

Meranie a komparácia výkonnosti digitálnej transformácie podnikov EÚ

doc. Ing. Jarmila Horváthová, CSc.*

Prešovská univerzita v Prešove

Fakulta manažmentu, ekonomiky a obchodu

Konštantínova 16, 080 01 Prešov, Slovakia

jarmila.horvathova@unipo.sk

doc. Ing. Martina Mokrišová, PhD.

Prešovská univerzita v Prešove

Fakulta manažmentu, ekonomiky a obchodu

Konštantínova 16, 080 01 Prešov, Slovakia

martina.mokrisova@unipo.sk

Abstrakt

Proces digitálnej transformácie, ktorý v globálnej ekonomike prebieha už niekoľko rokov, spôsobil významné zmeny takmer vo všetkých oblastiach spoločenského a ekonomického života krajín EÚ. Tieto zmeny sa prejavili aj v oblasti podnikateľskej sféry, existencie a rozvoja podnikov. Práve tejto problematike sa venuje tento článok, ktorý je zameraný na sledovanie výkonnosti digitalizácie podnikov krajín EÚ. Cieľom článku je zistiť úroveň digitalizácie krajín EÚ v oblasti podnikateľského prostredia, ako aj efektívnosť využívania jednotlivých už zavedených prvkov digitalizácie. Výskum bol realizovaný s využitím vybraných vstupných ukazovateľov, ktoré reprezentujú významné prvky zavádzaných digitálnych technológií a infraštruktúry, ktorá je spojená s ich implementáciou v podnikoch krajín EÚ. Ako výstupné parametre boli aplikované HDP na obyvateľa a miera zamestnanosti. Úroveň digitalizácie a efektívnosť využívania jednotlivých digitálnych prvkov bola posúdená s využitím Malmquistovho indexu. Výsledky výrazne obohacujú poznatky v oblasti metodológie skúmania úrovne digitalizácie podnikov EÚ. Tieto zistenia poskytujú významné informácie v danej oblasti a v oblasti znalostnej ekonomiky. Výsledky naznačujú rozmanitosť v oblasti digitalizácie krajín EÚ, naznačujú nižšiu úroveň digitalizácie v prípade krajín, ktoré vstúpili do EÚ neskôr, avšak na druhej strane naznačujú, že tieto krajiny sa snažia využívať už zavedené prvky digitalizácie efektívnejšie. Výsledky by sa mohli využiť aj pri tvorbe stratégie digitalizácie pre jednotlivé krajiny a podnikateľské prostredie týchto krajín.

Kľúčové slová

Digitálna transformácia, Malmquistov index, technická zmena, technologická zmena, výkonnosť

Informácia

Príspevok je čiastkovým výstupom riešenia projektu VEGA 1/0449/24 „Návrh integrovaného systému merania udržateľnej výkonnosti podnikov v ére digitalizácie“.

1. Úvod

Inovácie, inovatívne technológie, ako aj moderné digitálne technológie patria v dnešnej dobe k hlavným pilierom, ktoré určujú vývoj globálnej a novej inteligentnej ekonomiky. V súčasnej dobe pokrývajú všetky oblasti spoločenského, ekonomického a podnikateľského života krajín (Brodny a Tutak, 2024). Integrácia digitálnych technológií do oblasti podnikania umožňuje spoločnostiam zlepšovať svoje produkty a služby a tým zvyšovať svoju konkurencieschopnosť a výkonnosť. Digitálny rozvoj globálnej ekonomiky založený na inovatívnych riešeniach vítajú spotrebitelia, zamestnanci, ako aj všetky zainteresované strany. Podporuje vytváranie nových, finančne atraktívnych pracovných miest a v mnohých prípadoch pozitívne ovplyvňuje už aj tie existujúce. Tento vývoj čoraz viac zohľadňuje environmentálne aspekty, ako aj aspekty trvalej udržateľnosti, čo má významný vplyv na budovanie zelenej ekonomiky a spoločenskej zodpovednosti, ako aj na zlepšovanie úrovne a kvality života občanov vo všeobecnosti (Hermundsdottir a Aspelund, 2021; Jin a Xie, 2023; Heredia a kol., 2022). Vzhľadom na skutočnosť, že informačné a komunikačné technológie (IKT) majú pozoruhodný vplyv na hospodársky rozvoj a ekonomický rast, predmetom veľkého záujmu výskumníkov a tvorcov politík sa stala takzvaná digitálna priepasť (Billon a kol., 2010). Rozdiely v zavádzaní a šírení IKT môžu viesť k rastúcim rozdielom v ekonomickom rozvoji krajín. Avšak EÚ si stanovila ciele, aby tejto priepasti predchádzala. Tieto ciele boli stanovené v oblasti šírenia IKT v rámci spoločenského ako aj podnikateľského prostredia. K významným cieľom EÚ patria ciele digitálnej transformácie podnikov do roku 2030, a to: viac ako 90 % malých a stredných podnikov (MSP) by malo dosiahnuť aspoň základnú úroveň digitálnej intenzity a 75 % podnikov v EÚ by malo využívať služby cloud computing a vykonávať analýzu big data alebo používať umelú inteligenciu. V roku 2024 dosiahlo 74 % všetkých podnikov v EÚ základnú úroveň digitálnej intenzity. Podiel MSP bol približne 73 %, čo je o 17% menej ako cieľ, ktorý si Únia stanovila do roku 2030. Cloud computing využívalo v roku 2023 45,2% podnikov v rámci EÚ, čo je takmer o 30% menej v porovnaní s cieľom EÚ. Na nízkej aplikačnej úrovni je využívanie analýzy big data, čo v roku 2023 predstavovalo iba 14,2% podnikov krajín EÚ a AI, ktoré v tom istom roku predstavovalo iba 8% podnikov krajín EÚ (MIRDI SR, 2024; Eurostat, 2025a).

Dôležitou hybnou silou pri budovaní inteligentnej ekonomiky je Industry 4.0. Jeho hlavným pilierom je využívanie big data, AI, služieb cloud computing a internetu vecí. S nástupom Industry 4.0 sa výrobcovia pri monitorovaní a riadení výrobných procesov najčastejšie spoliehajú na digitálne technológie a pripojené zariadenia, čo im umožňuje optimalizovať procesy, zvyšovať kvalitu a rýchlo reagovať na dynamické požiadavky trhu (Kolasani, 2024). V koncepte Industry 4.0 hrá kľúčovú úlohu automatizácia, ktorá má tendenciu obmedzovať ľudské zásahy, ako aj akékoľvek neobjektívne rozhodovanie v oblasti kvality (Tzampazaki a kol., 2024; Introna a kol., 2024). V posledných rokoch si získa značnú pozornosť Priemysel 5.0. Zatiaľ čo niektorí autori v ňom vidia politický rámec, ktorý stavia na pokroku v Priemysle 4.0, iní argumentujú jeho úzkym prepojením s technologickým pokrokom, najmä komercializáciou generatívnej umelej inteligencie (Ghobakhloo a kol., 2024).

Je možné predpokladať, že vplyv digitalizácie na ekonomický rozvoj krajín a podnikov je významný. Spojenie problému merania ekonomickej efektívnosti a výkonnosti podnikov EÚ s úrovňou zavedenia jednotlivých vybraných prvkov digitalizácie podnikov sa javí ako problém, ktorý je vhodné riešiť v zmysle budúcej prosperity krajín EÚ. Výsledky výskumu prezentovaného v tomto príspevku by tak mali v prvom rade rozšíriť a obohatiť poznatky o zhodnotenie úrovne podnikateľského prostredia krajín EÚ pri zavádzaní jednotlivých prvkov digitalizácie, ako aj ich efektívneho využívania v čase. Štúdia prináša aj ďalšie poznatky v oblasti metodológie hodnotenia úrovne digitalizácie podnikov v krajinách EÚ, v dôsledku aplikácie nového prístupu k meraniu úrovne digitalizácie, ktorým je aplikácia Malmquistovho indexu. Z vedeckého aj utilitárneho

hľadiska by teda tento príspevok mal predstavovať nový a originálny prístup k hodnoteniu procesu digitalizácie a jeho vplyvu na ekonomiku krajín EÚ a ekonomiku podnikov v rámci týchto krajín.

2. Teoretické východiská

Už dlhodobo sa uznáva, že digitalizácia je jedným z najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich ekonomický rozvoj krajín a podnikov, pretože zvyšuje produktivitu kapitálu a aj práce a zároveň znižuje transakčné náklady a uľahčuje prístup na globálne trhy. Digitálna revolúcia je preto príliš dôležitá na to, aby ju ktorákoľvek krajina prehliadla. Digitálne technológie uľahčujú život občanom a spotrebiteľom, zvyšujú produktivitu pracovníkov a firiem a pomáhajú vládam poskytovať kľúčové služby tým, ktorí ich najviac potrebujú (Dahlman a kol., 2016). Viacerí autori zdôrazňujú, že digitálne technológie zohrávajú kľúčovú úlohu pri podpore ekonomickej prosperity najmä v rozvinutých aj rozvojových krajinách. Niektorí vedci sa dokonca domnievajú, že nové digitálne technológie pomáhajú rozvojovým ekonomikám dopracovať sa až do stavu rozvinutých ekonomík (Myovella a kol., 2020). Billon a kol. (2010) uvádzajú, že zavádzanie informačných a komunikačných technológií (IKT) má štatisticky významný vplyv na hospodársky rozvoj krajín meraný hodnotou HDP. Významný podiel na týchto IKT predstavuje zavádzanie IKT v podnikovej sfére. pričom je možné konštatovať, že digitalizácia sa v poslednom období stala aj hlavnou inovačnou zložkou rozvoja podnikov. Podľa Gultz a kol. (2019) moderné podniky sa bez zavádzania prvkov digitalizácie nedokážu presadiť v konkurenčnom boji. Digitalizácia sa zameriava na tvorbu hodnoty, opiera sa o zefektívnenie procesov a kladie dôraz na schopnosti, ktoré podporujú celkový podnikateľský zámer (Milošević a kol., 2018). Digitalizáciu na úrovni podnikov je možné chápať ako proces zavádzania digitálnych technológií s cieľom zmeniť podnikateľský model tak, aby využíval výhody nových moderných technológií, ktoré spracúvajú obrovský digitálny tok informácií v rámci dynamickej digitálnej siete (Scuotto a kol. 2019). Jej cieľom je zjednodušiť a urýchliť prácu s rozsiahlymi databázami, zabezpečiť automatizáciu všetkých druhov činností (hlavných a pomocných prevádzkových, investičných, finančných), zlepšiť komunikáciu so zákazníkmi, dodávateľmi a partnermi a všetkými inštitúciami vonkajšieho prostredia, formovať nové princípy interakcie v podniku - medzi útvarmi, zamestnancami, manažmentom, prechod na nové organizačné formy riadenia (Lihonenko a kol., 2018). Z toho dôvodu je dôležité skúmať úroveň a efektívnosť zavádzania prvkov digitalizácie v rámci krajín EÚ a osobitne sa zamerať aj na priebeh procesu digitalizácie na podnikovej úrovni. Alm a kol. (2016) sú toho názoru, že ekonomiky krajín Dánsko, Belgicko, Holandsko, Švédsko, Estónsko, Írsko, Fínsko, Nórsko a Luxembursko), sú poháňané najmä ekonomickou aktivitou súvisiacou s informačnými a komunikačnými technológiami (IKT) a internetom, preto budú mať zo zvýšenej digitalizácie európskeho hospodárstva najväčší úžitok. Tieto krajiny sa vyznačujú relatívne malým počtom obyvateľov, ale vysokou úrovňou digitalizácie, ako aj silnými inovačnými schopnosťami a závislosťou od exportu, vďaka čomu sú závislejšie od ľahkého prístupu na veľké digitálne trhy. Danú skutočnosť potvrdzuje aj štúdia Bánhidi a Dobosa (2023), ktorí za účelom hodnotenia digitalizácie krajín EÚ použili Index DESI a DEA. Z ich štúdie vyplýva, že severské krajiny, predovšetkým Fínsko a Dánsko, sú podľa všetkých implementovaných metód v najlepšej skupine, zatiaľ, čo Bulharsko a Grécko (juhovýchodné štáty EÚ) patria ku krajinám s nižšou úrovňou zavádzania prvkov digitalizácie. K podobným záverom dospel aj Krejnos a kol. (2023) a podľa výsledkov DEA sa stali najúčinnejšími krajinami z hľadiska efektívnosti e-Governmentu 4 zo 7 krajín severnej Európy, a to Fínsko, Dánsko, Lotyšsko, Estónsko, k nim sa pridali aj ďalšie štáty: Poľsko, Maďarsko, Taliansko, Portugalsko, Grécko a Malta. Odlišné výsledky boli publikované v štúdiu Inel (2019), v ktorej autori skúmali efektívnosť digitálnej transformácie krajín EÚ pomocou DEA. Spojené kráľovstvo, Taliansko a Dánsko boli

zaradené medzi relatívne efektívne krajiny, zatiaľ čo Nemecko a Holandsko boli považované za nie veľmi efektívne krajiny. Podobné výsledky dosiahol aj Yalcin (2021), ktorý sa pri skúmaní efektívnosti digitalizácie krajín EÚ zameriaval na identifikáciu krajín, ktoré transformovali digitalizáciu do svojho hospodárskeho rastu a miery zamestnanosti. Výsledky štúdie ukazujú, že z hľadiska hospodárskeho rastu a tvorby pracovných miest rozvojové krajiny využívajú digitalizáciu efektívnejšie ako rozvinuté krajiny.

Efektívnosť využívania IKT v podnikoch EÚ v období 2012 – 2020 merali Krstic a kol. (2023). Na meranie efektívnosti použili model DEA a na analýzu robustnosti použili metódu bootstrap. Najvyššia priemerná technická efektívnosť bola zaznamenaná v Dánsku a Belgicku. Medzi krajiny s najnižšou technickou efektívnosťou patrili Bulharsko, Rumunsko, Grécko a Lotyšsko. Hodnotením efektívnosti digitálnej adopcie malých a stredných podnikov a väčších korporácií sa zaoberali Kyshakevych a kol. (2024). Lídrami v oblasti digitálnej intenzity medzi malými a strednými podnikmi boli Holandsko, Dánsko, Švédsko, Fínsko, Belgicko a Malta. Spomedzi týchto lídrov dosiahli Malta a Holandsko najvyššiu efektívnosť vo využívaní digitalizácie pre hospodársky rast. Výsledky ukázali, že ekonomický vplyv digitálnej transformácie na veľké podniky v krajinách EÚ je výraznejší ako na malé a stredné podniky.

3. Dáta a metodológia

Súbor vstupných ukazovateľov, ktoré boli aplikované v rámci štúdie, je uvedený v tabuľke 1. Tento súbor predstavuje 19 ukazovateľov z oblasti merania a hodnotenia "ICT usage in the enterprises" (Eurostat, 2025b). Predstavujú priemerné hodnoty percentuálneho pokrytia krajín EÚ vybraným digitálnym prvkom.

Tabuľka 1 Vybrané indikátory digitalizácie krajín EÚ v rámci digitalizácie podnikov

Ukazovateľ	% pokrytia	Ukazovateľ	% pokrytia
Digital intensity (DI)	5	Big data (BD)	14,2
Používanie IKT a internetu (UCI)	61,3	3D-tlač (3-D)	6,3
DSL alebo iné širokopásmové pripojenie(DSL)	94,2	Internet vecí (IoT)	20,7
Využitie mobilu na pripojenie sa na internet zamestnancami (UMCI)	85,8	Umelá inteligencia (AI)	8
Elektronický obchod (ECS)	22,9	Poistenie proti bezpečnostným incidentom v oblasti informačných a komunikačných technológií (ICTS)	20
Vzdialený prístup k e-mailovému systému, dokumentom alebo aplikáciám podniku (AE)	80,4	Internetová reklama	60,8
Tržby elektronického obchodu (VE-CS)	18	Sociálne médiá podľa účelu (SMP)	57,1
Prekážky internetového predaja (OWS)	3,2	Integrácia interných procesov (IIP)	43,3
Webová stránka (WEB)	81,2	Integrácia s odberateľmi a dodávateľmi (SCHM)	38,6
Služby cloud computing (CC)	45,2		

Zdroj: Vlastné spracovanie na základe údajov EUROSTAT 2025b

Najvyššie % pokrytie v rámci krajín EÚ dosahuje DSL. Významné pokrytie vykazujú aj hodnoty ukazovateľa využitie mobilu na pripojenie sa na internet zamestnancami (UMCI), ale aj vzdialený prístup k e-mailovému systému, dokumentom a aplikáciám podniku, webová stránka.

© Published by Journal of Global Science.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. The moral rights of the named author(s) have been asserted.

K najmenej zavedeným prvkom digitálnej transformácie podnikov EÚ patria 3D-tlač, AI, Big data a Internet vecí. Ide teda prioritne o tie ukazovatele, ktoré sú zakomponované ako hlavné prvky Industry 4.0, ktoré je potrebné v súvislosti s prebiehajúcou priemyselnou revolúciou vo väčšej miere zavádzať do života podnikov.

Výber vstupných parametrov pre tvorbu Malmquistovho indexu bol uskutočnený s aplikáciou metódy LASSO. Ide o regresnú metódu, ktorá bola sformulovaná Robertom Tibshiranim v roku 1996 (Fonti a Belitser, 2017). Využíva sa na výber atribútov a regularizáciu. Uplatňuje regularizačný proces, pri ktorom penalizuje absolútne hodnoty regresných koeficientov a hodnoty koeficientov, ktoré sú málo významné, znižuje na 0 (Vadovský a Paralič, 2018). To vedie k zníženiu počtu dimenzií a k tomu, aby v modeli boli zastúpené len tie premenné, ktoré sú významné vo vzťahu k závislej premennej. Takisto v prípade premenných, ktoré sú medzi sebou vysoko korelované, má LASSO tendenciu vybrať jednu premennú z každej skupiny, pričom ostatné premenné neberie do úvahy (Fonti a Belitser, 2017). Tým sa zabezpečí to, aby sa v modeli nevyskytovali vysoko korelované premenné. V prípade logistickej regresie má penalizovaná logaritmická funkcia vierohodnosti, ktorú je potrebné maximalizovať, nasledovný tvar (1) (Hastie a kol., 2008):

$$l_{\lambda}^t(\beta) = \sum_{i=1}^n [y_i x_i \beta - \log(1 + e^{x_i \beta})] - \lambda \sum_{j=1}^k |\beta_j|, \quad (1)$$

Kde $\lambda \geq 0$ je penalizačný parameter, β sú regresné koeficienty, x_i sú nezávislé premenné, y_i je závislá premenná, n vyjadruje počet pozorovaní a k vyjadruje počet premenných.

Miera penalizácie je regulovaná veľkosťou koeficientu λ . Čím je hodnota koeficientu λ vyššia, tým viac regresných koeficientov nadobúda nulovú hodnotu (Vadovský a Paralič, 2018). Koeficient λ sa zvyčajne určuje podľa minimálnej chyby predikcie pri krížovej validácii, ktorá sa označuje $\lambda_{\min}$ (Fonti a Belitser, 2017).

Pre hodnotenie efektívnosti digitalizácie v podnikoch krajín EU bol použitý Malmquistov index založený na metóde DEA, ktorý navrhli Färe a kol. (1994). Predpokladajme, že každá rozhodovacia jednotka DMU_j ($j = 1, 2, \dots, n$) (z angl. Decision Making Unit) používa vektor vstupov $x_j^t = (x_{1j}^t, \dots, x_{mj}^t)$ a produkuje vektor výstupov $y_j^t = (y_{1j}^t, \dots, y_{mj}^t)$ v každom časovom období $t, t = 1, \dots, T$. Malmquistov index založený na metóde DEA je potom možné zapísať nasledovne (2) (Zhu, 2014):

$$MI_o = \frac{\theta_o^t(x_o^t, y_o^t)}{\theta_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \times \left[\frac{\theta_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{\theta_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \frac{\theta_o^t(x_o^t, y_o^t)}{\theta_o^t(x_o^t, y_o^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

kde MI_o meria zmenu efektívnosti v čase, a to zmenu medzi časom t a časom $t + 1$. $\theta_o^t(x_o^t, y_o^t)$ je vypočítané porovnaním x_o^t s empirickou hodnotou hranice produkčných možností v čase t s využitím vstupne orientovaného modelu CRS DEA, pričom $x_o^t = (x_{1o}^t, \dots, x_{mo}^t)$ a $y_o^t = (y_{1o}^t, \dots, y_{so}^t)$ sú vstupné a výstupné vektory DMU_o . Rovnako $\theta_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})$ je vypočítané porovnaním x_o^{t+1} s empirickou hodnotou hranice v čase $t+1$, $\theta_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t)$ je porovnaním x_o^t a empirickej hranice v čase $t + 1$ a $\theta_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})$ je vypočítané porovnaním x_o^{t+1} s empirickou hodnotou hranice v čase t . Zmena produktivity je vyjadrená ako súčin zmeny technickej efektívnosti (Change in Efficiency - ECH) a technologickej zmeny (Frontier Shift - FS).

Zmena technickej efektívnosti (ECH) (3) je ekvivalentná pomeru efektívnosti definovanej Farrellom (1957) v čase t a v čase $t + 1$. $ECH > 1$ znamená, že v prípade DMU nastalo zlepšenie efektívnosti, priblížila sa

k hranici produkčných možností, teda prijaté rozhodnutia boli správne. $ECH = 1$ znamená, že v DMU nenastala žiadna zmena. Ak je $ECH < 1$, v danej DMU nastalo zhoršenie efektívnosti, prijaté rozhodnutia sú nesprávne.

$$ECH = \frac{\theta_o^t(x_o^t, y_o^t)}{\theta_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \quad (3)$$

Technologická zmena (FS) (4) je geometrickým priemerom posunu technológie medzi dvoma obdobiami (Zhu, 2014). Informuje o posune hranice produkčných možností v dôsledku realizovaných technologických zmien. $FS > 1$ znamená, že došlo k zvýšeniu efektívnosti a hranica produkčných možností sa posunula smerom von. $FS = 1$ znamená, že hranica produkčných možností sa nezmenila. $FS < 1$ znamená, že efektívnosť sa zhoršila a hranica sa posunula smerom dovnútra.

$$FS = \left[\frac{\theta_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{\theta_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \frac{\theta_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t)}{\theta_o^t(x_o^t, y_o^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Výstupnými parametrami, ktoré boli aplikované pri tvorbe Malmquistovho indexu, boli HDP na obyvateľa a miera zamestnanosti.

4. Výsledky

K výsledkom štúdie patrí zistenie, ktoré ukazovatele sú významné pre hodnotenie efektívnosti digitálnej transformácie podnikov EÚ. Metódou LASSO pri optimálnej hodnote λ , ktorá bola stanovená na základe minimálnej predikčnej chyby modelu s aplikáciou 10-násobnej krížovej validácie ($\lambda_{\min} = 0,046830$) boli identifikované nasledovné digitálne ukazovatele s nenulovými koeficientami: využívanie DSL alebo iného širokopásmového pripojenia, webová stránka, využívanie sociálnych médií podľa účelu, integrácia interných procesov, internet vecí, 3D tlač a služby cloud computing.

Tabuľka 2 Ukazovatele identifikované metódou LASSO s nenulovými koeficientami

	Logistic Regression. Lambda = 0,046830; %Dev = 0,592175
	Odhad koeficientov
Konštanta	-15,0026414
Využívanie DSL alebo iného širokopásmového pripojenia	0,110704889
Webová stránka	0,0270497577
Využívanie sociálnych médií	0,0159437726
Integrácia interných procesov	0,0463886245
Služby cloud computing	0,0231760928
3D tlač	0,0182805587
Internet vecí	0,0113844969

Zdroj: vlastné spracovanie v programe Statistica

Výsledky metódy MI, ktorá bola aplikovaná na zhodnotenie efektívnosti digitálnej transformácie podnikov krajín EÚ s využitím ukazovateľov vybraných metódou LASSO, sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Výsledné hodnoty efektívnosti digitálnej transformácie v čase

<i>P.č. krajiny</i>	<i>Názov krajiny</i>	<i>Vstupne orientovaný</i>		
		<i>CRS – konštantné výnosy z rozsahu</i>		
		<i>Malmquist Index</i>	<i>Zmena efektívnosti</i>	<i>Technologická zmena</i>
1	Belgicko	1,03048	1,01010	1,02017
2	Bulharsko	1,03507	1,00000	1,03507
3	Česko	1,01622	1,04157	0,97566
4	Dánsko	1,01281	0,98047	1,03298
5	Nemecko	1,00402	1,01220	0,99192
6	Estónsko	1,03558	1,02624	1,00910
7	Írsko	1,11372	1,00000	1,11372
8	Grécko	0,97674	0,94618	1,03230
9	Španielsko	0,95622	0,97378	0,98196
10	Francúzsko	1,01198	1,02161	0,99057
11	Chorvátsko	0,93443	0,91176	1,02487
12	Taliansko	0,98623	0,98911	0,99709
13	Cyprus	1,13365	1,01000	1,12243
14	Lotyšsko	0,91817	0,96508	0,95139
15	Litva	1,00428	1,01721	0,98728
16	Luxembursko	1,00322	1,00000	1,00322
17	Maďarsko	1,05523	1,04982	1,00515
18	Malta	1,01234	1,01457	0,99780
19	Holandsko	0,99181	0,96945	1,02306
20	Rakúsko	0,97671	1,02024	0,95733
21	Poľsko	1,00772	1,00000	1,00772
22	Portugalsko	0,98567	0,99187	0,99376
23	Rumunsko	1,05512	1,00000	1,05512
24	Slovinsko	0,98892	1,04218	0,94889
25	Slovensko	0,96356	0,95379	1,01025
26	Fínsko	1,00979	1,07759	0,93708
27	Švédsko	1,01440	1,05490	0,96161

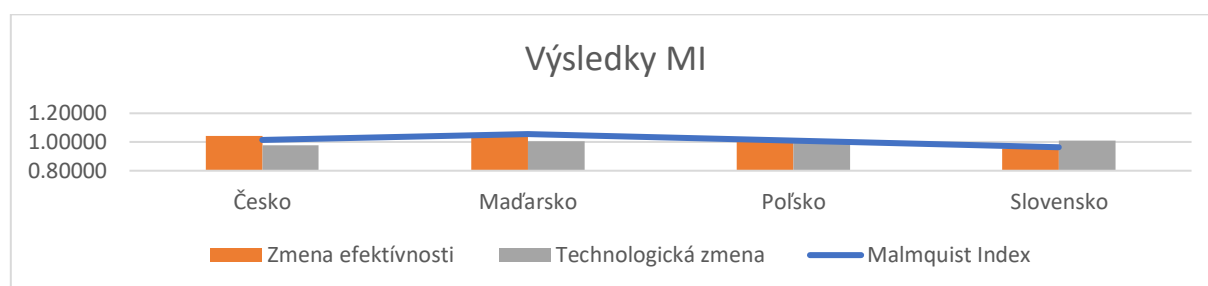
Zdroj: vlastné spracovanie v programe DEA Frontier

Z výsledkov vyplýva, že väčšina krajín dosahuje hodnotu MI na úrovni 1 a viac, na základe čoho je možné konštatovať, že proces digitálnej transformácie prebieha úspešne. V rámci hodnotenia celkovej efektívnosti digitálnej transformácie je možné vyzdvihnúť zmenu efektívnosti a technologickú zmenu, ktoré sa podieľajú na celkovej efektívnosti digitálnej transformácie. Zmena efektívnosti je opäť vo väčšine krajín na úrovni 1 alebo viac, čo je možné hodnotiť pozitívne. Najlepšie výsledky v oblasti zmeny efektívnosti využívania jednotlivých prvkov digitalizácie dosiahli krajiny Fínsko, Švédsko, Slovinsko, Rakúsko, Maďarsko, Estónsko. V porovnaní so zmenou efektívnosti niekoľko krajín zaostáva v oblasti technologických zmien. V tejto oblasti je možné poukázať aj na také krajiny ako Nemecko, Rakúsko, Fínsko a Švédsko. Túto skutočnosť je možné zdôvodniť tým, že tieto krajiny patria k lídrom v oblasti zavádzania jednotlivých prvkov digitalizácie a v dôsledku toho už nie je možný ďalší nárast, keďže väčšina prvkov digitalizácie je v týchto krajinách

zavedená na 98-100%. Na druhej strane významnú technologickú zmenu dosiahli, Bulharsko, Rumunsko, Cyprus, ale aj Írsko a Dánsko.

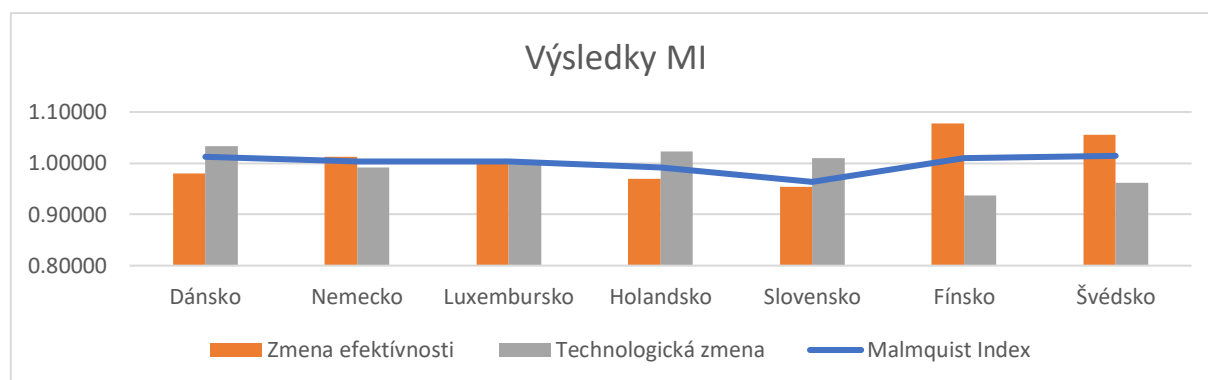
5. Diskusia

V rámci porovnania dosiahnutých výsledkov Slovenska v oblasti digitálnej transformácie je možné tieto výsledky porovnať s krajinami V4, ale aj s výsledkami lídrov v tejto oblasti. Graf 1 znázorňuje porovnanie výsledkov Slovenska s krajinami V4. MI Slovenska dosahuje hodnotu 0,96, čím Slovensko zaostáva za ostatnými krajinami V4. Výrazne lepšie výsledky dosahuje v oblasti technologickej zmeny, na základe čoho je možné konštatovať, že slovenské podniky zavádzajú nové prvky digitálnej transformácie a hranica efektívnosti sa posúva. Najlepšie výsledky v oblasti zmeny efektívnosti v porovnaní týchto 4 krajín dosahuje Maďarsko. V oblasti technologickej zmeny je to práve Slovensko.



Graf 1 Porovnanie efektívnosti digitálnej transformácie podnikov v rámci krajín V4
Zdroj: vlastné spracovanie

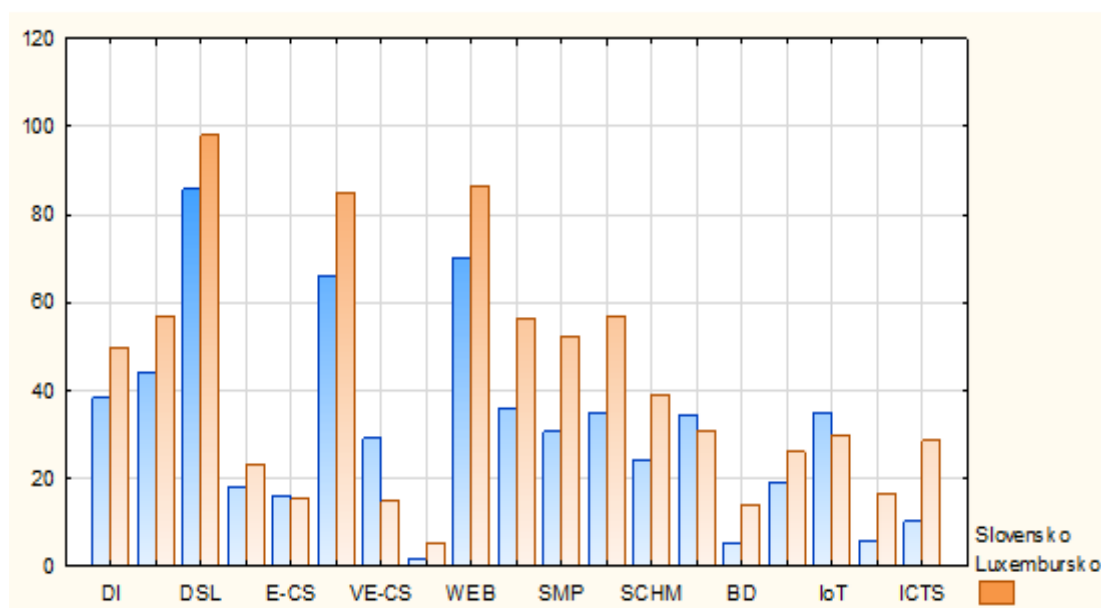
V prípade porovnania výsledkov Slovenska s lídrami v danej oblasti dosahuje Slovensko výrazne horšie výsledky v oblasti zmeny efektívnosti, a to najmä v porovnaní s Fínskom a Švédsko. Naopak, v porovnaní s týmito krajinami Slovensko dosahuje lepšie výsledky v oblasti technologických zmien, čo je pravdepodobne spôsobené tým, že slovenské podniky naďalej pokračujú v oblasti rozširovania digitalizácie svojho podnikateľského prostredia. Výsledky porovnania je možné vidieť na grafe 2.



Graf 2 Porovnanie výsledkov efektívnosti digitálnej transformácie podnikov EÚ – Slovensko verzus lídri EÚ
Zdroj: vlastné spracovanie

Graf 3 zachytáva porovnanie % pokrytia vybranými digitálnymi prvkami dvoch krajín EÚ, a to Slovenska a Luxemburska, ktoré patrí k lídrom v procese digitalizácie. Z grafu je zrejmé, že v prípade oboch krajín najviac

zavedeným prvkom v oblasti digitalizácie podnikov krajín EÚ je využívanie DSL alebo iného širokopásmového pripojenia (DSL), za ním nasleduje webová stránka (WEB) a vzdialený prístup k e-mailovému systému, dokumentom alebo aplikáciám podniku (AE). Vo všetkých troch prvkoch Luxembursko dosahuje vyššiu percentuálnu úroveň zavedenia. Na Slovensku je vyššie percentuálne pokrytie v oblastiach internet vecí (IoT), elektronický obchod (E-CS) a služby cloud computing (CC). Najnižšie pokrytie v oboch krajinách majú prvky Big Data (BD) a umelá inteligencia (AI).

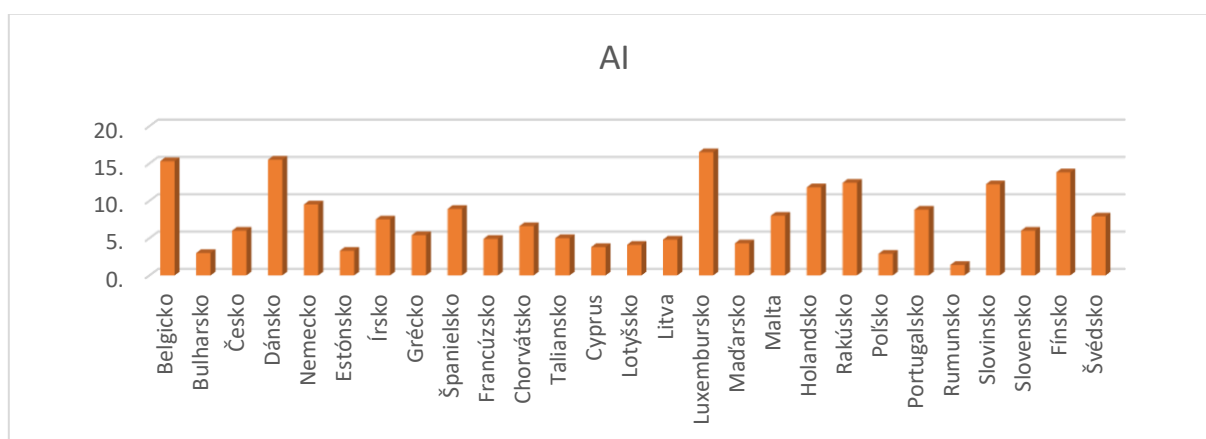


Graf 3 Porovnanie krajín Slovensko a Luxembursko v oblasti % pokrytia vybranými prvkami digitalizácie
Zdroj: vlastné spracovanie

V prípade porovnania Slovenska s krajinami Švédsko a Fínsko je možné konštatovať, že opäť najviac aplikovaným digitálnym prvkom v rámci týchto krajín je DSL alebo iné širokopásmové pripojenie (DSL), za ním nasleduje webová stránka (WEB) a vzdialený prístup k e-mailovému systému, dokumentom alebo aplikáciám podniku (AE). Najnižšie pokrytie v porovnávaných krajinách majú prvky Big Data (BD) a umelá inteligencia (AI), pričom vo Fínsku je pokrytie vyššie aj v porovnaní so Švédskom a najmä Slovenskom.

Na nízku úroveň zavedenia AI, Big Data a 3D-tlače v rámci digitalizácie krajín EÚ poukázali vo svojej štúdii Brodny a Tutak (2022). Na druhej strane vo svojej štúdii z roku 2022 Brodny a Tutak uvádzajú, že v malých a stredných podnikoch je cloud computing zavedený vo väčšej miere v porovnaní s ostatnými prvkami digitalizácie. Význam zavádzania týchto prvkov potvrdili vo svojich štúdiách Jamwal a kol. (2021), Li a kol. (2017). Poukázali na význam zavádzania Big Data a AI, keďže sú významným prínosom v oblasti optimalizácie, zvyšovania efektívnosti a automatizácie výroby.

V rámci podrobnejších analýz je potrebné zvýšenú pozornosť venovať prvkom digitálnej transformácie podnikov, v zavádzaní ktorých zaostáva väčšina krajín EÚ. V zmysle cieľov Industry 4.0 je v dôsledku uvedeného potrebné v podnikateľskom prostredí zamerať sa prioritne na zavádzanie umelej inteligencie (AI). Percentuálne pokrytie v tejto oblasti sa pohybuje v rozmedzí 1,4% – 16%. Grafické porovnanie výsledkov oblasti zavádzania AI je možné vidieť na grafe 4.



Graf 4 Porovnanie výsledkov zavádzania AI v rámci krajín EÚ

Zdroj: vlastné spracovanie

Rovnako dôležitý je digitálny prvok Big data, ktorého zavedenie sa v rámci krajín EÚ sa pohybuje v rozmedzí 4,5% – 24,5%, pričom lídrami v danej oblasti sú Luxembursko a Holandsko. Ďalej je potrebné spomenúť Internet vecí, ktorý predstavuje budúcnosť smart obchodného modelu. V tejto oblasti krajiny EÚ dosahujú výrazne lepšie výsledky v porovnaní s už spomínanými prvkami digitalizácie. Percentuálne pokrytie v prípade toho prvku sa pohybuje v rozmedzí 11% – 58%, pričom lídrom v danej oblasti je Rakúsko. Je možné ešte spomenúť výsledky v oblasti služieb cloud computing, v zavedení ktorých dosahujú niektoré krajiny EÚ vynikajúce výsledky, napr. Švédsko a Fínsko, ktoré dosahujú pokrytie nad 80%.

6. Záver

Z výsledkov danej štúdie vyplýva, že väčšina krajín EÚ sa snaží využívať jednotlivé prvky digitálnej transformácie efektívne. V tomto prípade ide aj o „nové krajiny“, ako sú Bulharsko, Rumunsko, Maďarsko, Chorvátsko. Z hľadiska porovnania pokrytia krajiny jednotlivými digitálnymi prvkami tieto krajiny, vrátane Slovenska však zaostávajú za lídrami v danej oblasti, ako sú Švédsko, Fínsko, Dánsko, Luxembursko. Tieto rozdiely v zavádzaní jednotlivých prvkov sú spojené s viacerými faktormi, a to sociálnymi aj ekonomickými. K týmto faktorom patria napr. úroveň vzdelania, vek obyvateľstva, rôzne marginálne skupiny v krajinách, ale aj geografická poloha krajín a rôznym osídlením jednotlivých častí územia. V rámci digitalizácie podnikateľského prostredia je problémom zaostávania týchto krajín nedostatok finančných prostriedkov na zavedenie jednotlivých prvkov digitalizácie, najmä v prípade malých a stredných firiem, ale aj nedôvera a strach spojený so zabezpečením firemných dát. Výsledky štúdie výrazne obohacujú poznatky v oblasti metodológie skúmania efektívnosti digitalizácie krajín EÚ-27 (aplikácia metódy MI) a z tohto uhla pohľadu predstavujú významný teoretický prínos v danej problematike. Okrem toho, zistenia štúdie poskytujú teoretické ale aj praktické uplatnenie, najmä naznačením spôsobu komplexného prístupu k riešeniu danej problematiky. MI by mohlo byť novou inovatívnou metrikou na posúdenie úrovne a efektívnosti digitalizácie krajín EÚ. To by mohlo byť výzvou aj v rámci vlád jednotlivých krajín, aby sa zamerali nielen na zavádzanie prvkov digitalizácie, ale aj ich efektívne využívanie. Vlády krajín môžu robiť rôzne zásahy, motivovať, prispievať finančne k zavádzaniu jednotlivých prvkov digitalizácie, avšak prioritne ide o pochopenie významu zavádzania jednotlivých prvkov zo strany rôznych subjektov a v prípade ich zavedenia o ich efektívne využívanie. V tomto prípade vzniká potreba učenia sa na základe pozitívnych príkladov, propagácia a prezentácia dosiahnutých výsledkov vybranými podnikmi a krajinami – tvorba znalostnej ekonomiky

© Published by Journal of Global Science.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. The moral rights of the named author(s) have been asserted.

a spoločnosti. Z nášho pohľadu je daná problematika, ako aj dosiahnuté, a to najmä pozitívne výsledky málo prezentované a šírené v priestore verejnom, ale aj podnikateľskom. Väčšina podnikateľov chápe tento proces ako niečo, čo je povinné a čo stojí veľa peňazí. Vláda by mala venovať viac pozornosti osvete a tomu, aby podniky a manažéri pochopili zmysel tejto transformácie a jej ekonomické prínosy, ako aj prínosy environmentálne. Výskum sa potýkal s viacerými obmedzeniami, a to sa dotýkalo najmä dát, keďže nie všetky údaje sú dostupné za všetky roky. To by si vyžadovalo rovnako skvalitnenie zberu dát, na základe čoho by sa dali urobiť kvalitné analýzy a reporty o procese digitalizácie. V budúcnosti sa sústredíme na cielenejší zber dát a porovnanie efektívnosti digitálnej transformácie s krajinami mimo EÚ.

Zoznam bibliografických odkazov

1. Alm, E., Colliander, N., Deforche, F., Nind, F., Stohne, V. a Sundström, O. 2016. "Digital Europe. Why Northern European Frontrunners Must Drive Digitization of the EU Economy." Stockholm: BCG. Dostupné z: https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG-Digitizing-Europe-May-2016_tcm9-36552.pdf.
2. Bánhidi, Z., a Dobos, I. 2023. "A Data Envelopment Analysis model for ranking digital development in the countries of the European Union without explicit inputs and common weights analysis." *Decision Analytics Journal* 6, Article 100167. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100167>.
3. Billon, M., Lera-Lopez, F. a Marco, R. 2010. "Differences in digitalization levels: a multivariate analysis studying the global digital divide." *Review of World Economics* 146: 39–73. <https://doi.org/10.1007/s10290-009-0045-y>.
4. Brodny, J. a Tutak, M. 2022. "The Level of Digitization of Small, Medium and Large Enterprises in the Central and Eastern European Countries and Its Relationship with Economic Parameters." *Journal of Open Innovation Technology Market and Complexity* 8, Article 113. <https://doi.org/10.3390/joitmc8030113>
5. Dahlman, C., Mealy, S., a Wermelinger, M. 2016. "Harnessing the digital economy for developing countries." *OECD Development Centre Working Papers*, 334, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/4adffb24-en>.
6. Eurostat. 2025a. "Digitalisation in Europe - 2025 edition." Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/digitalisation-2025>.
7. Eurostat. 2025b. "An official website of the European Union." Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/digital-economy-and-society/database>.
8. Farrell, M. J. 1957. "The Measurement of productive efficiency." *Journal of the royal statistical society, Series A*. 120: 253–290. <https://doi.org/10.2307/2343100>.
9. Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M. a Zhang, Z. 1994. "Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries." *The American Economic Review* 84: 66–83.
10. Fonti, V. a Belitser, E. 2017. "Feature selection using LASSO." VU Amsterdam Research Paper in Business Analytics, 1–25.
11. Ghobakhloo, M., Mahdiraji, H. A., Iranmanesh, M. a Jafari-Sadeghi, V. 2024. "From Industry 4.0 Digital Manufacturing to Industry 5.0 Digital Society: a Roadmap Toward Human-Centric, Sustainable, and Resilient Production." *Information Systems Frontiers*. <https://doi.org/10.1007/s10796-024-10476-z>.
12. Gudź, O., Fediunin, S. a Shcherbyna, V. 2019. "Digitalization as competitive advantage of companies." *Economy. Management. Business* 29. <https://doi.org/10.31673/2415-8089.2019.031824>.

13. Hastie, T., Tibshirani, R. a Friedman, J. 2009. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction*. 2nd ed. Springer.
14. Heredia, J., Castillo-Vergara, M., Geldes, C., Carbajal Gamarra, F. M., Flores, A. a Heredia, W. 2022. "How do digital capabilities affect firm performance? The mediating role of technological capabilities in the "new normal"." *Journal of Innovation & Knowledge* 7, Article 100171. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100171>.
15. Hermundsdottir, F. a Aspelund, A. 2021. "Sustainability innovations and firm competitiveness: A review." *Journal of Cleaner Production* 280, Article 124715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124715>
16. Inel, M. 2019. "An empirical study on measurement of efficiency of digital transformation by using data envelopment analysis." *Management Science Letters* 9: 549–56. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.1.008>.
17. Introna, V., Santolamazza, A. a Cesarotti, V. 2024. "Integrating Industry 4.0 and 5.0 Innovations for Enhanced Energy Management Systems." *Energies* 17, Article 1222. <https://doi.org/10.3390/en17051222>.
18. Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M. a Giallanza, A. 2021. "Industry 4.0 Technologies for Manufacturing Sustainability. A Systematic Review and Future Research Directions." *Applied Sciences* 11, Article 5725. <https://doi.org/10.3390/app11125725>.
19. Jin, H. a Xie, Y. 2023. "A Review of Research on the Impact of Digitalization on Agricultural Supply Chain Security." In *Digitalization and Management Innovation*, edited by A.J. Tallón-Ballesteros a P. Santana-Morales, 378–385. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/FAIA230038>
20. Kolasani, S. 2024. "Revolutionizing manufacturing, making it more efficient, flexible, and intelligent with Industry 4.0 innovations." *International Journal of Sustainable Development Through AI, ML and IoT*, 3: 1-17. <https://ijsdai.com/index.php/IJSDAI/article/view/46>.
21. Krejnus, M., Stofkova, J., Stofkova, K. a Binasova, V. 2023. "The Use of the DEA Method for Measuring the Efficiency of Electronic Public Administration as Part of the Digitization of the Economy and Society." *Applied Sciences* 13, Article 3672. <https://doi.org/10.3390/app13063672>.
22. Krstić, A., Rejman-Petrović, D., Nedeljković, I. a Mimović, P. 2023. "Efficiency of the use of information and communication technologies as a determinant of the digital business transformation process." *Benchmarking: An International Journal*, 30, 3860–3883. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2022-0439>.
23. Kyshakevych, B., Maksyshko, N., Hrytsenko, K., Voronchak, I. a Demediuk, B. 2024. "Analyzing the efficiency of digitalization in small and medium-sized enterprises across EU countries using dea models. Financial & Credit Activity." *Problems of Theory & Practice* 3: 215–229. <https://doi.org/10.55643/fcaptp.3.56.2024.4344>.
24. Li, D., Tang, H., Wang, S. a Liu, Ch. 2017. "A big data enabled load-balancing control for smart manufacturing of Industry 4.0." *Cluster Computing* 20: 1855–1864. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-0852-1>.
25. Lihonenko, L., Khripko, A., a Domanskyi, A. 2018. "The Content and Mechanism of Forming a Strategy of Digitalization in Business Organizations." *Internauka*, part 2: 20–24. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2018-22-4555>
26. Milošević, N., Dobrota, M., a Rakočević, S. B. 2018. "Digital economy in Europe: Evaluation of countries' performances." *Zbornik Radova Ekonomski Fakultet u Rijeka* 36: 861–880. <https://doi.org/10.18045/zbefri.2018.2.861>.

27. MIRDÍ SR. 2024. "National Digital Decade Strategic Roadmap of the Slovak Republic." Dostupné z: <https://mirri.gov.sk/wp-content/uploads/2024/03/National-Digital-Decade-Strategic-Roadmap-of-the-Slovak-Republic.pdf>.
28. Myovella, G., Karacuka, M. a Haucap, Y. 2020. "Digitalization and economic growth: A comparative analysis of Sub-Saharan Africa and OECD economies." *Telecommunications Policy* 44, Article 101856. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2019.101856>.
29. Scuotto V., Serravalle F., Murray A. a Viassone M. 2019. *Posun k digitálnemu obchodnému modelu: A Strategic Decision for the Female Entrepreneur (Strategické rozhodnutie pre podnikateľku). Women Entrepreneurs and Strategic Decision Making in the Global Economy (Podnikateľky a strategické rozhodovanie v globálnej ekonomike)*. Hershey, PA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7479-8.ch007>.
30. Tzampazaki, M., Zografos, C., Vrochidou, E. a Papakostas G. A. 2024. "Machine Vision—Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0." *Applied Sciences* 14: Article 1471. <https://doi.org/10.3390/app14041471>.
31. Vadovský, M. a Paralič, J. 2018. "Výber vhodných atribútov pre tvorbu klasifikačných modelov v oblasti medicíny." In *Data a znalosti & WIKT 2018: sborník konference*. Brno. Dostupné z: http://daz2018.fit.vutbr.cz/DaZ_WIKT_2018_Sbornik.pdf.
32. Yalcin, E. C. 2021. "Efficiency measurement of digitalization on EU countries: A study based on data envelopment analysis." *International journal of management, knowledge and learning* 10: 323–333. <https://doi.org/10.53615/2232-5697.10.323-333>.
33. Zhu, J. 2014. *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets*, 3rd ed.; New York: Springer.