehniškega znanja. Uporaba nove tehnike kmalu pokaže njene prednosti ali slabosti, celo če ne vemo, kako sploh deluje (primer tega je npr. teorija toplotnih strojev, ki je nastala šele za izumom parnega stroja, aerodinamika šele po izumu letal, optika po izumu leč).

Danes je ključno merilo za večjo uspešnost nove tehnične rešitve njen uspeh v industrijski proizvodnji. Ko se je pojavil parni stroj, je bila industrija in sploh uporaba znanosti zunaj znanosti malo razvita. Zato sprva ni bilo jasno, ali gre za tehnični napredek ali ne. A prav nov izum je spodbudil razvoj industrije in to je bil odločilen dokaz premoči nove tehnike. Česa podobnega ne poznamo v znanosti, kajti tu se mora novo znanstveno odkritje potrditi v sami znanosti, ne pa zunaj nje. S tem pa ni rečeno, da novi tehnični izumi ne povzročajo velikih in globokih prelomov med starim in novim, kjer lahko zmanjka meril za primerjavo. Tudi v razvoju tehnike se morajo strokovnjaki pogosto odločati za "novo" ob pomanjkanju zadostnih argumentov in informacij in nekaj časa pogumno vztrajati pri svoji odločitvi, da se izkaže pomen inovacije. Največje prelome, ki jih povzročajo uvajanje kake nove tehnologije, moramo iskati predvsem v širših učinkih nove tehnologije na proizvodnjo in na življenje ljudi kot pa v čistih tehnoloških spremembah. Tehnologije so namreč bistveno vezane na svoj "zunanji" uspeh, npr. v industrijski proizvodnji, medtem ko znanosti vsaj v načelu lahko živijo "za sebe", t.j. imajo svoj samosmoter.

Zato se znanstvene revolucije odsevajo predvsem skozi razlike znanstvenih paradig in v znanstveni skupnosti, tehnološke revolucije pa odsevajo tako v tehniškem izkustvu/znanju kot v učinkih zunaj ožje tehnike. V zgodovini tehnike je velikokrat šele povratni učinek na tehnologijo s strani industrije pglavitna spodbuda za nadaljni razvoj kake tehnične rešitve (npr. odkritje tranzistorja je spodbudilo industrijo, da ga uporabi, to pa je vplivalo na tehniko (in znanost), da raziskujejo stvar dalje). Seveda pa je tudi znanost sama ena od območij uporabe tehniškega znanja. Zato moramo upoštevati tudi možnost, da kak tehnični izum sproži znanstveno revolucijo (to se je zgodilo npr. z odkritjem brušenega stekla v leče, kar je privedlo Galileja do odkritja daljnogleda in do potrditve Kopernikove teorije). Tehnično odkritje lahko izzove celo nastanek nove znanosti. Tak je bil primer z računalniki, ki so sprožili nastanek kibernetike in informacijskih znanosti, ali s tehnikami za izolacijo genov, ki so privedle do biotehnologije). Te znano-

sti se tipično uvrščajo med čiste in inženirske znanosti, navadno so interdisciplinarne in se zelo hitro razvijajo.

Nasproten primer je, kadar znanstveno odkritje, nova tehnologija, nova teorija ipd. sproži revolucijo v tehnologiji. Toda nikoli se ne zgodi neposreden prenos znanstvenega odkritja v tehnologijo. Tehnologija mora pred tem prevzeti metode eksperimentalne znanosti in jih preoblikovati v splošno uporabo. To pa je zapleten proces, ker je eksperimentalna praksa zavezana mikropogojem znanstvenega preverjanja hipotez, tehniška praksa pa makropogojem mogoče splošne uporabe odkritja (npr. v industriji). Zato je govorjenje o neposredni tehnični aplikaciji znanstvenih dognanj ali celo o tem, da so znanstvene teorije le miselni koncentradi mogočih tehničnih rešitev vsaj nekorektno, če ne nesmiselno. Zares celovito in globoko učinkujejo predvsem celotni tehnološki kompleksi ali sistemi, ne pa posamezne tehnične inovacije. Takšni sistemi spreminjajo strukturo in način proizvodnje, vnašajo nove potrebe in motivirajo ljudi k novemu "videnju stvari". Prav zaradi te globalne spreminjevalne vloge je tudi za znanstvene paradigme bistveno, da se navežejo na razvoj novih tehnoloških sistemov in šele s tem dosega-jo res "drugačno" gledanje na svet tako med znanstveniki kot med laiki. Tako je npr. uporaba električne energije šele kot celoten tehnološki sistem spremenila življenje in delo ljudi 20. stoletja. Novejši primer je informatika, računalništvo.

Strukturalnih učinkov računalniške tehnologije oz. informatike v družbi ne povzroča množica posameznih uporab računalnikov, temveč njihova sistematska in sistemska uporaba. Zato ne prinaša družbenih sprememb le uporaba znanosti/tehnologije v industrijski proizvodnji, kot se to včasih poenostavljeno razlaga, temveč šele razvoj in utrditve celotnega tehnološkega sistema v družbi. Tehnološki sistem je več kot le uporaba neke celovite tehnične rešitve v praksi. Je tehniška/tehnološka rešitev, ki je prežela vse oblike in sfere družbe in življenje ljudi. Je tudi družbeno in osebno "ponotranjena" tehnika (vsaj posredno, skozi vsakdanjo rabo naprav, ki so zasnovane na določeni tehniki). Družba, ki si želi prisvojiti kako novo tehnologijo, ki sproža tehnološko revolucijo, ne more te tehnologije sprejeti zgolj v industrijsko proizvodnjo ali v drugih omejenih oblikah uporabe tehničnih sredstev, temveč mora biti pripravljena uvesti ves tehnološki sistem. Ljudje v tej družbi si morajo hkrati s tem prisvojiti tisti odnos do sveta, do dela in življenja, ki ga prinaša s seboj novi tehnološki sistem. To pa je navadno dolgotrajen proces.

Na podlagi prej opisanega modela kognitivnega procesa tehničnega (oz. tudi znanstvenega) odkritja in primerjave znanstvenih in tehniških paradigem/revolucij podajam oris strukturalnega modela tehnične aplikacije znanstvenega znanja. Ta oris se naslanja na t.i. strukturalno teorijo znanosti, ki jo je začel J. D. Sneed v sedemdesetih letih. Prvotno je bila razvita za teorijo fizikalnih znanosti, kasneje pa so jo Sneed in drugi avtorji strukturalne teorije znanosti razširili tudi na druge naravoslovne, družbene in humanistične znanosti in praktične discipline. Seveda se tu ne morem spuščati v podrobnejši oris te teorije, podal bom le osnovne poteze

modela.⁸ Strukturalna teorija znanosti sodi v vrsto t.i. modelskoteorijskih pristopov k znanostim (sem sodi npr. še Suppesova in v. Fraassenova teorija znanosti).

Oris strukturalno-teorijskega modela tehniškega znanja

Osnovo strukturalno-teorijskega pristopa h kateremukoli segmentu človekovega znanja predstavlja *struktura modelov* teorij. V prvi vrsti razlikujemo štiri vrste modelov znanja: potencialni modeli, delni potencialni modeli, (dejanski) modeli in intendirani modeli.

V kolikor imamo opravka z zrelo znanstveno teorijo, predstavljajo *potencialni modeli* takšne strukture dejanskih ali zamišljenih (možnih) predmetov in njihovih lastnosti ter relacij, ki vsebujejo vse za kako teorijo značilne funkcije in količine, vendar še niso podane dejanske vrednosti in popolne matematične oz. formalne oblike teh funkcij. V posebnem to pomeni, da "opremimo" določeno ontološko območje tako s potencialnimi empirijskimi kot teorijskimi "vrednostmi". *Teorijske vrednosti (količine)* so tiste, ki so centralne *s stališča določene teorije* in jih lahko določimo le tako, da predpostavimo veljavnost dane teorije v kakem drugem modelu uporabe teorije (t.i. T-teorijski pojmi).

Delni potencialni modeli predstavljajo zgolj empirijske segmente potencialnih modelov teorije, t.j. strukturo predmetov, ki jih določajo zgolj tiste vrednosti, količine ali funkcije, ki s *stališča določene teorije* predstavljajo empirijske količine ali funkcije.⁹ Delne teorijske modele imenujemo tudi *podatkovne strukture*.

Dejanski modeli so "dopolnjeni" potencialni modeli teorije in sicer tako, da izračunamo oz. kako drugače dobimo dejanske vrednosti vseh zahtevanih empirijskih in teorijskih funkcij, ki predstavljajo rešitev kakega problema.

Intendirani model pa je vsak tak delni potencialni model, ki smo ga ali ga bomo dejansko uporabili v določeni teoriji. Ni namreč nujno, da vsako empirijsko situacijo, ki načelno sodi v območje dane teorije, razvijemo do dejanskega modela, čeprav načelno vemo, da obstaja "rešitev" zanj v okviru teorije. V strukturalni teoriji znanosti so vsi ti modeli natančno logično definirani, tako da je v načelu možna tudi računalniška predstavitev delovanja kake teorije.

Navedene razlike med modeli teorije si lahko predstavimo s postopkom reševanja kake fizikalne naloge, npr. določiti hitrost, ki jo ima nihajoče telo (v

⁸ V strukturalni teoriji je velik poudarek na celostni, holistični naravi znanstvenih teorij. "Teorijski del" kake empirijske znanstvene teorije predstavlja vse tiste termine in stavke teorije, ki jih lahko apliciramo na stvarnost le tako, da predpostavimo veljavo te iste teorije, tj. ne moremo iziti iz nje. Govorimo o ti. T-teorijskih pojmi. V fizikalnih teorijah so teorijski pojmi npr. pojem mase in sile v Newtonovi teoriji, pojem entropije, entalpije in energije v teoriji toplote, pojem elektromagnetnega polja v teoriji elektromagnetizma, pojem štiridimenzionalnega prostora-časa v posebni in v splošni relativnostni teoriji, pojem valovne funkcije v kvantni teoriji itd. V genetiki je tak pojem gen, v kognitivnih psiholoških teorijah pojem kognicije, v psihoanalizi pojem nezavednega itd. Termini oz. pojmi, ki jim lahko določimo pomen (vrednost, vsebino) neodvisno od dane teorije, so glede na to teorijo ne-teorijski oz. empirijski. Seveda pa se lahko zgodi, da je kak pojem T-teorijski glede na teorijo T, a je empirijski glede na kako drugo, višjo teorijo. Ali obratno, kak empirijski pojem glede na teorijo T je teorijski glede na kako "nižjo" teorijo, ki predstavlja temelj za gradnjo določene teorije.

fizikalnem nihalu) v določeni legi nihala. Dolžina nihala in skrajni odmik nihala od ravnotežne lege predstavljata začetna podatka naloge in sta povsem empirijska (opazovalna) podatka. Predstavljata torej delni potencialni model za teorijo nihala (oz. še bolje, za klasično mehaniko, ki jo "specializiramo" na področje nihanja). Seveda je to tudi intendirani model za teorijo nihala. Potencialni model je nihalo, kot ga zremo s stališča mehanike, t.j. "opremimo" ga z vsemi silami, ki delujejo na (točkasto) telo z določeno maso, pripeto na nit določene dolžine. Med drugim moramo vedeti za silo težnosti v kraju nihanja. Dejanski model rešitve predstavlja izračun, ki nam v skladu z zakoni mehanike poda zaželjene končne vrednosti, t.j. hitrost nihajočega telesa v določeni točki nihanja (podani npr. s kotom odmika nihala od ravnotežne lege).

Poleg navedenih tipov modelov, po strukturalni teoriji znanosti določeno znanstveno teorijo označujejo še nekatere druge strukturalne sestavine. Zlasti pomembni so t.i. *križni pogoji* (ti "constrainsi"), ki povezujejo različne modele iste teorije med seboj v smiselne celote (npr. zahteve po konstantnosti določenih količin, zahteve po aditivnosti količin ipd.) in t.i. *specializacije*. Slednje so podmnožice množice dejanskih modelov prvotne teorije, ki so "uposebljeni" na določena ožja predmetna območja uporabe teorije. Zanje so značilni dodatni zakoni, ki opredeljujejo ta območja (v fiziki to opredelimo npr. s posebnimi zakoni sil, npr. z zakoni težnosti, Hookovim zakonom, Coulombovim zakonom itd.).

Strukturalni teoretiki običajno navajajo še dve vrsti modelov, pravzaprav podvrsti, namreč *vzorčne primere aplikacij* kake teorije in *aproximacije* (približke). Vzorčni primeri aplikacij so izbrani intendirani primeri teorije, t.j. izbrani primeri reševanja problemov, ki karakterizirajo velike razrede sorodnih problemov. Glede na njih se izbirajo realni delni potencialni modeli, ki se razvijajo do intendiranih modelov teorije. V Newtonovi mehaniki so bili vzorčni primeri npr. prosti pad, gibanje po klancu, kroženje teles, nihanje in valovanje. S tem, ko je Newton podal splošna načela za reševanje tovrstnih problemov, je podal tudi osnovne vzorce za reševanje neštevilnih fizikalnih problemov v mehaniki, pa naj so to čisto znanstveni problemi ali problemi tehniške vrste (npr. konstrukcija strojev). Obstoj vzorčnih modelov rešitev problemov je nujen zato, da se kaka znanstvena teorija sploh lahko uporabi, da najde stik s stvarnostjo. Na njihov pomen je opozoril že T. Kuhn in jih je imel za "paradigme znotraj paradigem", za tisto sestavino znanstvenih paradigem, ki dejansko dela iz njih "vzorce" za znanstveno delo (Kuhn 1970, 187-191; 1977, 306-308). Aproximacije so prav tako nujno potrebno sredstvo za to, da lahko uporabimo kako teorijo na določenem intendiranem primeru uporabe. Zakoni se namreč le približno pokrivajo s podatki (in obratno), z zakoni tudi ni podana stopnja možnega odstopanja podatkov od zakonov. Zato potrebujemo poseben "aparatus približkov", ki določa, kaj je ustrezen približek, odmik ali podobnost oz. mera signifikantnosti določenih podatkov oz. izmerjenih količin (Balzer 1997, 52). Aproximacije lahko prav tako kot ostale množice modelov opredelimo kot posebne množice modelov, ki ustrezajo določenim zahtevam.

Zaradi večje enostavnosti in preglednosti lahko zanemarimo razliko med intendiranimi in delno potencialnimi modeli in upoštevamo kot "začetni" korak teorije le množico intendiranih modelov njene uporabe. Te modele najprej pretvo-

rimo v potencialne modele teorije in le te nato ob uporabi splošnih in posebnih zakonov teorije v dejanske modele teorije. Pri tem upoštevamo še navzkrižne povezave med modeli in stopnje približnosti rešitev. Prav v ta "postopek" se vmeščajo tudi vsi kognitivni procesi posameznih znanstvenikov, ki rešujejo kak znanstveni problem. Podobno se dogaja v tehniških vedah oz. praksah. Specifično za tehniško znanje je, da med seboj največkrat "križa" uporabo različnih teorij. Npr. za kako tehnično rešitev moramo uporabiti mehaniko, ekektrodinamiko, termodinamiko, kemijo itd. To pomeni, da tehnik vzporedno uporablja več teorijskih struktur, to pa pomeni tudi več modelskih struktur.

Recimo, da mora uporabiti vsaj dve različni teoriji T in T' , ki ju strukturalno podamo z množicami modelov in dodatnih omejitev.

$T = (I, M_p, M, C, Ap)$, $T' = (I', M'_p, M', C', Ap')$, pri čemer I oz. I' označuje ustrezni množici intendiranih aplikacij, M_p oz. M'_p ustrezni množici potencialnih modelov teorij, M oz. M' ustrezni množici (dejanskih) modelov, C in C' ustrezni množici križnih pogojev in Ap ter Ap' ustrezni množici aproksimacijskih pravil za uporabo obeh teorij. Pri tem zaradi večje enostavnosti množici M, M' dejanskih modelov vnaprej "zožimo" tako, da ustrezata morebitnim posebnim zakonom in določilom kakega izbranega območja uporabe teorije.

"Uporabnik" obeh teorij naj ima opraviti z danim problemom Pr . Začetno obliko tega problema lahko predstavimo kot par primerov intendiranih aplikacij i in i' , pri čemer i sodi v okvir množice I teorije T , i' pa v okvir množice I' teorije T' . Par (i, i') označimo z i_0 . Pri tem avtor rešitve poskuša reševati problem tako, da "dopolni" oba intendirana modela teorije do dejanskih modelov teorij, torej v splošnem doseže par modelov m in m' , ki ustrezata vsem specialnim zakonom, križnim pogojem in aproksimacijskim pravilom. Skupni model $m_0 = (m, m')$ predstavlja torej neko "navzkrižno modelsko strukturo", ki jo ni lahko predstaviti, a za začetek jo oprelelimo kar s parom modelov (m, m') .

Za tehniške vede je tipično, da to ni dovolj, kajti dejanska tehnična rešitev mora ustrezati začetnemu problemu ter posebnim standardom, ki jih predpisuje npr. določena tehnologija, industrijska raba, zakonski predpisi in tehnični standardi in vzorčnim primerom tehničnih rešitev. Vsa ta določila nalagajo modelom m in m' dodatne zahteve, ki jih ne moremo preprosto porazdeliti na oba modela, temveč moramo iz njiju zgraditi *nov, skupen "model" rešitve*, to je *tehniški model*. To pa pomeni, da mora tehnik običajno že od vsega začetka kombinirati obe teorijski strukturi na ustrezen način, to je tako, da presega običajno unijo zakonov in pravil obeh teorij, da ju zna povezati v novo konceptualno mrežo. To ravnanje je zlasti pogost primer v ustvarjalnih rešitvah, kot je to pokazal Dasgupta s svojo analizo in modelom tehničnega okritja. Ključno vlogo igra množica premostitvenih pravil, ki jih lahko podamo v obliki inferenčnih pravil, ki povezujejo "cilje" oz. objekte različnih konceptualnih matrik. V našem primeru gre za konceptualne matrike, ki ustrezajo obema referenčnima teorijama, podanima v strukturalni obliki. Konkretno to pomeni, da mora avtor ustvarjalne tehnične rešitve razviti mrežo inferenčnih pravil, ki omogočajo "premostitev" razlik med T in T' in to na ta način, da predstavljena rešitev ustreza dodatnim tehničnim standardom in predpisom, ki jih formalno združimo v množico tehnično specifiziranih modelov TM .

Opravlka imamo torej z (v prvem približku) naslednjo strukturalno-modelsko strukturo tehničnih rešitev problemov (določene vrste). V našem primeru gre za rešitve, ki izhajajo iz kombinacije dveh teorij T in T' . Označimo to modelsko strukturo s $TRP(T, T')$ (tehnične rešitve problemov na bazi teorij T in T'):

$TRP(T, T') = (I \times I', M_p \times M'_p, M \times M', C \times C', A_p \times A'_p, TM)$, kjer "x" predstavlja operacijo kartezijskega produkta množic, v našem primeru množice urejenih parov elementov množic, ki jih povezuje ta operacija.¹⁰

Gljučna stvar v tej strukturi se "dogaja" v prehodu od modelov tipa M oz. M' , ki ustrezajo teorijama T in T' k tehnično relevantnim modelom iz množice TM . Za konkreten primer kake tehnične rešitve to pomeni razvitje inferenčnih pravil, ki omogočajo dodatno specializacijo modela $m_0 = (m, m')$, katerega komponenti sta modela m in m' v *nov sintetični model* m_{pr} , ki predstavlja model rešitve problema Pr tako, da ustreza vsem tehničnim zahtevam in predpisom. m_{pr} seveda sodi v množico TM . Oblikovanje modela m_0 sodi še v "aplikacijo" znanosti, t.j. teorij T in T' na določena posebna območja njihove uporabe, medtem ko oblikovanje modela m_{pr} predstavlja specifičen tehnični vidik rešitve, ki presega raven neposredne aplikacije znanstvenih teorij. Če lahko model m_0 še lahko predstavimo kot dvokomponentni model (m, m') , pa je m_{pr} več od tega. Je tudi več od kakršnekoli množičnoteorijske povezave obeh modelskih struktur. Je tehnično specifična sinteza znanstvenih modelov v nov, tehnično relevanten model rešitve. Wilkes je npr. to dosegel tedaj, ko je podal model svoje diodne matrice, ki implementira mikro-računanje, t.j. hrani v sebi računalniški program in ga postopoma izvaja na bitih informacij, ki vstopajo kot podatki v to matrico. Seveda je moral pri tem upoštevati znanje elektronike, fizike, logike itd., vendar je bila podana rešitev več od kakršnekoli unije, preseka ali kake druge množice fizikalnih, elektrotehniških in logičkih rešitev problema.

Podana formalna struktura "tehničnih modelov" seveda velja tako za posamezne rešitve kot za množice rešitev. To pomeni, da velja tudi za skupinsko delo več avtorjev, ki delajo na kakem skupnem projektu. Ključne naloge so, kako natančneje opredeliti posamezne komponente modelov, ki ustrezajo posameznim delnim znanjem, ter kako od tod preiti k sintezi rešitve, ki predstavlja enotno rešitev, ki ustreza tudi vsem tehničnim zahtevam. Tu gre za poseben prenos znanja, ki terja poznavanje ali iznajdenje posebnih inferenčnih pravil, ki premoščajo razlike med posameznimi konceptualnimi mrežami, v splošnem primeru pa premoščajo razlike med posameznimi komponentami modela rešitve in jih medsebojno uskladijo v rešitvenem modelu. To pa tudi pomeni, da bo kak posameznik ali skupina, ki skuša rešiti določen tehnični problem, to dosegla toliko hitreje, kolikor bolj bo samo delovno okolje in struktura znanj, ki jih posedujejo, orga-

¹⁰ Npr. $I \times I'$ pomeni množico vseh urejenih parov (i, i') , kjer je i kaka intendirana uporaba teorije T , i' pa intendirana uporaba teorije T' . Kartezijski produkt množic je na nak način najšibkejša povezava elementov dveh množic, saj ne gre niti za unijo v novo množico, niti za presek obeh množic, temveč preprosto za "paraleliziranje" dveh množic. Dejansko to pomeni, da (i, i') pomeni razbitje kake aplikacije obeh teorij na dve komponenti, na tisto, ki pripada teoriji T in ono, ki pripada teoriji T' . Podobno velja za druge navedene kartezijske produkte. Vsi predstavljajo množice nekakšnih "dvokomponentnih" elementov, usaka od komponent pripada teoriji T ali teoriji T' .

nizirano v skladu z zahtevami problema. Tj. tako, da bodo ustvarjalcem na voljo vse tiste informacije, ki lahko prispevajo k oblikovanju inferenčnih pravil in mreže nadrejenih in podrejenih ciljev. V tej točki igrajo ključno vlogo sodobna informacijska sredstva, ki nudijo hiter dostop do različnih baz podatkov in oporo za odkrivanje latentnih inferenčnih pravil (sredstva umetne inteligence, računalniško modeliranje in testiranje hipotez). Pomemben sklep, ki izhaja iz teh ugotovitev je, da je pretok znanosti v tehniko in v proizvodnjo toliko boljši in uspešnejši, kolikor bolj okolja, v katerih se dogaja ta prehod, ustrezajo kognitivni organizaciji znanstvenih in tehničnih odkritij. To pomeni, da bo kak posameznik ali skupina, ki razvija nov tehnični proizvod toliko uspešnejši, kolikor bolj bo struktura njihovega okolja vsebovala dejavnike, ki se navezujejo na ključne kognitivne dejavnike znanstveno-tehničnega spoznanja in odkritja. Če sledim svoji domnevi o formalni strukturi tehniškega znanja, potem bi morala biti glavna vozlišča v razvoju znanstvenotehniškega znanja v:

- oblikovanju takšnih komponent kompleksnih intendiranih aplikacij teorij, ki ustrezajo zaželenim rešitvam problemov (npr. oblikovanje komponent i in i' intendirane aplikacije i_0 v našem dvokomponentnem primeru)
- oblikovanju komponent kompleksnih potencialnih modelov teorij (v našem primeru oblikovanje komponent m_0 , m'_0 potencialnega modela m_0 , ki ustreza zadani intendirani aplikaciji glede na teoriji T oz. T')
- oblikovanju komponent kompleksnih dejanskih modelov teorij (v našem primeru oblikovanje komponent m , m' dejanskega modela m_0)
- ta model bi moral ustrezati vsem specialnim zakonom, križnim pogojem in aproksimacijskim zahtevam za uporabo delnih teorij (v našem primeru zahtevam C in C' ter Ap in Ap')
- oblikovanju inferenčnih pravil in strukture delnih ciljev, ki privede do sinteze rešitve, ki povzame in preseže vse delne komponente modelov tako, da ustreza tehničnim zahtevam in predstavlja rešitev tehničnega problema.

Na vsaki stopnji procesa rešitve problema bi se morala oblikovati nova struktura individualnega ali skupinskega znanja, ki povzame in preseže dosežke prejšnje stopnje. Seveda se lahko v konkretnem primeru posamezne faze rešitev združijo v en korak, toda pomembno je vedeti za načelne stopnje v tem procesu. Seveda sem s tem presegel običajni domet strukturalne teorije znanosti, predvsem s tem, da sem abstraktno strukturo modelov teorije tolmačil kot dinamično konceptualno dogajanje, kot zaporedje korakov k rešitvi kakega problema. Od tu dalje pa sledi naslednji, težji del naloge, ki terjajo izdelavo formalno natančnejšega in računalniško podprtega modela prenosa in modifikacije znanstvenega znanja v tehniško znanje.

LITERATURA

- Balzer, W. Moulines, C. U., Sneed, J. D. 1987. An Architectonic for Science. Reidel, Dordrecht
 Balzer, W. 1997. Die Wissenschaft und ihre Methoden. Alber Verl., München
 Dasgupta, S. 1994. Creativity in Invention and Design. Cambridge Univ. Press, Cambridge

- Hadamard, J. 1945. *Psychology of Invention in the Mathematical Field*. Princeton Univ. Press, Princeton
- Langley, P., Simon, H., Bradshaw, G. L., Zytkow, J. M. 1987. *Scientific Discovery*. MIT Press, Cambridge/M
- Laudan, R. 1984. *Cognitive Change in Technology and Science*. V R. Laudan (izd.), *The Nature of Technological Knowledge*, Reidel, Dordrecht
- Koestler, A. 1964. *The Act of Creation*. Hutchinson, London
- Kuhn, T. S. 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. The Univ. of Chicago Press, Chicago
- Kuhn, T. S. 1977. *Second Thoughts on Paradigms*. V T. S. Kuhn, *The Essential Tension*. Univ. of Chicago Press, Chicago
- Popper, K. R. 1959, 1968. *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, London (slov. prevod Logika znanstvenega odkritja, SH, Ljubljana 1998)
- Sneed, J. D. 1991. *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Reidel, Dordrecht
- Stegmüller, W. 1976. *The Structure and Dynamics of Theories*. Springer, New York, Heidelberg
- Thagard, P. 1988. *Computational Philosophy of Science*. MIT Press, Cambridge/M
- Ule, A. 1992. *Sodobne teorije znanosti*. ZPS, Ljubljana
- Ule, A. 1995. *Znanje, znanje in stvarnost*. ZPS, Ljubljana