Revija za univerzalno odličnost / Journal of Universal Excellence, Članek / Article
December 2016, letnik / volume 5, številka / number 4, str. / pp. 345–359.

Matematični model tranzicije tehnologij s stališča sistemskih inovacij

Andrej Grebenc*
1190 Bruselj, Belgija
andrej.grebenc@gmail.com

Povzetek:
Raziskovalno vprašanje (RV): Tranzicija tehnologije (TT) je inovacijski makro proces, pri katerem inovativna tehnologija nadomesti staro. Dinamika tranzicije tehnologije loči vzpon, stagnacijo in zaton tehnologije. Raziskovalno vprašanje se glasi, kako je možno matematično opisati tranzicijo tehnologije.
Namen: Cilj raziskave je razviti univerzalen matematični model, ki bo opisal različne tranzicije tehnologij s pomočjo spreminjanja parametrov.
Metoda: Analiza pojava in določitev eksogenih in endogenih spremenljivk ter njihovih vzročnih povezav, vključno z matematično formulacijo. Model bo verificiran s konkretnimi podatki.
Rezultati: Verifikacija z dejanskimi podatki je pokazala, da je matematični model ustrezen, ker zadovoljivo opisuje tri stanja: vzpon, stagnacijo in zaton tehnologije.
Organizacija: Model je splošnega značaja, vendar je uporaben tudi za tranzicijo tehnologije v organizacijah, če seveda organizacije imajo ustrezne podatke.
Družba: Model je splošnega značaja in omogoča modeliranje tranzicije tehnologije na svetovni ravni.
Originalnost: Raziskava je originalna. V literaturi nismo našli matematičnega modela, ki bi opisoval tranzicijo tehnologije.
Omejitve/nadaljnje raziskovanje: Pri raziskavi in iskanju parametrov modela smo uporabili dve sigmoidni funkciji. Nadaljnje raziskave so možne v smeri preverjanja modelov z novimi sigmoidnimi funkcijami in na podatkih za druge države.

Ključne besede: tranzicija tehnologije, matematični model, inovacije, sigmoidne funkcije, vzpon in stagnacija ter zaton tehnologije.

1 Uvod

V zadnjih letih na različnih znanstvenih področjih prihaja do poenotenja raziskovalnih pristopov. V tem obdobju so znanstveniki različnih znanstvenih smeri ugotovili, da se znanost v čedalje večji meri ukvarja s kompleksnimi problemi. Za reševanje teh problemov se vedno bolj uporabljajo različni modeli. Modeliranje je postalo sestavni del kvantitativnega opazovanja ekonomskih pojavov. Razvoj modelov običajno zahteva globljo analizo in s tem razumevanje obstoječih ali še neraziskanih oz. ne dovolj raziskanih področij in pojavov. Eno takšnih področij, kjer po pregledu literature s področja inovacij nismo našli matematičnih modelov, je tudi področje tranzicije tehnologije. Pri opisanih tranzicijah gre za konkurenco starih obstoječih in novo nastajajočih tehnologij ter časovni potek njihove tranzicije.

V zadnjih desetletjih je bilo kar precej pozornosti posvečene raziskovanju in modeliranju ekonomske rasti, razširjanju tehnologij, invencij in inovacij ter ustvarjanju in razširjanju znanja, ne pa tudi njihovega zatona.

* Korespondenčni avtor / Correspondence author

Prejeto / received: 11. julij 2016; revidirano / revised: 12. julij 2016; sprejeto / accepted: 28. november 2016.

2 Pregled literature o sistemskih inovacijah

Za začetnika sodobnega raziskovanja inovacij velja Tarde (1890), ki je postavil temelje za sodobno raziskovanje inovacij. Njegova teorija obravnava tri koncepte: invencija, nasprotovanje in posnemanje. Schumpeter (1912) je inovacije raziskoval s poudarkom na ekonomskem vidiku. V svoji knjigi Teorija ekonomskega razvoja govori o »ustvarjalnem uničevanju« in trdi, da nove tehnologije uničujejo stare.

Na področju ekonomije sta ključne prispevke v 50. in 60. letih prejšnjega stoletja dala Nelson (1959) in Schmookler (1966). Nelson je delal na področju ekonomike invencij, Schmookler pa je pokazal, da tehnološke inovacije niso samo rezultat tehnološkega razvoja, pač pa tudi povpraševanja po rešitvah določenih problemov (demand pull).

Burns in Stalker (1961) sta inovacije raziskovala s stališča menedžmenta. Zavedala sta se, da inovacije ne pridejo same od sebe, pač pa jih je treba upravljati.

Rogersa (1962, str. 247–250) je zanimalo, kakšni mehanizmi vplivajo na razširjanje (difuzijo) in sprejem inovacij in kakšno vlogo imajo tehnologije pri ekonomski rasti. Razvil je teorijo o sprejemu tehnologije s strani uporabnikov, ki jih je razdelil v pet kategorij: inovatorji, zgodnji usvojitelji, zgodnja večina, pozna večina in zamudniki. Ena njegovih bistvenih ugotovitev je, da gre pri sprejemanju tehnologije za proces rasti.

Raziskave inovacijskih sistemov so se kasneje razvile v smeri nacionalnih inovacijskih sistemov (Lundvall 1985, 2010, Lundval in dr. 2009, Freeman 1987 in 1995, Nelson 1993, Fagerberg 2006). Nadaljnje raziskovanje je privedlo do sektorskih in regionalnih inovacijskih sistemov (Bresci in Malerba 1997, Cooke, Gomez Uranga in Etxebarria 1997).

Carlsson in Stankiewicz (1991, 1995) sta dala poudarek na tehnološke inovacijske sisteme, kar je eden najpomembnejših okvirov za naše raziskovanje. Tehnološki inovacijski sistemi so lahko del nacionalnih inovacijskih sistemov, lahko pa nacionalne inovacijske sisteme v določenem tehnološkem segmentu presegajo in predstavljajo horizontalni (cross cutting) segment inovacij (Carlsson in Stankiewicz 1995, str. 49–50). Kot primer takih tehnoloških inovacijskih sistemov bi tukaj navedli elektronsko in računalniško industrijo, ki sta v zadnjih petdesetih letih bistveno premaknili meje na mnogih področjih, npr. obdelavi in shranjevanju podatkov, telekomunikacijah, mikronizaciji elektronike ipd. V našem prispevku je pomemben ravno ta vidik: splošna vloga tranzicije tehnologij in modeli, ki to tranzicijo tudi matematično opisujejo.

Resničen preboj v inovacijskih sistemih je prispevek Endquista (1997), ki je na področje raziskovanja inovacij vnesel elemente sistemske teorije, ki na določen način sistemsko zedini različne vidike: nacionalne, regionalne, sektorske in tehnološke.

V zadnjem obdobju je na področju raziskovanja inovacij opaziti trend k sistemskim inovacijam in inovacijskim sistemom v povezavi s tranzicijo tehnologij (Elzen in dr. 2004, Geels 2005). Oba avtorja sta predstavnika nizozemske šole sistemskih inovacij, ki vključuje raziskovalce s področja tranzicije tehnologij in sistemskih inovacij. Tako Geels in Schot (2007, str. 405–412) v članku o izboljšavi Geelsovega modela o tranziciji tehnologij govorita o tranzicijskih poteh tehnologij.

3 Razvoj modela tranzicije tehnologij

3.1 Temelji za model omejene funkcije sprememb

3.1.1 Sigmoidne funkcije

Raziskovalci so ugotovili, da eksponentna funkcija rasti nezadovoljivo opisuje spremembe. Opisuje namreč spremembe, ki so neomejene, česar pa v realnosti ni. Iskali so torej funkcije, ki bi opisovale omejene spremembe. Verhulst (1838) je pri raziskovanju rasti prebivalstva razvil diferencialno enačbo, katere rešitev je bila funkcija, ki jo je poimenoval logistična in je omejena navzdol in navzgor. Kasneje je bilo razvitih še več takšnih funkcij, ki so jih, glede na obliko, podobno črki S, poimenovali sigmoidne funkcije. Pregled sigmoidnih funkcij za modeliranje rasti dajeta Tsoularis & Wallace (2002).

Sigmoidne funkcije matematično zapišemo kot:

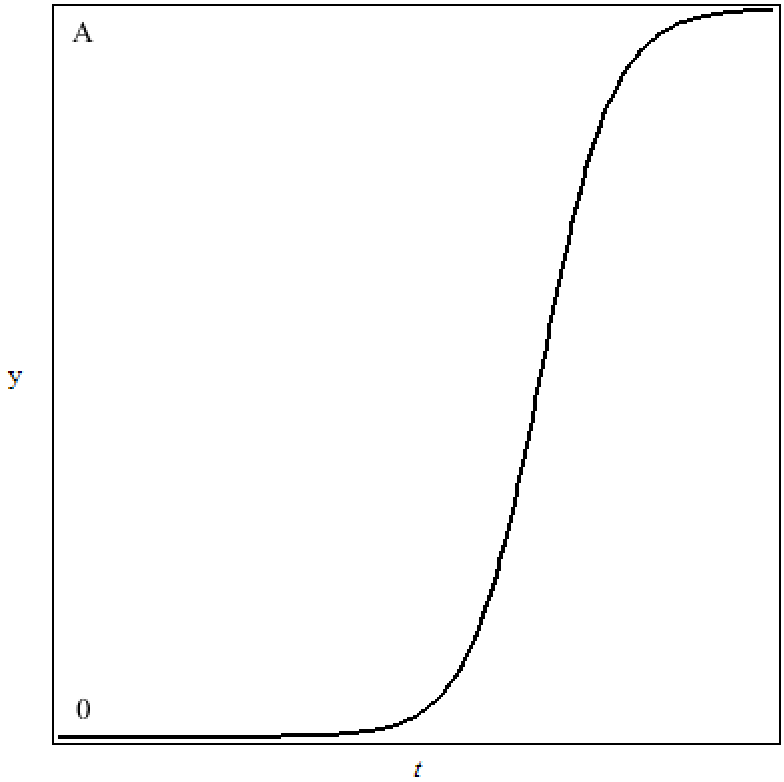
$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{s}\left(a\left(t - t_0\right)\right) , \tag{1}$$

kjer je
y odvisna spremenljivka,
A parameter velikosti (magnitude),
s sigmoidna enotska funkcija,
a naklonski koeficient,
t čas,
t_0 časovna zakasnitev.

Sigmoidna enotska funkcija je naraščajoča funkcija na intervalu (-∞, +∞), ki obsega vrednosti odvisne spremenljivke med 0 in 1.

Graf sigmoidne funkcije je prikazan na sliki 1.

Trdimo, da so te funkcije primerne za opisovanje tranzicije tehnologij.



Slika 1. Sigmoidna funkcija

3.1.2 Kontinuitetna enačba in njen odvod

Kot smo že povedali, bomo obravnavali dve tehnologiji (v splošnem bi jih lahko tudi več), pri čemer nas zanimajo odnosi med številom enot posamezne tehnologije. Enote tehnologij so rezultat inovacijsko-proizvodnega procesa in so v materialni obliki. Če vsaka od tehnologij da na tržišče določeno število enot, je skupno število enot v vsakem trenutku enako vsoti vseh enot. Število enot se samo na sebi ne more povečevati, ker enote tehnologije nimajo avtopoetske lastnosti (lastnosti reprodukcije oz. lastne replikacije). Enačbo, ki opisuje to dejstvo, imenujemo kontinuitetna enačba s splošnim zapisom v obliki:

$$y_M(t) = \sum_{i=1}^{n} y_i(t) \ , \qquad (2)$$

kjer je
$y_M(t)$ količina enot proizvodov vseh tehnologij v določenem trenutku,
$y_i(t)$ količina enot proizvodov tehnologije i v določenem trenutku.

Nadalje velja za odvod kontinuitetne enačbe

$$\frac{d}{dt} y_M(t) = \sum_{i=1}^{n} \frac{d}{dt} y_i(t) \ . \qquad (3)$$

3.2 Splošen matematični model tranzicije tehnologij

3.2.1 Osnove za matematični model tranzicije tehnologij

Naš model temelji na pristopu, da se določeni obstoječi tehnologiji kot konkurenca pojavi nova tehnologija, ki ima svojo rast. Ker sprejemanje nove tehnologije na začetku na trgu nima velikega vpliva, prevzame obstoječa tehnologija skoraj ves del rasti povpraševanja na trgu. Sprejem obeh tehnologij se na trgu povečuje. Kolikor večja je kvantitativna rast nove tehnologije, toliko večji tržni delež dobiva. Če je nova tehnologija zares boljša, je njen sprejem toliko boljši. Nova tehnologija običajno pridobiva dodatne kupce, ki jih stara tehnologija ne bi.

Ker je splošno znano, da ni neomejene rasti, bomo tudi v našem modelu tranzicije tehnologije pričeli s to predpostavko. Nadalje, ko nova tehnologija kvantitativno narašča bolj, kot je skupna rast obeh tehnologij, stara tehnologija nujno upada. To dejstvo v našem modelu upoštevamo tako, da naraščajočo sigmoidno funkcijo pomnožimo s padajočo funkcijo. S tem smo dosegli univerzalnost modela na celotnem časovnem območju od nastanka tehnologije do njenega zatona.

Za model bomo izbrali naslednje spremenljivke in parametre:

- količino enot *y(t),* ki so v vsakem trenutku na razpolago za uporabo. Ta spremenljivka je endogena in meri izhod iz našega modela in je odvisna od časa,
- čas *t,* ki je neodvisna, eksogena spremenljivka. Zanima nas namreč, kako tranzicija tehnologije poteka v času,
- t_0 je parameter časovnega zamika sigmoidne funkcije,
- τ_0 časovni zamik v funkciji zatona,
- *A, B* sta parametra, ki določata največje število enot tehnologije, ki je na razpolago v zasičenju tržišča,
- *q* je omejena funkcija vzpona. Omejena funkcija vzpona je naraščajoča funkcija, ki na intervalu naraste do določene omejene vrednosti. To funkcijo smo izbrali, ker je že več kot stoletje jasno, da neomejene rasti ni,
- *r* je funkcija zatona tehnologije, ki je padajoča funkcija na intervalu in določa potek tehnologije, ki izginja s tržišča,
- *a* je parameter vzpona tehnologije in
- *b* parameter zatona tehnologije.

Splošno obliko matematičnega modela tranzicije tehnologije zapišemo kot:

$$y(t) = A \cdot q\left(a \cdot \left(t - t_0\right)\right) \cdot r\left(-b \cdot \left(t - \tau_0\right)\right) \quad . \tag{4}$$

3.2.2 Skupen časovni potek količin stare in nove tehnologije

Pričnimo razvoj našega modela najprej z opazovanjem celotnega tržišča, ki ga v našem idealnem sistemu obvladujeta dve tehnologiji. Razširitev na več tehnologij je možna z zaporedji več modelov dveh tehnologij.

Skupen časovni potek dveh tehnologij lahko opazujemo na dva načina, in sicer:

- z enačbo splošne oblike modela tehnologije, kjer za vzpon uporabimo naraščajočo sigmoidno funkcijo *s* in za zaton padajočo nesingularno funkcijo *r* in dobimo

$$y_M(t) = A \cdot s_M\big(a_M \cdot (t - t_M)\big)^{\alpha_M} \cdot r_M\big(-b_M \cdot (t - \tau_M)\big) \ , \tag{5}$$

- kot vsoto stare in nove tehnologije, izraženo z enačbo

$$y_M(t) = A \cdot s_L\big(a_L \cdot (t - t_L)\big)^{\alpha_L} \cdot r_L\big(-b_L \cdot (t - \tau_L)\big) + B \cdot s_N\big(a_N \cdot (t - t_N)\big)^{\alpha_N} \cdot r_N\big(-b_N \cdot (t - \tau_N)\big) \ , \tag{6}$$

kjer so:
L, *N*, *M* indeksi, ki označujejo staro, novo in vsoto obeh tehnologij in
α parameter nesimetrične rasti sigmoidne funkcije, glede na neodvisno spremenljivko t.

S tem ko sigmoidno funkcijo potenciramo, dosežemo časovno nesimetrično rast, kar izboljša prileganje modela dejanskim podatkom.

Prvi način (enačba 5) je bolj primeren tam, kjer imamo opravka z dvema tehnologijama, drugi (enačba 6) pa tam, kjer imamo več tehnologij. Načeloma pa je možno uporabiti katerikoli način.

Ko opazujemo dve tehnologiji, ima kontinuitetna enačba naslednjo obliko:

$$y_M(t) = y_L(t) + y_N(t) \ , \tag{7}$$

njena diferencialna oblika pa je

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} y_M(t) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} y_L(t) + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} y_N(t) \ . \tag{8}$$

3.2.3 Časovni potek količin nove tehnologije

Nova tehnologija se na tržišču pojavi, ko je stara že prisotna, torek s časovnim zamikom glede na staro tehnologijo. Nova tehnologija običajno poleg potencialnih kupcev stare tehnologije ustvari tudi nove kupce, ki ne bi želeli kupiti stare tehnologije. To poveča končni obseg nove tehnologije.

Časovni potek nove tehnologije, ki ima omejeno rast, zapišemo s pomočjo sigmoidne funkcije kot

$$y_N(t) = B \cdot s_N\big(a_N \cdot (t - t_N)\big)^{\alpha_N} \cdot r_N\big(-b_N \cdot (t - \tau_N)\big) \ . \tag{9}$$

3.2.4 Časovni potek količin stare tehnologije

Pri razvoju novega modela si bomo najprej ogledali časovni potek stare tehnologije. Stara tehnologija je časovna predhodnica nove. Z difuzijo količina enot stare tehnologije narašča in stara tehnologija sama zadovolji potrebe tržišča. V določenem trenutku obstoja stare tehnologije se pojavi nova. Takrat stara tehnologija ne izpolnjuje več sama zahtev na tržišču. Ima konkurenco, ki ji odvzame del njene rasti. Kolikor hitrejša je rast nove tehnologije, toliko večji je upad stare. Stara tehnologija preneha obstajati, ko je nova tehnologija dosegla raven, ko sama zapolni vse potrebe tržišča. Matematično tak potek lahko opišemo s sigmoidno funkcijo, ki pa jo pomnožimo s časovno zamaknjeno funkcijo upada *r*, kar je izraženo z enačbo

$$y_L(t) = A \cdot s_L\big(a_L \cdot (t - t_L)\big)^{\alpha_L} \cdot r_L\big(-b_L \cdot (t - \tau_L)\big) \ . \tag{10}$$

Ker običajno stara tehnologija po določenem času, ko se pojavi nova, začne upadati, je enostavneje uporabiti kar razliko med vsemi tehnologijami skupaj in novo tehnologijo. Tako dobimo iz kontinuitetne enačbe naslednji izraz:

$$y_L(t) = A \cdot s_M\left(a_M \cdot \left(t - t_M\right)\right)^{\alpha_M} \cdot r_M\left(-b_M \cdot \left(t - \tau_M\right)\right) - B \cdot s_N\left(a_N \cdot \left(t - t_N\right)\right)^{\alpha_N} \cdot r_N\left(-a_L \cdot \left(t - \tau_N\right)\right) \quad (11)$$

3.2.5 *Časovni potek funkcije zatona r*

Usmerimo se še na funkcijo zatona r(•). Ta funkcija je padajoča. Najenostavnejša nesingularna funkcija je eksponentna z negativno vrednostjo parametra, vendar zamaknjena za τ. Njen matematični zapis je:

$$r(t) = \mathrm{e}^{-b\,(t-\tau)} \quad (12)$$

4 Rezultati in razprava

4.1 Izračun parametrov modela na osnovi podatkov

V prejšnjem poglavju smo razdelali model za tranzicijo tehnologije na osnovi analize in teoretičnih spoznanj. Model, ki smo ga razvili, lahko uporablja različne funkcije, ki opisujejo tri stanja: vzpon, stagnacijo in zaton tehnologij in tranzicijo tehnologij med stanji. Model, ki smo ga razvili, je parametrični model. To pomeni, da je za konkreten primer tranzicije tehnologije treba najti:

- ustrezno funkcijo tranzicije tehnologije in
- parametre funkcije tranzicije tehnologije.

Za izdelavo konkretnega modela torej potrebujemo časovno serijo podatkov s časom kot neodvisno spremenljivko in enotami tehnologije kot odvisno spremenljivko. Z metodo najmanjših kvadratov poiščemo parametre matematične funkcije tranzicije tehnologije.

V naslednjih podpoglavjih bomo zaradi verifikacije našega modela tranzicije tehnologije predstavili primera, za katera bomo izračunali parametre. Izračunane parametre bomo nato vstavili v model in izračunali razliko med modelom in podatki. Ker pa razlika v velikosti ni najboljša mera za ugotavljanje ustreznosti modela, bomo izračunali še relativno odstopanje, in sicer v odstotkih, od največje vrednosti. Takšna relativna mera veliko bolj ustreza kot kriterij za verifikacijo, ali je naš model ustrezen. Da bi zagotovili kar najširšo možno potrditev modela, bomo poleg tehnologije proizvodov verificirali tudi tehnologijo storitev.

Naj opozorimo še na dejstvo, da smo pri obeh modelih absolutne vrednosti za leto spremenili v relativne vrednosti tj. zaporedno leto. V modelu vedno pričnemo šteti zaporedno leto z vrednostjo 1.

4.2 Tranzicija tehnologije osebnih avtomobilov v Sloveniji

Značilnost glede tranzicije tehnologije osebnih avtomobilov v Sloveniji je, da v državi obstajajo vozila na bencinski in dizelski pogon ter v zadnjem času tudi vozila na alternativna goriva. Statistične podatke o številu registriranih vozil vodi UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), kjer smo dobili podatke o številu registriranih osebnih vozil na bencinski, dizelski in alternativni pogon v Sloveniji. Časovno si tehnologije sledijo v naslednjem vrstnem redu: bencinski pogon, ki ji sledi tehnologija na dizelski pogon, in v zadnjih letih tehnologija na alternativni pogon. Podatki za Slovenijo so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1. Tranzicija tehnologije osebnih avtomobilov: podatki za Slovenijo v 000.

leto	zap. leto	bencin	dizel	altern ativno	skupaj
1993	1	57,851	2,004	0,023	59,878
1994	2	45,619	1,582	0,016	47,217
1995	3	59,748	1,909	0,043	61,700
1996	4	56,859	2,468	0,031	59,358
1997	5	59,421	4,856	0,080	64,357
1998	6	64,721	6,167	0,134	71,022
1999	7	73,437	8,134	0,298	81,869
2000	8	58,163	6,515	0,168	64,846
2001	9	46,149	9,061	0,222	55,432
2002	10	36,379	15,652	0,279	52,310
2003	11	34,016	26,497	0,018	60,531
2004	12	35,078	24,802	0,005	59,885
2005	13	38,584	29,199	0,008	67,791
2006	14	43,543	27,486	0,008	71,037
2007	15	37,442	19,945	0,004	57,391
2008	16	38,173	22,599	0,005	60,777
2009	17	34,042	25,770	0,001	59,813
2010	18	24,845	24,847	0,008	49,700
2011	19	23,942	28,016	0,010	51,968

Vir: UNECE Transport Division

Vidimo, da je tehnologija osebnih avtomobilov na alternativni pogon šele na začetku svoje poti in je zaradi nepomembnega deleža v našem modelu nismo upoštevali. To pomeni, da osebnih avtomobilov na alternativni pogon nismo odšteli od skupnega števila vozil.

Funkcija, ki jo želimo verificirati pri tem primeru, je naraščajoča in padajoča iracionalna sigmoidna funkcija v obliki

$$y = \left(\frac{A}{2} \cdot \left(1 + \frac{a\,(t-b)}{\sqrt{1+(a\cdot(t-b))^2}} \right) e^{-c\,(t-d)} \right)^{\alpha}, \tag{13}$$

kjer je:

y endogena spremenljivka – število osebnih avtomobilov,
t eksogena spremenljivka – zap. številka leta,
A, a, b, c, d in α parametri, ki jih iščemo z modelom.

To funkcijo bomo uporabili za modeliranje bencinskega pogona in za vse osebne avtomobile skupaj. Za tehnologijo dizelskega pogona pa bomo uporabili razliko obeh funkcij.

Z metodo najmanjših kvadratov dobimo naslednje parametre in enačbe za tranzicijo tehnologije osebnih avtomobilov v Sloveniji:

za vse osebne avtomobile skupaj:

$$\boldsymbol{A = 102.16,\ a = -0.0049,\ b = 51.08,\ c = 0,\ d = 0 \text{ in } \alpha = 1} \tag{14}$$

$$y = 51.08 \cdot \left(1 - \frac{0.0049 \cdot (t - 51.08)}{\sqrt{1 + (0.0049 \cdot (t - 51.08))^2}}\right), \tag{15}$$

za avtomobile na dizelski pogon

$$\boldsymbol{A = 69.24,\ a = -0.077,\ b = 15.32,\ c = 0, d = 0 \text{ in } \alpha = 1} \tag{16}$$

$$y = 34.62 \cdot \left(1 - \frac{0.077 \cdot (t - 15.32)}{\sqrt{1 + (0.077 \cdot (t - 15.32))^2}}\right) \tag{17}$$

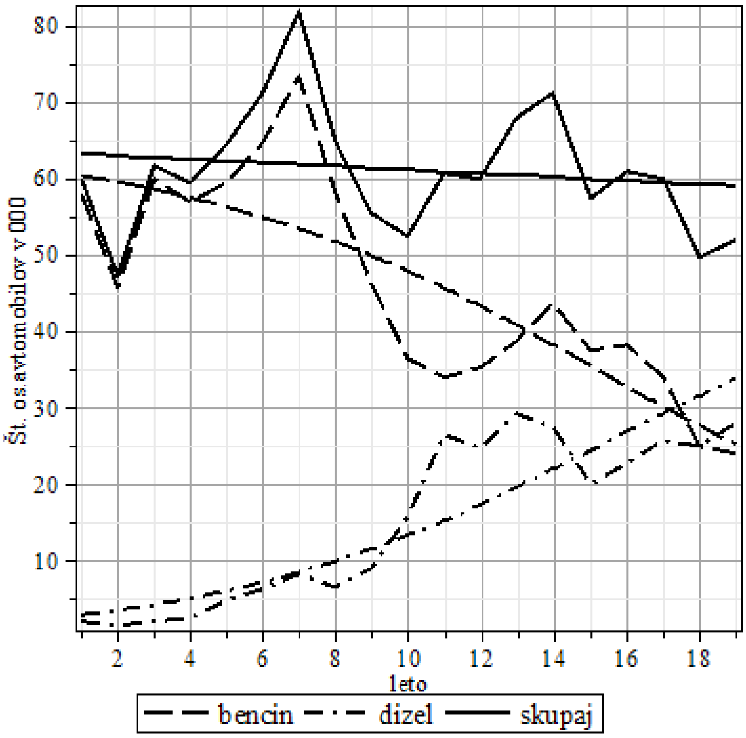
in za avtomobile na bencinski pogon

$$y = 51.08 \cdot \left(1 - \frac{0.0049 \cdot (t - 51.08)}{\sqrt{1 + (0.0049 \cdot (t - 51.08))^2}}\right) - 34.62 \cdot \left(1 - \frac{0.077 \cdot (t - 15.32)}{\sqrt{1 + (0.077 \cdot (t - 15.32))^2}}\right). \tag{18}$$

Kot vidimo iz zgornjih enačb modela, so parametri iz enačbe (13) α=1, c=0 in d=0, kar pomeni, da ustreza celo enostavnejši model.

Grafični potek podatkov in rezultata modela je prikazan na sliki 2. Gladke krivulje predstavljajo model, medtem ko podatke predstavljajo krivulje z večjim raztrosom.

Odstopanja podatkov od izračunov modela so prikazana v preglednici 2, in sicer vrednost in odstotek odstopanja. Poudariti moramo, da so podatki za bencinski pogon in s tem tudi podatki za vse osebne avtomobile zelo razpršeni in je modeliranje zato težje. Opazimo lahko, da je odstopanje ponekod večje od 10 odstotkov, vendar model dobro predstavlja padajoči in rastoči trend. To kaže, da je model tranzicije tehnologije osebnih avtomobilov v Sloveniji ustrezen. Na raztresenost podatkov model namreč ne more vplivati.



Slika 2. Tranzicija tehnologije v avtomobilski industriji: podatki in model za Slovenijo.

Preglednica 2. Tranzicija tehnologije osebnih avtomobilov v Sloveniji: odstopanje podatkov od modela.

leto	vrednost v 000				odstotek		
	zap. leto	bencin	dizel	skupaj	bencin	dizel	skupaj
1993	1	2,428	0,834	3,238	3,853	2,778	5,140
1994	2	13,804	1,884	15,672	21,911	6,280	24,876
1995	3	-1,286	2,289	0,961	-2,041	7,632	1,525
1996	4	0,525	2,580	3,074	0,833	8,600	4,879
1997	5	-3,246	1,172	-2,155	-5,153	3,905	-3,420
1998	6	-9,900	0,984	-9,050	-15,714	3,279	-14,365
1999	7	-20,126	0,296	-20,128	-31,946	0,987	-31,949
2000	8	-6,529	3,361	-3,336	-10,364	11,203	-5,296
2001	9	3,633	2,434	5,845	5,766	8,114	9,278
2002	10	11,375	-2,362	8,734	18,055	-7,872	13,864
2003	11	11,538	-11,241	0,280	18,315	-37,469	0,444
2004	12	8,120	-7,423	0,691	12,888	-24,744	1,097
2005	13	2,122	-9,564	-7,450	3,369	-31,880	-11,825
2006	14	-5,429	-5,494	-10,931	-8,618	-18,313	-17,351
2007	15	-1,982	4,464	2,479	-3,145	14,882	3,935
2008	16	-5,381	4,242	-1,144	-8,541	14,140	-1,815
2009	17	-3,886	3,470	-0,417	-6,168	11,567	-0,662
2010	18	2,751	6,715	9,458	4,367	22,383	15,013
2011	19	1,209	5,753	6,952	1,919	19,176	11,035

4.3 Tranzicija v letalskem potniškem prometu v Sloveniji

Letalski promet doživlja preporod. Priča smo združevanju letalskih družb in internacionalizaciji letalskega prometa. Inovacijo v storitvah potniškega letalskega prometa predstavljajo nizkocenovni prevozniki. S svojim inovativnim poslovnim modelom ustvarjajo dvoje: a) nove stranke, ki ne bi uporabljaje letalskih prevozov, če ne bi bilo nizkocenovnih letalskih prevozov, in b) prevzemajo letalske potnike klasičnim letalskim prevoznikom. Za konkreten primer smo izbrali Slovenijo, za katero bi radi preverili model tranzicije tehnologije v storitvenem sektorju.

Z nastavkom modela

$$y = \frac{A\,e^{-c\,t}}{1 + e^{-a\,(t-b)}} \tag{19}$$

dobimo naslednje parametre in enačbe, in sicer:
za število potnikov na nizkocenovnih letih

$$A = 131.34,\ a = 14.82,\ b = -0.995,\ c = 0 \tag{20}$$

$$y = \frac{131.34}{1 + e^{-14.82\cdot(t-0.995)}}\ , \tag{21}$$

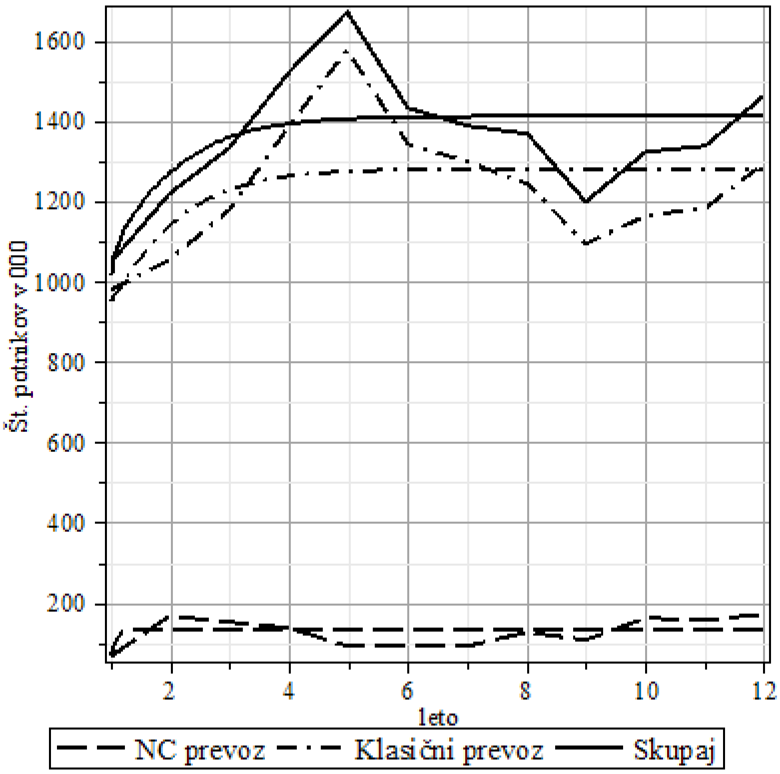
za število potnikov klasičnih prevoznikov

$$A = 1279.59, a = 1.06, b = 0.012, c = 0 \tag{22}$$

$$y = \frac{1279.59}{1 + e^{-1.06\cdot(t-0.012)}} \tag{23}$$

ter za skupno število potnikov

$$y = \frac{131.34}{1 + e^{-14.82\cdot(t-0.995)}} + \frac{1279.59}{1 + e^{-1.06\cdot(t-0.012)}}\ . \tag{24}$$



Slika 3. Tranzicija tehnologije v letalskem prevozu: model in podatki za Slovenijo.

Preglednica 3. Tranzicija tehnologije v letalskem prometu: št. potnikov v Sloveniji v 000.

leto	zap. leto	nizko-cenovni prevoz	klasični prevoz	skupaj
2004	1	68,27	979,97	1048,24
2005	2	164,89	1054,01	1218,90
2006	3	154,08	1180,28	1334,36
2007	4	134,73	1389,30	1524,03
2008	5	93,56	1579,49	1673,05
2009	6	90,16	1343,69	1433,86
2010	7	89,85	1298,80	1388,65
2011	8	124,42	1245,06	1369,49
2012	9	105,61	1093,30	1198,91
2013	10	159,23	1161,92	1321,15
2014	11	157,15	1181,47	1338,62
2015	12	171,08	1293,50	1464,58

Vir: Lapajne in Rauch

Rezultati modela in podatki so prikazani v preglednici 3 in na sliki 3. Gladke krivulje predstavljajo model, medtem ko podatke predstavljajo razpršene krivulje.

Iz modela izhaja, da število potnikov pri nizkocenovnih prevoznikih ne narašča niti v prihodnjih letih tega ni pričakovati. To je klasičen primer stagnacije dveh tehnologij, ki bosta verjetno ostali v takem razmerju, kot sta sedaj, tudi nekaj časa v bodoče.

5 Zaključek

V ekonomski literaturi in literaturi o inovacijah je redkeje slišati o vlogi tehnologije v inovacijah. Tehnologija je nekako bolj v domeni inženirjev in družboslovcev. S tem člankom smo naredili korak v smeri matematičnega modeliranja in razumevanja tranzicije tehnologije. S tranzicijo tehnologije je mišljen družbeni proces zamenjave enot določene obstoječe tehnologije z novo. Pri tem ni bil naš interes samo proces substitucije tehnologije, pač pa tudi vpliv nove tehnologije na rast povpraševanja in ustvarjanja novih usvojiteljev, ki so se pojavili prav zaradi nove tehnologije.

Poleg teoretskega prispevka k sistemski teoriji inovacij smo ob uporabi že znanih matematičnih elementov za modeliranje razvili nov pristop s tem, da smo se naslonili na sigmoidne funkcije, ki omogočajo modeliranje omejenih sprememb.

Razvili smo torej splošen generični matematični model tranzicije tehnologije (enačbe 5 do 12), ki ob uporabi različnih sigmoidnih funkcij na različnih intervalih dajejo obilo možnosti za številne konkretne aplikacije modelov.

Teoretične modele smo verificirali na osnovi pridobljenih podatkov iz dveh virov. Modele smo verificirali tako za tranzicijo tehnologije avtomobilov kot tudi za tranzicijo pri letalskih prevozih, oboje za Slovenijo. Za tranzicijo avtomobilov smo izdelali osnovni model nadomeščanja vozil na bencinski pogon z vozili na dizelski oz. alternativni pogon. Ugotovili smo, da je tranzicija tehnologije v teku in da še ni končana. Pri modelu tranzicije letalskih prevozov potnikov smo upoštevali tehnologijo oz. poslovni model klasičnih in nizkocenovnih letalskih prevoznikov. Slednji v svetu povečujejo promet zaradi učinkov substitucije pa tudi zaradi novih potnikov, ki zaradi cene ne bi leteli s klasičnimi prevozniki, z nizkocenovnimi pa letijo. Za tranzicijo v letalskem potniškem prometu v Sloveniji smo ugotovili, da gre za stagnacijo, ki bo predvidoma trajala še nekaj časa, verjetno pa ne bo nikoli prišlo do popolnega izrinjenja klasičnih prevoznikov. Ni namreč pričakovati, da bodo nizkocenovni prevozniki popolnoma nadomestili klasične letalske prevoznike.

Razviti model smo preskusili samo na nekaterih sigmoidnih funkcijah. Model omogoča nadaljnje raziskovanje v smeri uporabe drugih sigmoidnih funkcij ter uporabo tistih, ki omogočajo najboljše prilaganje modelov podatkom.

Reference

1. Breschi, S., & Malerba, F. (1997). Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. *V Edquist, C. (ur.) Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations. London and Washington: Pinter/Cassell Academic.*
2. Burns, T., & Stalker, G. (1961). The Management of Innovation. *London: Tavistock.*
3. Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the Nature, Function, and Composition of Technological systems, *Journal of Evolutionary Economics (1), 93–118.*

4. Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1995). On the nature, function and composition of technological systems, Technological systems and economic performance: the case of factory automation. Carlsson, B. (ur.). *Dordrecht: Kluwer.*
5. Cooke, P., Gomez Uranga, M., Etxebarria, G. (1997). Regional systems of Innovation: Institutional and Organisational Dimension. *Research Policy (26), 475–491.*
6. Elzen, B., Geels, F.W., Green, K. (2004). System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory, Evidence and Policy. *Cheltenham: Edward Elgar.*
7. Edquist, C. (ur.) (1997). Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations. *London: Pinter/Cassell.*
8. Fagerberg, J. (2006). The Oxford handbook of innovation. *Oxford: Oxford university press.*
9. Freeman, C. (1987). Technology policy and economic performance: lessons from Japan. *London: Pinter.*
10. Freeman, C. (1995). The 'National System of Innovation' in historical perspective, *Cambridge Journal of Economics (19), 5-24.*
11. Geels, F. W. (2005) Technological Transitions and System Innovations. *Cheltenham: Edward Elgar*.
12. Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy (36), 399-417.*
13. Lapajne, J., & Rauch, R. (2016). Osebna komunikacija dostopna pri avtorju, 31. 3. 2016
14. Lundvall, B-Å. (1985). Product Innovation and User-Producer Interaction. *Aalborg: Aalborg Universitetsforlag.*
15. Lundvall, B. Å., Vang, J., Joseph, K. J., Chaminade, C. (2009). Bridging innovation system research and development studies: challenges and research opportunities. *Paper presented at GLOBELICS 2009, 7th International Conference, Dakar, Senegal.*
16. Lundvall, B.-Å. (2010). National Systems of Innovation:Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning. *London: Anthem Press.*
17. Nelson, R. R. (1959). The Simple Economics of Basic Scientific Research. *Journal of Political Economy (67), 297-306.*
18. Nelson, R. R. 1993 (ur.). National Innovation Systems: A Comparative Study. *Oxford: Oxford University Press.*
19. Rogers, E. M. (1962). Diffusion of innovations (4th ed. 1995). *New York: Free Press.*
20. Schmookler, J. (1966). Invention and Economic Growth. *Massachusetts: Harvard University Press.*
21. Schumpeter J. (1912). Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. *Leipzig: Dunkel und Humboldt.*
22. Tarde, G. (1890). Les lois de l'imitation. *Paris: Seuil, ponatis 2001.*
23. Tsoularis, A., & Wallace, J. (2002). Analysis of logistic growth models. *Mathematical biosciences, 179(1), 21-55.*
24. UNECE http://w3.unece.org/PXWeb2015/pxweb/en/STAT/ (3. 3. 2016)
25. Verhulst, P. F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondance mathématique et physique (10), 113–121.*

***

Andrej Grebenc je magister ekonomije in dipl. inž. el. Ima 12-letne izkušnje v menedžmentu raziskovalnih projektov in raziskavah v Evropski komisiji v Bruslju. Področje njegovega raziskovanja so bodoče vrhunske tehnologije in njihova tranzicija, energetika, transport, IKT in varnost ter MSP. V poklicnem življenju je bil zaposlen v Iskri, Siemensu in Delta Computers, bil je direktor MSP-ja in konzultant. V zadnjem obdobju je bil zaposlen v javnem sektorju, povezanim z ministrstvom za promet. Ima mednarodne izkušnje in je dlje časa deloval ali bival v Nemčiji, Avstriji, Luksemburgu, Španiji, Belgiji ter Saudski Arabiji.

***

Abstract:

Mathematical Model of Technology Transition as Systemic Innovation

Research Question (RQ): Technology transition (TT) is innovation macro process where new technologies replace the old ones. Dynamic of technology transition distinguishes raise, stagnation and fall of technology. Research question is how it is possible to describe technology transition qualitatively.

Purpose: Research work is to develop a universal mathematical model that will describe various technology transitions by means of parameter change.

Method: The phenomenon was analysed and exogenous and endogenous variables have been identified along with their causal relations, including mathematical logic and induction. The model was verified with specific data.

Results: Verification on actual data has shown that developed mathematical model adequately describes three technology transition states: Raise, stagnation and fall of technology.

Organisation: Model is of generic nature but is as well applicable for technology transfer in organisation, provided the adequate data are available in the organisations.

Society: Model is of generic nature and enables the technology transition modeling.

Originality: Research is original. We could not find any mathematical model that would describe technology transitions.

Limitations/Future Research: Two sigmoid functions have been used for parameter identification for personal car technology transition and passenger air transport transition in Slovenia. Further research is possible in model verification with other sigmoid functions and data for other countries/regions.

Keywords: technology transition, mathematical model, innovation modeling, sigmoid functions, raise and stagnation and fall of technologies.