

dr. Stane Indihar, red. prof.

Univerza v Mariboru

Ekonomsko-poslovna fakulteta

## O TEHNOLOŠKEM PREDVIDEVANJU

### Technological Forecasting

#### 1 Uvod

*Today's economy is distinguished from past economies because of its global characteristics and because of the rapid changes taking place in technology. The importance of technological forecasting in today's fast changing global environments is perhaps greater than even before* (Levary in Han, 1995).

*We cannot avoid forecasting future technical developments, so we might as well do it right. A research scientist shows how it's done* (Martino, 1993).

*Forecasting is like trying to drive a car blindfolded and following directions given by a person who is looking out the back window* (N. N., TF).

Tehnološko predvidevanje (TP) je sorazmerno mlada znanstvena disciplina. Med začetne poskuse TP moremo šteti poročilo vlade ZDA (U.S. Gov., 1937), v katerem je bilo predvideno, da se bodo plastični materiali, televizija, sintetični kavčuki in mehanični obiralec bombaža verjetno zelo razširili med prebivalstvom in imeli pomemben vpliv na družbo.

TP se je začelo intenzivno razvijati v šestdesetih letih prejšnjega stoletja. Obsežna literatura (knjige, specializirane revije, zborniki konferenc) kaže, da je zanimanje za TP po svetu zelo veliko. Pomembni vzpodbudi za TP sta bila dva dejavnika: tekmovanje v oboroževanju in tekmovanje pri osvajanju vesolja med ZDA in SZ. V okviru TP so največje korake naredile ZDA, Japonska in razvite države zahodne Evrope. Tem državam vneto sledijo hitro se razvijajoče države Azije. Nedvomno je TP prispevalo k njihovemu gospodarskemu razvoju. V posebni številki revije Technological Forecasting & Social Change (TF&SC 1999) so predstavljeni nacionalni razvojni projekti Japonske, Nemčije, Nizozemske, Avstrije, Madžarske, Velike Britanije, Avstralije, Nove Zelandije, Francije, Španije, Italije in Južne Koreje. Omenjena so tudi prizadevanja v TP v Južnoafriški republiki in nekaterih državah Jugovzhodne Azije ter Južne Amerike.

#### Kaj je TP?

To je raziskovalna dejavnost, ki poskuša predvideti in usmerjati bodoči nacionalni tehnološki razvoj, razvoj posameznih gospodarskih panog, razvoj posameznih proizvodnih organizacij, napovedati pojav novih ali izboljšanih tehnologij, predvideti nove oziroma izboljšane izdelke. TP se ukvarja z vprašanji: kako hitro bo nova tehnologija zamenjala staro, kako hitro se bo med prebivalstvom uveljavil neki novi izdelek, kako bodo tehnološke spremembe vplivale na ekonomski in družbeni razvoj. TP se ne ukvarja z vprašanjem, kako razviti neko novo tehnologijo ali izdelati neki novi izdelek. Tudi ni orientirano k dobičkonosnosti. TP nakazuje potrebne raziskovalne aktivnosti, da bi čim bolj verodostojno napovedali npr. pojav neke tehnološke novosti v določenem časovnem intervalu. TP ima za izhodišče prehojeno razvojno pot, zmožnosti materialnih in človeških virov in seveda razvojne cilje, ki si jih postavi bodisi določena organizacija bodisi podjetje, regija, država ali celotna družba.

Namesto besede predvidevanje uporabljamo tudi besedi napovedovanje ali prognoziranje.

#### Izvleček

UDK: 001.89:65.012.2

Tehnološko predvidevanje (TP) je učinkovit pripomoček pri sprejemanju odločitev o bodočem tehnološkem razvoju, bodisi na nacionalni ravni ali na nižjih ravneh. Dosedanje aktivnosti na področju TP so dale razne kvalitativne in kvantitativne metode in številne primere uporabe le-teh. Namen tega članka je: (1) na kratko prikazati te metode in (2) navesti nekatere primere uporabe v praksi. Nekoliko več pozornosti je namenjene metodi Delphi in krivuljam rasti.

*Ključne besede:* tehnološko predvidevanje, metoda Delphi, krivulje rasti, logistična krivulja, Bassov model

#### Abstract

UDC: 001.89:65.012.2

Technological forecasting (TF) is an effective tool in decision making at the national level or at lower levels. Activities in the field of TF have provided different qualitative and quantitative methods and many examples of their application. The aim of this article is: (1) to briefly present these methods and (2) to show some applications for practical use. More emphasis is given to the Delphi method and to growth curves.

*Key words:* technological forecasting, Delphi method, growth curves, logistic curve, the Bass model

## Zakaj potrebujemo TP?

TP je podlaga pri sprejemanju odločitev o bodočem razvoju na nacionalni ravni ali na nižjih ravneh. Večina razvojnih projektov je osnovana na mnogih tehnologijah. Preden začnemo projekt, bomo seveda dobro premislili, ali ni morda bolje še nekoliko počakati na pričakovane izboljšane ali nove tehnologije in s tem doseči določene prednosti pred konkurenco. Upravljalci projektov morajo biti seznanjeni z rezultati raziskav TP. Pričakuje se, da bodo te raziskave tudi podpirali.

Kako priti do kvalitetnih napovedi, je zelo težko vprašanje. Literatura ponuja bogat izbor metod in tudi uspešnih ter neuspešnih primerov uporabe le-teh.

Pri razvoju in uveljavljanju TP igrajo pomembno vlogo vlade. Razvite države (ZDA, Japonska, Nemčija, ...) finančno podpirajo agencije in inštitute, ki vsakih 5 let napravijo pregledne študije o bodočem tehnološkem in družbenem razvoju. Tudi podjetja se trudijo, da bi pravočasno zaznala možnosti v novih tehnologijah in ne bi zaostajala za konkurenco.

V zvezi z uporabo metod TP v organizacijah/podjetjih Martino (1993) analizira šest alternativ racionalnemu in analitičnemu/eksplicitnemu TP. Oglejmo si jih.

Organizacije, ki pristajajo na alternativo »ne potrebujemo TP«, so obsojene na propad. Celo v primeru, ko se okolje ne spreminja, bo večina odločitev napačnih, če ne upoštevamo stalnosti okolja. V hitro se spreminjajočem okolju se bo propad lahko odvil zelo hitro, kajti odločitev, ki je primerna za krajši časovni interval, je morda neustrezna za daljše obdobje.

Alternativa »vse je možno« pomeni, da je prihodnost hazardna igra. Za ljudi, ki sprejemajo odločitve, je takšno gledanje na prihodnost organizacije pogubno.

Alternativa »slavna preteklost« sama po sebi ne zagotavlja dobre prihodnosti.

Alternativa »zastirna okna« (angl. window-blind forecasting) predvideva, da bo šel razvoj tehnologije po začrtani poti in da je to le pot navzgor. Značilnost te alternative so izrazi »višje, hitreje, dalje« ali pa »večji, boljši«. Ker tako gledanje ne zazna sprememb, bo organizacija slej ko prej zašla v težave.

Alternativa »alarmni zvonec« (angl. pushing the panic button) pomeni, da so razmere postale kritične. S pravimi potezami se organizacija lahko izvleče po »cik-cak« poti ali propade. Ta alternativa ignorira dejstvo, da bi se ob pravilni napovedi lahko v celoti izognili krizi.

Alternativa »genialno predvidevanje« pravzaprav ni alternativa predvidevanju, saj vključuje pripravo na predvidevanje. Je pa alternativa uporabi racionalnih in eksplicitnih metod. Po tej metodi je treba poiskati »genija«, ki ima superiorne sposobnosti predvidevanja. Znani so primeri uspešnih napovedi, vendar ima metoda slabosti: nemožne jo je učiti in ne daje možnosti, da bi jo drugi pregledali. Včasih ni druge možnosti, kot je ta metoda. Toda

mora biti jasno: če imamo na voljo racionalne in eksplicitne metode, imajo le-te prednost.

Cilj prikaza teh alternativ tehnološkemu predvidevanju je ta, da bi opozorili na samo po sebi razumljivo dejstvo, da morajo biti odločitve osnovane na racionalnih in eksplicitnih metodah ali na intuiciji, če ne gre drugače (Martino 1993).

Odlika racionalnih/analitičnih metod je ta, da se jih da učiti in naučiti. Lahko jih opišemo in pojasnimo. Postopek se da osvojiti s treningom. V določenih primerih so napovedi neodvisne od avtorja. Napovedi je možno preverjati in ugotavljati morebitne napake pri aplikaciji metod, v izračunih ali podatkih. Napovedi je možno popravljati na osnovi novih podatkov.

### Ali bo napoved dovolj natančna?

Odgovora na to vprašanje ob izdelavi napovedi seveda nimamo. Kljub skrbni analizi vseh dejavnikov, od katerih je odvisen bodoči razvoj, je napoved v splošnem le približna ali pa je lahko napačna. Pripeti se nepredvidljiv dogodek, spremenijo se politične razmere, zaostrijo se morda ekološki kriteriji. Izdelovalci prognoz morajo spremljati razvoj in napovedi prilagajati novim razmeram. Čeprav je napoved v splošnem le približna, je boljše, kot da je ne bi imeli. Opazovanje, kako se napoved uresničuje, nas vzpodbuja, da spremljamo razvoj in se pri tem tudi učimo, kako izboljšati proces pri izdelavi napovedi.

## 2 Metode tehnološkega predvidevanja

Dosedanji razvoj TP je dal zelo veliko metod. Martino (1993) navaja štiri osnovne metode: ekstrapolacija, vodilni indikatorji, vzročni modeli, verjetnostne metode.

Metoda ekstrapolacije temelji na predpostavki, da se bodo razmere, v katerih poteka neki pojav, nadaljevale tudi v prihodnje. Pri izdelavi napovedi izhajamo iz časovne vrste. Ti podatki nakazujejo, kako se bo pojav odvijal v prihodnosti. Izberemo primerno krivuljo in izračunamo njene parametre.

Pri metodi vodilnih indikatorjev gre za opazovanje nekega pojava, ki je ključen pri obnašanju drugega pojava (drugi je od prvega odvisen). Npr. vremenska napoved se opira na podatke meritev zračnega tlaka.

Vzročni modeli izhajajo iz zakonitosti, po katerih poteka razvoj nekega pojava. Takšne zakonitosti so npr. osnovni fizikalni zakoni.

Verjetnostne metode se razlikujejo od prej omenjenih. Pri teh metodah skušamo najti verjetnostno porazdelitev vrednosti opazovanega pojava. Npr. verjetnost, da bo jutri deževalo je, 0,3.

Katero od teh osnovnih prognostičnih metod naj izberemo, je odvisno od razpoložljivih podatkov. Pri TP so podatki običajno mnogo bolj skromni kot npr. podatki o ceni kakšnega proizvoda. Problem izbire prave prognostične metode dobro prikazujejo Levary in Han (1995), Mishra idr. (2002).

Ob zaključku Martino (1993) poudarja, da TP ni namenjeno samo sebi, temveč predstavlja pomoč pri sprejemanju odločitev. Napovedi morajo biti izdelane tako,

da dajejo odgovore na vprašanja, ki si jih odločevalec postavlja v danih okoliščinah. Napoved, ki izboljša odločitev, je koristna napoved, ne glede na to, kako se bo pojav odvijal v prihodnje.

Albach (1976) navaja tri pristope k TP:

- napovedi možnih tehnoloških razvojov,
- napovedi verjetnih tehnoloških razvojov,
- napovedi zelenih tehnoloških razvojov.

Pri prvem pristopu potrebujemo popolni pregled obstoječih razmer. Če je možno, pridemo po tej metodi do napovedi na osnovi posnemanja drugih. Pri drugem pristopu so napovedi osnovane na predpostavki, da se bo razvoj iz preteklosti z določeno verjetnostjo nadaljeval tudi v prihodnje. Gre za ekstrapolacijo enostavnih ali kombiniranih trendov. Pri tretjem pristopu pa napišemo scenarij bodočih zelenih tehnoloških razmer oziroma zelenega okolja in se vprašamo, kateri pogoji naj bodo izpolnjeni, da bo sedanost prešla v zeleno prihodnost.

### Metode možnih tehnoloških razvojov

Osnovane so na:

- morfološki analizi,
- *horizontalnem drevesu relevantnosti*,
- metodi Delphi.

Morfološko analizo je že leta 1942 razvil F. Zwicky. »Morfološko razmišljanje« se ukvarja z lastnostmi in spremembami strukture materialov ter z miselnimi in pojmovnimi povezavami (Zwicky 1947). S pomočjo te metode poskušamo najti celokupnost vseh rešitev danega sistema. Izvedemo naslednje korake: Najprej ugotovimo vse pomembne kriterije in pretehtamo tiste, od katerih je rešitev problema odvisna. Nato vsakemu kriteriju poiščemo med seboj neodvisne alternative (ki niso več razčlenljive). Kombinacija (matrika) kriterijev in alternativ sestavlja morfološki predalnik. Predalnik da število možnih tehnologij, ki jih ovrednotimo. Na osnovi tega vrednotenja pridemo do odločitve o ustreznih tehnologijah. Oglejmo si primer (Albach 1976):

Alternative	1	2	3	4	5
Kriteriji					
A. Material	glina	kovina	umetni mat.	odpadki	
B. Oblikovalni postopek	vlečenje	vlivanje	stiskanje		
C. Kalilni postopek	žganje	kemični	molekularni		
D. Lastnosti izdelka	neprozoren	topl. izolac.	elastičen	estetski	
E. Oblika	kocka	krogla	sklopljiv	kvader	cev

Znana je npr. tehnologija: A1 – B1 – C1 – D2 – E4. Možna tehnologija je: A3 – B2 – C2 – D1 – E2.

Prognoza bodočega tehnološkega razvoja na osnovi morfološke analize je osnovana na predpostavki, da bodo možne in še nerealizirane tehnologije v prihodnosti morda razvite. Albach (1976) navaja konkretne primere uporabe te metode: razvoj pogonskih sredstev za rakete in letala, razvoj raket in atomskih konic, planiranje bodočih prometnih sistemov, razvoj elektromotorjev in motorjev z notranjim izgorevanjem.

Metoda horizontalnega drevesa relevantnosti je dober pripomoček za urejeno razmišljanje. Metoda omogoča strukturirano razpravo o problemu. Brez nje bi morda enostavne in pomembne dejavnike, ki vplivajo na razvoj, nehote prezrli, prav tako tudi njihove medsebojne odnose in vplive. Ta metoda nam ne da napovedi. Albach (1976) navaja primer uporabe te metode pri odločitvi o dodajanju vanadija k jeklu.

Metoda Delphi je med metodami možnega tehnološkega (in družbenega) razvoja med najbolj znanimi. Razvili so jo v petdesetih letih prejšnjega stoletja v korporaciji RAND. Na osnovi te metode so napovedali časovne intervale, kdaj se bo pojavilo 25 pomembnih novosti na področju avtomatizacije. Npr. simbioza med človekom in strojem naj bi se razvila v časovnem intervalu 1985–2027.

Metoda Delphi je osnovana na mnenjih ekspertov. Uporabnik te metode oblikuje vprašalnik o določenem predvidenem pojavu. Vprašalnik pošlje ekspertom. Odgovori ekspertov na vprašalnik ostanejo anonimni. Iz posameznih odgovorov izvajalec raziskave izračuna statistična povprečja. Ta povprečja posreduje anketiranim ekspertom, in sicer z namenom, da ponovno preverijo, ali še vztrajajo pri svojem začetnem mnenju. Anketiranje se, če je potrebno, lahko večkrat ponovi. Z uvedbo kvantitativnega pristopa je osnovna metoda Delphi doživela več izboljšav (Van Zolingen in Klaassen 2003).

Metoda Delphi izhaja iz hipoteze, da daje strukturirano skupinsko anketiranje v splošnem boljše rezultate kot anketiranje posameznika. Anonimnost te metode izključuje možnost, da bi prevladalo mnenje vplivnega/avtoritativnega posameznika. Več o tej metodi v razdelku 4.1.

### Metode verjetnih tehnoloških razvojov

Te metode slonijo na ekstrapolaciji. Albach (1976) omenja tri:

- ekstrapolacija enostavnih trendov,
- ekstrapolacija kombiniranih trendov,
- ekstrapolacija razvoja sistemov (sistemske prognoze).

Prognoze na osnovi ekstrapolacije trenda so v raznih strokah/znanostih zelo uporabne. Uveljavile so se tudi v TP. Trend nakazuje razvoj opazovanega pojava v prihodnosti. Pri proučevanju trenda izhajamo iz predpostavke, da bo šel razvoj z manjšimi odstopanji v smeri, ki jo nakazujejo vrednosti – časovna vrsta opazovanega pojava. Časovna vrsta je torej podlaga za izbor krivulje/premice, ki jo vzamemo za trend. Parametre, ki so v enačbi krivulje, izračunamo pogosto po kriteriju, da je vsota kvadratov odstopanj vrednosti pojava od trenda najmanjša. Metoda je znana pod imenom metoda najmanjših kvadratov. Pravilni izbor tipa

krivulje je ključnega pomena. Kadar o opazovanem pojavu poznamo poleg podatkov še dodatne lastnosti, je izbor tipa krivulje kvalitetnejši. Takšna lastnost je npr. zakonitost, ki ji je podvržen razvoj pojava. V okviru TP je takšna zakonitost lahko krivulja rasti.

V literaturi najdemo številne primere ekstrapolacije enostavnega trenda. Albach (1976) prikazuje napoved, kako se bo spreminjala največja hitrost, ki jo bodo dosegala prevozna sredstva (avto, letalo, raketa). Prikazana je tudi napoved rasti največje hitrosti ameriških vojaških letal. Napoved je bila izdelana na osnovi podatkov do leta 1940. V letu 1966 se trendna vrednost kar dobro ujema z doseženo vrednostjo. V naslednjih letih pa trendne vrednosti vedno bolj presegajo dejanske. Prve kažejo eksponentno rast, druge pa linearno.

Pri ekstrapolaciji kombiniranih trendov upoštevamo več enostavnih trendov in s kombiniranjem le-teh pridemo do napovedi kompleksnih dolgoročnih razvojev tehnoloških sistemov. Albach (1976) piše o primeru kombiniranega trenda s področja letalskih prevozov. Do tega trenda pridemo na osnovi trenda, ki nakazuje, koliko milj bodo prepotovali vsi potniki, in trenda, ki kaže, kako naj bi se povečevala kapaciteta letal. Ob tem je upoštevana še gospodarna izraba človeških virov.

Posplošitev metode kombiniranih trendov vodi do systemske prognoze. Tovrstne prognoze so v ekonomski znanosti že dolgo znane (npr. ekonometrični modeli). V splošnem so bile uporabljene le za krajša ali srednje dolga obdobja (nekaj mesecev do nekaj let). V okviru TP je systemske prognoze postavil J. W. Forrester. Težave, na katere opozarja Albach (1976), so poleg nepopolnosti metode tudi pomanjkljive baze podatkov.

### Metode zelenih tehnoloških razvojev

*Te metode naj bi povedale, kakšen naj bo tehnološki razvoj, da bi v prihodnosti dosegli zeleno stanje. Znale so tudi pod imenom normativne metode. Albach (1976) navaja tri:*

- metoda SEER,
- vertikalno drevo relevantnosti,
- metoda ocenjevanja tehnologije.

Metoda SEER (System for Event Evaluation and Review) izhaja, podobno kot metode možnih tehnoloških razvojev, iz banke podatkov o možnih bodočih dogodkih, ki jo oblikujemo na osnovi študija literature in anketiranja. Te dogodke uporabnik prognoze oceni in jih kategorizira v tri skupine: »nujno potrebno«, »zaželeno«, »nezaželeno, vendar možno«. Nadaljnji korak je ugotavljanje verjetnosti, da se bo neki dogodek realiziral. Tudi v tem primeru imamo tri kategorije: »zanesljivo možno«, »verjetno možno«, »verjetno ni možno«. Na osnovi teh kategorizacij pridemo, ob uporabi prognostičnih tehnik kot sta ekstrapolacija trenda in regresijska analiza, do napovedi, v katerem letu in s kakšno verjetnostjo se bo pojavil določen tehnološki dogodek. V nadaljevanju (drugi krog) se v izdelavo napovedi vključijo še drugi eksperti, ki ocenijo banko podatkov, poiščejo zveze med dogodki in oblikujejo kratkoročne, srednjeročne in

dolgoročne cilje. Povezave teh ciljev s potrebnimi in zelenimi dogodki nakazujejo na razvoje, ki se morajo odviti, da bi dosegli zelene cilje.

Vertikalno drevo relevantnosti je primerno pri presoji konkurenčnih tehnoloških razvojev ob upoštevanju različnih ciljev. Drevo da pregleden osnutek alternativnih poti tehnološkega napredka in strokovnjakom omogoča, da te poti ovrednotijo. Primer v Albach (1976) pojasnjuje to metodo TP. Konkurenčne poti niso kvantitativno ovrednotene.

Kvantitativno obravnavo takšnega drevesa daje PATTERN-metoda (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers). Metodo je uporabila NASA v okviru programa Apollo.

Metoda ocenjevanja tehnologije (Technology Assessment – TA) je definirana kot integrirani in sistematični proces ocenjevanja in predvidevanja vseh učinkov, ki jih ima uvedba ali sprememba določene tehnologije na vseh družbenih področjih. V okviru TA sodi npr. analiza stroškov in koristi (angl. Cost-benefit analysis).

Poleg navedenih metod TP najdemo v literaturi seveda še druge. Levary in Han (1995) navajata ob Delphi-metodi tudi metodo z imenom nominalni skupinski proces (angl. Nominal group process). Gre za kvalitativno metodo, ki se razlikuje od metode Delphi po tem, da ni anonimna. Eksperti določenega področja napišejo z različnih vidikov svoja mnenja o tem, ali bo možno predlagano tehnologijo razviti v pričakovanem časovnem intervalu. Vodja skupine posreduje zbrana mnenja vsem članom skupine in organizira panelno razpravo, ki naj bi pripeljala do soglasja. Vodja skupine ima pri tem lahko velik vpliv.

Metoda proučevanja primerov (angl. The case study method) je osnovana na proučevanju tehnoloških razvojev, ki so se že odvili v konkretnih organizacijah. Potrebna je čim bolj temeljita analiza, ki je podlaga za izdelavo napovedi razvoja bodočih tehnologij.

Krivulja rasti (angl. Growth curve), ki je že bila omenjena, je primerna metoda pri predvidevanju življenjskega cikla določene tehnologije. Cikel je sestavljen iz več faz: faza uvajanja, faza rasti, faza zrelosti in faza upadanja. Na osnovi razpoložljivih podatkov je treba najprej izračunati parametre krivulje. Njena enačba potem omogoča izračun napovedi. Krivulja rasti je dober pripomoček pri ocenjevanju meje nasičenosti tehnološke rasti in pri predvidevanju, kdaj bo v življenjskem ciklusu dosežena določena raven. V literaturi najdemo zelo veliko primerov raznih krivulj rasti in še mnogo več primerov uporabe. O tem več v razdelku 3.

Korelacijska analiza (angl. Correlation analysis) je uporabna metoda TP v primerih, ko razvojni pokazatelji nove tehnologije kažejo podobne lastnosti, kot jih imajo obstoječe tehnologije. Seveda moramo imeti o teh tehnologijah dovolj zanesljivih podatkov.

Analitični hierarhični proces (AHP) identificira strukturo nove tehnologije in ovrednoti odnose med glavnimi



dejavniki, ki vplivajo na njen razvojni proces. Po tej identifikaciji in določitvi hierarhičnega razvoja sledi primerjanje in ocenjevanje medsebojnih odnosov med pari posameznih glavnih dejavnikov.

Analiza medsebojnih vplivov (angl. Cross-impact analysis) je prognostična metoda, ki predstavlja razširitev metode Delphi. Oblikovana za primere, ko je treba oceniti, s kakšno verjetnostjo lahko vplivajo na razvoj neke tehnologije bodoči med seboj odvisni dogodki. Z metodo Delphi eksperti ocenijo verjetnosti, da se bodo dogodki zgodili in tudi v katerem časovnem intervalu. Poleg teh verjetnosti je treba oceniti tudi verjetnosti medsebojnih vplivov – tj. pogojne verjetnosti. (Ob predpostavki, da se bo zgodil dogodek A, je verjetnost, da se bo zgodil dogodek B, npr. 0,3). Vse ocenjene verjetnosti sestavljajo matriko (angl. cross-impact matrix), ki je podlaga za bolj točen izračun verjetnosti, s katerimi se bodo pojavili dogodki, ki karakterizirajo razvoj obravnavane tehnologije (Dalkey 1972).

Metoda pisanja scenarija je učinkovita metoda za kombiniranje metod TP in izidov le-teh v celoto. Scenarij služi trem osnovnim ciljem: (1) pokazati medsebojne vplive več trendov in dogodkov z namenom, da bi dobili celotno sliko o prihodnosti; (2) pomagati preveriti notranjo usklajenost posameznih napovedi, na katerih so cilji osnovani; (3) opisati bodoče razmere na način, ki je razumljiv tudi nestrokovnjakom za obravnavano področje.

Vloga scenarijev ni toliko v izdelavi napovedi, temveč v predstavitvi možnih bodočih prihodnosti (N. N., TF) . Ko npr. neka korporacija pripravlja razvojni scenarij, mora poznati organizacijske, ekonomske, socialne, tehnološke, politične in druge dejavnike, ki bodo morda imeli vpliv na razvoj. Scenarij omogoča jasnejši vpogled v morebitno prihodnost in v možne poti za kontroliranje dejavnikov.

Mishra idr. (2002) so poleg že navedenih metod TP našli še druge: subjektivne metode ocenjevanja, metode analogije, substitucijska analiza, simulacije, dinamično modeliranje, fenomenološko modeliranje, monitoring ... Te metode je možno vključiti v že navedene osnovne metode.

### 3 Krivulje rasti

Pri proučevanju rasti števila osebkov v neki populaciji ali rasti enega osebka so demografi in biologi ugotovili, da je možno rast v odvisnosti od časa dokaj dobro ponazoriti z določeno krivuljo. Med pionirje na tem raziskovalnem področju sodijo T. R. Malthus, B. Gompertz in P. F. Verhulst. Malthus je ob koncu 18. stoletja opozoril, da bo začelo primanjkovati hrane, če bo prebivalstvo naraščalo po zakonu eksponentne rasti, količina pridelane hrane pa linearno. Gompertz (1825) je pri analizi tabel smrtnosti prebivalstva narisal krivuljo, ki je znana pod imenom Gompertzova krivulja, Verhulst (1838) pa je v zvezi s kritiko Malthusove teorije eksponentnega naraščanja števila svetovnega prebivalstva predlagal pri proučevanju te rasti krivuljo, ki se v literaturi pojavlja predvsem pod imenom logistična krivulja. Navedeni krivulji sodita med t. i. S-krivulje. Za razliko od eksponentne krivulje, ki je navzgor neomejena,

sta Gompertzova in logistična krivulja omejeni na obe strani. Zgornji meji pravimo meja nasičenosti (angl. carrying capacity). Med krivulje rasti, ki imajo mejo nasičenosti, sodijo tudi modificirana eksponentna krivulja, kumulativna krivulja normalne porazdelitve, kumulativna krivulja log-normalne porazdelitve in še mnoge druge, ki jih dobimo s posplošitvami ali kombiniranjem navedenih krivulj.

Vse omenjene krivulje in tudi druge so v teoriji in na raznih področjih uporabe (biologija, demografija, ekologija, epidemiologija, farmacija, kemija, marketing, telekomunikacije) dobro znane (Banks 1994, Indihar 1973, 1980; Indihar in Leskovar Špacapan 1982, Lewandowski 1974, Mahajan idr. 1993, Sharif in Kabir 1976, Meade in Islam 1995, Young in Ord 1989). V okviru TP so primerno orodje pri napovedovanju substitucijskih in difuzijskih procesov, pri napovedovanju porabe energije in pri drugih pojavih, za katere je značilna meja nasičenosti. Naj bo omenjeno, da so znani tudi modeli rasti s spremenljivo mejo nasičenosti (Banks 1994, Meyer in Ausubel 1999).

V nadaljevanju si bomo ogledali nekaj primerov teh krivulj.

#### Eksponentna (naravna) rast

Naj bo  $y = y(t)$  vrednost opazovanega pojava ob času  $t$ . Odvod  $dy/dt$  te funkcije pomeni hitrost, s katero se spreminja  $y$ ; če pa odvod delimo z  $y$ , dobimo stopnjo rasti spremenljivke  $y$ . Kadar je stopnja rasti konstantna, označimo jo s  $k$ , dobimo preprosto diferencialno enačbo:

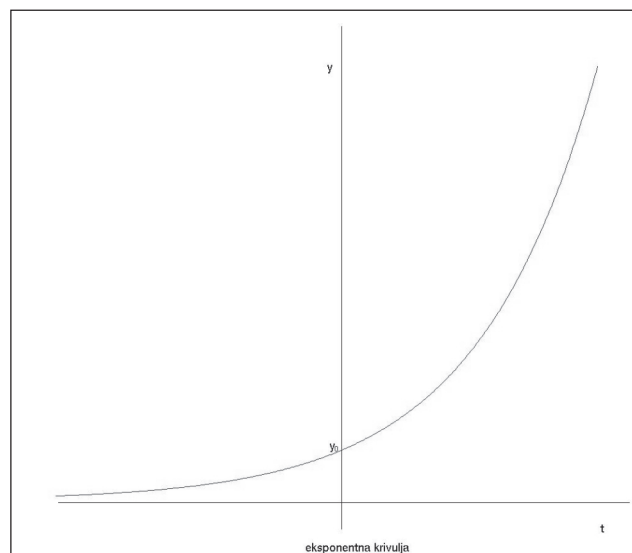
$$\frac{dy}{dt} = ky$$

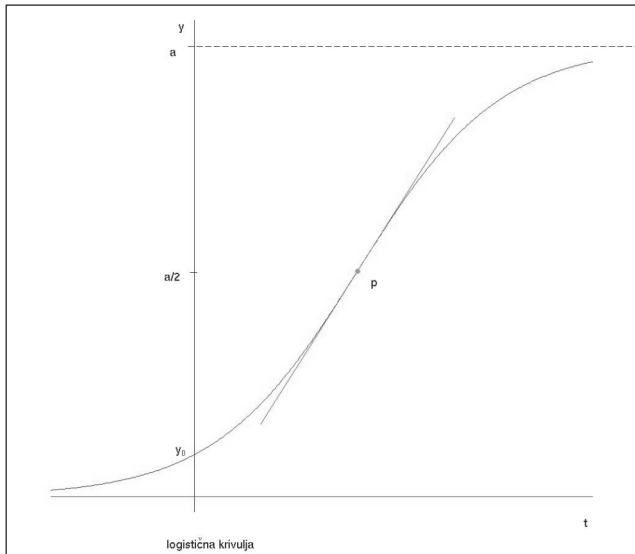
katero rešitev je

$$y = y(t) = y_0 e^{kt}, y_0 = y(0)$$

Pri  $k > 0$  je  $y = y(t)$  strogo naraščajoča in navzgor neomejena funkcija. Takšni rasti pravimo eksponentna ali naravna rast. Grafu te funkcije pravimo eksponentna krivulja (slika 1).

Slika 1: Eksponentna krivulja



**Slika 2:** Logistična krivulja


V okviru TP zasledimo eksponentno rast npr. pri prognozi največje hitrosti, ki naj bi jo dosegala prevozna sredstva (Albach 1976). Omeniti velja tudi pojave, za katere je značilna rast po neki S-krivulji. V začetni razvojni fazi rast teh pojavov dobro ponazarja eksponentna krivulja.

### Logistična krivulja

Med S-krivuljami je najbolj znana in največkrat uporabljena logistična krivulja, ki jo dobimo tako, da pri diferencialni enačbi eksponentne krivulje odštejemo na desni strani pozitivni člen, ki duši eksponentno rast:

$$\frac{dy}{dt} = ky - gy^2 \quad g > 0$$

Če uvedemo oznako  $k = ga$ ,  $a > 0$ , dobi diferencialna enačba obliko

$$\frac{dy}{dt} = gy(a - y)$$

Njena rešitev je

$$y = y(t) = \frac{a}{1 + be^{-ct}}$$

kjer so  $a$ ,  $b$ ,  $c$  pozitivne konstante. Pravimo jim parametri logistične krivulje (slika 2).

Parameter  $a$  pomeni mejo nasičenosti. Če to mejo poznamo, je možno parametra  $b$  in  $c$  izračunati po metodi najmanjših kvadratov dokaj enostavno. Prejšnja enačba preide po logaritmiranju in preureditvi v obliko

$$\ln\left(\frac{a}{y} - 1\right) = \ln b - ct$$

Na levi strani te enačbe je zapisana t. i. logit-funkcija. Njene vrednosti se imenujejo logiti. Ker se ta funkcija veliko uporablja v raznih strokah, obstajajo tabele (Berkson 1953), podobno kot za logaritmsko funkcijo. V primeru, ko poznamo parameter  $a$ , dobimo iz te linearne zveze še

parametra  $b$  in  $c$ . Če je potrebno izračunati vse tri parametre, je naloga zahtevnejša. Znale so razne metode, ki jih najdemo v številnih publikacijah (Lewandowski 1974, Indihar 1980).

Omenimo naj, da so znane razne posplošitve logistične krivulje. Dobimo jih, če privzamemo, da je meja nasičenosti lahko spremenljiva (Banks 1994) ali pa, da je odvisen od časa parameter  $c$ . Slednje so znane kot FLOG-krivulje (angl. flexible-logistic curves) (Banks 1994, Lewandowski 1974, Meyer idr. 1999).

### Gompertzova krivulja

Njene lastnosti so podobne lastnostim logistične krivulje. Bistvena razlika med njima pa je ta, da leži njena prevojna točka pod vrednostjo  $a/2$ ,  $a$  – meja nasičenosti, medtem ko je pri logistični krivulji ordinata prevojne točke enaka  $a/2$ . Pravimo, da ima Gompertzova krivulja pozitivno asimetrijo, graf logistične krivulje pa je simetričen glede na prevojno točko. V prevojni točki preide rast pojava iz progresivnega v degresivno območje.

Enačba Gompertzove krivulje je

$$y = y(t) = ae^{-be^{-t}}$$

Tudi v njej so trije parametri.

### Weblusova krivulja

Podobna je Gompertzovi krivulji; ima pozitivno asimetrijo. Iz njene enačbe

$$y = y(t) = \frac{a}{1 + (b/t)^c}$$

v kateri so trije parametri, vidimo, da ima mejo nasičenosti enako parametru  $a$ .

Če  $a$  poznamo, lahko parametra  $b$  in  $c$  izračunamo z metodo najmanjših kvadratov, in sicer iz zveze

$$\ln\left(\frac{a}{y} - 1\right) = c \cdot \ln b - c \cdot \ln t$$

pri kateri je na levi strani logit-funkcija (Indihar 1980).

### Kumulativna krivulja normalne in log-normalne porazdelitve

Obe krivulji sta pri statistični obravnavi raznih pojavov dobro znani. Njeni enačbi sta

$$y(t) = \frac{a}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} dx$$

$$y(t) = a \int_0^t \frac{1}{\sigma x\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2/2\sigma^2} dx$$

Prva je zelo podobna logistični krivulji; njen graf je simetričen glede na prevojno točko. Druga krivulja ima pozitivno asimetrijo.

### Modificirana eksponentna krivulja

Diferencialno enačbo te krivulje dobimo, če privzamemo, da je hitrost, s katero se spreminja  $y$ , sorazmerna razliki med mejo nasičenosti  $a$  in doseženo vrednostjo:

$$\frac{dy}{dt} = k(a - y)$$

Rešitev te enačbe je

$$y(t) = a - (a - y_0)e^{-kt} \quad y_0 = y(0)$$

Značilnost te krivulje je strogo naraščanje in konkavnost. To pomeni, da se  $y$  približuje meji nasičenosti tako, da so prirastki vedno manjši.

### Bassov model

Ta model je nastal pri proučevanju procesa širjenja novega izdelka med prebivalstvom. Model sodi med difuzijske modele. Predpostavka Bassovega modela je, da so potencialni kupci pod vplivom dveh vrst oglaševalskih komunikacij: masovni mediji, ustna sporočila (Mahajan idr. 1993). Nadaljnja predpostavka je še, da se ena skupina kupcev odloči za nakup le na osnovi oglaševanja v masovnih medijih (zunanji vpliv), druga skupina pa le na osnovi ustnega sporočila (notranji vpliv). Prvo skupino F. M. Bass imenuje inovatorji, drugo pa imitatorji. Pozneje sta Bassov model razširila S. M. Tanny in N. A. Derzko (Tanny in Derzko 1988), in sicer tako, da sta med imitatorje uvrstila tudi tiste kupce, ki se odločijo za nakup na osnovi obeh vplivov.

Diferencialno enačbo Bassovega modela dobimo, če seštejemo desni strani diferencialnih enačb modificirane eksponentne rasti in rasti po logistični krivulji. Tako dobimo hitrost, s katero narašča število kupcev:

$$\frac{dy}{dt} = k(a - y) + gy(a - y)$$

Rešitev te diferencialne enačbe je funkcija

$$y(t) = a \frac{1 - e^{-(k+ag)t}}{1 + (ag/k)e^{-(k+ag)t}}$$

katere graf je S-krivulja. Njene lastnosti so prikazane v Mahajan idr. (1993). Mahajan idr. (1993) in Banks (1994) imajo še druge krivulje, ki so jih avtorji razvili pri proučevanju difuzijskih pojavov. Bassov model je znan tudi pod imenom Pyattova krivulja (Lewandowski 1974).

## 4 Primeri uporabe metod TP

Nekaj primerov uporabe metod TP je bilo že omenjenih. Glede na kompleksnost, ki je značilna za tehnološki razvoj, je zelo težko izbrati primerno metodo. Levary in Han (1995) sta dala napotke, ki izdelovalcu napovedi pomagajo pri izbiri metode. Odločitev za metodo je odvisna od raznih dejavnikov:

- razpoložljiva finančna sredstva za razvoj tehnologije,
- razpoložljivost podatkov,
- veljavnost podatkov,
- negotovost, ki spremlja uspeh tehnološkega razvoja,

- podobnost predlaganih tehnologij z obstoječimi,
- število parametrov, ki učinkujejo na razvoj tehnologije.

V omenjenem članku so navedeni tudi vnaprej dani pogoji, ki morajo biti izpolnjeni, da bo določena metoda primerna. Priporočljivo je tudi, da za obravnavano vprašanje uporabimo več metod in rezultate med seboj primerjamo.

Tu bomo več pozornosti namenili uporabi metode Delphi in uporabi krivulj rasti.

### 4.1 Primeri uporabe metode Delphi

Metoda Delphi, katere razvoj je vzpodbudila oboroževalna tekma (N. N., TF), je dobila ime po grškem preročišču. Razvila sta jo Dalkey in Helmer v petdesetih letih prejšnjega stoletja. Z imenom metode avtorja nista bila zadovoljna, saj nakazuje na prerokovanje in metodi jemlje značaj resnega pristopa. Metoda omogoča, da se z izbranim, često kompleksnim problemom, ukvarjamo sistematično. Kot smo že omenili, je ta metoda osnovana na anketiranju ekspertov za določeno področje. Ključne so tri značilnosti: (1) strukturiranje toka informacij, (2) povratna informacija udeležencem, (3) anonimnost udeležencev.

Deset korakov je potrebnih za izvedbo postopka Delphi:

1. Oblikovanje skupine, ki bo izvedla raziskavo.
2. Oblikovanje ene ali več skupin ekspertov, ki bodo sodelovali pri nalogi. Običajno so to eksperti za proučevano področje.
3. Razvoj vprašalnika za prvi krog.
4. Testiranje vprašalnika z vidika jasnosti besedila (dvoumnost, nepreciznost).
5. Posredovanje prvih vprašalnikov ekspertom.
6. Analiza odgovorov prvega kroga.
7. Priprava vprašalnikov za drugi krog (in morebitno testiranje).
8. Posredovanje vprašalnikov ekspertom, ki sodelujejo v 2. krogu.
9. Analiza odgovorov drugega kroga. (Da bi dosegli stabilnost rezultatov, se koraka 7 in 9, če je zaželeno ali potrebno, lahko večkrat ponovita.)
10. Raziskovalna skupina pripravi poročilo in poda zaključke naloge.

Najpomembnejša zadeva v tem procesu je razumevanje pomena postopka Delphi za vse udeležence. Biti morajo dobro informirani in tudi dovolj motivirani. Število ekspertov je lahko majhno; odvisno je od naloge. Že skupina 4 oseb lahko pri idealnih razmerah doseže dobre rezultate.

Predno se odločimo za uporabo metode Delphi, je treba še pretehtati, ali ne bi morda obravnavanemu vprašanju bolj ustrezala kakšna druga metoda, npr. nominalni skupinski proces. Dobro je treba preveriti tudi primernost in pripravljenost ljudi, ki bodo sodelovali v raziskavi.

Izid, ki ga dobimo po končani raziskavi, je zgolj mnenje, ki pomeni statistično povprečje. Metoda Delphi je dobila tako pozitivne kot negativne ocene. Ugled si je pridobila po dokaj točni napovedi, kdaj bo človek stopil na Luno. Omenjeni so primeri uporabe te metode pri zaposlovanju in

pri prodaji. Metoda je dala bolj točne napovedi kot regresijska analiza in eksponentna izravnava. Slabost te metode pa je v neznanstvenem pristopu in zelo približnih rezultatih. Uporaba te metode je smiselna, ko gre za ekstremno kompleksne probleme, za katere nimamo na voljo ustreznih modelov (N. N., TF).

Metoda Delphi je doživela več izboljšav. Ena od teh je metoda, ki ji pravimo analiza medsebojnih vplivov (angl. Cross-impact analysis), za katero so izidi metode Delphi dobra podlaga pri kvantitativni (verjetnostni) analizi. Pomembno novost predstavlja Gordon in Pease (2006). Že iz naslova je razvidno, da RT Delphi-metoda ne zahteva ponovitev anketiranja, zato je časovno učinkovitejša od standardne Delphi-metode. Celotni postopek poteka na internetu. Avtorja pravita, da dobimo izide v »realnem« času (angl. real time Delphi).

Van Zolingen in Klaassen (2003) avtorja omenjata, da je bila uporaba metode Delphi zelo intenzivna v šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. Omenjata kar 800 primerov, pretežno v znanosti. Gupta in Clarke (1996) sta pregledala 463 člankov, ki se nanašajo na uporabo te metode na različnih področjih: poslovanje, izobraževanje, zdravstvo, nepremičnine, inženiring, okolje, družbene vede, turizem, transport.

#### NACIONALNI PROJEKTI TP

Najpomembnejši primeri uporabe metode Delphi so nacionalne študije tehnoloških in s tem povezanih družbenih razvojev. Kot je bilo omenjeno že v uvodu, so v posebni številki revije TF&SC (1999) prikazani nacionalni projekti TP v več državah. Pred to številko pa je izšla v letu 1997 tudi publikacija »Millenium project«, ki je v mnogih državah vzpodbudila zanimanje za TP.

Omenimo naj, da se v angleškem jeziku, v katerem je za TP uveljavljen predvsem izraz Technological forecasting, uporablja namesto izraza forecasting tudi izraz foresight.

V nadaljevanju bomo na kratko prikazali projekte TP v nekaterih državah (TF&SC, 1999).

#### Japonske aktivnosti TP

Z razvojem znanosti in tehnologije se na Japonskem ukvarja več ministrstev in agencij. Vlada, ki je za to področje v letu 1997 namenila 3,28 bilijona jenov, je koordinator teh aktivnosti. K temu znesku je treba dodati še mnogo večji znesek, ki ga za R&R prispevajo posamezne industrijske panoge in podjetja.

Agencija za znanost in tehnologijo je začela s TP na nacionalnem nivoju pred 35 leti. Do leta 2000 je izvedla šest razvojnih pregledov (angl. surveys), ki naj bi omogočili vpogled v znanstveni in tehnološki razvoj za nadaljnjih 30 let. Prvi pregled (1970–71) je obsegal 5 širših področij s 644 podpodročji, šesti pregled (leta 1996) pa je imel že 14 širših področij in 1072 podpodročij.

Pred začetkom postopka Delphi so bili sestavljeni vodilni odbor in 13 pododborov. Pri 6. pregledu je na vprašalnik prvega kroga odgovorilo 3586 anketiranih ekspertov.

Postopek Delphi ima pomemben vpliv na aktivnosti R&R. Več kot 100 zaslužnih raziskovalcev je bilo vključenih v oblikovanje vprašalnikov in analizo odgovorov.

Širša področja 6. pregleda so bila: materiali in predelava; elektronika; informacijska tehnologija; znanost o življenju; vesolje; znanost o morju in znanost o Zemlji; viri in energija; okolje; kmetijstvo, gozdarstvo in ribolov; proizvodnja in stroji; urbanizacija in gradbeništvo; komunikacije; transport; zdravje, medicinska oskrba in blaginja.

V nadaljevanju prispevka so v zvezi z razvojem znanosti in tehnologije podrobneje prikazane še aktivnosti posameznih ministrstev in agencij.

O japonskih aktivnostih na področju TP veliko informacij v svojih člankih posredujeja Bowonder in Miyake (1993).

#### Aktivnosti TP v Centralni Evropi

Prizadevanja na področju TP v ZDA in na Japonskem so vplivala na razvoj te dejavnosti tudi v Evropi. Spremembe, ki so nastale po združitvi Nemčij in po razpadu režimov vzhodnoevropskih držav, so pripeljale do novih pogledov na bodoči razvoj. Blind idr. (1999) poroča o TP na Nizozemskem, v Nemčiji, Avstriji in na Madžarskem.

Na Nizozemskem se s TP ukvarjajo že dalj časa tri inštitucije: Centralni urad za načrtovanje, Ministrstvo za ekonomske zadeve ter Ministrstvo za izobraževanje in znanost.

Centralni urad za načrtovanje je s svojimi objavami vzpodbudil razprave o kratkoročnem (1–2 leti), srednjeročnem (3–4 leta) in dolgoročnem (15–20 let) razvoju po celotni državi. Študije so bile kritizirane, da so preveč usmerjene v industrijska vprašanja in premalo v družbeni razvoj.

Program TP pri Ministrstvu za ekonomske zadeve ima tri cilje: (1) pridobiti informacije za strateško tehnološko politiko ministrstva, posebej, kako naj bo ta politika usmerjena za mala in srednje velika podjetja; (2) oskrbeti ta podjetja z informacijami o relevantnih tehnoloških razvojih in (3) stimulirati razvoj povezav med univerzami, tehnološkimi inštituti in industrijo ob pojavu novih tehnologij.

Ministrstvo za izobraževanje in znanost je v okviru aktivnosti TP leta 1992 ustanovilo poseben odbor (Foresight Steering Committee), katerega glavni nalogi sta: a) stimulirati široko podprt proces bodočih znanstvenih raziskav in postaviti sistematičen pristop za njihovo testiranje, b) na osnovi izidov študij TP oblikovati opcije znanstvenoraziskovalne politike.

Področja, ki so bila zajeta v te študije, so: kemija, transport in infrastruktura, kmetijstvo, energija, nanotehnologija, informatika, izobraževanje, pravo, ekonomija, družbene vede in zdravje.

V Nemčiji je v letu 1991 ob sponzorstvu Ministrstva za raziskave in tehnologijo stekel projekt »Tehnologija ob začetku 21. stoletja« (T 21) z namenom najprej proučiti stanje na področju TP v drugih državah (ZDA, Japonska) in opraviti predštudije, potrebne za izdelavo napovedi. Ministrstvo je tudi pomagalo nacionalnim inštitucijam pri oblikovanju skupin za oceno stanja na področju tehnologij v Nemčiji.



Fraunhoferjev inštitut za sisteme in inovacijske raziskave je prevzel odgovornost, da bo delo opravljeno. Projekt so oprli na metodo dreves relevantnosti, ki sodi med normativne metode in je osnovana na sistemskih analizah. Študija T 21, s časovnim intervalom do leta 2000, je osredotočena na: (1) izbiro kritičnih tehnologij, (2) kriterije za oceno teh tehnologij, (3) medsebojne povezave med tehnologijami (drevesa relevantnosti) in (4) časovni razpon.

Pri organiziranju prve nemške Delphi-študije (1992–1993) so se raziskovalci zelo naslonili na japonske izkušnje. Tam so v letu 1991 izvedli že 5. pregled. V obeh primerih je sodelovalo okrog 3000 ekspertov. Na Japonskem je v prvem krogu odgovorilo 80 odstotkov anketirancev, v Nemčiji le 30 odstotkov. V drugem krogu pa je v obeh državah odgovorilo okrog 80 odstotkov vprašanih.

Druga nemška Delphi-študija o razvoju znanosti in tehnologije se je začela v letu 1996. Izboljšani vprašalnik je zajel 12 širših področij: informacije in komunikacije, storitve in potrošnja, menedžment in proizvodnja, kemija in materiali, zdravje in vede o življenju, kmetijstvo in prehrana, okolje in narava, energija in viri, arhitektura in bivanje, mobilnost in transport, vesolje, »big science«.

Avstrija in Madžarska sta na področju TP začeli aktivnostmi proti koncu prejšnjega stoletja. Cilj avstrijske Delphi-študije je bil identificirati posebej tista tehnološka področja, na katerih lahko Avstrija doseže vodilno vlogo. Madžari so svoj program TP oblikovali po britanskem vzorcu. Blind idr. (1999) omenjajo, da bo v letu 1998 tudi Rusija začela aktivnosti TP.

Metoda Delphi je bila v okviru nacionalnih projektov TP uporabljena še v mnogih državah (TF&SC 1999).

Tudi v Sloveniji je pred časom dozorelo spoznanje, da je treba TP nameniti pozornost. Inštitut za ekonomska raziskovanja v Ljubljani je v letu 2005 (Kos in Stanovnik 2006) zaključil 1. fazo obsežne študije, ki naj bi pokazala, katere so naše razvojne niše. TP so izvedli na 8 področjih (tezah): (1) telekomunikacije in informacijske tehnologije, (2) materiali, (3) biotehnologija, farmacija in živilstvo, (4) okoljsko ustrezne tehnologije in trajnostno gospodarstvo, (5) trajnostna gradnja, (6) promet in mobilnost, (7) vseživljenjsko učenje, (8) medicina – skrb za starostnike.

## DRUGI PRIMERI UPORABE METODE DELPHI

Omenili smo, da je bila metoda Delphi uporabljena tudi na več drugih področjih. Tu bodo na kratko prikazani oziroma omenjeni le trije primeri.

### Primer iz farmacevtske industrije

Z odkritjem genoma se je povečala možnost izdelave zdravil, ki bodo delovala še bolj ciljno (biološka zdravila). Vprašanje, ki se postavlja samo po sebi, je, kakšni bodo stranski učinki.

Moeldrup in Morgall (2001) nas seznanjata z mnenjem danskih ekspertov o morebitni rizičnosti bodočih zdravil. K raziskavi je bilo povabljenih 243 ljudi: univerzitetni profesorji, znanstveni sodelavci, raziskovalci, direktorji firm

in drugi. Nekaj (9) jih je odklonilo sodelovanje, in sicer z izgovorom, da ne sodijo med eksperte; nekaterim (36) pa vprašalnika sploh niso mogli posredovati. V prvem krogu je odgovorilo le 30 udeležencev, v drugem krogu, ki je zajel 222 ljudi, pa 22. Raziskava, ki se je začela 1. maja 1998 in končala 1. avgusta 1998, je v celoti potekala preko interneta.

Po mnenju vprašanih naj bi se rizičnost bodočih zdravil povečevala. Stranski učinki se bodo pokazali tudi v obliki ekonomskih, političnih in etičnih posledic.

### Tehnološki grozdi v Franciji in Nemčiji

Naraščajoča kompleksnost odnosov med tehnologijami in ekonomskimi problemi, povezanimi s pojavom naraščajočih družbenih pritiskov, več globalne tekmovalnosti in pospešene tehnološke spremembe na eni strani, na drugi strani pa omejene proračunske možnosti, pomenijo nove izzive za državne, posebej pa za znanstvene in tehnološke politike (Ronde 2003). Izhodišče TP je prepričanje, da je možnih več razvojnih poti in da je prihodnost odvisna od odločitev, ki jih sprejemamo sedaj. Cilj TP pa je identificirati tista znanstvena in tehnološka področja, ki bodo kar največ (z največjo verjetnostjo) prispevala h gospodarskemu in socialnemu razvoju.

Ronde (2003) je na osnovi nacionalnih razvojnih študij Francije in Nemčije za pet področij (vede o življenju, energija, mineralni in vodni viri, elementarni delci, okolje) sestavil koherentne tehnološke grozde (angl. clusters) za obe državi. Članek je namreč namenjen razvoju nove metode predvidevanja, po kateri je možno identificirati bodoče tehnologije, ki naj bi največ prispevale k razvoju.

### Primer s področja izobraževanja

Van Zolingen in Klaassen (2003) prikažeta najprej kratko zgodovino metode Delphi; nato pa štiri tipe te metode (angl. classical, policy, decision, group). Kar šest strani namenjata razpravi o uporabnosti in zanesljivosti te metode. Primer, ki ga obravnavata, je zanimiv za posameznike oziroma ustanove, ki se ukvarjajo z izobraževanjem in zaposlovanjem.

## 4.2 Primeri uporabe krivulj rasti

V 3. razdelku smo nanizali pomembnejše krivulje rasti; predvsem t. i. S-krivulje. Da so te krivulje pomembne pri TP, kažejo zelo številne objave. Na tem mestu naj bosta posebej omenjeni Banksova knjiga (1994) in revija TF&SC. Skoraj v vsaki številki omenjene revije najdemo članke, ki obravnavajo pojave rasti.

Banks (1994) prikazuje 64 primerov uporabe krivulj rasti na raznih področjih (kmetijstvo, ekonomija, biologija in fiziologija, fizikalne vede in tehnika, demografija in geografija, transfer tehnologije, ekologija, druga področja).

### Primer tehnološke substitucije

Zamenjava naravnih vlaken (bombaž, volna, svila, lan) s sintetičnimi (Banks 1994) je proces, ki ga je možno dobro ponazoriti s S-krivuljo. Podatkom za obdobje 1930 – 1967 v oblačilni industriji (angl. cloth production) v ZDA sta avtorja članka (Fisher in Pry 1971) prilagodila logistično krivuljo. Meja nasičenosti je  $a = 1$ , kar pomeni, da bi z

naraščanjem časa  $t$  proti neskončnosti sintetična vlakna popolnoma zamenjala naravna. Druga dva parametra, ki sta v enačbi krivulje, sta izračunala po metodi najmanjših kvadratov. Prišla sta do enačbe

$$y(t) = \frac{1}{1 + e^{-2,197\psi}}; \quad \psi = \frac{2(t - t_i)}{T}$$

Z znakom  $T$  je izražen t. i. »prevzemni čas« (angl. takeover time), ki obsega časovni interval ( $t_1 - t_2$ ), v katerem zavzame funkcija  $y(t)$  vrednosti med 0,1 in 0,9:  $y(t_1) = 0,1$ ;  $y(t_2) = 0,90$ . V obravnavanem primeru je  $T = 58$  let. Pri  $\psi = -1, 0, 1$  dobimo vrednosti  $y = 0,1; 0,5; 0,9$ . Polovična vrednost nasičenosti bi bila, skladno s krivuljo, dosežena v letu 1969. To se zelo dobro ujema z dejansko vrednostjo; 90-odstotno vrednost nasičenosti pa bi dosegli v letu 1998. To pomeni, da bi, glede na krivuljo, sintetična vlakna skoraj nadomestila naravna.

Omenjena avtorja sta po tej metodi proučila še 16 drugih tehnoloških substitucij.

### Telefonski priključki

Tipičen primer procesa, za katerega je značilna meja nasičenosti, je naraščanje števila telefonskih priključkov. Meade in Islam (1995) najprej navajata pet osnovnih krivulj (modificirana eksponentna, logistična, Gompertzova, kumulativna krivulja normalne porazdelitve, kumulativna krivulja log-normalne porazdelitve), nato pa še dvanajst drugih, ki jih dobimo s kombiniranjem ali posplošitvijo letih. Iz statističnih podatkov (The World's Telephone-A Statistical Compilation, Statistical Yearbooks of the International Telecommunication Union) sta za 15 držav in tri regije zbrala 25 časovnih vrst, ki zajemajo 30 ali 31 let. Podatkom sta prilagodila vseh 17 krivulj. Parametre krivulj sta poskušala izračunati iz prvih 20 podatkov, preostali podatki pa so služili za ugotavljanje razlik med vrednostmi na krivuljah in dejanskimi vrednostmi, torej za oceno kakovosti posameznih napovedi. Ugotovljeno je bilo, da iterativni postopek za računanje parametrov ni vedno konvergirala. Ocena kakovosti napovedi je bila dobljena s primerjanjem vrednosti kvadratnih korenov povprečnih kvadratnih odstopanj in povprečnih absolutnih vrednosti relativnih odstopanj.

Posebna pozornost je bila namenjena meji nasičenosti. Ta meja je pomembna pri planiranju proizvodnje telefonskih aparatov, telefonskega omrežja in tudi cene telefonskih klicev.

Analiza je pokazala, da so najboljše ocene dobile lokalno-logistična, Gompertzova in logistična krivulja.

### Televizorji in hladilniki

Po 2. svetovni vojni sta postala dostopna ljudem televizorji in hladilniki. Za oba aparata je značilno, da je naraščanje števila uporabnikov potekalo po S-krivulji. Bain (1962, 1963) je obravnaval naraščanje števila TV naročnikov v Združenem kraljestvu. V prvem članku je uporabil logistično krivuljo. Analiza je pokazala, da ta krivulja ni primerna. Za bolj uporabno se je izkazala krivulja s pozitivno asimetrijo, torej krivulja, ki ima prevojno točko pod polovično

vrednostjo meje nasičenosti. Takšna krivulja je npr. kumulativna krivulja log-normalne porazdelitve. Bain jo je uporabil v svojem drugem članku (leta 1963).

Kumulativno krivuljo log-normalne porazdelitve sta uporabila tudi Indihar in Leskovar Špacapan (1982), in sicer pri napovedovanju opremljenosti gospodinjstev SFRJ s televizorjem in hladilnikom. Predpostavka je bila, da bo dosežena meja nasičenosti, ko bo vsako gospodinjstvo imelo po en televizor oziroma en hladilnik. Podatkom za obdobje 1956 – 1979 se izbrana krivulja dobro prilega. Dobljene so bile naslednje ocene: (1) 90 odstotkov gospodinjstev bi imelo televizor leta 1994, hladilnik pa leta 1996; (2) najhitrejša rast opremljanja s televizorjem je bila leta 1967, s hladilnikom pa leta 1968; (3) polovica gospodinjstev je razpolagala z obema aparatoma v letu 1975.

Omenimo naj še, da je bila pri analizi in napovedovanju širjenja televizorja v ZDA, Veliki Britaniji in bivši ZRN uporabljena Weblusova krivulja (Lewandowski 1974). V ZDA je bila polovična meja nasičenosti dosežena že po 6,2 leta (v letu 1952), v VB po 11 letih (1957), v ZRN pa po 11,5 leta (1963).

V sedanjem času premožnejša gospodinjstva ne shajajo več le z enim avtom, enim televizorjem in enim hladilnikom. Znani so modeli, ki se ukvarjajo z vprašanjem dodatnih nakupov in predvidevanjem le-teh (Steffens 2003).

## 5 Zaključek

Prva dva odstavka v uvodu na kratko povesta, kako pomembno vlogo ima tehnološko predvidevanje (TP) v sedanjem hitro se spreminjajočem globalnem okolju. Razvite države so že pred več desetletji spoznale, da je treba temu področju posvetiti veliko pozornosti. Številne metode, ki so danes na voljo, omogočajo, da je TP postalo podlaga za sprejemanje kakovostnih odločitev, bodisi na nacionalni ravni bodisi na nižjih ravneh.

Izbira primerne metode je ključnega pomena za izdelavo čim bolj zanesljive napovedi. V člankih (Levary in Han 1995, Mishra idr. 2002) je to vprašanje dobro analizirano. Dani so napotki, ki uporabnikom metod TP omogočijo, da se v danih okoliščinah odločijo za pravo metodo. Koristno je uporabiti več metod in izide med seboj primerjati.

O prihodnosti TP razmišljajo Coates idr. (2001) Napišimo povzetek njihovega članka:

*Technological forecasting is now poised to respond to the emerging needs of private and public sector organizations in the highly competitive global environment. The history of the subject and its variant forms, including impact assessment, national foresight studies, roadmapping, and competitive technological intelligence, shows how it has responded to changing institutional motivations. Renewed focus on innovation, attention to science-based opportunities, and broad social and political factors will bring renewed attention to technological forecasting in industry, government, and academia. Promising new tools are anticipated, borrowing variously from fields such as political science, computer science, scientometrics, innovation management, and complexity science.*

## Literatura

1. Albach, H. (1976). Technologische Prognosen. Quantitative Methoden der Organisationsforschung. V: *Band I/3 der Enzyklopaedie der Betriebswirtschaftslehre, 4. Aufgabe*, ur. E. Grochla in W. Witmann. Stuttgart.
2. Bain, A. D. (1962). The Growth of Television Ownership in the United Kingdom. *International Economic Review* 3: 145–167.
3. Bain, A. D. (1963). The Growth of Demand for New Commodities. *Journal of the Royal Statistical Society A* 126: 285–298.
4. Banks, Robert B. (1994). *Growth and Diffusion Phenomena*, Springer-Verlag.
5. Berkson, J. (1953). A statistically precise and relatively simple method of estimating the bioassay with quantal Response, based on the logistic function. *Journal of the American Statistical Association* 48: 565–599.
6. Blind, K., Cuhls, K. in Grupp, H. (1999). Current Foresight Activities in Central Europe. *Technological Forecasting and Social Change* 60: 15–35.
7. Bowonder, B. in Miyake, T. (1993). Technology Forecasting in Japan. *Futures (Sept.)*: 757–777.
8. Coates, V., Farooque, M., Klavans, R., Lapid, K., Linstone, H. A., Pistorius, C. in Porter, A I. (2001). On the Future of Technological Forecasting. *Technological Forecasting & Social Change* 67: 1–17.
9. Dalkey, N. C. (1972). An Elementary Cross-Impact Model. *Technological Forecasting & Social Change* 3: 317–329.
10. Eto, H. (2003). The suitability of technology forecasting/foresight methods for decision systems and strategy. A Japanese view. *Tecnological Forecasting & Social Change* 70: 231–249.
11. Fisher, J. C. in Pry, R. H. (1971). A simple substitution model of technological change. *Technological Forecasting & Social Change* 3: 75–88.
12. Gordon, T. in Pease, A. (2006). RT Delphi: An efficient, »round-less« almost real time Delphi method. *Technological Forecasting & Social Change* 73: 321–333.
13. Gupta, U. G. in Clarke, R. E. (1996). Theory and Applications of the Delphi Technique: A Bibliography (1975–1994) *Technological Forecasting and Social Change* 53: 185–211.
14. Indihar, Stane (1973). O logistični krivulji. *Naše gospodarstvo* 5: 314–320.
15. Indihar, Stane (1980). Prognostični modeli s S-krivuljami. *Naše gospodarstvo* 26: 236–247.
16. Indihar, Stane in Gabriela Leskovar Špacapan (1982). Napovedovanje opremljenosti gospodinjstev v SFRJ s pomočjo S-krivulje. *Naše gospodarstvo* 28: 134–138.
17. Kos, Marko in Peter Stanovnik (2006). Katere so naše razvojne niše? *DELO, 17. avg., priloga Znanost*.
18. Levary, Reuven R. in Han, Dongchui (1995). Choosing a Technological Forecasting Method. *Industrial Management* 37 (Jan./Febr.): 14–18.
19. Lewandowski, Rudolf (1974). *Prognose – und Informations – Systeme und ihre Anwendung, Band 1*, Berlin, New York: Walter de Gruyter.
20. Mahajan, V., Muller, E. in F. M. Bass, F. M. (1993). New-Product Diffusion Models. V: *Handbooks in Operations Research and Management Science V. 5, Marketing*, ur. J. Eliashberg in G. L. Lilien. North-Hollan.
21. Martino, Joseph. P. (1993). Technological Forecasting. *The Futurist (July - August)*: 13–16.
22. Meade, N. in Islam, T. (1995). Forecasting with growth curves: An empirical comparison. *International Journal of Forecasting* 11: 199–215.
23. Meyer, P. S. in Ausubel, J. H. (1999). Carrying Capacity: A Model with Logistically Varying Limits. *Technological Forecasting & Social Change* 61: 209–214.
24. Meyer, P. S., Yung, J. W. in Ausubel, J. H. (1999). A Primer on Logistic Growth and Substitution, The Mathematics of the Loglet Lab Software. *Technological Forecasting & Social Change* 61: 247–271.
25. Mishra, Somnath, Deshmukh, S. G. in Vrat, Prem (2002). Maching of technological forecasting technique to a technology. *Technological Forecasting & Social Change* 69: 1–27.
26. Moeldrup, C. in Morgall, J. M. (2001). Risks of Future Drugs: A Danish Expert Delphi. *Technological Forecasting & Social Change* 67: 273–289.
27. N. N. *Technological Forecasting. Online Study Tools*. Dosegljivo: [http://www.wiley.com/college/dec/meredith298298/resources/addtopics/addtopic\\_s\\_02...](http://www.wiley.com/college/dec/meredith298298/resources/addtopics/addtopic_s_02...)
28. Ronde, P. (2003). Delphi analysis of national specificities in selected innovative areas in Germany and France. *Technological Forecasting & Social Change* 70: 419–448.
29. Sharif, M. in Kabir, C. (1976). A Generalised Model for Forecasting Technological Substitution. *Technological Forecasting & Social Change* 8: 353–364.
30. Steffens, P. R. (2003). A model of multiple-unit ownership as a diffusion process. *Technological Forecasting & Social Change* 70: 901–917.
31. Tanny, S. M. in Derzko, N. A. (1988). Innovators and imitators in innovation diffusion modeling. *Journal of Forecasting* 7: 225–231.
32. *Technological Forecasting & Social Change* (1999). Special Issue: National Foresight Projects 60(1): 1–96.
33. U.S. Government (1937), *Technological Trends and National Policy, Including the Social Implications of New Inventions*. Washington, DC: U. S. Government Printing Office.
34. Van Zolingen, Simone J. in Klaassen, Cees A. (2003). Selection processes in a Delphi study about key qualifications in Senior Secondary Vocational Education. *Technological Forecasting & Social Change* 70: 317–340.
34. Young, P. in Ord, J. K. (1989). Model selection and estimation for technological growth curves. *International Journal of Forecasting* 5: 501–513.
36. Zwicky, F. (1947). Morphology and Nomenclature of Jet Engines. *Aeronautical Engineer Review* 6: 20–32.