

INDUSTRY 4.0 – TECHNOLOGICAL PRIORITIES IN THE SLOVAKIA

Miroslav Balog¹, Jozef Herčko²

Abstrakt

The fourth industrial revolution is considered a trigger for the industry transformation. It brings new breakthrough technologies as well as business models. The response of the countries to upcoming technology changes is to support the industrial transformation called Industry 4.0. Concept Industry 4.0 enables increase overall economic performance through the introduction of innovative product as well as process innovation in the industry. Variety of countries support this transformation mainly through introduction of technologies by enterprises as well as focused R&D programs. The Government of the Slovak Republic approved several strategies related to Industry 4.0, which define technological priorities in line with the Industry 4.0 concept. The article compares the priorities identified and highlighted some overlaps between strategies from the technology domains point of view.

Kľúčové slová

Industry 4.0, policy, technologies, specialization

I. Úvod

Globálna konkurencia vplýva na vývoj všetkých odvetví a ich ekonomickú aktivitu. Historický vývoj, ako aj vplyv globalizácie a megatrendov, vyvolali potrebu zmeny procesov v jednotlivých odvetviach. Meniace sa požiadavky zákazníkov kladú veľký dôraz na flexibilitu výroby, inovácie a flexibilitu pri reagovaní na zmeny (Fusko et al., 2018). Priemysel patrí medzi odvetvia vystavené najvyššej konkurencii kvôli jeho globálnemu charakteru. Jednou z odpovedí na zvyšujúce sa požiadavky konkurenčného prostredia je zvýšenie produktivity a zavádzanie produktových a procesných inovácií. Z tohto hľadiska sa do popredia dostávajú riešenia spojené so zvyšovaním technologickej úrovne firiem.

V súčasnosti sa zavádzajú v prostredí podnikov nové inovatívne technológie a koncepty. Ich nastupujúce masívne rozšírenie a zavádzanie v rôznych typoch podnikov sa označuje za štvrtú priemyselnú revolúciu, alebo aj *Industry 4.0*, alebo Priemysel 4.0. *Industry 4.0* predstavuje fúziu priemyselnej výroby a informačno-komunikačných technológií (Arnold, Voigt, 2016). Táto fúzia prináša výrazné zvýšenie produktivity práce a celkovej výkonnosti podnikov, ale aj jednotlivých odvetví.

Koncept *Industry 4.0* vznikol v Nemecku, kde bola podpora rozvoja moderných technológií a udržanie konkurencieschopnosti ekonomiky prostredníctvom implementácie moderných technologických riešení zakotvená na celoštátnej úrovni, ako jeden zo strategických cieľov. Nemecká vláda ako prvá označila tento prístup za *Industrie 4.0* a vytvorila podmienky pre rozvoj na systémovej báze.

Nemecké Ministerstvo hospodárstva a energetiky (BMWi) a Ministerstvo školstva a výskumu (BMBF) podporili vznik strategickú iniciatívy „*Industrie 4.0*“. Jej cieľom je zabezpečiť a rozvíjať vedúce postavenie Nemecka v priemyselnej výrobe prostredníctvom digitalizácie a vzájomného

¹ Centre of Social and Psychological Sciences, SAS, Šancová 56, 811 05 Bratislava, Slovakia, progmba@savba.sk

² University of Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia, jozef.hercko@fstroj.uniza.sk

prepojenia výrobkov, hodnotových reťazcov a obchodných modelov. Cieľom je tiež podporovať výskum, vytváranie sietí medzi priemyselnými partnermi, ale aj normalizáciu. Nemecká iniciatíva *Industrie 4.0* nadväzuje na národnú *High Tech* stratégiu, pričom bola formalizovaná prijatím akčného plánu *High Tech* stratégie. Akčný plán bol prijatý v marci 2012 a určoval 10 „*Future Projects*“, medzi nimi aj *Industrie 4.0*. Iniciatíva *Industrie 4.0* umožní rozvoj nových spôsobov tvorby hodnoty, nových obchodných modelov a prispeje k rozvoju malých a stredných podnikov (MSP) vďaka ich vyššej spolupráci a vytváraniu výrobných sietí. *Industrie 4.0* môže zabrániť segregácii priemyselných domén (EC, 2017). Podobne ako Nemecko aj iné krajiny sa snažia zachytiť tieto trendy s cieľom podporiť konkurencieschopnosť domáceho priemyslu a reagovať na narastajúcu ekonomickú silu ázijských krajín, najmä Číny.

Koncept *Industry 4.0* predstavuje diametrálne nový rozmer implementácie komplexných technologických riešení a ich horizontálne vertikálnej integrácie v podnikoch a ich sieťach. Továrne sú vystavené požiadavkám transformácie na tzv. továrne budúcnosti.

Koncept *Industry 4.0* prepája informácie, objekty a ľudí z dôvodu konvergenzie fyzikálneho a virtuálneho (*cyberspace*) sveta vo forme kyber - fyzikálnych systémov, čo umožňuje transformovať podniky do tzv. *smart* prostredia (Thoben, Wuest, 2017, Monostori et al., 2016). Technológie *Industry 4.0* nie sú principiálne nové, ale sú vysoko heterogénne, pričom integruje množstvo prístupov (Chiarello et al., 2018). Inými slovami koncept *Industry 4.0* prináša nové technologické riešenia a zároveň integruje mnohé existujúce technológie do komplexných systémov. Jedným z kľúčových prvkov je horizontálne vertikálna integrácia rôznych technologických riešení (Alcácer, Cruz-Machado, 2019).

Koncept *Industry 4.0* kombinuje najnovšie technológie s princípmi pokrokového priemyselného inžinierstva. Pri zavádzaní *Industry 4.0* na podnikovej úrovni je nevyhnutné, aby podniky reflektovali aktuálne vývojové trendy. Pri zavádzaní konceptu *Industry 4.0* sa uplatňujú rôzne technológie, ako sú kyber - fyzikálne systémy, internet vecí, internet služieb, *Big data* a analytika, rozšírená realita, autonómne roboty, aditívna výroba, *Cloud Computing* a simulácie. Jednotlivé technológie môžu byť efektívnejšie v prípade zavádzania prvkov umelej inteligencie (Tay et al., 2018). Vzhľadom na potenciálne hrozby sa zvyrazňujú aj otázky spojené s kyber bezpečnosťou (Corallo et al., 2020). Nástup štvrtej priemyselnej revolúcie predstavuje zásadný prelom v rozvoji priemyslu, čo vytvára tlak na redefinovanie biznis modelov firiem (Gerlitz, 2016).

Industry 4.0 je považovaná za ďalšiu fázu digitalizácie výrobného sektora, ktorá je vyvolaná obrovským nárastom objemu dát, výpočtových schopností a konektivity (najmä nízkoenergetických a *wide-area* sietí, nárastu analytických kapacít, nových foriem interakcie človek-stroj ako sú dotykové rozhrania a systémy rozšírenej reality, zlepšenia v prenose digitálnych inštrukcií do fyzického sveta ako sú pokročilá robotika a 3D tlač (Lee et al., 2013).

Mnohé krajiny spustili programy zamerané na podporu *Industry 4.0* (Zhou et al., 2017; Kagermann et al., 2013). Vládne snahy by sa mali zamerať na podporu implementácie konceptu *Industry 4.0*, vrátane digitálnej ekonomiky, a to aj napriek tomu, že existuje neistota či vládne intervencie budú schopné kompenzovať „porazených“. Je preto potrebné modernizovať prístupy a nastavenie verejnej správy označovanú aj ako *Governance 2.0*, ktorá podporí štrukturálne zmeny prostredníctvom *Industry 4.0* a digitalizácie (Kovacs, 2018).

II. Podpora konceptu *Industry 4.0* na Slovensku

Rozvoj konceptu *Industry 4.0* označovaný v podmienkach Slovenskej republiky ako *Priemysel 4.0* sa rozhodla podporiť aj Vláda SR, ktorá schválila niekoľko materiálov dotýkajúcich sa tejto oblasti. V roku 2013 bola schválený dokument *Poznatkami k prosperite - Stratégia výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu Slovenskej republiky* označovaný ako národná stratégia inteligentnej špecializácie (RIS3), ktorá bola pripravená Ministerstvom hospodárstva SR, Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR, Úradom vlády SR a zástupcami podnikateľského, akademického a výskumného sektora (VSR, 2013). RIS3 bola tzv. *ex ante kondicionalita* pre Operačný program výskum a inovácie (OP VaI).

Stratégia určila tri typy prioritných oblastí a to i. oblasti hospodárskej špecializácie, ii. perspektívne oblasti špecializácie a iii. oblasti špecializácie z hľadiska dostupných vedeckých a výskumných kapacít (Tab. 1). Oblasti hospodárskej špecializácie pokrývajú ekonomickú špecializáciu Slovenskej republiky, ktorej exportná výkonnosť stojí najmä na týchto odvetviach. Perspektívne oblasti špecializácie predstavujú odvetvia, ktoré majú potenciál rastu, pričom v dobe vzniku stratégie pôsobili klastrové organizácie pokrývajúce tieto oblasti.

Tabuľka 1: Prioritné oblasti RIS3

Oblasť hospodárskej špecializácie	Perspektívne oblasti špecializácie	Dostupné vedecké a výskumné kapacity
Automobilový priemysel a strojárstvo	Automatizácia, robotika a digitálne technológie	materiálový výskum a nanotechnológie
Spotrebná elektronika a elektrické prístroje	Spracovanie a zhodnotenie ľahkých kovov a ich zliatin	informačno-komunikačné technológie
Informačné a komunikačné produkty a služby	Výroba a spracovanie polymérov a progresívnych chemických substancií (vrátane smart fertilizations)	biotechnológie a biomedicína
Výroba a spracovanie železa a ocele	Kreatívny priemysel	pôdohospodárstvo a životné prostredie, vrátane moderných chemických technológií šetrných
	Zhodnocovanie domácej surovínovej základne	k životnému prostrediu
	Podpora inteligentných technológií v oblasti spracovania surovín a odpadov v regióne výskytu	udržateľná energetika a energie

Zdroj: VSR, 2013.

Oblasti špecializácie z hľadiska dostupných vedeckých a výskumných kapacít predstavujú vedecko-výskumný potenciál verejných výskumno-vývojových organizácií, ktorý bol rozvíjaný v programovom období 2007-2013 zo zdrojov Operačného programu výskum a vývoj (OP VaV).

V rámci každej z týchto troch oblastí boli identifikované tzv. kľúčové tendencie, pričom niektoré sú jednoznačne relevantné pre koncept *Industry 4.0*, t.j. bezprostredne sa týkajú technologických domén *Industry 4.0*.

Rozvojové tendencie pre oblasti hospodárskej špecializácie ekonomiky priamo relevantné pre oblasť *Industry 4.0* sú:

- rozvoj výrobných postupov v priemysle orientovaných na lepšie využívanie dostupných zdrojov, vyššiu mieru recyklácie a využívanie materiálov priateľských k životnému prostrediu využitím vedecko-technologického rozvoja a inovácií,
- využívanie, nasadenie a nahrádzanie doposiaľ používaných materiálov za materiály moderné s novým a vyšším komplexom úžitkových vlastností, včítane technologickej spracovateľnosti (obrábanie, tvárnenie, spájanie),
- zefektívnenie produkčných a logistických procesov,
- použitie robotizácie a informačno-komunikačné technológie (IKT) vo výrobných procesoch.

Rozvojové tendencie v perspektívnych oblastiach špecializácie priamo relevantné pre oblasť *Industry 4.0* sú:

- nové technológie umožňujúce prenos, spracovanie a uchovávanie dát,
- inteligentné produkčné systémy,
- inteligentná a priemyselná doprava.

Rozvojové tendencie na základe dostupných výskumných a inovačných kapacít relevantné pre oblasť *Industry 4.0* sú:

- výskum a inovácie (VaI) v oblasti spájania dynamických častí strojov a mechanizmov za účelom zvyšovania životnosti a výkonnosti zariadení.

Témy priamo relevantné konceptu *Industry 4.0* sú v najvyššej miere zastúpené v Perspektívnych oblastiach špecializácie, pričom však ich vymedzenie nebolo dostatočne určené. V určených rozvojových tendenciách sa vyskytovali aj témy, ktoré sa môžu nepriamo dotýkať konceptu *Industry 4.0*, príp. nie je explicitne možné určiť technologický prienik s konceptom. V prípade hospodárskej špecializácie sa jednalo o „rozvoj technologických investičných celkov, najmä v oblasti hutníctva, strojárstva, energetiky a integrovaných priemyselných zariadení, s ohľadom na aplikáciu a použitie ľahkých kovov a moderných materiálov vo výrobe dopravnej a stavebnej techniky s cieľom znižovania celkovej hmotnosti a príspevku k zelenej ekonomike, vývoj a aplikačné využitie kompozitných materiálov“. V prípade perspektívnych oblastiach špecializácie o technológie pre inteligentný manažment spotreby, alebo podporu inteligentných technológií v oblasti spracovania surovín a odpadov v regiónoch výskytu. V prípade rozvojových tendencií na základe dostupných výskumných a inovačných sa jednalo napr. o výskum a vývoj (VaI) v oblasti zvarovania, navárania a aj netradičného spájania komponentov.

Pre potreby implementácie RIS3 bol vypracovaný Implementačný plán RIS3, ktorý bol schválený vládou SR (ÚPVII, 2017). Akčný plán určil spôsob detailnej identifikácie prioritných tém pre potreby implementácie RIS3 a špecificky pre Operačný program výskum a inovácie.

Na základe analýz bolo určených celkovo päť oblastí, tzv. domén v ktorých boli identifikované prioritné oblasti v rámci tzv. „*entrepreneurial discovery process-u*“ (EDP), a to:

- Dopravné prostriedky pre 21. storočie,
- Priemysel pre 21. storočie,
- Digitálne Slovensko a kreatívny priemysel,
- Zdravie obyvateľstva a zdravotnícke technológie,
- Zdravé potraviny a životné prostredie.

Detailné priority boli určené vo všetkých doménach (OPVaI, 2020), pričom len v prvých troch doménach sú určené technologické oblasti priamo relevantné konceptu *Industry 4.0*. Všetky produktové línie relevantné ku konceptu *Industry 4.0* sú uvedené v prílohe č. 1. Produktové línie pre doménu Zdravie obyvateľstva a zdravotnícke technológie a Produktové línie pre doménu Zdravé potraviny a životné prostredie svojim zameraním a špecifickosťou nemajú priamu spojitosť s konceptom *Industry 4.0*. Na druhej strane však riešenia *Industry 4.0* môžu nájsť uplatnenie aj v týchto doménach.

V doméne Dopravné prostriedky pre 21. storočie bolo identifikovaných celkovo 12 priorít, tzv. Produktových línií, ktoré predstavujú technologické priority identifikované v rámci komplexného EDP. Doména Priemysel pre 21. storočie určila najmenej produktových línií relevantných pre rozvoj konceptu *Industry 4.0*, celkovo 10. V rámci domény Digitálne Slovensko a kreatívny priemysel bolo identifikovaných najviac relevantných produktových línií a to až 28. Prioritné oblasti definované v rámci produktových línií v jednotlivých doménach predstavujú priority pre zameranie rôznych typov podporných nástrojov zameraných nie len na realizáciu výskumu a vývoja (VaV), ale aj transferu technológií. Jednotlivé oblasti nie vždy zohľadňujú kapacity verejných VaV organizácií. RIS3 určuje, že nastavené produktové línie by mali byť prioritne podporované zo zdrojov OP VaI, ale aj iných verejných zdrojov zameraných na podporu výskumu, vývoja a inovácií. V rôznych výzvach vyhlásených Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR bol tento prístup zachovaný.

Iný prístup zvolilo Ministerstvo hospodárstva SR, ktoré vyhlásilo 20.12.2018 zo zdrojov OP VaI Výzvu na predkladanie žiadostí o poskytnutie nenávratného finančného príspevku zameranú na podporu inteligentných inovácií v priemysle (kód výzvy: OPVaI-MH/DP/2018/1.2.2-21), ktorej cieľom bolo podporiť zavádzanie inovatívnych technológií v podnikoch. Celková alokácia na výzvu podporujúcu transfer technológií bola 100 mil. Eur. Zdroje Operačného programu Výskum a inovácie majú podporovať technologické oblasti určené v rámci EDP.

Výzva určovala, že cieľom projektov podporených v rámci tejto výzvy musí byť nákup dlhodobého majetku, za účelom inovácie produktu a/alebo procesu prostredníctvom kombinácie niektorých prvkov definovaných inteligentných riešení. Prvky inteligentných riešení boli zaradené do troch kategórií (Tab. 2).

Tabuľka 2: Technologické priority v oblasti transferu technológií

Kategória	Technologické oblasti
Synergické a pokročilé inteligentné riešenia	Pokročilá telematika. Kolaboratívna robotika Kyber-fyzikálne systémy (CPS) - Digitálne dvojča (Digital Twin) Autonómne manipulačné a intralogistické zariadenia Komplexné riešenie kybernetickej bezpečnosti výrobnéj haly, automatizovanej linky alebo technologického celku. Exponenciálne technológie
Pokročilé inteligentné riešenia	Priemyselné kamerové systémy (Machine Vision), strojové videnie, počítačové videnie Riešenie kybernetickej bezpečnosti jednotlivého zariadenia, alebo technologického celku Digitalizácia výrobného procesu 3D skenovanie. Automatizácia výrobného procesu Robotizácia výrobného procesu. Rozšírená realita
Zariadenia a systémy s inteligentnou podporou	Základná automatizácia jednotlivého procesu Nové senzory Big Data Dátové centrum Cloud pre Smart Industry. Autonómne a semiautonómne intralogistické systémy Podnikový informačný systém so Smart modulmi Výrobné informačné systémy Systémy riadenia životného cyklu výrobku Prediktívna údržba

Zdroj: výzva OPVaI-MH/DP/2018/1.2.2-21.

Určené technologické oblasti nie sú identické s prioritami jednotlivých relevantných domén určujúcimi technologické priority (produktové línie), ktoré boli definované v rámci EDP procesu. Výzva priniesla nové členenie aj z hľadiska koncepčného vymedzenia konceptu *Industry 4.0* v porovnaní s nadradenými strategickými dokumentami. Toto vymedzenie nie je v plnej zhode s technologickými prioritami definovanými v rámci doménových platforiem, resp. produktových línií.

Vláda SR schválila materiál Konceptia inteligentného priemyslu pre Slovensko, ktorú vypracovalo Ministerstvo hospodárstva SR v spolupráci so zástupcami priemyslu (VSR, 2016). Konceptia nadväzuje na schválenú Stratégiu výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu (RIS3).

Konceptia určuje, že „prioritou priemyslu sa stáva zavádzanie automatizácie a digitálnej výroby, digitalizácie riadiacich systémov a využívanie komunikačných sietí na zabezpečenie interoperability a flexibility podnikových procesov. Vďaka internetu, ktorý sa stane integrálnou časťou priemyselných riadiacich systémov, vznikne vysoký objem vymieňaných dát, od čoho sa odvíja funkčná analýza veľkých dát, virtuálna simulácia procesov, prepojenie v cloudovom prostredí, rozšírená realita, autonómne zariadenia a 3D tlač.“

V rámci dokumentu je zmienka o rôznych typoch technologických oblastí (napr. co-boty, IoT - internet vecí, PLM - Product Life Cycle Management, CAM - Computer Aided Manufacturing, mechanika, Cloud computing, Kyber-fyzikálne systémy, automatizácia, nové obchodné a výrobné modely) avšak neurčuje špecifické priority v oblasti VaV. Koncepcia identifikovala presahy do komplementárnych konceptov ako sú *Smart Cities*, *Smart Energy*, alebo *e - Government*.

Následne schválila Vláda SR Akčný plán inteligentného priemyslu SR so široko definovaným účelom, ktorý je priamo napojený na RIS3 (VSR, 2018). Dokument určil nasledovnú víziu: Vytvoriť podmienky pre rozvoj slovenského priemyslu, ktorý bude reagovať na globálne digitalizačné trendy, s cieľom zvyšovať konkurencieschopnosť podnikov v záujme udržateľného rastu príjmov, zamestnanosti a kvality života. Naplnením Akčného plánu inteligentného priemyslu SR do roku 2020 má vytvoriť základný predpoklad úspešnej transformácie slovenskej ekonomiky reagujúcej na digitalizáciu priemyslu, s predpokladom naštartovania digitalizačného procesu vo väčšine podnikov.

Akčný plán definoval, že „jadro aplikovaného výskumu pre potreby inteligentného priemyslu predstavujú oblasti kybernetiky, umelej inteligencie a robotiky“. Dokument identifikoval niekoľko kľúčových technológií v ktorých je potrebné realizovať VaV (Tab. 3).

Tabuľka 3: Technologické priority rozvoja inteligentného priemyslu SR

Oblasť	Priority
Pokročilé roboty	autonómne, spolupracujúce priemyselné roboty početné integrované snímače (nedeštruktívna defektoskopia, vibrácie, žiarenie), kamery HMI (CPS) rozhranie hlasových, haptických, vrátane systémov virtuálnej reality
Priemyselný internet	sieť strojov a výrobkov viacsmerová komunikácia medzi sieťovými objektmi
Simulácia	využitie údajov v reálnom čase a zrkadlenie fyzického sveta vo virtuálnom modeli, ktorý môže zahŕňať stroje, produkty a ľudí. To umožní operátorom skontrolovať a optimalizovať nastavenia stroja pre ďalší produkt v rade vo virtuálnom svete pred fyzickým prechodom, čím sa znížia časy nastavenia stroja a zvyšuje sa kvalita.
Rozšírená realita s informáciou v reálnom čase	rozšírenie reality pre údržbu, logistiku a i. podpora pre efektívne zobrazovanie informácií
Prídavná, podporná výroba (napr. 3D tlač)	3D tlač najmä pre náhradné diely a prototypy
Big data a analýza	komplexné vyhodnotenie dostupných údajov podpora rozhodovania a optimalizácia v reálnom čase
Cloud a kybernetická bezpečnosť	správa obrovského objemu údajov v otvorených systémoch vysoká úroveň vytvárania sietí medzi inteligentnými strojmi, výrobkami a systémami vedie k obzvlášť vysokým bezpečnostným požiadavkám.

Zdroj: VSR, 2018.

Dokument určuje, že technológie majú potenciál vytvoriť továrne budúcnosti, ktoré vedú k plne integrovaným a automatizovaným výrobným tokom. Systémy budú musieť byť schopné vzájomnej interakcie, analyzovať dáta pre predpovedanie zlyhaní a vytvárať rýchlejšie, flexibilnejšie a

efektívnejšie procesy. Dodávateľské reťazce budú plne integrované po celej svojej dĺžke. Ľudská pracovná sila bude čoraz viac pôsobiť vedľa robotov, ktoré sa budú zaoberať najmä fyzicky náročnými a opakujúcimi sa procesmi.

V rámci SR bolo schválených niekoľko vzájomne komplementárnych strategických materiálov, ktorých vzájomná kompatibilita z hľadiska definovaných technologických priorít nie je dostatočná. Analyzované materiály na strategickej určujú (taxatívne) rôzne typy technologických priorít, ktoré nie sú identické čo vnáša istú mieru neistoty do rozhodovacích procesov a efektívneho smerovania verejných zdrojov. Okrem toho si výzva OP VaI vyhlásená s cieľom zabezpečiť napĺňanie strategických dokumentov prijatých Vládou SR stanovila vlastné detailne vyšpecifikované, úplne nezávislé prioritné technologické oblasti bez zjavnej previazanosti na EDP. To môže poukazovať na nedostatočnú previazanosť zložiek strategickej úrovne riadenia so zložkami zodpovednými za implementáciu opatrení, ktoré majú prispievať k napĺňaniu strategických cieľov definovaných na národnej úrovni.

Všetky typy priorít identifikované v rámci rôznych materiálov je možné zaradiť do základných strešných technologických domén a to (Tab. 4):

- pokročilá robotika,
- priemyselný internet a IoT,
- simulácie,
- rozšírená realita,
- aditívna výroba,
- big data,
- cloud,
- kybernetická bezpečnosť,
- umelá inteligencia.

To znamená, že týchto deväť technologických domén reprezentuje prioritné oblasti určené v rámci rôznych strategických dokumentov, ako aj v rámci podpornej výzvy vyhlásenej v rámci OP VaI.

Tabuľka 4: Komparácia technologických oblastí.

Technologické domény	Akčný plán	Výzva OP VaI	Produktové línie domén
Pokročilá robotika	Pokročilé roboty autonómne, spolupracujúce priemyselné roboty početné integrované snímače (nedeštruktívna defektoskopia, vibrácie, žiarenie), kamery HMI (CPS) rozhranie hlasových, haptických, vrátane systémov virtuálnej reality	Kolaboratívna robotika Autonómne manipulačné a intralogistické zariadenia Priemyselné kamerové systémy (Machine Vision), strojové videnie, počítačové videnie Automatizácia výrobného procesu Robotizácia výrobného procesu Základná automatizácia jednotlivého procesu Autonómne a semiautonómne intralogistické systémy	Automatizácia a robotizácia kľúčových technológií; Automatizované systémy kontroly kvality, metrológie a diagnostiky a ich integrácia v digitálnom podniku; Bezkontaktná inventarizácia a monitoring skladových systémov pomocou inovatívnych prostriedkov (napr. drony) s prepojením na plánovanie výroby; Inovatívne a intuitívne formy riadenia robotických štruktúr s využitím spätných vizuálnych, haptických a zvukových väzieb; Inteligentné metódy rozpoznávania objektov – počítačové videnie pre priemyselné aplikácie a logistiku; Komplexné robotizované systémy vrátane autonómnych; Nové pokročilé interakčné systémy (Interakcia HMI, MMI, HRI); Perspektívne kolaboratívne systémy na technologickej, procesnej i komunikačnej úrovni, systémy strojovej komunikácie nezávislých systémov; Strojové videnie a iné metódy rozpoznávania, detekcie a analýzy objektov, interaktívna edukácia - stereoskopia, mobilné aplikácie, webové aplikácie, konverzačné platformy; Systémy pre bezpečnosť zdieľaného priestoru medzi ľuďmi a robotickými systémami; Výskum a vývoj komponentov a uzlov pre automatizáciu, robotizáciu a digitalizáciu procesov; Zariadenia a systémy manipulácie s materiálom a dielcami vo výrobe (napríklad systémy pre zlepšenie bezpečnosti, automatizácie skladov a logistiky, a pod.); Zvyšovanie kvality a presnosti

			výroby;
Priemyselný internet a IoT	Priemyselný internet sieť strojov a výrobkov viacsmerová komunikácia medzi sieťovými objektmi	Pokročilá telematika Nové senzory	IKT produkty pre prevádzku a bezpečnosť technológií a výrobkov (napríklad riešenia IoT, riadiace komponenty a systémy, senzory, softvérové aplikácie, HMI a pod.); IOT riešenia pre priemysel (IIOTs) s využitím existujúcej telekomunikačnej infraštruktúry; Senzory a spracovanie signálov;
Simulácia	Simulácia využitie údajov v reálnom čase a zrkadlenie fyzického sveta vo virtuálnom modeli, ktorý môže zahŕňať stroje, produkty a ľudí. To umožní operátorom skontrolovať a optimalizovať nastavenia stroja pre ďalší produkt v rade vo virtuálnom svete pred fyzickým prechodom, čím sa znížia časy nastavenia stroja a zvyšuje sa kvalita.	Digitálne dvojča (Digital Twin)	Inteligentné riadenie výrobných celkov založené na simulačných technológiách a virtuálnych výrobných systémoch – digitálne dvojča výroby; Simulácia, modelovanie priemyselných, dopravných a iných systémov;
Rozšírená realita	Rozšírená realita s informáciou v reálnom čase rozšírenie reality pre údržbu, logistiku a i. podpora pre efektívne zobrazovanie informácií	Rozšírená realita	Riadenie technologických a logistických procesov; Tvorba transformovateľného a škálovateľného konceptu mobilných manipulačných robotických systémov pre riešenie vnútornej logistiky priemyselnej výroby; výskum, vývoj a inovácia progresívnych nástrojov, technológií – technológie pre oblasť vizualizácie a sprístupňovanie multimediálnych obsahov, digital imaging, VFX, SGI, virtuálna, zmiešaná, či rozšírená realita a ďalšie; Vývoj programového vybavenia a technológií pre inteligentné výrobné systémy, komponenty a uzly, ako aj mestá a komunity;
Aditívna výroba	Prídavná, podporná výroba 3D tlač najmä pre náhradné diely a prototypy	Exponenciálne technológie	Inovatívne metódy riadenia 3D tlače s cieľom zabezpečiť vysokú kapacitu a stabilitu tlače; Progresívne technológie výroby a spracovania materiálov a výrobkov z nich, práškové technológie, vakuové metalurgické technológie, presné liatie, 3D tlač kompozitov, aditívna priemyselná výroba, pokročilé

			technológie tvorby povrchových vrstiev, automatizované a robotizované výrobné technológie;
Big data	Big data a analýza komplexné vyhodnotenie dostupných údajov podpora rozhodovania a optimalizácia v reálnom čase	Kyber-fyzikálne systémy (CPS) Digitalizácia výrobného procesu 3D skenovanie Big Data Podnikový informačný systém so Smart modulmi Výrobné informačné systémy Systémy riadenia životného cyklu výrobku (Product Lifecycle Management Systems - PLM) - Prediktívna údržba (Predictive Maintenance - PdM) -	Analýza big data pre potreby zvýšenia efektivity výroby, optimalizáciu procesov a analytické a prediktívne nástroje; Aplikácie na báze umelej inteligencie; Inteligentné riadiace a výrobné systémy, vrátane prepájania externých inteligentných systémov a intralogistických/ manipulačných systémov a ich prvkov (prostriedkov) (napríklad aj digitalizácia riadenia, digitalizácia výrobných procesov a logistiky a pod.); Inteligentné technológie pre zvyšovanie energetickej efektívnosti prevádzky podniku; Optimalizácia podnikových procesov (napríklad výrobných, logistických procesov, auditovanie procesov a pod.); Prepojenie informačných a znalostných systémov a procesov v priemyselnom podniku (prepojenie technologických systémov s ERP a manažérskymi systémami); Programové vybavenia pre inteligentné výrobné systémy, komplexné riadiace systémy, manažment služieb a procesov; Služby a riešenia v oblasti spracovania veľkých objemov dát, rýchle spracovanie dát (Big Data, High performance computing, cloud computing edge computing); Systémy pre riadenie automatizovaných pracovísk (systémy pre priemyselné autonómne riadenie, dopravné a logistické systémy a pod. (napríklad so zameraním na Industry 4.0, Continuous Improvement, diagnostika pre existujúce procesy až po analýzy dôvodov zlej účinnosti, nehôd, alebo disfunkčnosti zariadení a pod.);

Cloud	Cloud a kybernetická bezpečnosť správa obrovského objemu údajov v otvorených systémoch vysoká úroveň vytvárania sietí medzi inteligentnými strojmi, výrobkami a systémami vedie k obzvlášť vysokým bezpečnostným požiadavkám.	Dátové centrum Cloud pre Smart Industry	Cloud to Edge computing – využívanie servisne orientovaného modelu cloudovej architektúry a topológie, ktorá posúva spracovanie a ukladanie informácií bližšie k ich zdrojom; Cloudové riešenia so zameraním na multikriteriálne metódy optimalizácie výroby;
Kybernetická bezpečnosť	Cloud a kybernetická bezpečnosť správa obrovského objemu údajov v otvorených systémoch vysoká úroveň vytvárania sietí medzi inteligentnými strojmi, výrobkami a systémami vedie k obzvlášť vysokým bezpečnostným požiadavkám.	Komplexné riešenie kybernetickej bezpečnosti výrobných haly, automatizovanej linky alebo technologického celku Riešenie kybernetickej bezpečnosti jednotlivého zariadenia, alebo technologického celku	Bezpečnostné riadiace systémy; Kybernetická bezpečnosť a bezpečný prenos údajov v priemyselnom prostredí;
Umelá inteligencia		Umelá inteligencia (v exponenciálnych technológiách)	Umelá inteligencia a aplikácia prostriedkov umelej inteligencie s využitím protokolov a rozhraní bezdrôtovej komunikácie a ich integrácia v rámci digitálneho podniku;

Zdroj: autorské spracovanie.

Medzi technologickými prioritami definovanými v rámci rôznych prístupov možno identifikovať významný prienik, pričom všetky sú v zhode s konceptom Industry 4.0. Jednotlivé priority je možné zaradiť do technologických domén pokročilá robotika, priemyselný internet a IoT, simulácia, rozšírená realita, aditívna výroba, *Big data*, *Cloud* a kybernetická bezpečnosť. Okrem toho boli niektoré identifikované priority zamerané aj na umelú inteligencia. To poukazuje na isté rozšírenie v chápaní konceptu *Industry 4.0*, pričom je vhodné podporovať aj túto perspektívnu oblasť.

III. Záver

Vláda SR sa pokúsila zachytiť, aj keď s istým oneskorením oproti globálnym trendom, nastupujúce technologické zmeny, ktoré ovplyvnia konkurencieschopnosť Slovenskej republiky. Z tohto dôvodu bolo na Slovensku prijatých niekoľko strategických materiálov relevantných ku konceptu Industry 4.0. Jedná sa o Poznatkami k prosperite - Stratégia výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu Slovenskej republiky, ktorá predstavuje národnú stratégiu inteligentnej špecializácie (RIS3), Implementačný plán RIS3, Konceptiu inteligentného priemyslu pre Slovensko a nadväzujúceho Akčného plánu inteligentného priemyslu SR. Všetky dokumenty určujú vlastné technologické priority, ktoré nie sú identické. Úplne iný prístup z hľadiska definovania technologických priorít bol aplikovaný v prípade vyhlásenej výzvy v rámci Operačného programu

Výskum a vývoj podporujúcej transfer moderných technológií s cieľom podporovať koncept Industry 4.0 v podmienkach slovenských podnikov.

Prístup identifikácie rôznych ad hoc technologických priorít vniesol istú mieru neistoty najmä v spojitosti s implementáciou opatrení financovaných najmä z Európskych štrukturálnych a investičných fondov a nadväznosti výziev na priority definované pre potreby implementácie RIS3.

Napriek tomu sú všetky typy technologických priorít v zhode s chápaním konceptu Industry 4.0 a sú v oblastiach pokročilá robotika, priemyselný internet a IoT, simulácia, rozšírená realita, aditívna výroba, *Big data*, *Cloud*, kybernetická bezpečnosť a umelá inteligencia.

Pod'akovanie / Financovanie

Článok vznikol vďaka projektu VEGA č. 2/0002/18.

Literatúra

Alcácer, V., Cruz-Machado, V. (2019): Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 22, 899–919

Arnold, C.K., Voigt, D. (2016): How the industrial internet of things changes business models in different manufacturing industries. *International Journal of Innovation Management*. 20(8).

Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A., Fantoni, G. (2018). Extracting and mapping industry 4.0 technologies using wikipedia, *Computers in Industry* 100, 244–257.

Corallo, A., Lazoi, M., Lezzi, M. (2020). Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts, *Computers in Industry*. 114, 103165

EC (2017): Germany: Industrie 4.0. Dostupné na: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf (3.2.2020)

Fusko, M., Rakyta, M., Dulina, L., Sulírová, I., Edl, M. (2018). Digitization in the technical service management system. *MM Science Journal*. March (2018), 2260-2266.

Gerlitz, L. (2016). Design Management as a Domain of Smart and Sustainable Enterprise: Business Modelling for Innovation and Smart Growth in Industry 4.0. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. 3(3), 244-268.

Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 WG.

Kovacs, O. (2018). The dark corners of industry 4.0 – Grounding economic governance 2.0, *Technology in Society* 55, 140–145.

Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., Kao, H. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manuf. Lett.* 1 (1), 38–41.

Monostori L, Kádár, B., T.Bauernhansl, T. Kondoh, S., Kumara, S. Reinhart, G., Sauer, O., Schuh, G.,Siñh, W., Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 65, 621–641.

OPVaI. 2020. Operačný program Výskum a inovácie. Dôležité dokumenty. Dostupné na: <https://www.opvai.sk/sk/ris3/dolezite-dokumenty> (5.2.2020)

Tay, S.I., Lee, T.C., Hamid, N.Z.A., Ahmad, A.N.A. (2018). An Overview of Industry 4.0: Definition, Components, and Government Initiatives. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, 10, 1379-1387

Thoben, K.D.W., Wuest, S.A. (2017). “Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. *International Journal of Automation Technology*. 11(1) 4-16.

ÚPVII (2017): Implementačný plán Stratégie výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu Slovenskej republiky, Bratislava 2017.

VSR, Vláda Slovenskej republiky (2013): Stratégia výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu SR , uznesenie vlády SR č. 665/2013 z 13.11.2013.

VSR, Vláda Slovenskej republiky (2016): Koncepcia inteligentného priemyslu pre Slovensko, uznesenie vlády SR č. 490/2016 z 26.10.2016.

VSR, Vláda Slovenskej republiky (2018): Akčný plán inteligentného priemyslu SR, uznesenie vlády SR č. 461/2018 z 10.10.2018.

Zhou, K., Liu, Taigang, Zhou, Lifeng, Liu, T., Zhou, L. (2015) Industry 4.0: towards future industrial opportunities and challenges. In: 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), pp. 2147–2152. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>.

Prílohy

Príloha 1- produktové línie relevantné k Industry 4.0

Produktové línie pre doménu Dopravné prostriedky pre 21. storočie relevantné pre oblasť I4.0:

- Progresívne technológie výroby a spracovania materiálov a výrobkov z nich, práškové technológie, vákuové metalurgické technológie, presné liatie, **3D tlač kompozitov**, aditívna priemyselná výroba, pokročilé technológie tvorby povrchových vrstiev, **automatizované a robotizované výrobné technológie**.
- Zariadenia a systémy manipulácie s materiálom a dielcami vo výrobe (napríklad systémy pre zlepšenie bezpečnosti, automatizácie skladov a logistiky, a pod.).
- Materiály, štruktúry, **senzory a prvky**.
- Optimalizácia podnikových procesov (napríklad výrobných, logistických procesov, auditovanie procesov a pod.).
- Zvyšovanie kvality a presnosti výroby (napríklad kvalita montáže, auditovanie procesov a pod.).
- Programové vybavenia pre inteligentné výrobné systémy, komplexné riadiace systémy, manažment služieb a procesov.
- Inteligentné riadiace a výrobné systémy, vrátane prepájania externých inteligentných systémov a intralogistických/ manipulačných systémov a ich prvkov (prostriedkov) (napríklad aj digitalizácia riadenia, digitalizácia výrobných procesov a logistiky a pod.).
- Simulácia, modelovanie priemyselných, dopravných a iných systémov.
- Riadenie technologických a logistických procesov.
- Výskum a vývoj komponentov a uzlov pre automatizáciu, robotizáciu a digitalizáciu procesov.
- Systémy pre riadenie automatizovaných pracovísk (systémy pre priemyselné autonómne riadenie, dopravné a logistické systémy a pod. (napríklad so zameraním na Industry 4.0, Continuous Improvement, diagnostika pre existujúce procesy až po analýzy dôvodov zlej účinnosti, nehôd alebo disfunkčnosti zariadení a pod.).
- Výskum a vývoj komplexných robotizovaných systémov.

Produktové línie pre doménu Priemysel pre 21. storočie relevantné pre oblasť I4.0:

- Progresívne technológie výroby a spracovania materiálov a výrobkov z nich, práškové technológie, vákuové metalurgické technológie, presné liatie, 3D tlač kompozitov, aditívna priemyselná výroba, pokročilé technológie tvorby povrchových vrstiev, automatizované a robotizované výrobné technológie.
- Zariadenia a systémy manipulácie s materiálom a dielcami vo výrobe (napríklad systémy pre zlepšenie bezpečnosti, automatizácie skladov a logistiky, a pod.).
- Materiály, štruktúry, **senzory a prvky**.
- Optimalizácia podnikových procesov.
- IKT produkty pre prevádzku a bezpečnosť technológií a výrobkov (napríklad riešenia IoT, riadiace komponenty a systémy, senzory, softvérové aplikácie, HMI a pod.).
- Vývoj programového vybavenia pre inteligentné výrobné systémy, komplexné riadiace systémy, manažment služieb a procesov.

- Simulácia, modelovanie priemyselných, dopravných a iných systémov a optimalizácia prevádzky energetickej náročnosti a environmentálneho dopadu.
- Komplexné robotizované systémy vrátane autonómnych.
- Inteligentné riadiace a výrobné systémy vrátane prepájania externých inteligentných systémov.
- Systémy pre riadenie automatizovaných pracovísk.

Produktové línie pre doménu Digitálne Slovensko a kreatívny priemysel (relevantné pre oblasť I4.0):

- Cloudové riešenia so zameraním na multikriteriálne metódy optimalizácie výroby.
- Analýza big data pre potreby zvýšenia efektivity výroby, optimalizáciu procesov a analytické a prediktívne nástroje.
- Cloud to Edge computing – využívanie servisne orientovaného modelu cloudovej architektúry a topológie, ktorá posúva spracovanie a ukladanie informácií bližšie k ich zdrojom;
- Kybernetická bezpečnosť a bezpečný prenos údajov v priemyselnom prostredí.
- Perspektívne kolaboratívne systémy na technologickej, procesnej i komunikačnej úrovni, systémy strojovej komunikácie nezávislých systémov.
- Nové pokročilé interakčné systémy (Interakcia HMI, MMI, HRI).
- Systémy pre bezpečnosť zdieľaného priestoru medzi ľuďmi a robotickými systémami.
- Inteligentné riadenie výrobných celkov založené na simulačných technológiách a virtuálnych výrobných systémoch– digitálne dvojča výroby.
- Optimalizácia externej a internej logistiky výroby s využitím nástrojov digitálnej transformácie.
- Automatizované systémy kontroly kvality, metrológie a diagnostiky a ich integrácia v digitálnom podniku.
- Umelá inteligencia a aplikácia prostriedkov umelej inteligencie s využitím protokolov a rozhraní bezdrôtovej komunikácie a ich integrácia v rámci digitálneho podniku.
- Inovatívne a intuitívne formy riadenia robotických štruktúr s využitím spätných vizuálnych, haptických a zvukových väzieb.
- Inteligentné technológie pre zvyšovanie energetickej efektívnosti prevádzky podniku.
- Inovatívne metódy riadenia 3D tlače s cieľom zabezpečiť vysokú kapacitu a stabilitu tlače.
- IOT riešenia pre priemysel(priemyselný internet vecí - IIOTs) s využitím existujúcej telekomunikačnej infraštruktúry.
- Tvorba transformovateľného a škálovateľného konceptu mobilných manipulačných robotických systémov pre riešenie vnútornej logistiky priemyselnej výroby.
- Bezkontaktná inventarizácia a monitoring skladových systémov pomocou inovatívnych prostriedkov (napr. drony) s prepojením na plánovanie výroby.
- Inteligentné metódy rozpoznávania objektov vrátane 3D skenovacích technológií pre inšpekciu a riadenie výrobných procesov.
- Prepojenie informačných a znalostných systémov a procesov v priemyselnom podniku (prepojenie technologických systémov s ERP (enterprise resource planning) a manažérskymi systémami).
- Automatizácia a robotizácia kľúčových technológií.
- Inteligentné metódy rozpoznávania objektov – počítačové videnie pre priemyselné aplikácie a logistiku.
- Bezpečnostné riadiace systémy.

- Strojové videnie a iné metódy rozpoznávania, detekcie a analýzy objektov, interaktívna edukácia - stereoskopia, mobilné aplikácie, webové aplikácie, konverzačné platformy.
- Vývoj programového vybavenia a technológií pre inteligentné výrobné systémy, komponenty a uzly, ako aj mestá a komunity.
- Simulácia, modelovanie priemyselných, dopravných a iných systémov a optimalizácia energetickej náročnosti.
- Aplikácie na báze umelej inteligencie.
- Služby a riešenia v oblasti spracovania veľkých objemov dát, rýchle spracovanie dát (Big Data, High performance computing, cloud computing edge computing).
- výskum, vývoj a inovácia progresívnych nástrojov, technológií – technológie pre oblasť vizualizácie a sprístupňovanie multimediálnych obsahov, digital imaging, VFX, SGI, virtuálna, zmiešaná, či rozšírená realita a ďalšie.

Zdroj: OPVaI, 2020.

RESTARTING THE EU CAR INDUSTRY – LONG-DISTANCE RACE?

Edita Nemcová¹ Elena Fifeková²

Abstrakt

The current coronavirus pandemic has hit the car industry particularly hard in several EU countries. As during the global economic crisis ten years ago, concerns about the sector's dominance turned into a real threat to their economic growth. In addition, the industry is confronted with a number of current challenges, the management of which will require far-reaching changes not only in production processes and methods, but also in the overall philosophy of the industry's development. The article focuses on the impact of the pandemic on the automotive industry, on production, employment not only within it, but also in other related sectors in the European Union. At the same time, it analyses individual measures to reverse the negative development, as well as the developmental prospects of this sector.

Kľúčové slová

Automotive industry, employment, crisis, economic growth, economic policy measures

I. Úvod

Automobilový priemysel patril k odvetviam, ktoré globálna ekonomická kríza v rokoch 2008 – 2009 zasiahla najviac. Obavy viacerých krajín EÚ, v ktorých sa vyprofiloval na dominantné odvetvie ovplyvňujúce rozhodujúcou mierou tempo ich ekonomického rastu, plynúce z rizika závislosti ekonomiky od jedného dominantného odvetvia, sa stali realitou. O viac ako 10 rokov neskôr v dôsledku pandémie koronavírusu sa situácia opakuje. Navyše sa to deje v čase, keď automobilový priemysel Európskej únie čelí viacerým výzvam, na ktorých zvládnutie sú nevyhnutné d'alekosiahle zmeny nielen výrobných postupov a metód, ale aj celkovej filozofie rozvoja tohto odvetvia. Nie je to iba klimatická zmena a s ňou súvisiaca potreba dosiahnutia uhlíkovej neutrality, či hľadanie možností maximalizácie využitia príležitostí 4. priemyselnej revolúcie, ale aj výrazne rastúca konkurencia ázijských producentov, či v neposlednom rade zvládnutie dôsledkov Brexitu, ktoré vyžadovali a stále vyžadujú potrebu reakcie a vyrovnanie sa s výzvami budúcnosti. Predkladaný článok sa sústreďuje na trendy vývoja automobilového priemyslu v prvých dvoch desaťročiach 3. tisícročia. Prvá kapitola analyzuje obdobie krízy 2008 – 2009, vyrovňovanie sa s jej dôsledkami a pokrízový vývoj automobilového priemyslu EÚ.

¹ Centre of Social and Psychological Sciences, SAS, Šancová 56, 811 05 Bratislava, Slovakia. e-mail: progedit@savba.sk

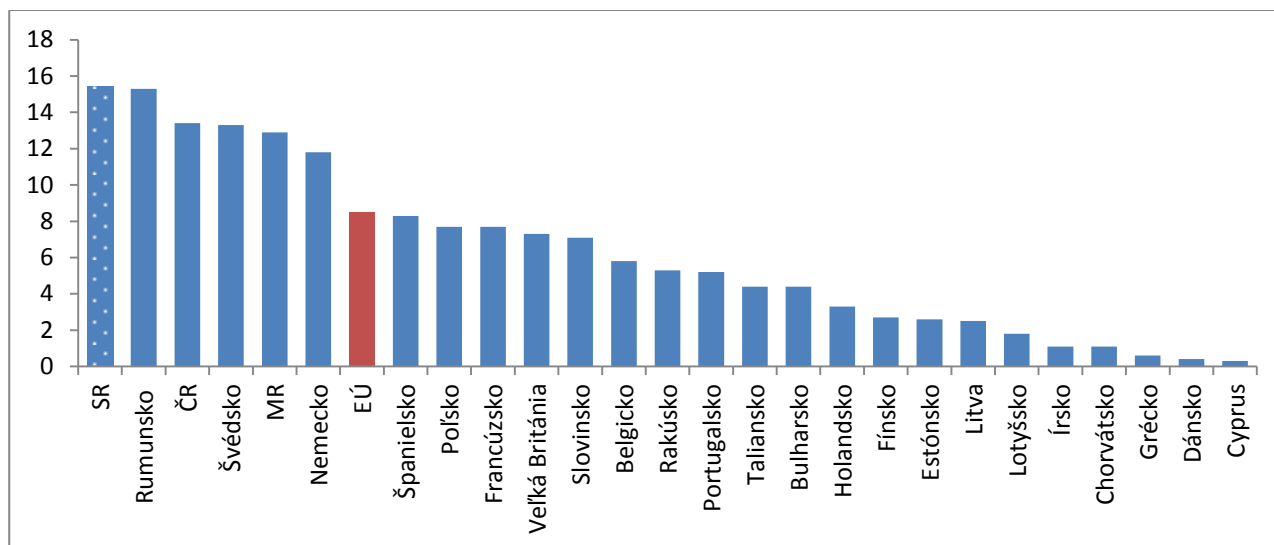
² Centre of Social and Psychological Sciences, SAS, Šancová 56, 811 05 Bratislava, Slovakia. e-mail: progife@savba.sk

Ťažiskom druhej kapitoly je jeho vývoj na začiatku ďalšieho krízového obdobia, ktorého spúšťačom bola pandémia koronavírusu, a jej vplyv na automobilový priemysel, na produkciu, zamestnanosť nielen v rámci neho, ale aj v ostatných nadväzujúcich odvetviach vo vybraných ekonomikách Európskej únie. Zároveň hodnotí jednotlivé opatrenia na zvrátenie negatívneho vývoja, ako aj perspektívy ďalšieho rozvoja tohto odvetvia.

II. Míľniky vývoja automobilového priemyslu na začiatku 3. tisícročia

Automobilový priemysel sa rozhodujúcou mierou podieľa na svetovej ekonomike. Podľa údajov ACEA (2020) automobilový priemysel poskytoval v roku 2018 pracovné miesta 13,8 miliónom Európanov, a to priamo (2,6 mil.) alebo sprostredkované (11,2 mil.) v nadväzujúcich odvetviach, čo predstavuje 6,1% z celkovej zamestnanosti EÚ. Okrem podielu na zamestnanosti o mimoriadnom význame automobilový priemysel svedčí aj skutočnosť, že jeho obrat sa podieľa 7% na HDP EÚ (Accenture, 2020). Percentuálny podiel na celkovej zamestnanosti v priemyselnej výrobe v jednotlivých krajinách EÚ dokumentuje obrázok č. 1:

Obrázok č. 1 Podiel priamej zamestnanosti v automobilovom priemysle na celkovej zamestnanosti v priemyselnej výrobe v roku 2018 v krajinách EÚ



Zdroj: ACEA 2019

V roku 2018 vyrobili výrobcovia z EÚ 16,5 milióna osobných automobilov - čo predstavuje 21% celosvetovej výroby automobilov - a viac ako 2,6 milióna úžitkových vozidiel. Takmer 6,1 milióna z týchto motorových vozidiel bolo v roku 2018 určených na vývoz, čím pre Európsku úniu prispel automobilový priemysel k vytvoreniu kladného salda obchodnej bilancie vo výške 84,4 miliárd EUR (ACEA, 2020). Navyše daň z motorových vozidiel predstavuje tiež výrazný prínos pre rozpočet. Uvedené čísla dokazujú skutočnosť, že vo viacerých krajinách sa vyprofiloval na ťažiskové odvetvie, od ktorého vo veľkej miere závisel ich ekonomický rast. Najcitelnejšie sa obavy z tejto závislosti prejavili v praxi v krízových obdobiach. Finančná kríza, ktorej dôsledkom

museli pred vyše desaťročím čeliť všetky ekonomiky, nebola výnimkou. Situácia bola o to nepriaznivejšia, že od rozvoja automobilového priemyslu sú závislé mnohé nadväzujúce, dodávateľské odvetvia ako napríklad elektrotechnický priemysel, chemický priemysel, v rámci neho hlavne gumárenský, oceliarsky priemysel. Preto sa problémy automobilového priemyslu sprostredkovane prejavili vo významnej miere aj v týchto odvetviach.

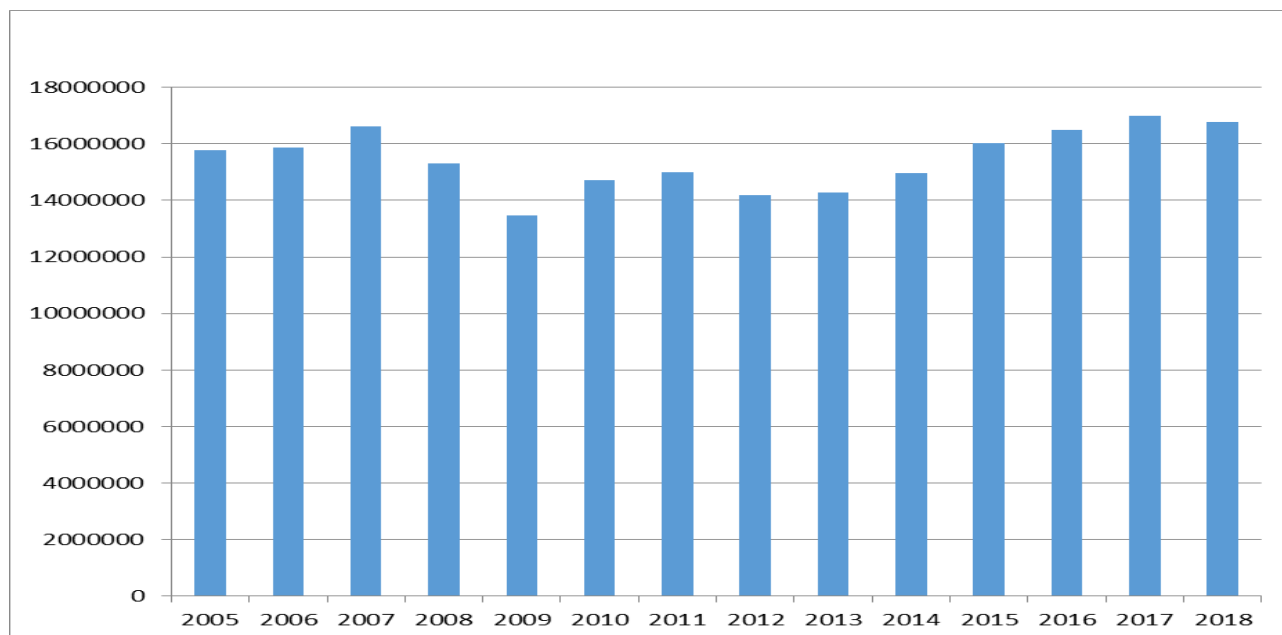
Kríza v Európe bola sprevádzaná výrazným znížením investovania a medzinárodného dopytu. Zmeny sa prejavili aj v zamestnanosti, keď výrobcovia automobilov museli pristúpiť ku kráteniu pracovného času zamestnancov. V porovnaní s poklesom produkcie však táto nie príliš výrazná reakcia trhu práce, ktorá viedla k poklesu produktivity práce, indikuje, že očakávali relatívne rýchle zotavenie, a to aj napriek veľkej recesii zaznamenatej po prepuknutí krízy. Počiatočná pokrízová obnova však bola veľmi pomalá a krehká. V dôsledku ekonomického vývoja v lete roku 2011 vzrástla neistota, do akej miery je trend obnovy a zotavenia udržateľný. Jedným z dôvodov pochybností bola okrem iného aj narastajúca neistota v oblasti udržateľnosti verejných financií a jej prípadného dôsledku vo forme redukcie spotreby a investícií. Kríza finančných trhov a recesia zapríčinili, že viaceré banky v záujme ozdravenia svojich financií redukovali objem výpožičiek. Vzrástla cena obligačného financovania so súčasným sprísnením podmienok jeho poskytovania a obdobná situácia bola aj v oblasti financovania prostredníctvom kapitálových trhov. Napriek týmto opatreniam sa automobilový priemysel ako súčasť výroby dopravných prostriedkov v pokrízovom období spolu so strojárskym a chemickým priemyslom pričinil o zachovanie exportnej výkonnosti EÚ (European Commission, 2010).

Jednotlivé krajiny patriace k veľkým producentom automobilov neboli krízou zasiahnuté rovnakou mierou. Horšie na tom boli krajiny, ktoré sa orientovali prvorado na domácu spotrebu (napr. Francúzsko či Taliansko), než napríklad exportne orientované Nemecko a Švédsko, ktorých produkcia sa zamerala na požiadavky vyšších vrstiev, čo zabezpečilo rast ich podielu na trhu. Francúzsko, ktoré v záujme vymanenia sa zo svojej závislosti od fosílnych palív investovalo do atómovej energie, v prípade potreby podporovalo svojich domácich výrobcov (Renault, PSA), iba veľmi postupne zvyšovalo mieru flexibilitnosti svojej politiky zamestnanosti. Taliansko, spoliehajúc sa na dynamiku svojich malých a stredných podnikov, opatreniami hospodárskej politiky posilňovalo práve tento sektor a sprostredkovane pomocou týchto opatrení sa podpora preniesla aj na podniky veľké, medzi nimi aj Fiat. Dôsledkom horeuvedeného odlišného vplyvu krízy na jednotlivé ekonomiky bola aj delokalizácia automobilového priemyslu z jeho dovtedajších tradičných centier v starých členských štátoch EÚ do jej menej vyspelých ekonomík, predovšetkým nových členských štátov.

V starých členských štátoch bol trh s automobilmi nasýtený už pred krízou, počet predaných automobilov viac - menej stagnoval, resp. sa zvyšoval iba minimálne a väčšina nákupov vlastne súvisela s výmenou starého vozidla za nové. Naproti tomu vo väčšine nových členských štátov trh v predkrízovom období expandoval, významná časť nákupov znamenala zvýšenie počtu automobilov v danej domácnosti. Počas piatich rokov, od 2003 do 2007, teda v období predchádzajúcom krízovému roku 2008, sa pohyboval objem predaja na európskom trhu s dopravnými prostriedkami s hmotnosťou nižšou ako 3,5 tony v rozpätí 16,6 až 17,8 milióna kusov, pričom medziročný rast sa pohyboval v intervale 1,0 – 1,5%. 40% tohto rastu pripadlo na nové členské štáty (IHS Global Insight 2009). V roku 2007 predstavoval export mimo EÚ hodnotu 71,1 miliárd EUR, pričom export automobilov bol o 37 miliárd EUR vyšší než import. Čo sa týka nových členských štátov, ich podiel na produkcii bol približne dvojnásobkom ich spotreby: na celkovej produkcii automobilov v EÚ27 sa podieľali cca 20%, kým na spotrebe to bolo okolo 10%. Automobilový park nových členských štátov predstavoval zhruba 15% z EÚ27 (ACEA, 2009).

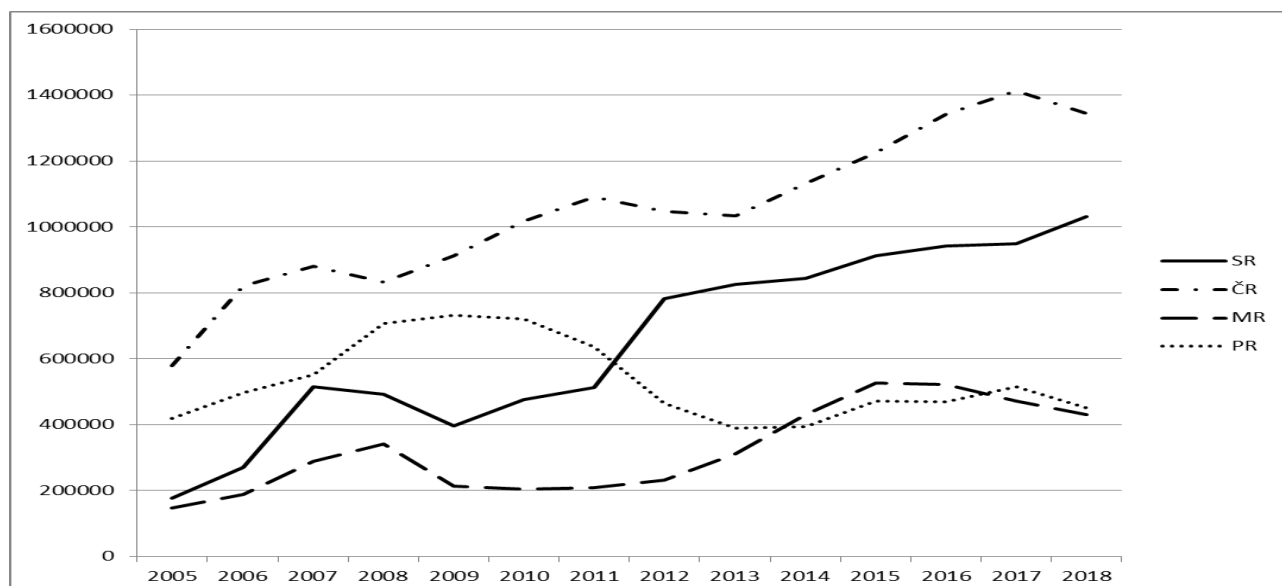
Na začiatku krízy odvetvie vykázalo 40% pokles. Jeho dopad na ekonomiku bol o to vážnejší, že automobilový priemysel patril v mnohých krajinách EÚ ku kľúčovým odvetviám a výraznou mierou ovplyvňoval aj exportnú výkonnosť krajiny. Pod tlakom týchto okolností boli v jednotlivých krajinách EÚ realizované viaceré opatrenia, ktorých spoločným menovateľom bola snaha o zastavenie poklesu predaja automobilov (Fifeková, Nemcová, Sabo, 2010). Táto protikrízová politika bola zameraná hlavne na segment osobných automobilov, prednostne na zvýšenie predaja existujúcich značiek, nie na stimulovanie zvýšeného alebo nového dopytu. Tieto opatrenia sa prednostne sústredili hlavne na pomoc veľkým výrobcam osobných a nákladných vozidiel. Iba pár rokov pred krízou by takéto opatrenia boli z politického hľadiska nepredstaviteľnými a neprípustnými, najmä v EÚ a Severnej Amerike. O tom, či budú tieto zásahy benefitom pre konkurencieschopnosť automobilového priemyslu z dlhodobého hľadiska, vlády jednotlivých krajín v danom momente nediskutovali.

Ako už bolo uvedené, vplyv krízy na automobilový priemysel bol výrazný. Rovnako sa odlišoval aj v jednotlivých segmentoch výroby automobilov, menej sa prejavil v segmentoch zameraných na produkciu vozidiel s menšou kubatúrou. Preto aj následná pokrízová obnova si vyžadovala diferencovaný prístup. Pokrízová obnova nenapredovala očakávaným tempom. Svedčí o tom aj fakt, že predkrízovú úroveň produkcie osobných automobilov z roku 2007 sa v rámci celej EÚ prvýkrát od krízy podarilo prekročiť až v roku 2017, keď tu bolo vyprodukovaných 17 miliónov osobných automobilov (ACEA, 2017, 2019). Mimoriadne dramatický medziročný pokles produkcie bol v roku 2008 podľa údajov OECD (2009) zaznamenaný vo Francúzsku (15,9%) a Taliansku (23,4%).

Obrázok č. 2 Vývoj produkcie osobných automobilov v EÚ

Zdroj: ACEA 2018, 2019

V krajinách V4, ktoré sa po transformácii vyvinuli na ťažiskových producentov nielen v rámci EÚ, ale aj vo svete, bol vývoj produkcie osobných automobilov trochu odlišný, úroveň spred krízy sa s výnimkou Poľska podarilo nielen dosiahnuť, ale aj prekročiť v oveľa kratšom horizonte. Vynímajúc Slovensko sa rastúci trend produkcie v ostatných troch ekonomikách neudržal, naopak zaznamenali mierny pokles (obrázok č. 3).

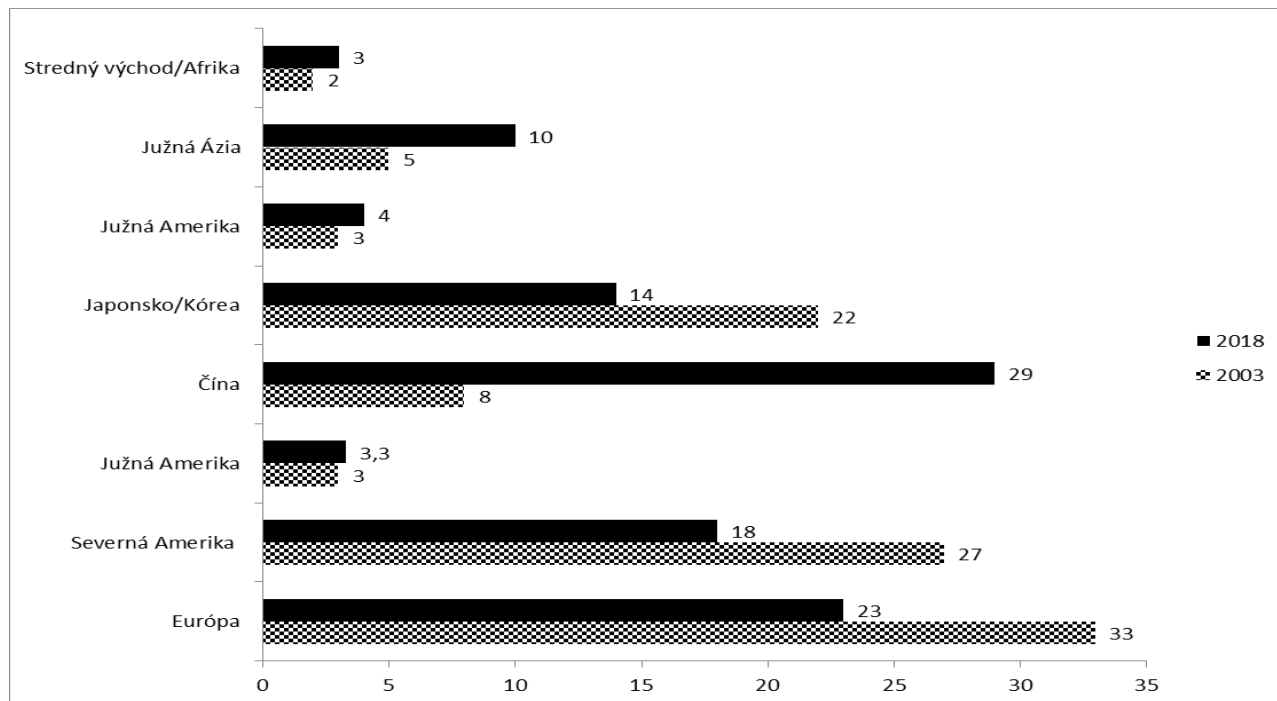
Obrázok č. 3 Vývoj produkcie osobných automobilov v krajinách V4

Zdroj: ACEA 2018 – 2019, ACEA 2019 - 2020

Celosvetovo sa predaj automobilov dostal na predkrízovú úroveň najmä vďaka zvýšenému dopytu na ázijských trhoch. Najväčší podiel na celosvetovej produkcii automobilov pripadol v roku 2018

Číne. Výrazné posilnenie pozície ázijských výrobcov, predovšetkým Číny, bolo tiež jednou z charakteristík pokrízového vývoja. Zatiaľ čo Čína sa v roku 2003 podieľala na celosvetovej výrobe osobných automobilov iba 8%, v roku 2018 jej podiel vzrástol 29% (obrázok č. 4).

Obrázok č. 4: Podiel na produkcii osobných automobilov v roku 2003 a 2018



Zdroj: ACEA 2019

Práve rastúca konkurencia lacnejších producentov z tretích krajín a ich neustále sa zvyšujúci podiel na celosvetovej produkcii automobilov predstavovali pre EÚ spolu s jej limitovanými možnosťami vstupu na rozvojové trhy jednu z výziev na začiatku 3. tisícročia. Ďalšou výzvou a zároveň míľnikom vo vývoji automobilového priemyslu je Európskou komisiou vytýčená transformácia EÚ na nízkouhlíkové hospodárstvo v horizonte do roku 2050 (European Commission, 2014). Tu treba mať na zreteli, že vo všeobecnosti sa vplyv priemyslu na životné prostredie posudzuje z dvoch strán – tak na základe vplyvu priemyselnej výroby na životné prostredie, ako aj na základe toho, ako na životné prostredie vplýva spotreba (využívanie) priemyselných výrobkov. V prípade automobilového priemyslu je tým prevažujúcim aspektom vplyv využívania jeho produktov na životné prostredie. 4. priemyselná revolúcia, digitalizácia a automatizácia odvetvia, ktoré vyžadovali nepretržité vylepšovanie a skvalitňovanie výrobných procesov a postupov, tiež vyžadovali promptnú reakciu európskych výrobcov automobilového priemyslu, ak chceli obstáť na svetových trhoch.

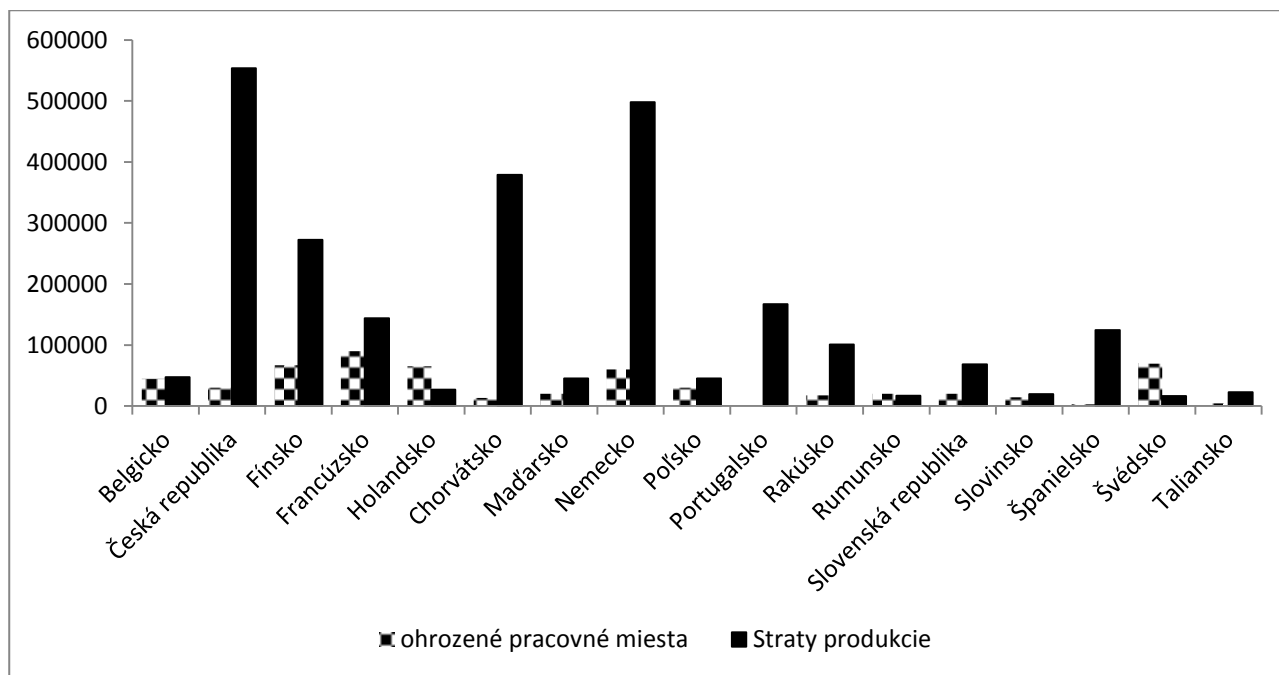
III. Covid-19 a automobilový priemysel

Pri úvahách o vplyve súčasnej pandémie a z opatrení na jej zvládnutie nevyhnutne rezultujúcej ekonomickej krízy na automobilový priemysel je potrebné vychádzať z jeho špecifik. Automobilový priemysel je vzhľadom na komplikovanosť ním vyrábaných produktov, prevažne just - in time spôsobom dodávok komponentov, ako aj noriem a pravidiel, ktoré musí pri výrobe rešpektovať, absolútne globálnym odvetvím. To bol aj jeden z dôvodov, pre ktorý ho pandémia koronavírusu zasiahla tak výrazne a kvôli výpadku dodávok z krajín, ktoré boli pandémiou zasiahnuté s časovým predstihom pred Európou, aj skôr ako ostatné odvetvia. K výrazným charakteristikám automobilového priemyslu spolu s jeho globalizáciou patrí, dalo by sa zdať paradoxne, vysoko koncentrovaná firemná štruktúra, v rámci ktorej má niekoľko veľkých vedúcich firiem kontrolu nad globálnymi dodávateľskými reťazcami. Celkovo jedenásť montážnych firiem z USA, Európskej únie a Japonska má dominantné postavenie v celosvetovej produkcii automobilov (ACEA, 2018). Koncentrácia montážnych firiem a systémových dodávateľov sa od deväťdesiatych rokov minulého storočia priebežne zvyšovala fúziami, akvizíciami a na akciách založenými alianciami. Konečná montáž a do určitej miery aj produkcia komponentov sa z nákladových aj politických dôvodov sústreďovala blízko koncových trhov. Čo sa nákladov týka, preprava viacerých automobilových komponentov, ako sú napr. podvozky alebo sedadlá, je cenovo náročná, a preto ich výroba býva zvyčajne lokalizovaná v blízkosti montážnych závodov a koncových trhov (Sturgeon a Florida, 2000). Zabezpečenie geografickej blízkosti dodávateľov vyplývalo aj z požiadaviek na zoštíhlenie výroby. To bolo aj dôvodom pokračujúcej fragmentácie výrobných procesov. Zároveň sa zintenzívňujú snahy o umiestnenie nových výrobných zariadení mimo doterajších tradičných výrobných oblastí, do regiónov ponúkajúcich priaznivejšie podnikateľské prostredie a veľké nenasýtené trhy. Z daného rezultuje, že napriek rýchlo napredujúcej globalizácii odvetvia počínajúc deväťdesiatymi rokmi minulého storočia stále je preň charakteristická regionálna štruktúra globálnej produkcie. Táto charakteristika odlišuje automobilový priemysel od takých odvetví ako napr. odevný či elektrotechnický priemysel, ktorých integrácia má celosvetové rozmery. V automobilovom priemysle existuje na rozdiel od mnohých iných priemyselných odvetví len málo plne generických častí alebo systémov, ktoré by mohli byť bez akéhokoľvek prispôsobenia použité v širokej škále iných produktov: dizajn vozidla treba upravovať v závislosti od výkonnostných charakteristík komponentov, ktoré sú pre každý model odlišné. Vysoká úroveň technológie spolu s dôrazom kladeným na dodržiavanie bezpečnostných noriem sú ďalšími charakteristikami tohto mimoriadne rýchlo sa rozvíjajúceho odvetvia.

Treba zdôrazniť, že súčasná kríza sa výrazne odlišuje od tej z roku 2008. Zo dňa na deň sa v jednotlivých krajinách zastavila ekonomika, podniky prestali produkovať. Realitou sa stal

deštruktívny scenár, s akým predtým nikto nepočítal. Na rozdiel od krízy v roku 2008 musia výrazným existenčným problémom čeliť všetci producenti i od ich produkcie závislé dodávateľské firmy. Automobilový priemysel sa musí vyrovnávať s prudkým poklesom dopytu a investícií. Výrazne ho obmedzilo náhle a rozsiahle zastavenie výroby, keďže kvôli opatreniam prijatým vládami jednotlivých krajín proti šíreniu koronavírusu museli pracovníci zostať zo dňa na deň doma, zásobovacie reťazce sa zastavili a továrne prerušili výrobu. Účinok koronavírusu na automobilový priemysel je bezprecedentný. Takmer úplné zastavenie výroby vozidiel v Európe a uzavretie maloobchodnej siete viedlo k ohrozeniu 13,8 miliónov pracovných miest. Podľa údajov ILO (2020) klesol v EÚ predaj automobilov už vo februári 2020 v porovnaní s februárom 2019 o 7,7%. Všetky štyri najdôležitejšie automobilové trhy EÚ zaznamenali výrazný pokles dopytu v roku 2020, v Nemecku predstavoval pokles 9%, vo Francúzsku 7,8%, v Taliansku 7,3% a napokon v Španielsku 6,8%. Podľa údajov ACEA (2020a) sú v jednotlivých krajinách bezprostredne ohrozené nasledovné počty pracovníkov a možno očakávať nasledovné straty produkcie (obrázok č. 5):

Obrázok č. 5: Vplyv pandémie na zamestnanosť a produkciu automobilového priemyslu vo vybraných krajinách EÚ



Zdroj: ACEA 2020a

V apríli 2020 zaznamenala registrácia nových osobných automobilov v Európskej únii medziročný pokles o 76,3% (ACEA 2020a). Každý z trhov EÚ zaznamenal v apríli dvojciferný pokles, najväčšie straty však utrpeli Taliansko (pokles registrácie nových automobilov o 97,6%) a Španielsko (96,5%), teda v krajinách EÚ najviac zasiahnutých koronavírusom. Čo sa ostatných

hlavných trhov EÚ týka, klesol v Nemecku dopyt o 61,1%, zatiaľ čo vo Francúzsku v apríli došlo k poklesu o 88,8% (ACEA 2020a). Podľa viacerých odhadov sa v roku 2020 predpokladá celosvetovo prepád produkcie automobilového priemyslu o 16% (Accenture, 2020). Optimistickejšie sú predpovede IHS Markit, podľa ktorých bude pokles dopytu po produktoch automobilového priemyslu v roku 2020 v porovnaní s rokom 2019 dosahovať „iba“ o niečo viac ako 12%, čo predstavuje zhruba 78,8 milióna vozidiel. Aj tak však výrazne predstihne 8% pokles, ktorý bol zaznamenaný počas celosvetovej recesie v rokoch 2008 – 2009. Podľa odhadov Counterpoint Technology Market Research by mal medziročný percentuálny pokles predaja automobilov v EÚ, ale aj v globálnom meradle dosahovať dvojčíferné čísla (tabuľka 1). Pokles dopytu po automobiloch následne negatívne ovplyvní aj produkciu firiem dodávateľských reťazcov.

Tabuľka 1: Vplyv Covid-19 na predaj automobilov

Krajina	Predaj automobilov		% zmena (odhad)
	2019 (mil. ks)	2020 (mil. ks, odhad)	
Čína	25,7	21,9	-14,8
USA	17,6	13,4	-24,1
Európa	18,3	13,6	-25,7
Zvyšok sveta	28,4	23,0	-19,0
Celkom	90,0	71,9	-20,2

Zdroj: ACEA 2020a

Na zmiernenie dopadov na zamestnanosť viaceré krajiny EÚ zaviedli tzv. kurzarbeit, systém, ktorý vznikol v Nemecku ešte v roku 1918. Ide o finančnú dávku medzi štátom a zamestnancom vypočítanú z jeho mzdy. Krajiny, ktoré sú na to pripravené, ju vyplácajú priamo z úradu práce, napríklad Nemecko. Ostatné na to využívajú zamestnávateľov. Kurzarbeit, v preklade skrátaná pracovná doba, je teda systém, v ktorom sa zamestnanci a zamestnávatelia dohodnú alebo sú nútení akceptovať redukciu pracovného času a vyplatenú mzdy. Systém predpokladá účasť štátu, ktorý pokrýva spravidla časť mzdy dotknutých zamestnancov s cieľom zachrániť pracovné miesta v ekonomike. Ak systém funguje, štát prispieva na mzdy zamestnancov v čase krízy, keď firmy produkujú v obmedzenom režime, alebo sú ako v prípade súčasnej pandémie výrobu na určité obdobie odstaviť úplne. Firmy tak nie sú nútené, prepúšťať, neprídu o vysokokvalifikovaných a vyškolených pracovníkov, čo znamená výraznú úsporu mzdových nákladov aj do budúcnosti, po odznení krízy. Je to opatrenie, ktoré možno zaviesť veľmi rýchlo a účinne, ak má štát dostatok finančných prostriedkov. EÚ plánuje vyčleniť pre jeho zavedenie v členských štátoch 100 mld. Eur. Negatívom je jeho dopad na verejné financie a skutočnosť, že ho možno využiť iba krátkodobo, za

predpokladu, že recesia bude dočasná. Veľké zmeny možno očakávať aj vo formách zamestnávania v automobilovom priemysle. Viacerí podniky avizujú zníženie počtu pracovných zmlúv na dobu neurčitú, budú viac využívať agentúrnych zamestnancov.

Kým nebude vyvinutá vakcína alebo liek na koronavírus, bude potrebné v záujme zabezpečenia zdravia zamestnancov urobiť aj viaceré zmeny v organizácii výroby, konkrétne zabezpečiť potrebné odstupy medzi pracovníkmi. Najmä pre montážne linky automobilov bude splnenie tejto požiadavky predstavovať nielen veľkú výzvu, ale aj zníženie výrobnéj kapacity. Navyše môže byť ich realizácia finančne náročná, najmä pre menšie firmy dodávateľského reťazca.

Ako bolo uvedené, automobilový priemysel stál už pred vypuknutím pandémie pred viacerými výzvami, ktorých zvládnutie vyžadovalo bezprecedentnú transformáciu nielen jeho technológií, ale aj obchodných modelov a foriem manažmentu. Po počiatočnom prerušení dodávok a zastavení výroby čelí toto odvetvie v súčasnosti výraznému poklesu dopytu, pričom dĺžka obdobia potrebného na obnovenie predkrízovej úrovne sa zatiaľ nedá predvídať. Vzhľadom k obmedzenému priestoru na znižovanie fixných nákladov majú viacerí výrobcovia nedostatok finančných prostriedkov na prežitie dlhodobejšieho krízového obdobia. Pokles kapitalizácie trhu pravdepodobne zrýchli proces konsolidácie priemyslu a bez zabezpečenia dodatočného financovania sa pre niektorých hráčov zvýši riziko zotrvania na trhu.

Na zmiernenie dopadov ostatnej celosvetovej krízy 2008 – 2009 mnohé krajiny využili tzv. „šrotovné“. Nakoľko v súčasnosti je množstvo už vyrobených áut čakajúcich na kupcov, šrotovné by mohlo znížiť ich stavy, na zvýšenie objemu výroby by však až taký výrazný vplyv nemalo. S určitými alternatívami šrotovného ale niektoré krajiny EÚ uvažujú aj v súčasnosti. Napríklad Francúzsko pripravuje nový stimulačný program na nákup nových automobilov, v rámci ktorého by mala byť dotovaný nákup vozidiel na alternatívny pohon, čo zahŕňa aj automobily na tepelný pohon. Tie podľa francúzskych distribútorov predstavujú 96% zásob automobilov určených na predaj. Z toho zrejme pramení aj zmena oproti pôvodne zamýšľanému prvoradému dotovaniu elektrických a hybridných vozidiel. Do tejto novej schémy „šrotovného“ by mali byť podľa francúzskeho ministerstva hospodárstva zahrnuté iba najčistejšie druhy vozidiel s vnútorným spaľovaním. Napriek tomu sú namiesto obavy kvôli znečisťovaniu životného prostredia, pretože dotačná schéma na prekonanie ostatnej krízy boli výrazne dotované najmä nákupy energeticky náročných SUV vozidiel. Obavy z negatívneho vplyvu na životné prostredie sú namiesto aj v prípade Slovenska, kde by situáciu by paradoxne viac ovplyvnilo, ak by šrotovné bolo zavedené napríklad v Nemecku alebo vo Francúzsku. Veľká časť starších motorových vozidiel, ktoré by ich majitelia vymenili za nové, by sa s veľkou pravdepodobnosťou stala súčasťou ponuky na Slovensku či v ostatných

krajinách V4, ako tomu bolo aj v prípade už spomínanej celosvetovej finančnej krízy v rokoch 2008 – 2009. V súčasnosti sa javí, že viac ako šrotovné by automobilovému priemyslu pomohlo uvažovanie o nástrojoch budúcnosti.

Koronavírus je jednou z prvých pandémieí svojho druhu, ktorá donútila automobilový priemysel prehodnotiť svoje podnikanie. Je stále jasnejšie, že jej následkom bude najhoršia kríza v histórii, ktorá kedy zasiahla automobilový priemysel. V dôsledku ostatnej finančnej krízy podľa údajov ACEA (2020b) bol automobilový priemysel a jeho dodávateľské odvetvia v rámci EÚ nútený znížiť počet pracovných miest o 440.000. Ak sa neprijmú účinné opatrenia, budú dôsledky pandémie oveľa horšie. Podľa vyjadrení niektorých odborníkov z oblasti automobilového priemyslu bude odvetvie potrebovať viac ako 10 rokov, aby sa dostalo na úroveň z roku 2019 (Accenture, 2020). Ešte v roku 2017 Európska komisia (EC, 2017) konštatovala, že jej priemysel čelí viacerým výzvam, voči ktorým nie je imúnny ani automobilový priemysel. Za rozhodujúce hybné sily potrebných zmien označil také oblasti ako robotika, umelá inteligencia, pokrokové formy skladovania energie, elektrifikácia a bio-ekonomika. Za hlavné výzvy, ktoré sú zároveň aj príležitosťami, Európska komisia (EC, 2017) označila nasledovné:

1. Nové technológie a nové obchodné modely budú mimoriadne investične náročné, obzvlášť kvôli zvládnutiu prechodu na alternatívne nosiče energie, elektrifikáciu, prepojené a autonómne vozidlá. Ďalšie investície sú potrebné v záujme využitia výhod plynúcich z vývoja pokrokových metód výroby (vrátane väčšej digitalizácie a robotizácie výrobného procesu), moderného spracovania údajov o vozidlách, 3D tlače, nových komunikačných technológií a používania nových materiálov;
2. Klimatické ciele, environmentálne a zdravotné výzvy vrátane snahy o drastické zníženie emisií skleníkových plynov výrobou vozidiel umožňujúcich prechod na alternatívne zdroje energie s nulovými emisiami a zásuvné hybridné vozidlá, ktoré majú stále väčší podiel na trhu;
3. Spoločenské zmeny a zmeny v prístupe spotrebiteľov a v spôsobe, akým nakupujú a používajú autá a iné dopravné prostriedky, ktoré stimuluje rastúca prístupnosť využívania elektronického obchodu;
4. Globalizácia a nástup nových hráčov, vrátane poskytovateľov technológií, potreba zabezpečiť rovnaké podmienky pre všetkých a spravodlivý prístup na trhy, ako aj potreba zabezpečenia konkurencieschopnosti európskeho priemyslu a produkcie tovaru zodpovedajúceho požiadavkám dopytu na medzinárodných trhoch;
5. Štrukturálne zmeny v dôsledku prechodu na vozidlá s nízkymi až nulovými emisiami, čoraz väčší podiel vozidiel s automatizovaným riadením (vozidlá bez vodiča), čo môže mať

významné dôsledky nielen pre trh práce prejavujúce sa v potrebe jeho reštrukturalizácie, získavaní nových zručností, rekvalifikácii atď., ale aj pre celý hodnotový reťazec.

V súčasnosti sa k nim pridala ďalšia, oveľa ťažšie zvládnuteľná výzva – prekonanie dôsledkov pandémie koronavírusu. Práve kvôli tomu bude nevyhnutné pokračovať v digitalizácii produkcie, ktorá umožní ďalekosiahle zmeny výrobných procesov, ich výstupov a modelov podnikania. Inteligentné továrne môžu zvýšiť flexibilitu produkcie. Schopnosť rýchlej konfigurácie strojov umožní produkciu malých vzoriek, čím bude možné v maximálnej miere prispôbiť výrobu novým požiadavkám zákazníkov. Takáto flexibilita zároveň stimuluje inovácie, nakoľko prototypy alebo nové produkty môžu byť vyrobené rýchlo a bez potreby zložitej výmeny nástrojov alebo nastavenia nových výrobných liniek. Zníži sa aj čas potrebný na produkciu jednotlivých tovarov. Digitálny dizajn a virtuálne modelovanie výrobných procesov môže skrátiť čas od dizajnu produktu až po jeho dodávku. To všetko môže výraznou mierou prispieť k oživeniu produkcie.

Významnú úlohu budú v procese zvládania následkov koronakrízy zohrávať verejné politiky. V procese uvažovania o opatreniach na reštart automobilového priemyslu vyvstáva hlavne jeho odolnosť voči súčasným tlakom tak zo strany zmeny preferencií zákazníkov, ako aj zo strany ekologizácie ekonomík. Modernizácia automobilového priemyslu musí reflektovať na budúce zmeny foriem dopravy, potrebu dostupnosti vysoko kvalitných bezpečných áut, ktoré budú zodpovedať nárokom nízko uhlíkovej a digitálnej spoločnosti.

Treba rátať aj s tým, že kúpa auta nebude patriť určité dobu k nákupným prioritám väčšiny spotrebiteľov, že zmeny nákupného správania zákazníkov, ich napríklad odlišné preferencie v oblasti požiadaviek na mobilitu, preferovanie online nakupovania môžu pretrvávať aj po odznení pandémie. To si vyžaduje odpovedať aj na otázku, či ľudia v budúcnosti neuprednostnia pred nákupom auta jeho zapožičanie na určité obdobie, či budú ľudia chcieť viac ako doteraz cestovať autom a podobne. Výskum poukazuje (Žákovič, 2020) na tieto zaujímavé zmeny:

- Záujem o prepravu autom výrazne stúpol u tých spotrebiteľov, ktorí auto nevlastnia, ale počas pandémie stratili dôveru v prostriedky hromadnej dopravy.
- Spotrebiteľia, ktorí nevlastnia auto, označujú za hlavný dôvod jeho kúpy to, že šoférovanie môže výrazne znížiť šancu nakaziť sa, a to v porovnaní s využitím prostriedkov hromadnej dopravy.
- Silná preferencia nákupu a ponákupného servisu online, vrátane možnosti testovacej jazdy a doručenia vozidla spôsobom “door to door”.
- Pri kúpe prvého auta je u zákazníkov momentálne najdôležitejším parametrom nie cena ani typ vozidla, ale výbava, ktorá podporuje zdravie vodiča a posádky (filtre klimatizácie, ktoré ničia

baktérie, interiér z antibakteriálnych materiálov, či snímanie zdravotného stavu vodiča a posádky – napr. senzory tepu, tlaku, tváre pod.)

Skutočnosť, že viaceré automobilky sú po odstávke znovu otvorené, ešte neznamená, že produkcia dosahuje potrebnú úroveň, ani že všetci zamestnanci sú späť v práci - naopak. Len za mesiac máj bol v Európskej únii zaznamenaný 76,3% medziročný pokles registrácie nových osobných automobilov. Podľa producentov automobilov (ACEA, 2020b) na to, aby sa automobilový priemysel dostal z recesie, urgentne potrebuje:

- Koordinované opatrenia na podporu oživenia svojej produkcie vrátane trhu s náhradnými dielmi a harmonizáciu usmernení zameraných na preventívne zdravotné a bezpečnostné opatrenia na pracovisku. Koordinácia je potrebná aj kvôli tomu, aby sa zabránilo ďalšiemu narušovaniu sofistikovaných dodávateľských reťazcov.
- Aby podniky neboli nútené v dôsledku zastavenia produkcie a zníženia dopytu prepúšťať, je v záujme záchrany pracovných miest naďalej nevyhnutná dotácia zo strany štátu.
- Na zachovanie pracovných miest a na opätovné spustenie montážnych liniek, čo umožní tvorbu financií na investovanie do udržateľnej budúcnosti, je potrebná stimulácia dopytu. Opatrenia na úrovni Únie by mali byť koncipované tak, aby dotácie boli poskytované na produkty spĺňajúcim požiadavky udržateľného rastu.
- Urýchliť a vytvoriť priaznivé podmienky pre tvorbu infraštruktúry nabíjania a dopĺňania paliva pre všetky typy vozidiel.
- Vytvárať a posilňovať trhové stimuly na podporu zavádzania alternatívnych pohonných zdrojov.
- Podporovať priemyselnú spoluprácu a priemyselné aliancie s cieľom zdieľať náklady na vývoj a zavádzanie nových nízkouhlíkových technológií na trh.
- Uľahčiť investície do digitálnej infraštruktúry novej generácie ako kľúčového prostriedku na spoľahlivejšie prepojenie medzi vozidlami.
- Rozvíjať princípy obehového hospodárstva v dodávateľských reťazcoch automobilového priemyslu (recyklácia, opätovná výroba, opätovné použitie).
- Podporovať malé a stredné podniky pôsobiace v automobilovom priemysle redefinovaním ich postavenia v rýchlo sa meniacom hodnotovom reťazci.
- EÚ sa musí snažiť o udržanie celého hodnotového reťazca automobilového priemyslu v rámci EÚ. Prispelo by to k posilneniu európskeho automobilového priemyslu ako lídra v produkcii čistých vozidiel, ako aj plnení klimatických cieľov a udržaní aj vytváraní vysokokvalifikovaných pracovných miest.

ACEA v spolupráci s ďalšími 3 združeniami pôsobiacimi v rámci odvetvia automobilového priemyslu sformulovali a adresovali Európskej komisii 21 odporúčaní zameraných na podporu

reštartu automobilového priemyslu a oživenie ekonomiky v súlade s plnením kľúčových výziev súčasnosti – prechodu k digitálnej a uhlíkovo neutrálnej spoločnosti (ACEA, 2020c).

Veľkou výzvou pre automobilový priemysel je iniciatíva Európskej komisie „EÚ ďalšej generácie“, ktorá predstavuje rozsiahle možnosti pokrízovej obnovy európskeho hospodárstva a celej spoločnosti. V rámci priemyslu sú hlavné výzvy koncentrované na jeho modernizáciu, digitalizáciu a ekologizáciu. V oblasti automobilového priemyslu v európskom priestore je snahou iniciatívy podporiť nielen výrobu najkvalitnejších a najbezpečnejších automobilov, ale zabezpečiť aj dodržiavanie vysokých ekologických požiadaviek tak vo výrobe, ako aj používaní automobilov. Zvýšenie odolnosti automobilového priemyslu voči súčasným ohrozeniam zvyšuje nároky na výskum a vývoj v oblasti nových technológií.

Osobitným problémom automobilového priemyslu sa stáva zraniteľnosť hodnotových reťazcov, ktoré sa pod vplyvom skúseností zo súčasnej krízy budú pravdepodobne preskupovať, resp. sa posilní snaha umiestňovať veľkú časť produkčného reťazca do materskej krajiny. Vytvára sa tlak na hľadanie domácich dodávateľov, dôraz sa kladie na lokálnu produkciu s cieľom zabezpečiť dodávky aj v neočakávaných situáciách, akými súčasná kríza bezpochyby je. Zároveň existuje riziko, že mnohé nadnárodné spoločnosti zvážia repatriáciu časti svojich výrobných kapacít do materských krajín.

Pre slovenský automobilový priemysel sa snahy viacerých európskych krajín podporiť rozvoj domácich ekonomík v zmysle poskytovania finančnej pomoci domácim producentom s cieľom znížiť ich aktivity v zahraničí môžu stať do veľkej miery likvidačnými. Uvedené iniciatívy môžu viesť k zníženiu nielen celkových investícií, ale hlavne investícií na modernizáciu výroby v zahraničných pobočkách, čo môže rozvoj automobilového priemyslu na Slovensku vo veľkej miere utlmiť (modernizačné investície do automobilového priemyslu budú smerovať hlavne do materských firiem)¹.

IV. Záver

Zásadnou úlohou pre tvorcov politik teda aj naďalej zostáva vytvorenie rámca podporujúceho výskum, vývoj a inovácie, rámca, ktorý vytvorí priaznivé prostredie pre výrobu konkurencieschopných produktov a zabezpečí v dlhodobej perspektíve pracovné miesta. Opatrenia budú musieť byť zamerané nielen priamo na sektor automobilového priemyslu, ale aj na realizáciu postupných zmien v ďalších na toto odvetvie nadväzujúcich a s ním vnútorne prepojených oblasti. Musia byť orientované nielen na reštart odvetvia prostredníctvom stimulovania predaja a oživenia

¹ Takýto charakter má napr. miliardová podpora francúzskych automobiliek, ktorá je podmienená presunom produkcie zo zahraničia do Francúzska.

výroby, ale aj pokračovanie jeho podpory na ceste k uhlíkovo neutrálnej budúcnosti plnením cieľov Green Deal a ostatných cieľov v oblasti klímy. Aby bol reštart automobilového priemyslu úspešný, bude musieť parametre svojich produktov a marketingové stratégie prispôbiť aj novým trendom v oblasti dopytu, technológií a rozvoja obchodných modelov, napríklad obehovej ekonomiky, koncepcií, obchodnej a vedeckej spolupráce v oblasti prenosu technológií alebo využívania mobility ako služby.

Treba mať na zreteli, že digitálna revolúcia nie je výlučne o spotrebiteľoch, o uspokojovaní nových požiadaviek revolučným spôsobom. V prvom rade ide o produktivitu, o nové možnosti a cesty jej zvyšovania, teda v konečnom dôsledku o zvyšovanie konkurencieschopnosti, čo je kľúčovou pohnútkou zmien už celé desaťročia. Predpokladá sa napríklad skrátenie priemerného trhového cyklu jednej generácie vozidiel, čo bude vyžadovať reakciu vo forme rýchlejšej zmeny montážnych liniek. Vývoj celkového automobilového trhu bol ešte donedávna predvídateľný. V súčasnosti je rovnako ako jeho štruktúra, napr. dopyt po konkrétnych modeloch alebo úspešnosť nových špecializovaných modelov nepredvídateľnejší ako kedykoľvek predtým. V takýchto podmienkach sú rizikom nepružné kapitálové výdavky. Výrobné zariadenia musia byť adaptabilné, aby sa mohli zmeniť a prispôbiť na základe požiadaviek, ak jednotlivé modely nedosiahnu predpokladaný úspech na trhu. Dopyt po jednotlivých typoch vozidiel a možnostiach, ktoré ponúkajú, sa neustále mení, čomu sa musia nové technológie prispôbiť. Zvládnutie tejto požiadavky vyžaduje výrobné postupy, ktoré sú flexibilné a spoľahlivé. A napokon je tu požiadavka neustáleho znižovania nákladov na pracovnú silu. Argumenty za digitálne továrne sú presvedčivé. Z uvedeného vyplýva, že všetko je najmä o rýchlosti, prispôbivosti a nákladoch (Nemcová, 2018). Lebo vzhľadom k postaveniu automobilového priemyslu je jeho reštart kľúčový pre budúci vývoj ekonomiky nielen jednotlivých členských štátov, ale aj EÚ ako celok.

PodĎakovanie / Financovanie

Príspevok vznikol v rámci projektu VEGA č. 2/0002/18 „Inštitucionálne rámce ekonomického rozvoja SR v novej etape globalizácie“.

Literatúra

1. Accenture (2020) *Impact on the Automotive Industry: Navigating the Human and Business Impact of COVID-19*. Dostupné z: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-121/Accenture-COVID-19-Impact-Automotive-Industry.pdf (21.04.2020)
2. ACEA (2009). *Economic and Market Report 2008*. Dostupné z: <http://www.acea.be/statistics/tag/category/economic-and-market-outlook> (09.03.2018)

3. ACEA (2018) *Economic and Market Report 2017*. Dostupné z: <http://www.acea.be/statistics/tag/category/economic-and-market-outlook> (10.04.2018)
4. ACEA (2012). *The Automobile Industry Pocket Guide 2012*. Dostupné z: http://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_POCKET_GUIDE_2012_UPDATED.pdf (10.04.2019)
5. ACEA (2017). *The Automobile Industry Pocket Guide 2017 – 2018*. Dostupné z: http://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2017-2018.pdf (10.04.2019)
6. ACEA (2018). *The Automobile Industry Pocket Guide 2018 – 2019*. Dostupné z: http://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2018-2019.pdf (10.04.2019)
7. ACEA (2019). *The Automobile Industry Pocket Guide 2019 – 2020*. Dostupné z: https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2019-2020.pdf (15.05.2020)
8. ACEA (2020a). *Interactive map: Employment impact of COVID-19 on the European auto industry*. Dostupné z: <https://www.acea.be/news/article/interactive-map-employment-impact-of-covid-19-on-the-european-auto-industry> (21.05.2020)
9. ACEA (2020b). *Trade unions and auto sector call for an ambitious recovery plan*. Dostupné z: <https://www.acea.be/press-releases/article/trade-unions-and-auto-sector-call-for-an-ambitious-recovery-plan>. (26.05.2020)
10. ACEA (2020c). *25 ACTIONS for a successful restart of the EU's automotive sector*. Dostupné z: https://www.acea.be/uploads/publications/25_actions_for_successful_restart_EU_automotive_sector.pdf (28.05.2020)
11. Bailey, D. - de Ruyter, A. – Michie, J. – Tyler, P. (2010). Global restructuring and the auto industry. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, No. 3, pp. 311–318 doi:10.1093/cjres/rsq029 (04.06.2018)
12. Counterpoint Technology Market Research (2020). *Weekly Update: COVID-19 Impact On Global Automotive Industry*. Dostupné z: <https://www.counterpointresearch.com/weekly-updates-covid-19-impact-global-automotive-industry/> (28.05.2020)
13. European Commission (2010). *EU Manufacturing Industry: What are the Challenges and Opportunities for the Coming Years?* http://ec.europa.eu/enterprise/policies/industrial-competitiveness/economic-crisis/files/eu_manufacturing_challenges_and_opportunities_en.pdf (03.02.2017)
14. European Commission (2012). *A stronger European Industry for Growth and Economic recovery. Industrial Policy Communication Update*. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0582:FIN:EN:PDF>. (03.02.2017)

15. European Commission (2014). *For a European Industrial Renaissance*. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0014&from=EN>. (03.02.2017)
16. European Commission (2015). *Digital transformation of European industry and enterprises*. Strategic Policy Forum on Digital Entrepreneurship. Dostupné z: ec.europa.eu/DocsRoom/documents/9462/attachments/1/translations/en/renditions/native (04.05.2017)
17. European Commission (2017). *The Report of the High Level Group on the Competitiveness and Sustainable Growth of the Automotive Industry in the European Union (GEAR 2030)*, Dostupné z: <https://clepa.eu/wp-content/uploads/2017/10/GEAR-2030-Final-Report.pdf> (04.05.2017)
18. European Economic and Social Committee (2016). *The automotive industry on the brink of a new paradigm?* (Information report). Dostupné z: [www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/information-reports/information-reports/automotive-industry-brink-new-paradigm-information-report](http://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/information-reports/automotive-industry-brink-new-paradigm-information-report) (15.05.2020)
19. Fífeková, E, Nemcová, E., Sabo, Š. (2010). Automobilový priemysel EÚ a hospodárska kríza. *Prognostické práce*, roč. 2, č. 1, s. 51 – 78, dostupné z: http://www.prog.sav.sk/sites/default/files/2018-03/clanok_4_SABO_Fifekova_Nemcova_automobilovy_priemysel.pdf (02.03.2012)
20. IHS (2009). IHS Global Insight. *Impacts of the Financial and Economic Crisis on the Automotive Industry*. In: Impact of the Financial and Economic Crisis on the European Industries, Compilation of Briefing Papers, policy department Economic and Scientific Policy, European Parliament – IP/A/ITRE/2009-04 PE 416.215, 2009
21. IHS Markit (2020) Automotive Recovery Assessment Report/COVID-19. Dostupné z: <https://cdn.ihsmarkit.com/www/pdf/0520/IHS-Markit-Automotive-Rapid-Response-Recovery-Assessment-Vol-2-15May2020.pdf> 24.05.2020
22. ILO (2020). *COVID-19 and the automotive industry*. Dostupné z: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/briefingnote/wcms_741343.pdf (11.05.2020)
23. Nemcová, E. (2018) Automotive Industry of EU in the New Age of Industrial Development. In *Economic and Social Policy: Proceedings of the International Scientific Conference*, September 4-6, 2018, Čeladná, Czech republic. Editor: Veronika Nálepková. - Ostrava : Vysoká škola sociálně správní, 2018, s. 279-289. ISSN 2571-1776
24. OECD (2009). *OECD Economic Outlook*, Volume 2009, Issue 2, Dostupné z: https://read.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-economic-outlook-volume-2009-issue-2/the-automobile-industry-in-and-beyond-the-crisis_eco_outlook-v2009-2-3-en#page1 (15.08.2018)

-
25. Sturgeon, T., Florida, R. (2000). *Globalization and Jobs in the Automotive Industry*. Dostupné z: <https://www.creativeclass.com/rfcgdb/articles/2000-The World That Changed The Machine Globalization And Jobs In The Automotive Industry.pdf> (15.08.2018)
26. Žákovič, M. (2020) *Ako kríza automobilového priemyslu ovplyvní slovenské firmy*. Dostupné z: <https://www.podnikajte.sk/manazment-a-strategia/kriza-automobiloveho-priemyslu-slovenske-firmy> (23.05.2020)

PIAAC ASSESSMENT: SLOVAKIA WITHIN THE OECD

Eduard Nežinský¹², Ivana Studená³

Abstract

Non-parametric DEA models are widely used in empirical investigations in educational domain. We demonstrate the merits of this approach analysing OECD PIAAC 2012 test results. Employing the basic radial CCR model, we compute a DEA-based index and expose capabilities of DEA to identify relative strong points of the subjects under evaluation. Though DEA based ranking are shown to be similar to the one derived from simple averages, the former can potentially provide insightful information from the detailed optimization results. Although in the particular dataset Japan towered over the rest of the countries and did not allow to fully demonstrate the capabilities of the approach, we find DEA a promising technique for future intertemporal analysis of PIAAC data.

Keywords

PIAAC, data envelopment analysis, DEA based index

I. Introduction

Accumulation of knowledge and skill is regarded as one of the key drivers of economic development since the birth of economics. Understanding that “the acquired and useful abilities of all the inhabitants or members of the society” present “a capital fixed and realised, as it were, in his person” can be traced as far back as Smith (1776). From the first attempt to use human capital (HK hereafter) in empirical study explaining productivity growth, a wide variety of measures have been used. Thus Mankiw et al. (1992) employ average years of schooling as a proxy for HK directly while in Hall & Jones (1999) educational level enters the labour efficiency function derived from Mincerian wage regression. Market return to education is also used in Inclusive Wealth Report which builds methodologically on Klenow & Rodriguez-Clare (2005). Barro-Lee estimates of average educational attainment used in early studies remain the most widely used HK indicator dataset. World Bank (2006, 2011) follows the residual approach where HK is included in intangible capital calculated as total wealth net of the produced and natural capital. In Jorgenson and

¹ Centre of Social and Psychological Sciences, SAS, Šancová 56, 811 05 Bratislava, Slovakia
E-mail: eduard.nezinsky@savba.sk

² University of Economics in Bratislava, Dolnozemska cesta 1, 85235 Bratislava, Slovakia

³ Centre of Social and Psychological Sciences, SAS, Šancová 56, 811 05 Bratislava, Slovakia. E-mail: ivana.studena@savba.sk

Fraumeni (1992) approach, five stages of individual's life are separated. Subsequently, HK is considered as the monetary value of the lifetime income computed.

Apart from the mere measure of educational attainment, two international OECD sponsored tests attempt to assess the *quality* of human capital. PISA tests assess student knowledge and skill whereas PIAAC zeroes in on adults. Tests results are aggregated in total score indicators, both have been massively used in empirical literature. In general, there is a trade-off – between the scope of the data needed for a measure, the sophistication of the measure, and the number of countries for which estimates currently exist.

On the eve of adults testing in Slovakia, we provide a sketch of the PIAAC – of multidimensional performance evaluation taken in applied literature. Further, we offer an empirical example to demonstrate merits of the DEA models that are often used in the domain of educational performance assessment.

We proceed by outlining PIAAC evaluation and discussing the regular way of constructing the total performance index in Section II. In Section III we introduce DEA models and DEA-based indices to derive a theoretical *best practice* frontier for PIAAC performance. Examples of the use of non-parametric approach in international comparison studies are presented. Section IV provides empirical estimation of the frontier and relative efficiency measures for selected OECD countries. Finally, Section V concludes and outlines potential methodological refinements.

II. PIAAC adult skills evaluation

Developed and organized by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Program for the International Assessment of Adult Competencies (PIAAC) is a cyclical multidimensional assessment of adults' skills in three domains:

- Literacy (L) – defined as “*understanding, evaluating, using and engaging with written text to participate in society, to achieve one's goals and to develop one's knowledge and potential*” (OECD, 2012)
- Numeracy (N) – assesses basic math and computational skills considered fundamental for operating in everyday life: work as well as social interactions.
- Reading components (RC) concentrates on elements of reading: reading vocabulary, sentence comprehension, and basic passage comprehension. Comparability across the range

of languages in the participating countries is ensured. Designed to provide information about the literacy at the lower end of the L spectrum.

- Problem solving (PS) in technology-rich environments – defined as “*using digital technology, communication tools, and networks to acquire and evaluate information, communicate with others, and perform practical tasks.*” (OECD, 2012)

The former two competency domains (L and N) are mandatory for participating regions or countries. However, most of the countries assess PS as well. Thus, the evaluation is three-dimensional. Each subdimension (domain) result is reported either as a scale score ranging 0 – 500 or as percentages of adults reaching given performance level. PIAAC reports five proficiency levels for L and N and four levels for PS. The results undergo a thorough statistical processing including applying sample weights, trimming extreme weights, or calibration to the U.S. Census Bureau’s 2010 American Community Survey population (OECD, 2013). The results reported contain additional information about the uncertainty of each statistic in the form of standard errors.

Having PIAAC results for the three domains at hand, the problem of the overall score arises. The need for a single indicator occurs in empirical cross-country comparison studies employing students (PISA) or adults (PIAAC) performance and/or as a proxy for human capital in analyses of educational systems or public spending efficiency in the regression framework. Previous works massively employed PISA results that feature similar data structure – three evaluated domains – to those of PIAAC.

Afonso & Aubyn (2006) use PISA tests results in DEA output-oriented model, the scores subsequently enter the second stage Tobit regression. Giambona et al. (2011) measure the efficiency of the European educational systems employing PISA 2006 results in DEA model. Lower and upper bounds for efficiency scores are obtained via bootstrap algorithm. Looking at the PISA scores as output variables for the 20 countries, Agasisti (2014) assesses the efficiency of public spending on education. Agasisti et al. (2019) further develop this approach combining DEA model with discrete multiple criteria evaluation. Most recently, Coco et al. (2020) investigate the effect of students’ different socioeconomic background on educational performance measured by PISA scores by means of a sophisticated slacks-based DEA model. Sometimes, results from non-parametric and semi-parametric models are compared for robustness check. Thus, Sutherland et al. (2007) collate DEA and stochastic frontier (SFA) estimates of public spending efficiency in the primary and secondary education sector. As has been demonstrated, DEA models provide a widely applied framework for educational performance evaluation. Although most of the studies utilize PISA data, structural similarity of the tests renders DEA useful in PIAAC evaluation as well. All-in

assessment would contrast with some studies that only use particular PIAAC results, e.g. numeracy proficiency.

III. Construction of DEA-based index

DEA is an evaluation technique designed to assess efficiency of the economic subjects, referred to as DMUs (Decision Making Units). Each DMU is viewed as transforming a given set of inputs into outputs given the common technology. The DEA routine is aimed at determining *best practice* – 100 % efficient – subjects. The underperforming ones would be ascribed efficiency score lower than unit based on the “distance” from the efficiency frontier generated by efficient DMUs. The technology is not confined to production of goods or services, it could present any widely defined transformation process. Thus, DEA score would represent a measure of the relative efficiency.

Given the data for inputs and outputs of the set of DMUs ($\mathbf{X}$ and $\mathbf{Y}$ respectively), the basic DEA input oriented model originating from Charnes et al. (1978) takes the form of the linear program (LP).

$$\min_{\theta, \lambda} \quad \theta \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \theta \mathbf{x}_0 - \mathbf{X}\lambda \geq \mathbf{0} \quad (2)$$

$$\mathbf{Y}\lambda - \mathbf{y}_0 \geq \mathbf{0} \quad (3)$$

$$\lambda \geq \mathbf{0}, \quad (4)$$

where λ are intensity variables and subscript “0” refers to the data of the DMU under assessment. The *envelopment* program (1) – (4) operationalizes “distance” measurement (by means of the variable θ) and determining the efficiency frontier (by means of the constraints) simultaneously. The boundary is generated as linear combinations of the efficient DMUs, thus any *projection* of the inefficient DMU onto it could be interpreted as a *benchmark* and efficient subjects involved in the particular benchmark are said to be *peers* for the DMU under consideration.

The dual of the (1) – (4) is represented by optimization program

$$\max_{\mathbf{u}, \mathbf{v}} \quad \mathbf{u}^T \mathbf{y}_0 \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \quad \mathbf{u}^T \mathbf{Y} - \mathbf{v}^T \mathbf{X} \leq \mathbf{1}^T \quad (6)$$

$$\mathbf{v}^T \mathbf{x}_0 = 1 \quad (7)$$

$$\mathbf{u}, \mathbf{v} \geq \mathbf{0}, \quad (8)$$

where $\mathbf{u}$ and $\mathbf{v}$ represent weights assigned to outputs and inputs respectively. Constraints (6) could be viewed as the transformation of the expression

$$\text{efficiency} = \frac{\text{aggregated outputs}}{\text{aggregated inputs}} \leq 1$$

for each DMU. Optimization (5) – (8) delivers the optimal weighting of inputs and outputs by the respective weights $\mathbf{v}$ and $\mathbf{u}$ allowing the DMU under evaluation to emphasize its strengths. To maximize its efficiency score (5), DMU puts more weight to its relatively better (lower in value) input or (higher in value) output. The constraints (6) keep the resulting score within the sensible range of 0 – 1. Alongside, weights chosen by a particular DMU are employed to evaluate the rest of the pool preventing DMUs with “poor data” be efficient. Due to duality properties, efficiency scores from LP and DP are identical in the optimum. Thus they offer two different perspectives on efficiency.

In general, DEA assesses the outputs-to-inputs ratio. However, one is often interested in the mere performance neglecting the sources or efforts put into activities. The common way of evaluating multidimensional performance is index value usually computed as a weighted sum of subindices ascribed to the constituent dimensions (taking the average is equivalent to imposing weights equal to the reciprocal of the total number). This approach assumes constant preferences across the entities under evaluation as well as constant marginal rate of substitution between the dimensions. DEA presents a more flexible approach advocated and exemplified in a number of empirical studies. Synthetic or composite indicators have been elaborated by Cherchye (2001, 2004, 2007a, 2008) with application to macroeconomic performance, social inclusion, EU market dynamics or technology achievement and most recently van Puyenbroeck (2020). Cherchye (2007b) and Karagiannis (2016) provide a general discussion on ‘benefit-of-the-doubt’ composite indicators. Liu (2011) offered an approach without explicit inputs entering the model.

For DEA-based indices, input matrix $\mathbf{X}$ collapses to unit vector and the optimizations (1) – (4) and (5) – (8) are given output orientation. Most markedly, we normalize outputs changing the weighted sum of the latter (6) to $\mathbf{u}^T \mathbf{y}_0 = 1$. Variable and constant returns to scale render the same results. We propose that PIAAC performance of OECD countries is assessed by DEA-based composite indicator. In programs (1) – (4) and (5) – (8) performance values in three dimensions (L – literacy,

N –numeracy, and P – problem solving) present three outputs of the country. All countries are endowed by the single unit input uniformly.

IV. Empirical findings

In our analysis, OECD countries act as DMUs. Raw data for the three dimensions of PIACC 2012 results are in Appendix, Table A1. Our dataset consists of 25 OECD countries leaving aside France, Spain, and Italy due to the missing data on Problem Solving.

Three main dimensions of PIAAC performance are considered output indicators. Given the fixed unit input, the DEA-based index is calculated by means of optimization (1) – (4) for each country. Thus efficiency scores computations involve solving 25 optimizations. Efficiency frontier is determined by the single DMU – Japan. The more the inefficient country falls behind Japan, the lower the resulting score from our model. These countries' scores range from 0,857 (Chile) to 0,984 (Finland) averaging at 0,947. The radial interpretation is that on average, there is a 5,3% gap in performance with respect to Japan. Having the single efficient dominant country in this particular dataset, all the virtues of DEA cannot be demonstrated.

Table 1: Averages and DEA-based index (scores and ranks)

	<i>avg</i>	<i>ccr</i>	<i>ravg</i>	<i>rccr</i>
Australia	278,7	0,983	7	3
Austria	275,9	0,966	11	9
Canada	273,6	0,959	14	13
Chile	225,4	0,857	25	25
Czech Republic	277,5	0,963	8	10
Denmark	277,5	0,966	9	8
Estonia	275,7	0,948	12	16
Finland	286,9	0,984	2	2
Germany	275,0	0,963	13	10
Greece	254,3	0,874	22	23
Hungary	271,7	0,949	16	15
Ireland	266,1	0,942	19	17
Israel	259,4	0,932	21	20
Japan	292,7	1	1	1
Mexico	229,8	0,884	24	22
Netherlands	283,6	0,974	3	6
New Zealand	279,7	0,976	6	5
Norway	280,7	0,973	5	7
Poland	267,3	0,935	17	19
Korea	273,1	0,963	15	10
Slovakia	276,9	0,956	10	14
Slovenia	261,0	0,916	20	21
Sweden	282,1	0,980	4	4
Turkey	232,2	0,861	23	24
United States	266,6	0,942	18	17

Source: Own computation

In Table 1, averages across the L, N and PS PIAAC subscores are displayed (the column *avg*). Based on those values, the ranking *ravg* is generated. Likewise, *rccr* rankings are derived from CCR scores. Naturally, Japan gets top rank since it outperforms the rest of the pool in each domain. DEA-scores-based ranking is at some variance with the average-based one showing Spearman rank correlation of 0,953. Along with Estonia, there is a four places difference for Slovakia in the rankings, DEA approach being more stringent. On the other hand, Korea is favoured by DEA despite the fact that Slovakia outperforms Korea in two dimensions (L and N). This point to the problem of *weak* efficiency and *slacks* in performance which had left neglected by CCR model and should be tackled in a refined approach.

Nevertheless, some information can be extracted from the detailed CCR results. In Table 2, components of the aforementioned sum $\mathbf{u}^T \mathbf{y}_0 = 1$ are displayed. Columns L, N, and PS represent

relative contributions to the total efficiency of the countries. Label VX refers to the term $\mathbf{v}^T \mathbf{x}_0$ in optimization program and is numerically identical to the reciprocal of the efficiency score.

Table 2: Contribution to efficiency (weighted data)

DMU	INPUT	L	N	PS
	VX(1)	UY(1)	UY(2)	UY(3)
Australia	1,017	0	0	1
Austria	1,035	0	0	1
Canada	1,043	0	0	1
Chile	1,167	0	0	1
Czech Republic	1,039	0	0	1
Denmark	1,035	0	1	0
Estonia	1,055	0	1	0
Finland	1,016	0	1	0
Germany	1,039	0	0	1
Greece	1,144	0	1	0
Hungary	1,054	0	0	1
Ireland	1,061	0	0	1
Israel	1,073	0	0	1
Japan	1	1	1	1
Mexico	1,131	0	0	1
Netherlands	1,026	0	1	0
New Zealand	1,024	0	0	1
Norway	1,028	0	0	1
Poland	1,069	0	0	1
Korea	1,039	0	0	1
Slovakia	1,046	0	1	0
Slovenia	1,097	0	0	1
Sweden	1,021	0	0	1
Turkey	1,162	0	0	1
United States	1,061	0	0	1

Source: Own computation

A look at the PIAAC performance data reveals that apart from Japan, countries' best performance is PS. DEA distinguishes the relative importance on the basis of the distance to the benchmark value. Thus a smaller distance to the Japan's weakest record of 288 in N indicates more relative importance of numeracy for countries like Denmark, Estonia, Finland, Netherlands, Greece or Slovakia.

Slovakia is characterized by better than average performance in particular subdomains L, N, and PS. The average of those is clearly above the total average of PIAAC subscores. DEA model

disfavours the results that are relatively more distinct from the best country's (Japan) subscores. Thus the CCR score based rank is down four places. Numeracy appears to be relatively the most contributive in terms of efficiency whereas in absolute terms the best performance was in problem solving domain.

V. Conclusion and further research

Benchmarking based on DEA models is considered more realistic than setting the goals at the maximum observed levels among the data. Pursuing several extremes could prove unattainable unlike linear combinations offered by DEA. The merit of this approach can fully manifest itself in the situation with more than one efficient DMUs. The particular dataset from this study only revealed a single best practice unit. Indeed, Japan outperforms the rest of countries in each subdimension. The overall dominance should be robust to any reasonable alternative method of evaluation. However, the presented approach could be helpful in some extensions and modifications. Above all, the presence of neglected slacks in performance evaluation could bias the results. The suggested solution would involve some of the slacks based assessment covering all possible sources of inefficiency. After the second wave of PIAAC assessment, intertemporal analysis employing Malmquist index of productivity can be carried out. The freshest data will help to come up with the index capturing performance change over time. As we have demonstrated, the results may differ from the ones obtained via simple averages of subscores. On top of the key DEA features, weight restrictions reflecting preferences of evaluators could be embodied in the model which would be a compromise between the score-averaging and pure free-weighting attitude. We consider DEA approach a promising technique for the result processing of the upcoming PIAAC testing in Slovakia.

Acknowledgements

The research for this paper has been supported by the national project International assessment of the key adult competencies. (PIAAC - Programme for the International Assessment of Adult Competencies) coordinated by NUCEM (Národný ústav certifikovaných meraní vzdelávania).

References

Afonso, A., & St. Aubyn, M. (2006). Cross-country efficiency of secondary education provision: A

- semi-parametric analysis with non-discretionary inputs. *Economic Modelling*, 23(3), 476–491. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2006.02.003>
- Agasisti, T. (2014). The Efficiency of Public Spending on Education: an empirical comparison of EU countries. *European Journal of Education*, 49(4), 543–557. <https://doi.org/10.1111/ejed.12069>
- Agasisti, T., Munda, G., & Hippe, R. (2019). Measuring the efficiency of European education systems by combining Data Envelopment Analysis and Multiple-Criteria Evaluation. *Journal of Productivity Analysis*, 51(2), 105–124. <https://doi.org/10.1007/s11123-019-00549-6>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cherchye, L. (2001). Using data envelopment analysis to assess macroeconomic policy performance. *Applied Economics*, 33(3), 407–416.
- Cherchye, L., Lovell, C. A. K., Moesen, W., & Van Puyenbroeck, T. (2007). One market, one number? A composite indicator assessment of EU internal market dynamics. *European Economic Review*, 51(3), 749–779.
- Cherchye, L., Moesen, W., Rogge, N., & Van Puyenbroeck, T. (2007). An introduction to ‘benefit of the doubt’ composite indicators. *Social Indicators Research*, 82(1), 111–145.
- Cherchye, L., Moesen, W., & Van Puyenbroeck, T. (2004). Legitimately diverse, yet comparable: on synthesizing social inclusion performance in the EU. *JCMS: Journal of Common Market Studies*, 42(5), 919–955.
- Coco, G., Lagravinese, R., & Resce, G. (2020). *Beyond the weights: A multicriteria approach to evaluate Inequality in Education*. Dipartimento di Economia e Finanza-Università degli Studi di Bari "Aldo Moro".
- Giambona, F., Vassallo, E., & Vassiliadis, E. (2011). Educational systems efficiency in European Union countries. *Studies in Educational Evaluation*, 37(2–3), 108–122. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2011.05.001>
- Hall, R. E., & Jones, C. I. (1999). Why do some countries produce so much more output per worker than others? *The Quarterly Journal of Economics*, 114(1), 83–116.
- Jorgenson, D. W., & Fraumeni, B. M. (1992). Investment in education and US economic growth. *The Scandinavian Journal of Economics*, S51–S70.
- Karagiannis, G. (2017). On aggregate composite indicators. *Journal of the Operational Research Society*, 68(7). <https://doi.org/10.1057/jors.2015.81>
- Klenow, P. J., & Rodriguez-Clare, A. (2005). Externalities and growth. *Handbook of Economic Growth*, 1, 817–861.
- Liu, W. B., Zhang, D. Q., Meng, W., Li, X. X., & Xu, F. (2011). A study of DEA models without explicit inputs. *Omega*, 39(5), 472–480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.10.005>
- OECD. (2012). *Literacy, Numeracy and Problem Solving in Technology-Rich Environments:*

Framework for the OECD Survey of Adult Skills. OECD Publishing Paris.

Sutherland, D., Price, R., Joumard, I., & Nicq, C. (2007). Performance Indicators for Public Spending Efficiency in Primary and Secondary Education. OECD Economics Department Working Papers, No. 546. *OECD Publishing (NJ1)*.

Van Puyenbroeck, T., & Rogge, N. (2020). Comparing regional human development using global frontier difference indices. *Socio-Economic Planning Sciences*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.10.014>

World Bank. (2006). *Where is the Wealth of Nations?: Measuring Capital for the 21st Century*. World Bank.

World Bank. (2011). *The changing wealth of nations: measuring sustainable development in the new millennium*. World Bank Publications.

Appendix**Table A1: PIAAC performance of OECD countries (2012)**

	(O)LIT	(O)NUM	(O)PROB	(I)INPUT
Australia	280	267	289	1
Austria	269	275	284	1
Canada	273	266	282	1
Chile	220	204	252	1
Czech Republic	274	276	283	1
Denmark	271	278	283	1
Estonia	276	273	278	1
Finland	288	284	289	1
Germany	270	272	283	1
Greece	254	252	257	1
Hungary	264	272	279	1
Ireland	267	254	277	1
Israel	255	249	274	1
Japan	296	288	294	1
Mexico	222	207	260	1
Netherlands	284	281	286	1
New Zealand	281	271	287	1
Norway	278	278	286	1
Poland	267	260	275	1
Republic of Korea	273	263	283	1
Slovak Republic	274	276	281	1
Slovenia	256	259	268	1
Sweden	279	279	288	1
Turkey	227	217	253	1
United States	270	253	277	1