



Article

ODOLNOSŤ KOMPLEXNÝCH SYSTÉMOV AKO VÝZVA SÚČASNOSTI

Daneš BRZICA¹

RESILIENCE OF COMPLEX SYSTEMS AS A CHALLENGE TODAY



¹ Institute of Economic Research, Slovak Academy of Sciences, Šancová 56, 81105 Bratislava, Slovenská republika

✉ Email: danes.brzica@savba.sk

ORCID iD: 0000-0001-8630-3747 •

<https://orcid.org/0000-0001-8630-3747>

i Competing interests : The author declare no competing interests.

i Publisher's Note: Slovak Society for Environment stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2023 by the authors.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

This license allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

✓ Review text in the conference proceeding: Contributions published in proceedings were reviewed by members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.

i Slovak Society for the Environment (Slovenská spoločnosť pre životné prostredie) Bratislava, Slovak Republic

ABSTRAKT

Sociálno-ekonomické systémy čelia rôznym výzvam v dôsledku rastúcej komplexnosti. Jednou z výziev je odolnosť sociálno-ekonomických mega-systémov. Príspevok poukazuje na niektoré aspekty tejto problematiky, ktoré môžu byť použité pri tvorbe ekonomických stratégií zameraných na dosiahnutie odolnosti na rôznych územných úrovniach a v jednotlivých segmentoch ekonomiky. Hospodárska politika vrátane inštitucionálnych zmien sa vo vzájomne prepojenom svete nevykonáva nezávisle. Musí predvídať globálny vývoj a formulovať ciele v súlade s možnosťami/limitmi vlastnej ekonomiky a záujmami svojich aktérov. Rozvoj spoločnosti a prepojenie troch priestorov (fyzického, kyberneticko-fyzického a digitálneho) vytvára zmeny v celom mega-systéme. Existujúce spôsoby myslenia, práce a života sa menia v dôsledku technologických zmien a potreby reagovať na zhoršujúce sa životné prostredie. To sa odráža v správaní firiem a iných aktérov. V budúcnosti bude potrebné analyzovať mechanizmy paralelného fázovania (PF) a preskúmať, ako táto nová realita rezonuje s novými hospodárskymi politikami. A treba si tiež všimnúť, ako PF mení vzťah medzi aktérmi. V budúcnosti sa budú musieť riešiť najmä tieto dve oblasti: (1) potreba identifikovať slabé miesta v integrácii troch



oblastí koncepcie paralelného fázovania; (2) potrebu zefektívniť komunikáciu medzi účastníkmi pri vytváraní modelov spolupráce.

Kľúčové slová: Komplexné systémy, odolnosť, udržateľnosť, poľnohospodárstvo, transformácia

ABSTRACT

Socio-economic systems face different challenges due to increasing complexity. One challenge is the resilience of socio-economic mega-systems. The paper highlights some aspects of this issue that can be used in the creation of economic strategies focused on achieving resilience at various territorial levels and in different segments of the economy. Economic policy, including institutional changes, is not conducted independently in an interconnected world. It must anticipate global developments and formulate goals in accordance with the possibilities/limits of its own economy and the interests of its actors. The development of society and the interconnection of the three spaces (physical, cyber-physical and digital) create changes in the entire mega-system. Existing ways of thinking, working and living are changing due to technological change and the need to respond to a degrading environment. This is reflected in the behavior of companies and other actors. In the future, it will be necessary to analyze parallel phasing (PF) mechanisms and explore how this new reality resonates with new economic policies. And it is necessary also to notice how PF changes the relationship between actors. In particular, two areas will have to be addressed in the future: (1) the need to identify weaknesses in the integration of the three areas of the concept of parallel phasing; (2) the need to streamline communication between participants in developing collaborative models.

Key words: Complex systems, resilience, sustainability, agriculture, transformation

JEL Classification: F63, P11, P18, Q01, Q4, Q16, Q55, R38

ÚVOD

Až donedávna nebola odolnosť zložitých systémov podrobne študovaná. Hlavnou oblasťou záujmu boli len technické parametre fungovania týchto systémov z hľadiska výkonu ich funkcií a možné narušenie ich fungovania alebo zlyhanie v dôsledku technických porúch a chýb v riadení.

Rozvoj digitálnych činností v širokej škále sociálno-ekonomických kontextov dnes vytvára mnoho možností na oslabenie odolnosti týchto systémov. Komplexné veľké jednotky (mega-systémy) sa skladajú z veľkého počtu rôzne integrovaných prvkov (spolupracujúcich a konkurujúcich si aktérov) na mnohých úrovniach hierarchie týchto mega-systémov.

Rozmanitosť a výkonnosť aktérov/prvkov a rozsah ich funkcií na každej úrovni a v jednotlivých segmentoch je dôležitá pre fungovanie celého mega-systému a pre jeho dynamickú stabilitu. Zároveň to predstavuje veľkú výzvu z hľadiska odolnosti týchto systémov, pretože oproti minulosti narastá počet faktorov, ktoré sú dôležité z hľadiska plynulosti fungovania mega-systémov. Teda tých faktorov, ktoré zvyšujú možnosť narušenia odolnosti systémov.

Na zabezpečenie kontinuity procesov v zložitých mega-systémoch, ako sú globálne dodávateľské/hodnotové reťazce, musí byť k dispozícii dostatok údajov. Koncepcia paralelného fázovania [1], ako integrácia troch priestorov ("3-priestorová" štruktúra), charakterizuje oblasť, v ktorej dochádza k systémovým poruchám v dôsledku prekrývania a nahrádzania prvkov a procesov. To si vyžaduje značnú odolnosť systémov. Komplexnosť zároveň znamená potrebu nepodceňovať vplyv malých impulzov na stabilitu a odolnosť systému. Tieto impulzy môžu mať neočakávané, pozitívne alebo negatívne účinky na celý systém.



1. ŠTRUKTURÁLNA NEURČITOSŤ

1.1 Význam zložitejších systémov riadenia ako reakcie na štruktúrnu neurčitosť

Centralizácia je príkladom jednoduchého opisu štruktúry. Je to jedna zložka binárnych charakteristík štruktúry (centralizácia vs. decentralizácia). Odolnosť centralizovaných komplexných systémov je objektívne slabšia. Centralizácia zvyšuje riziko negatívnych vplyvov na ekonomické procesy (napríklad v prípade veľkochovov, pokiaľ ide o šírenie nákazlivých chorôb - pozri rámček 1). Decentralizácia zasa niekedy vedie k neoptimálnej veľkosti výrobných jednotiek a nižšej efektívite výroby.

Každá ekonomika vykazuje špecifické parametre dané konkrétnymi podmienkami a štruktúrou. Súbor prvkov, väzieb a charakteristík (regulačných, inštitucionálnych a zdrojových) potom predurčuje jedinečné formy jej formovania a rozvojovej dynamiky (pozri tiež [2]). Správanie a aktérov (parametre ich fungovania) a zmeny sociálno-ekonomického prostredia sú komplexné a zvyčajne nepredvídateľné procesy. Príkladmi niektorých procesov a situácií sú tieto skutočnosti:

- aktéri, ako sú firmy v GD/HR, fungujú v normálnom režime, kým ich hospodárska súťaž alebo štátna regulácia nemotivuje/nepriinúti zmeniť svoje činnosti a rozsah činností;
- aktéri/firmy spolupracujú/súťažia s inými aktérmi/firmami a pomáha im v tom ich účasť v GD/HR, strategických alianciách a iných kooperačných zoskupeniach;
- pri interakciách medzi aktérmi/firmami môže byť ich činnosť určená aj externými faktormi alebo udalosťami;
- parametre životného prostredia na rôznych územiach a v rozličných výrobných segmentoch sa menia (napríklad každé desaťročie sa priemerná teplota Zeme zvyšuje približne o jeden stupeň, mení sa kvalita pôdy).

Surovinová/energetická bezpečnosť mega-systému je neoddeliteľnou súčasťou úspešnej transformácie. Vnútorná nestabilita a slabá samoregulácia sociálno-ekonomického mega-systému ohrozujú jeho fungovanie. Napríklad v súvislosti s poľnohospodárskou rastlinnou výrobou je výzvou otázka ochrany pôdy a jej kvality. Štruktúra pôdy sa mení negatívnym smerom. Toto narušenie sa odráža v oslabenej schopnosti pôdy zadržiavať vlhkosť a zadržiavať živiny, ktoré sú priemyselne dodávané do pôdy.

Dualita masovej a špecializovanej výroby, transformácia výrobných systémov a následné aspekty zmien sú predmetom početnej literatúry ([3], [4], [5], [5], [6], [7], [8], [9], [10]). Z hľadiska odolnosti je možné spomenúť aj tzv. hybridné hrozby, ktoré sú významnou hrozbou pre stabilitu systému v digitálnom priestore [11]. Súvisí však najmä s politickým a sociálnym rozmerom mäkkej bezpečnosti.

Nedávny výskum samoorganizácie, ako dôležitej súčasti výskumu zložitosti, stavia na prácach [12] a [13], ktorých výsledky na fyzických systémoch identifikovali "sebaorganizačnú kritickosť" ako dôležitý prvok pochopenia rastu. V tomto evolučnom modeli sa obdobia stagnácie striedajú s množstvom zmien, ktoré vytvárajú viacnásobné reakcie medzi aktérmi. Samoorganizujúce sa systémy sa vyvíjajú do kritického stavu, ktorý je stavom medzi poriadkom a chaosom [13].

Synergické procesy zohrávajú úlohu pri vzniku neočakávaných evolučných zmien. Niektoré oblasti teórie zložitosti, ako sú fázové prechody alebo samoorganizujúca sa kritickosť, môžu byť použité v kontexte fungovania rôznych úrovní a oblastí sociálno-ekonomických systémov. Dlhodobý vývoj týchto mega-systémov znamená potrebu zamerať sa viac na analýzu na makroúrovni. Dôležitý je výskum štruktúrnych zmien v konkrétnych sektoroch a mapovanie konfigurácií, ktoré formujú konkrétne sociálno-ekonomické, environmentálne a politické štruktúry a interakcie v rámci nich. Tým, že sa menia štruktúrne charakteristiky rozvoja a rozvojová dynamika systémov dochádza k tomu, že v závislosti od historického kontextu a vplyvu rôznych faktorov v konkrétnej ekonomike dochádza k nárastu alebo k zníženiu komplexnosti systémov.



Rámček 1: Zraniteľnosť centralizovaných systémov

Koncentrovaná poľnohospodárska výroba čoraz viac prináša značné riziká. Príkladom je likvidácia trištvrte milióna sliepok v najväčšom chove nosníc v Brode nad Tichou v Českej republike, ktorý bol postihnutý vtácou chrípkou. Jeho podiel na produkcii vajec v Českej republike je približne 15%. Odolnosť systému dodávok tejto komodity oslabujú (1) podobné prerušenia dodávok z iných dotknutých poľnohospodárskych podnikov doma a v zahraničí a (2) problém obnovenia výroby v krátkom časovom období. Oba tieto faktory sa premietajú do narušenia dodávateľského reťazca, nedostatku na trhu a rastúcich cien.

Zdroj: autor a [14].

Komplexná povaha vyspelých ekonomík sa analyzuje so zreteľom na štrukturálne zmeny v ich subsystémoch. Moderné sociálno-ekonomické systémy sú komplexné adaptívne systémy. Dôležitou vlastnosťou je *autopoiesis* a samoposilňujúca dynamika. Analýzy skúmajú rast, pokles a transformáciu rôznych sektorov. Interakcie medzi integrovanými súbormi procesov spájajúcich rôzne prvky (napr. hospodárske subjekty) sú určené špecifickými komplexnými väzbami, ktoré tvoria predpoklady odolnosti každého mega-systému. Kolaps ekonomického systému alebo čiastkových priemyselných segmentov (odvetví) môže vzniknúť v dôsledku nesúladu medzi parametrickými nastaveniami existujúcich systémov a rýchlo sa meniacimi environmentálnymi podmienkami. Nedostatočná inštitucionálna flexibilita mega-systému sa môže premietnuť do suboptimálneho fungovania aktérov v niektorých sektorochoch znamenať tak stratu ich konkurencieschopnosti. Efekt "uzamknutia" je tiež charakteristický pre tranzitívne systémy a je často výsledkom série historických udalostí. Navyše tu sú závažné technologické výzvy. Predpokladá sa, že v blízkej budúcnosti (a tieto odhady sa značne líšia) budú napríklad kvantové počítače schopné dešifrovať informácie chránené najpokročilejšími súčasnými šifrovacími algoritmi.

Komplexný prístup k odolnosti je tak spojený s novými výzvami. Prepojením troch priestorov v koncepcii paralelného fázovania (digitálny, kyberneticko-digitálny a reálny) sa evolučným spôsobom vyberajú noví "víťazi", posilňuje sa diverzita a vytvárajú sa podmienky pre nové výrobné segmenty. Hľadajú a uplatňujú sa kompromisné formáty, ktoré vyvažujú výhody rozmanitosti (uspokojovanie rôznych potrieb používateľov) a štandardizácie (uľahčenie transakcií medzi aktérmi). Interaktívne technologické inovácie pomáhajú rozvíjať ekonomiku, pretože čím je viac používateľov sieťových produktov, tým viac narastá aj užitočnosť týchto produktov. Vývoj doplnkových technológií a náklady pre užívateľov pri zmene medzi systémami/normami môžu viesť k dominantnému postaveniu niektorých z poskytovateľov služieb. To znižuje rozmanitosť technológií, ale umožňuje doplnkové inovácie produktov/procesov. Rozmanitosť je pritom dôležitá vzhľadom na množstvo faktorov, ktoré ju narúšajú.

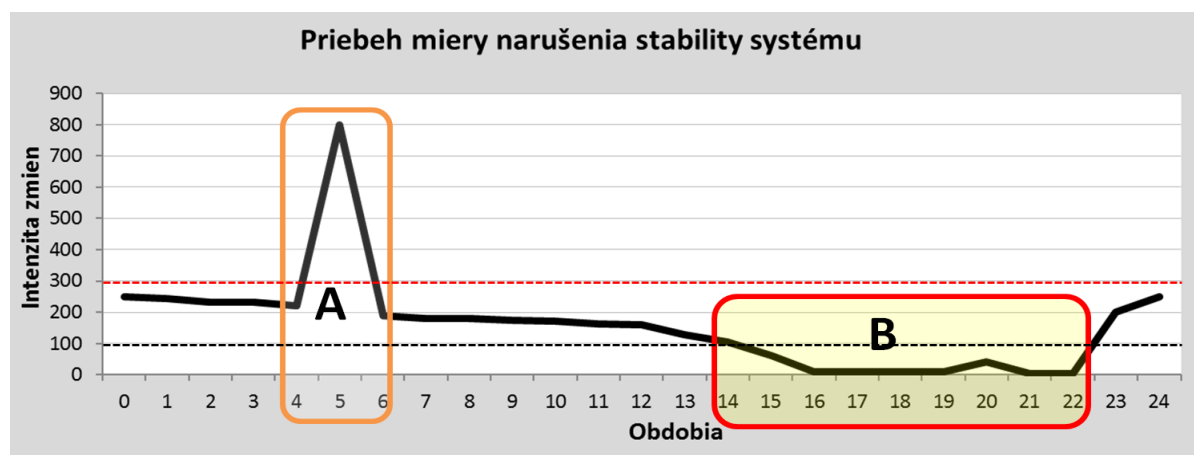
Rozvinuté krajiny začínajú využívať obehové hospodárstvo v snahe zvýšiť svoju odolnosť. Surovinová náročnosť a prerušenie zahraničných dodávok surovín predstavujú bezpečnostné riziko. Preto je snaha nahradiť dovoz znížením spotreby a využívaním obnoviteľných zdrojov. Obehové hospodárstvo umožňuje využívanie surovín v tých segmentoch GD/HR, kde existujú výrobné oblasti s vysokou pridanou hodnotou. To môže znížiť dopyt po vzácnych a neobnoviteľných surovinách. Dôležité dovážané a neobnoviteľné suroviny sa nahrádzajú obnoviteľnými, domácimi a dostupnými surovinami. Nové technológie a nové formy spotreby môžu viesť k zníženiu závislosti ekonomík od dovozu. Systémové zmeny prispievajú k lepšiemu využívaniu, nahrádzaniu alebo znižovaniu spotreby obmedzených zdrojov. Nahrádzanie produktov a lepšie využívanie vzácnych zdrojov zlepšuje parametre mega-systému, ktorý tak disponuje väčším objemom zásob a vykazuje lepšiu prispôbitosť zmeneným podmienkam. To tiež posilňuje celkovú odolnosť ekonomík voči nedostatku surovín. Nové výrobné systémy sú preto oveľa udržateľnejšie z hľadiska životného prostredia a podpora nových foriem spotreby tiež motivuje ľudí k tomu, aby spotrebu znižovali.



Rozvinuté krajiny sa preto zaoberajú zložitou svojich administratívnych štruktúr a komplexnosťou procesov týkajúcich sa udržateľnosti ich ekonomických systémov.

Na obrázku 1 je znázornený modelový príklad priebehu stupňa nestability systému (trajektória zmeny) pomocou schematického znázornenia zóny stability/nestability, oblastí narušenia a stupňov intenzity zmeny. V uvedenom prípade odolnosť (rezistencia) predstavuje priebeh intenzity zmien v rozmedzí 100-300. Ak si vezmeme príklad inflácie v makroekonomickom systéme, potom požadovaná hodnota je cieľová hodnota, povedzme, 3%. Záporné hodnoty predstavujú nedostatočne preskúmanú situáciu nestability, rovnako ako hyperinflácia predstavuje dobre známu a často zaznamenanú situáciu, niekedy s katastrofickými následkami, napríklad v Nemecku po prvej svetovej vojne.

Obrázok 1. Schematické znázornenie - vzor priebehu stupňa narušenia stability mega-systému



Poznámka: Úroveň intenzity zmeny na osi Y v oblasti 100-300 jednotiek predstavuje možný príklad "zdravého" stupňa narušenia stability mega-systému. Zóna A predstavuje závažné narušenie, ktoré ohrozuje fungovanie systému, zatiaľ čo zóna B predstavuje strnulosť systému a absenciu inovačnej činnosti. Obdobie predstavuje 0-24 mesiacov.

Prameň: Autor

Graf 1 schematicky znázorňuje situáciu vývoja ekonomického mega-systému v modelovom období 0-24 mesiacov so zvýraznenými dvoma oblasťami (A a B). Priebeh stupňa narušenia stability mega-systému je znázornený oblasťou označenou ako A (v období 4 až 6). Systém dlhodobej nedynamickej stability (označený B) zachytáva relatívne dlhé obdobie 14 až 22. Narušenia môžu byť spôsobené poruchami mega-systému (napr. havárie jadrových elektrární, výpadky elektrickej siete) alebo poruchami nekontrolovaných procesov (štrajky, ozbrojené konflikty). Príkladmi narušenia sociálno-ekonomického mega-systému krajiny boli napríklad extrémne suchá v Brazílii (v roku 2015) alebo v USA (Kalifornia) v roku 2015. V Portugalsku bolo v júli 2022 viac ako deväťdesiat percent územia krajiny v extrémnych úrovniach sucha. Ďalším príkladom bodu zlomu je situácia v oblasti uhlíka. Namiesto toho, aby ho pôda zachytila, uvoľňuje uhlík do atmosféry. Analyzujú sa aj riziká pre fungovanie energetických sietí (v USA a Spojenom kráľovstve existujú riziká, že v niektorých oblastiach sietí môžu byť miesta siete náchylnejšie na zlyhanie; v USA už v roku 1965 -ešte v dobe obmedzenej previazanosti -bolo 30 mil. obyvateľov vyše desať hodín bez elektrickej energie a v roku 1996 boli ekonomické dopady ešte horšie).

Neistota spôsobená zvyšujúcimi sa požiadavkami na prevádzku moderných výrobných systémov núti ekonomiky reagovať. Musia zvýšiť environmentálnu udržateľnosť, znížiť potenciálne zdroje znečistenia a zabezpečiť zabránenie narušeniu funkcií systému. Postavenie ekonomík súvisí aj s dôležitou otázkou strategickej kontroly zdrojov. Bez kontroly nad zdrojmi strácajú ekonomiky schopnosť zlepšovať svoju pozíciu ovplyvňovaním trhových podmienok. Vlády majú k dispozícii mnoho nástrojov na riešenie týchto situácií. Je možno využiť tiež nové technológie, v súčasnosti najmä umelú inteligenciu. V tomto rámci môžu potom štátne intervencie, prostredníctvom inštitucionálnych



zmien a hospodárskej politiky na úrovni makro-, mezo- a mikro-intervencií v územne a sektorovo rôznorodých segmentoch, postupne (de)formovať:

- oblasť stabilného prostredia;
- zónu nestability;
- súbor hrozieb (súbor významných hrozieb, stav alebo hodnoty toku/procesu).

Sektor energetiky je zodpovedný za veľký podiel celosvetových emisií a čelí tlaku verejnosti na dekarbonizáciu. Dekarbonizácia v tomto odvetví síce dosiahla významný pokrok, ale stále čelí výzvam pri znižovaní emisií vo svojich kľúčových produktoch. Obchodný model zameraný na tradičné zdroje energie (fosílna palivá) čelí výzvam udržateľnosti, najmä preto, že mnohé krajiny smerujú k nulovým emisiám. Na podporu svojej obchodnej odolnosti musia ropné a plynárske firmy posilniť svoje nízko-uhlíkové ponuky a diverzifikovať svoje produktové portfóliá. Čoraz populárnejším sa stáva prístup, že vlády by mali viac podporovať priemysel. Platí to aj pre poľnohospodárstvo, ktoré prechádza na moderné postupy a technológie a malo by to robiť vo väčšej miere.

V kontexte mega-systémov je preto dôležitá schopnosť ekonomických aktérov, vrátane vlád, predvídať pozitívne zmeny a negatívne hospodárske otrasy a prispôbiť sa zmenám prostredníctvom účinného riadenia.

1.2 Riziká spojené s tradičnými prístupmi k štrukturálnej neistote

Cieľom mapovania dlhodobých trendov, pokiaľ ide o štrukturálnu neistotu mega-systémov, je upozorniť tvorcov hospodárskej politiky na možné scenáre presahujúce horizont bežného plánovania. Pochopenie dlhodobých trendov umožňuje identifikovať požiadavky na zdroje, podmienky spolupráce/hospodárskej súťaže a kontrolu na trhovými transakciami (veľkosť a dynamiku ponuky/dopytu). Mapovanie situácie a možností je fázou, ktorá poskytuje základný prehľad o rozvojovom potenciáli a limitoch. Každý zo segmentov mega-systému čelí rôznym výzvam, ktoré potenciálne ohrozujú stabilitu systému. Naopak, zabezpečenie stability fungovania mega-systému a životaschopnosti opatrení zameraných na podporu environmentálne prijateľných zmien môže podporiť rast a rozvoj hospodárstva. Odolnosť mega-systému je stav, ktorý minimalizuje vystavenie tohto systému negatívnym vplyvom. V dôsledku učenia a vývoja sú jeho aktéri schopní predvídať krízy týchto mega-systémov a môžu prijímať opatrenia na zmiernenie alebo odstránenie týchto negatívnych účinkov.

V mnohých krajinách sa riešia nielen vplyvy fungovania ekonomiky na životné prostredie a odolnosť vlastných socioekonomických systémov, ale tiež ďalšie výzvy. Poľnohospodárstvo je dôležitým segmentom hospodárstva Slovenska a celej Európskej únie a zložitosť výziev v poľnohospodárstve nie je o nič menšia. Príklady odolnosti systémov v tomto sektore, ktorý dosahuje celoplošný pokrok, uvádzajú rôzne práce ([15], [16], [17], [18], [19]). V prípade environmentálnej udržateľnosti umožňujú napríklad moderné technológie v poľnohospodárstve výskum množenia rastlín, ktoré sú odolnejšie voči suchu a lepšie prispôbené zmene klímy. Algoritmus založený na princípe "hlbokého učenia" umožňuje vytvoriť metódy, ktoré presne identifikujú farebný profil, štruktúru, tvar, veľkosť a polohu listov rastliny pomocou obrazových informácií. S využitím týchto poznatkov sú stroje schopné (s veľkou presnosťou a vysokou spoľahlivosťou) rozpoznať jednotlivé rastliny pestovanej plodiny. To umožňuje eliminovať burinu, ktorá sa nachádza v jej blízkosti [15]. Účinky zmien môžu byť ešte výraznejšie v oblastiach s nepriaznivými klimatickými/biologickými podmienkami. Cieľom je dosiahnuť produkciu, ktorá vykazuje určitú kvalitu za prijateľné ceny so zdravotne akceptovateľnými parametrami. Okrem toho je v niektorých výrobných segmentoch, napríklad v poľnohospodárstve, potrebné zohľadniť dlhodobý horizont (tvorba úrodnej pôdy trvá veľmi dlho, lesy rastú desaťročia a pod.), čo ďalej komplikuje celý výrobný proces.

Potraviny živočíšneho typu sa ťažko vyrábajú a ponúkajú nízku produktivitu zdrojov. Ich výroba zaberá tri štvrtiny pôdy využívanej celosvetovo na výrobu potravín a predstavuje dve tretiny emisií skleníkových plynov súvisiacich s poľnohospodárstvom. Navyše pokrýva len štvrtinu spotreby



bielkovín. Prechod na iné zloženie stravy, vyjadrené zmeneným pomerom živočíšnej a rastlinnej výroby, však môže trvať dlho kvôli pretrvávaniu stravovacích návykov. Ak má spoločnosť úspešne riešiť výzvy potravinovej bezpečnosti musí využívať vyspelé technológie. Faktory konkurenčného úspechu sa presúvajú do transformácie odvetvia. Musia vznikáť moderné a atraktívne výrobky, musí existovať dostatok zdrojov, ale musia sa tiež zvažovať environmentálne dôsledky s cieľom znížiť emisie skleníkových plynov a chrániť ekosystémy. Medzi faktory podporujúce konkurencieschopnosť patrí zvyšovanie výnosov poľnohospodárskych podnikov ale tiež optimalizácia spracovania surovín. V tomto smere existuje veľa príležitostí. Príkladom je výroba ekologických potravín, kde spolupráca aktérov z chemického a biotechnologického odvetvia pri transformácii agropotravinárskych systémov prispieva k cieľom trvalo udržateľného rozvoja. Spolupráca medzi genetickým výskumom a výrobcami poľnohospodárskych technológií môže urýchliť vývoj variantov plodín, ktoré sú odolnejšie voči klimatickým zmenám, ako aj potravín lepšie prispôsobených automatizácii. Súbežne so štátnymi programami financovania sa vyvíjajú na mieru šité poľnohospodárske riešenia.

Ekonomika môže držať krok s technologickými zmenami len vtedy, ak vláda zavedie stimulujúcu hospodársku politiku. Je to dôležité aj v súvislosti so zmenou klímy. Preto v nadchádzajúcej štvrtej priemyselnej revolúcii musia vlády vyhodnotiť dôsledky zmeny a spoluvytvárať podporné prostredie. Predchádzajúca etapa, charakterizovaná digitalizáciou, modifikovala správanie aktérov v oblasti ich fungovania a interakcií. Súčasná fáza mení spôsoby, akými technológie vstupujú do sociálno-ekonomického mega-systému a fungovanie jeho aktérov. Vyznačuje sa využitím kyberneticko-fyzikálnych systémov na monitorovanie, analýzu a automatizáciu podnikania. Podľa Schwaba [8] sa vyznačuje fúziou technológií, ktoré stierajú rozdiely medzi fyzickou, digitálnou a biologickou sférou. Ak boli predchádzajúce fázy zmenené hlavne technológiou, nová revolúcia je viac o pokročilej komunikácii a konektivite. Technológie, ako je internet, môžu globálne prepojiť užívateľov, zvýšiť efektívnosť firiem a odvetví a zlepšiť blahobyt obyvateľstva. Niektoré z nových technológií spojených s novou transformáciou zahŕňajú tak rozdielne technológie ako sú umelá inteligencia, strojové učenie, robotika, 3D tlač, technológie blockchainu, nanotechnológie, biotechnológie, kvantové počítače, internet vecí a špecifické automatizované systémy.

Umelá inteligencia je základom štvrtej priemyselnej revolúcie a využívajú ju už mnohí aktéri v oblasti riadenia ľudských zdrojov (konkrétne výber, administratíva a kognitívna výpočtová technika)[6]. Keďže tieto technológie majú potenciál narušiť každé odvetvie na globálnej úrovni, bude to mať ďalekosiahly vplyv na správanie ľudí a fungovanie ekonomík. Aplikácia robotiky vo firmách a domácnostiach tak môže priniesť množstvo výziev. Napríklad Kheddara kol. [9] považujú dôveru za kľúčový faktor v tom, ako budú roboty akceptované používateľmi v ľudskom prostredí. Pracovníci by mali byť schopní dôverovať, že môžu bezpečne komunikovať s robotom napriek tomu, že roboty robia chyby spôsobené mechanickými, softvérovými alebo funkčnými poruchami. Bez vhodného nastavenia parametrov systému „človek – robot“ môže byť hromadné využívanie robotov ohrozené.

2. ODOLNOSŤ MEGA-SYSTÉMU A BODY ZLOMU

V záujme funkčnejších štruktúr na podporu činností aktérov a vyššej odolnosti hospodárskeho mega-systému je žiaduce preniesť zodpovednosť na regionálnych aktérov. Majú lepšie znalosti o danej oblasti ako aktéri z vyšších administratívnych jednotiek. Avšak aj žiaduce inštitucionálne zmeny - body zlomu - môžu niekedy nepriamo vyvolať negatívne účinky (ako je to v prípade vysokého stupňa inštitucionálnej komplementárnosti). Posilnenie štruktúr, ktoré podporujú spoluprácu medzi vzájomne závislými aktérmi, môže byť významným podporným faktorom pri udržiavaní schopnosti systému realizovať dlhodobé zmeny. Potreba rovnováhy medzi schopnosťou samoorganizácie v mega-systéme, hierarchiou stanovujúcou operačný mód a štandardy a turbulenciami spôsobenými radikálnymi technologickými zmenami môže vyžadovať, aby aktéri robili kompromisy medzi rôznymi cieľmi. Zámerom je mať také formy udržateľného a dynamického fungovania mega-systému, ktoré zabezpečia nepretržité dosahovanie trvalých efektov bez narušení či krátkodobých prerušení. Účinky - ich kvantita, kvalita a intenzita - budú závisieť od štruktúry tohto mega-systému a jeho hladkého



fungovania. Odolnosť systémov vyššej úrovne (mega-systémov) predstavuje vážnu výzvu v kontexte stability prijateľných environmentálnych parametrov. Reťazec výziev, z ktorých každá má určitý stupeň neistoty pri svojom objavovaní sa, môže spôsobiť vyššiu zraniteľnosť systémov. Šance na zlepšenie sa zvyšujú podľa toho ako často a do akej miery prichádzajú jednotliví ekonomickí aktéri na trh s novými výrobkami/službami a aké nové výrobné metódy a obchodné modely zavádzajú. Hľadanie nových dodávateľských a zákazníckych trhov môže priniesť niektoré pozitívne ale tiež negatívne účinky:

- väčšiu škálu produktov a služieb;
- väčšiu konkurenciu;
- väčšie požiadavky na organizáciu GD/HR.

Najmä posledný faktor priťahuje pozornosť veľkých firiem. Najnovší príklad napätia okolo Červeného mora znamená narušenie dopravných trás, a teda výrazné zvýšenie nákladov na prepravu tovaru a času potrebného na dodanie. Neisté prostredie a náročné požiadavky, ktoré moderné komplexné výrobné systémy kladú na GD/HR, nútia ekonomiky a ich aktérov zvyšovať svoju odolnosť a modifikovať GD/HR.

Keď krajiny nedokážu stabilizovať svoje prevádzkové a environmentálne prostredie a musia súťažiť o zdroje a technológie, často to vedie k plytvaniu cennými zdrojmi a zníženým pozitívnym účinkom na spoločnosť. Fungovanie inštitúcií je dôležitým faktorom, ktorý stojí za rozdielmi v úrovni ekonomického rozvoja jednotlivých krajín. Rôzne inštitúcie poskytujú potrebné podmienky na zameranie a pridelenie existujúcich zdrojov spoločenstva na podporu inovačných a výrobných činností. Nadobudnutie ľudského a sociálneho kapitálu na jednej strane a domáceho a zahraničného fyzického kapitálu na strane druhej môže krajinám priniesť prosperitu [3]. Inštitucionálne zmeny a stimulácia rôznych foriem kapitálu v konečnom dôsledku prispievajú k rozvojovým zámerom jednotlivých ekonomík a integračných zoskupení a vytváraniu (pozitívnych) alebo eliminácii (negatívnych) „bodov zlomu“.

3. NOVÉ VÝZVY

Snáď najdôležitejšou výzvou, o ktorej sa tu diskutuje, je dosiahnutie dynamickej stability životného prostredia. Vládne opatrenia musia byť zlučiteľné a konzistentné s úsilím o odstránenie vážnych environmentálnych porúch spôsobených silnými vonkajšími a vnútornými impulzmi. Príkladom je vývoj modernej technológie umelej inteligencie, ktorý ovplyvňuje body zlomu - štrukturálne zmeny v ekonomických sektoroch. Technológia umelej inteligencie môže takisto zmeniť náklady na širokú škálu činností aktérov. Existujú snahy regulovať vplyv umelej inteligencie a obmedziť potenciálny negatívny vplyv tejto technológie. Malo by to byť v súlade so stabilizačnými cieľmi, pričom regulačné opatrenia musia zohľadňovať veľkosť, intenzitu, riziká a komplexnosť vplyvu potenciálneho využívania umelej inteligencie v ekonomike. Aktéri čoraz viac čelia rastúcej komplexnosti, variabilite a nestabilite životného prostredia a menia sa tiež potreby ľudí. To sú tiež výzvy, ktorým teraz čelia výrobcovia vo svete. Komplexný súbor vzájomne prepojených prvkov špecifických pre jednotlivé krajiny tak určuje základné rámcové črty štrukturálnej transformácie.

Nové globálne zmeny v moderných technológiách menia vývojové trendy priemyslu, stierajú hranice medzi oblasťami a menia dynamiku rozvoja. Transformácia mení štruktúru hospodárstva integráciou triády priestorov a aktivít paralelného fázovania a práve tieto zmeny môžu prispieť k udržateľnému rastu. Primeraná regulácia a otvorený prístup k technológiám sú potom dôležité pri vytváraní a spoločnom využívaní ekonomických, sociálnych a environmentálnych efektov vyplývajúcich z týchto technológií. Priemysel 4.0/5.0 umožnil vznik technologicky vyspelých firiem, v ktorých fungujú pokročilé technologické systémy a roboty s minimálnou účasťou pracovníkov. Inteligentné technológie umožnili mnohým firmám zvýšiť efektivitu a znížiť náklady, ale nie všetky sú schopné ich rýchlo implementovať. Súčasná transformácia ekonomík sa stáva viacrozmerným konceptom zahŕňajúcim mnoho vzájomne prepojených prvkov a procesov. Vyžaduje



nový prístup k využívaniu ľudí, procesov, technológií a veľkých dát na rozvoj nových obchodných modelov a digitálnych ekosystémov. S mnohými komplexnými výzvami pred sebou vlády neustále hľadajú nové modely správy a riadenia, ktoré uľahčujú, urýchľujú a zlacňujú dosahovanie cieľov.

Štrukturálna transformácia ekonomiky s využitím moderných technológií v troch priestoroch formuje zložité procesy posilnením modernizácie výroby a zmenou charakteru pracovnej sily. Techniky hlbokého učenia, ako súčasť strojového učenia, ktorá zahŕňa viac vrstiev spracovania údajov s viacerými úrovňami, môžu byť použité na modelovanie a budovanie efektívnych systémov, predpovedanie ďalšieho vývoja a optimalizáciu procesov. Koncepcia paralelného fázovania, ako aj koncepcie, ako je vytváraná regionálna výhoda, sa môžu ukázať ako účinná platforma pri mobilizácii aktérov pre transformáciu. Aktívne vládne politiky sa odrážajú vo všetkých sektoroch a zohrávajú v transformácii dôležitú úlohu. Tieto priemyselno-technologické politiky by mali priniesť trvalý a dynamický rast hospodárstva. Potenciálne riziká a efekty sú však významné z dôvodu všeobecne veľkého rozsahu využívania digitalizácie a používania množstva digitálnych nástrojov. Zatiaľ čo firmy už nejaký čas integrujú výzvy transformácie, verejný sektor zaostáva.

ZÁVER

Odolnosť možno dosiahnuť len splnením určitých zásad, ktoré sa musia uplatňovať na rôznych územných úrovniach a v rôznych segmentoch hospodárstva. Rámec, v ktorom sa prijímajú opatrenia, má vždy segmentový/územne špecifický kontext. Výskum komplexnosti umožňuje využiť získané poznatky na zlepšenie sociálno-ekonomických systémov. Aktéri v týchto systémoch neustále menia svoje inštitucionálne usporiadanie tiež v reakcii na zmeny životného prostredia, ale aj svojimi vlastnými činmi (kvôli svojim záujmom).

Slovensko v súčasnosti čelí viacerým výzvam v rôznych časových horizontoch. Musí sa technologicky rozvíjať a zároveň riešiť problémy "uzamknutého" priemyslu, ktorý si vyžaduje účinné riadenie a efektívne využívanie dostupných zdrojov. Hospodársku politiku vrátane inštitucionálnych zmien nemožno vo vzájomne prepojenom svete vykonávať nezávisle. Musí predvídať globálny vývoj a formulovať ciele tak, aby zabezpečila súlad medzi možnosťami/obmedzeniami vlastného hospodárstva a záujmami svojich aktérov. Dobré posúdenie výziev, ktorým ekonomika čelí, a príležitostí, ktoré môže využiť, je rozhodujúce pre úspech krajiny.

Trvalo udržateľný rozvoj možno podporiť vytvorením vhodných mechanizmov a politik zameraných na zmenu sektorovej a "3-priestorovej" štruktúry hospodárstva. Je možné využiť príklady dobrej praxe a analýzu kontextových faktorov ovplyvňujúcich zmeny. Držanie sa tradičného modelu priemyselnej výroby môže fungovať dočasne, ale z dlhodobého hľadiska vedie k poklesu dynamiky a strate konkurencieschopnosti. Trend nahrádzania ľudskej činnosti robotizáciou a využívaním umelej inteligencie na rôznych úrovniach hospodárskej činnosti pravdepodobne zmení niektoré tradičné pracovné miesta. Platí to najmä pre segmenty hospodárstva a ekonomiky s vysokou úrovňou pracovných miest, ktoré možno automatizovať. V prípade slovenskej ekonomiky to môže byť až tretina pracovných miest (jeden z najvyšších podielov spomedzi krajín OECD), čo znamená riziko straty konkurencieschopnosti v dnešnom globálnom konkurenčnom prostredí.

V prípade mega-systémov musia nastať aj zmeny v konfigurácii kooperatívno-konkurenčného prostredia aktérov pôsobiacich na rôznych úrovniach hierarchie sústav. Transformácia segmentov každej hierarchickej úrovne je predpokladom úspešného fungovania celku. Integrácia triády priestorov (fyzických, kyberneticko-fyzických a digitálnych) vytvára zmeny v celom sociálno-ekonomickom mega-systéme. Existujúce spôsoby aktivít ľudí iných aktérov sa menia v dôsledku uvedených technologických zmien a tiež v dôsledku potreby reagovať na zhoršujúce sa životné prostredie. To sa odráža v spôsoboch, akými sa firmy a iní aktéri aktívne správajú, ako aj v tom ako sú okolnosťami nútení správať sa. Realizácia potenciálnych efektov najnovších vedecko-výskumných poznatkov si však vyžaduje nemalé kapitálové investície, inštitucionálnu podporu ďalšieho výskumu, dostupnosť špecificky zameraných odborníkov a rozvinutú fyzickú/digitálnu infraštruktúru. Len málo aktérov má dostatok zdrojov a kapacít na to, aby toho dosiahli sami. V nadchádzajúcich rokoch bude potrebné podrobnejšie analyzovať mechanizmy paralelného fázovania a preskúmať, ako táto nová realita,



formovaná najmä platformami, rezonuje s novými hospodárskymi politikami. A tiež si všimáť, ako transformácia mení vzťah medzi aktérmi.

Podakovanie[zaradenie príspevku]

Príspevok vznikol v rámci projektu VEGA č. 2/0060/23.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] BRZICA, D., 2017: 5H aktéri, paralelné fázovanie a nové vnímanie ekonomického priestoru. In: Hospodárska a menová politika v kontexte súčasného vývoja európskych integračných procesov: zborník príspevkov z 11. ročníka medzin. ved. konferencie, Banská Bystrica, 7. 11. 2017. - Banská Bystrica: Belianum, Ekonomická fakulta Univerzity Mateja Bela, 2017, [7] s. ISBN 978-80-557-1355-7.
https://www.ef.umb.sk/konferencie/kfu_2017/prispevky%20a%20prezentacie/prispevky/Brzica.pdf
- [2] BRZICA, D., 2021: Environmentálne výzvy pre krajiny a mestá: naliehavá potreba zmien. In: Motivation - Education - Trust - Environment - Safety 2021: METES 2021: zborník z VI. medzin. ved. konferencie; 1. vyd. - Žilina: Slovenská spoločnosť pre životné prostredie a Strix, 2021, s. 108-112. ISBN 978-80-973844-3-2. https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2021_conference_METES_p-108_Brzica_f4a.pdf
- [3] FAGHIH, N., SAMADI, A. H., 2021: An Introduction to Dynamics of Institutional Change in Emerging Markets: Theories, Concepts, and Mechanisms, s. 1 - 86. ISBN 978-3-030-61341-9 In: N. Faghih, A. H. Samadi (eds.), Dynamics of Institutional Change in Emerging Market Economies, Contributions to Economics, https://doi.org/10.1007/978-3-030-61342-6_1
- [4] MARSH, P., 2012: The New Industrial Revolution: Consumers, Globalization and the End of Mass Production. New Heaven and London, Yale University Press, ISBN 978-0-300-11777-6.
- [5] DE MAN, J. C.; STRANDHAGEN, J. O., 2017: An Industry 4.0 Research Agenda for Sustainable Business Models. The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Procedia CIRP 63, s. 721-726. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.315>
- [6] BOONS, F.; LÜDEKE-FREUND F., 2013: Business models for sustainable innovation: State-of-the-art and step towards a research agenda. Journal of Cleaner Production. 45:9-19.
- [7] NICASTRO, D., 2012: 7 Ways Artificial Intelligence is Reinventing Human Resources. <https://www.cmswire.com/digital-workplace/7-ways-artificial-intelligence-is-reinventing-human-resources/>
- [8] SCHWAB, K., 2016: 1.14 The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond, World Economic Forum. DOI: 10.1080/0308569042000238082 .
- [9] KHEDDAR, A. a kol. (Eds.), 2017: How the Timing and Magnitude of Robot Errors Influence Peoples' Trust of Robots in an Emergency Scenario. ICSR 2017, LNAI 10652, s. 42–52, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70022-9_5
- [10] OECD, 2021: OECD Regional Outlook 2021: Addressing COVID-19 and Moving to Net Zero Greenhouse Gas Emissions, OECD Publishing, Paris. ISBN 978-92-64-81956-6.
- [11] EC JRC, 2023: Hybrid threats: a comprehensive resilience ecosystem. Science for Policy report by the Joint Research Centre, European Commission. ISBN 978-92-76-53496-9. <http://dx.doi.org/doi:10.2760/382543>
- [12] BAK, P., CHEN, K., 1991: 'Self-Organized Criticality', Scientific American, 264(1), s. 46-53.
- [13] BAK, P. (1996): How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality, New York: Springer-Verlag.
- [14] ŠEBEK, J., 2023: Riziko koncentrace produkce. Zemědělec, č. 3, roč. 31, s. 9.
- [15] BENEŠ, P., 2022: S inteligencí k autonomní kultivaci. Zemědělec, č. 9, roč. 30, s. 31.



- [16] EU, 2014: Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers – Potential Support with the CAP 2014-2020.
>[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-.AGRI_NT.\(2014\)529049_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-.AGRI_NT.(2014)529049_EN.pdf) <
- [17] EU, 2018. Farming 4.0: The Future of Agriculture.
<https://euagenda.eu/upload/publications/untitled-62960-ea.pdf>
- [18] MATTHIEU, D. E, ANSHU, V., ALVARO, B., 2018: Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology.
<https://www.worldgovernmentsummit.org/api/publications/document?id=95df8ac4-e97c-6578-b2f8-ff0000a7ddb6>
- [19] SAKATA, S. (Ed.), 2020: Structural Changes of Agriculture in the CLMTV Countries and their Socio-Economic Impacts, BRC Research Report, Bangkok Research Center, JETRO Bangkok/IDE-JETRO.