

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ

Ивана С. Петковски

**Структурирање фактора развоја
дигиталног друштва применом машинског
учења**

Докторска дисертација

Бор, 2024.

UNIVERSITY OF BELGRADE
TECHNICAL FACULTY IN BOR

Ivana S. Petkovski

**Structuring the development factors of the
digital society using machine learning**

Doctoral dissertation

Bor, 2024.

Ментор:

Проф. др Исидора Милошевић, редовни професор, Универзитет у Београду,
Технички факултет у Бору

Председник комисије

Проф. др Санела Арсић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Технички
факултет у Бору

Чланови комисије:

1. Проф. др Александра Федајев, ванредни професор, Универзитет у Београду,
Технички факултет у Бору
2. др Анђелка Стојановић, доцент, Универзитет у Београду, Технички факултет у
Бору
3. Проф. др Иван Михајловић, редовни професор, Универзитет у Београду,
Машински факултет
4. др Лазар Велимировић, виши научни сарадник, Математички институт САНУ

Датум одбране докторске дисертације:

Захвалница

Желим да изразим дубоку захвалност мом ментору, проф. др Исидори Милошевић на подршци, стручном доприносу и посвећеном времену у спровођењу истраживачког рада и изради дисертације. Њено менторство је обогатило садржину ове дисертације.

Велико хвала проф. др. Ивану Михајловићу на подстицају и стручној подршци у почетним фазама истраживачког рада на основу којих је постављен темељ истраживања ове дисертације.

Посебну захвалност дугујем и члановима Комисије који су својим конструктивним коментарима и сугестијама у процесу евалуације унапредили квалитет ове дисертације.

На крају, неизмерну захвалност упућујем својој породици за подршку, стрпљење и храброст коју су ми пружили на овом академском путу. Хвала вам што сте веровали у мене.

Структурирање фактора развоја дигиталног друштва применом машинског учења

Извод: Ова дисертација истражује сложени утицај фактора одрживости на дигитални развој у 21. веку, користећи софистициране статистичке моделе и аналитичке методе. Дисертација је усмерена на идентификацију кључних показатеља који обликују развој дигиталног друштва. Са циљем детаљнијег испитивања дигиталног развоја на друге феномене у свету, дефинисани су технолошки фактори чији је утицај моделован у односу на развој глобализације.

Методолошка основа истраживања укључује анализу три истраживачка модела. Прва два истраживачка модела баве се утицајем фактора одрживости на развој дигитализације, док се трећи истраживачки модел бави утицајем технолошких фактора на развој глобализације. Примењени су напредни статистички приступи као што су нелинеарна полиномска регресија, вештачке неуронске мреже и моделовање структурних једначина применом методе парцијалних најмањих квадрата.

Први модел, формиран на методама машинског учења, посебно нелинеарној полиномској регресији и вештачким неуронским мрежама, истражује утицај социјалних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације. Резултати овог модела указују на висок ниво предиктивне способности вештачких неуронских мрежа у поређењу са нелинеарном полиномском регресијом и наглашавају позитиван утицај економских фактора на дигитални развој.

Други модел проширује анализу на образовне, економске, енергетске и еколошке факторе у циљу развоја дигитализације. Резултати ове анализе, коришћењем методе моделовања структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата, указују на статистички значајан утицај образовања, економије и енергетике на развој дигитализације, док еколошки фактори нису показали статистичку значајност.

Трећи модел проширује истраживање на развој глобализације, посматрајући факторе попут дигитализације, науке и технологије, и трговине информационо-комуникационим технологијама. Резултати мулти-групне анализе парцијалних најмањих квадрата указују на одређене разлике у утицају дигитализације, науке и технологије, и трговине информационо-комуникационим технологијама на глобализацију између тржишних и транзиционих привреда.

Овај рад има значајан научни допринос, пре свега у формирање нових статистичких модела за анализу фактора развоја дигитализације и глобализације, као и примену разноврсних метода машинског учења и моделовања у истраживању ових феномена. Холистички приступ анализи фактора одрживости на дигитализацију омогућава разумевање њиховог утицаја на брзину развоја дигиталног друштва.

Кључне речи: дигитализација, глобализација, утицајни фактори, машинско учење, моделовање

Научна област: Техничко-технолошке науке

Ужа научна област: Инжењерски менаџмент

УДК:

004.9:330.341(043.3)

338.2(043.3)

519.233.3(043.3)

Structuring the development factors of the digital society using machine learning

Abstract: This dissertation explores the complex influence of sustainability factors on digital development in the 21st century, employing sophisticated statistical models and analytical methods. The dissertation focuses on identifying key indicators that shape the development of the digital society. Furthermore, we identify technological factors and model their influence on the development of globalization to further scrutinize the influence of digital development on other global phenomena.

The research methodology encompasses the analysis of three research models. The first two models model the impact of sustainability factors on digitalization, while the third investigates the impact of technological factors on globalization. We applied advanced statistical approaches, including nonlinear polynomial regression, artificial neural networks, and structural equation modeling of partial least squares.

The initial model, which uses machine learning methods such as nonlinear polynomial regression and artificial neural networks, investigates how social, economic, energy, and environmental factors impact digitalization. The model's results show artificial neural networks as greater at making predictions than nonlinear polynomial regression. This shows that economic factors have a positive effect on digital development.

The second model extends the analysis to educational, economic, energy, and environmental factors influencing digitalization. Using structural equation modeling of partial least squares, this study shows that education, the economy, and energy all have statistically significant effects on digital development. The environmental factor, on the other hand, did not show any statistical significance.

The third model expands the research to the realm of globalization, considering factors such as digitalization, science and technology, and information and communication technology (ICT) trade. Digitalization, science and technology, and ICT trade all have positive effects on globalization, as shown by the multigroup analysis of partial least squares. In addition, the analysis also examines the differences between market and transitional economies in more detail.

This work contributes significantly to scientific knowledge, including the establishment of new mathematical models for analyzing the factors influencing digitalization and globalization. It also involves the application of diverse machine learning and modeling methods to investigate these phenomena. A holistic approach to analyzing sustainability factors impact on digitalization allows for an understanding of their influence on the pace of digital societal development.

Keywords: digitalization, globalization, impact factors, machine learning, modeling

Scientific field: Technical-technology sciences

Scientific subfield: Engineering management

UDK:

004.9:330.341(043.3)

338.2(043.3)

519.233.3(043.3)

САДРЖАЈ

1.	УВОД.....	1
1.1.	Предмет и циљеви истраживања.....	5
1.1.1.	Предмет истраживања.....	5
1.1.2.	Циљеви истраживања.....	6
1.2.	Полазне хипотезе.....	8
1.3.	Структура дисертације.....	11
2.	ОПШТА ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА О ДИГИТАЛИЗАЦИЈИ.....	13
2.1.	Настанак и развој ИКТ.....	13
2.2.	Основни појмови и дефиниције дигитализације.....	15
2.3.	Дигитализација у друштву.....	18
2.4.	Разлози увођења дигитализације.....	19
2.5.	Баријере увођења дигитализације.....	22
2.6.	Мерење дигитализације.....	24
3.	ЛИТЕРАТУРНИ ПРЕГЛЕД.....	27
4.	ФАКТОРИ ДИГИТАЛИЗАЦИЈЕ.....	45
4.1.	Социјални и образовни фактори.....	45
4.2.	Економски фактори.....	49
4.3.	Енергетски фактори.....	52
4.4.	Еколошки фактори.....	57
4.5.	Глобализација.....	61
4.6.	Развој концептуалних модела.....	65
5.	МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА.....	68
5.1.	Дескриптивна статистика.....	68
5.2.	Машинско учење.....	70
5.2.1.	Регресија.....	71
5.2.2.	Линеарна регресија.....	72
5.2.3.	Нелинеарна регресија.....	74
5.2.4.	Полиномска регресија.....	75
5.2.5.	Вештачке неуронске мреже.....	76
5.3.	Моделовање.....	82
5.3.1.	Моделовање структурних једначина.....	82

5.3.2.	Факторска анализа.....	84
5.3.3.	Корелација	87
5.3.4.	Мерни SEM модел.....	88
5.3.5.	Структурни SEM модел.....	90
5.3.6.	Моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата.....	91
5.3.7.	Мулти-групна анализа методом парцијалних најмањих квадрата.....	95
6.	РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА.....	98
6.1.	Истраживачки подаци.....	98
6.2.	Модел I: Нелинеарна регресија и вештачке неуронске мреже.....	100
6.3.	Модел II: Моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата и вештачке неуронске мреже.....	110
6.4.	Модел III: Моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата и мулти-групна анализа.....	123
7.	ДИСКУСИЈА.....	134
8.	ЗАКЉУЧАК	140
	ЛИТЕРАТУРА.....	144
	БИОГРАФИЈА.....	166

ПОПИС СЛИКА

Слика 2.1.	Кондратиеви циклуси у економији	14
Слика 2.2.	Процес дигиталне трансформације	15
Слика 4.1.	Број претплата на фиксни широкопојасни приступ интернету (на 100 људи) у свету (а) 2000. године и (б) 2021. године	47
Слика 4.2.	Улагање у истраживања и развој као проценат БДП-а у свету у 2021. години	52
Слика 4.3.	Процент становништва са приступом електричној енергији у свету у 2020. години	53
Слика 4.4.	Потражња за електричном енергијом у свету (а) 2000. године и (б) 2020. године.....	55
Слика 4.5.	Компарација емисије штетних гасова изражене у тонама у свету (а) 1970. године и (б) 2021. године	58
Слика 4.6.	Компарација интензитета енергије израженог у доларима у свету (а) 2000. године и (б) 2018. године	60
Слика 4.7.	Укупна вредност извоза производа и услуга изражена у доларима у свету 2020. године.....	62
Слика 4.8.	Фазе истраживачког рада и формирање модела.....	65
Слика 4.9.	Теоријски концепт истраживачког модела I.....	66
Слика 4.10.	Теоријски концепт истраживачког модела II.....	66
Слика 4.11.	Теоријски концепт истраживачког модела III.....	66
Слика 5.1.	Приказ елемената вештачког неурона	78
Слика 5.2.	Сигмоидна функција.....	78
Слика 5.3.	Структура вештачке неуронске мреже	79
Слика 5.4.	Поступак тренирања вештачке мреже употребом методе „пропагација уназад“	81
Слика 5.5.	EFA модел.....	85
Слика 5.6.	SFA модел	86
Слика 5.7.	Мерни и структурни PLS-SEM модел	92
Слика 6.1.	Истраживачки модел I	101
Слика 6.2.	Поређење резултата предикције нелинеарне регресије и стварног ИКТ индекса развоја истраживачког модела I	107
Слика 6.3.	Структура вештачке неуронске мреже за истраживачки модел I	108
Слика 6.4.	Поређење предикционе вредности ИКТ индекса развоја путем ANN методе и стварне вредности ИКТ индекса развоја истраживачког модела I	109

Слика 6.5.	Нормализована значајност улазних варијабли истраживачког модела I прорачунатих употребом ANN методе	110
Слика 6.6.	Мерни модел истраживачког модела II	111
Слика 6.7.	PLS-SEM структурни модел за истраживачки модел II.....	120
Слика 6.8.	RMSE перформансе ANN истраживачког модела II.....	121
Слика 6.9.	Структура вештачке неуронске мреже за истраживачки модел II...	122
Слика 6.10.	Нормализована значајност латентних конструката истраживачког модела II прорачунатих употребом ANN методе	122
Слика 6.11.	Истраживачки модел III	124
Слика 6.12.	PLS-SEM структурни модел за истраживачки модел III	130
Слика 6.13.	Мулти-групни PLS-SEM модел за тржишне привреде истраживачког модела III	131
Слика 6.14.	Мулти-групни PLS-SEM модел за транзиционе привреде истраживачког модела III.....	132

ПОПИС ТАБЕЛА

Табела 6.1.	Независни и зависни фактори и припадајуће посматране варијабле.	98
Табела 6.2.	Списак земаља обухваћених истраживањем.....	100
Табела 6.3.	Структура истраживачког модела I.....	102
Табела 6.4.	Дескриптивна статистика истраживачког модела I.....	103
Табела 6.5.	Корелациона анализа истраживачког модела I.....	105
Табела 6.6.	Структура истраживачког модела II	112
Табела 6.7.	Дескриптивна статистика истраживачког модела II	114
Табела 6.8.	Корелациона анализа истраживачког модела II.....	115
Табела 6.9.	Експлораторна факторска анализа истраживачког модела II.....	116
Табела 6.10.	Евалуација мерног модела истраживачког модела II.....	117
Табела 6.11.	Дискриминантна валидност истраживачког модела II по Fornell-Larcker критеријуму и хетеротраит-монотраит односу (НТМТ)	118
Табела 6.12.	Дискриминантна валидност истраживачког модела II коришћењем фактора унакрсног оптерећења	119
Табела 6.13.	Резултати тестирања хипотеза истраживачког модела II	119
Табела 6.14.	Резултати ANN истраживачког модела II	120
Табела 6.15.	Компарација резултата PLS-SEM и ANN истраживачког модела II	123
Табела 6.16.	Структура истраживачког модела III.....	124
Табела 6.17.	Дескриптивна статистика истраживачког модела III	126
Табела 6.18.	Корелациона анализа истраживачког модела III	127
Табела 6.19.	Спољна оптерећења у истраживачком моделу III	128
Табела 6.20.	Конструктна поузданост и валидност истраживачког модела III	129
Табела 6.21.	Дискриминантна валидност по Fornell-Larcker критеријуму истраживачког модела III.....	129
Табела 6.22.	Бутстрапинг резултат за укупан скуп података истраживачког модела III.....	129
Табела 6.23.	Бутстрапинг резултат за тржишне привреде истраживачког модела III	131
Табела 6.24.	Бутстрапинг резултат за транзиционе привреде истраживачког модела III.....	132
Табела 6.25.	Резултати MICOM анализе истраживачког модела III.....	133
Табела 6.26.	Мулти-групна анализа према параметарском тесту и Welch-Satterthwait тесту за истраживачки модел III	133

1. УВОД

Изазови који су присутни у 21. веку играју кључну улогу у обликовању будућих економских и друштвених трендова. Појава пандемије, нагли технолошки напредак, климатске промене, загађење животне средине, непрестане миграције становништва, као и континуирани оружани сукоби, представљају само неке од кључних изазова са којима се човечанство суочава у данашњем времену (European Commission, 2019). У центру ових дешавања издвајају се дигиталне технологије као помоћно средство у решавању многих актуелних проблема. Стога је и политика Европске Уније (ЕУ) усмерена ка подршци људима и организацијама у циљу интензивирања употребе дигиталне технологије у чијем средишту се налази човек (European Commission, 2021).

Стратешку окосницу развоја дигитализације на европском нивоу представљају стратегија „Јединствено дигитално тржиште за Европу“ (European Parliament, 2015) и стратегија „Обликовање дигиталне будућности Европе“ (European Commission, 2020). Овим документима утврђени су циљеви и представљена је политика развоја дигитализације у земљама чланицама ЕУ. У предложеном стратешком решењу Европске Комисије дефинисана су четири основна правца у погледу развоја дигитализације у периоду од 2020. године до 2030. године. Међу њима се налазе: (1) политика унапређења дигиталних вештина становништва које је тренутни и будући корисник ове технологије, и стварању професионалаца у сектору за информационо-комуникационе технологије (ИКТ), (2) обезбеђивање одрживе дигиталне инфраструктуре која може да подржи даљи развој дигитализације и проток све веће количине података, (3) спровођење дигиталне трансформације предузећа, и (4) дигитализација јавних услуга (European Commission, 2021). Управо је овај период у коме ће се реализовати програми и политике ка остварењу ова четири циља означен као дигитална декада ЕУ (European Commission, 2021).

О значају дигитализације за глобални развој говоре и извештаји о драстичном порасту индикатора дигитализације у земљама у развоју који се бележи током последњих деценија. Наиме, у 2022. години број претплата на широкопојасни приступ интернету на глобалном нивоу премашио је 1.4 билиона корисника, у поређењу са 2012. годином, када је био нешто мање од половине овог броја (World data bank, 2023). Статистички подаци за 2022. годину истичу импресиван број мобилних корисника који износи 8.36 билиона, уз 108 претплата на мобилни телефон на 100 становника на глобалном нивоу (World data bank, 2023). Ови подаци јасно указују на кључну улогу дигитализације у обликовању друштвених и пословних парадигми и јачању глобалне повезаности. Ови индикатори потврђују да ИКТ пружа значајне могућности за развој тржишта и стварање услова за јачање конкурентности на глобалном тржишту. Због тога битна улога дигиталних технологија која се прожима кроз све сфере живота и рада не сме бити изостављена у релевантним научним истраживањима. Утицај друштва, економије, технологије, али и област образовања, и законодавства на развој дигитализације је видљив и тиме се јасно

јавља потреба за спровођењем даљих истраживања којима би се веза између ових области и дигитализације изучавала у складу са актуелним трендовима.

Истраживање развоја дигитализације је важно за испитивање тренутних и будућих потреба и навика друштва у вези са употребом технологије. Дигитализација друштва у потпуности мења начин живота, рада, учења и забаве појединаца. Овај феномен је у великој мери присутан међу становништвом развијених привреда, док су у привредама у развоју примећене потешкоће у дифузији дигиталне технологије (Penard et al., 2015). Ово се првенствено односи на лошије економске, образовне и друштвене аспекте живота становништва у неразвијеним привредама, посебно на територији Африке, латинске Америке и јужне Азије у којима је присутна већа друштвена неједнакост (Almeshqab & Ustun, 2019). Неодговарајућа инфраструктура, неједнакост у расподели дохотка, висок степен незапослености, низак ниво образовања и ограничен приступ дигиталној технологији само су неки од социјалних разлога за настанак дигиталне поделе (Sharma & Banerjee, 2022).

Образовни систем представља кључни покретач технолошког напретка и стога би требало да буде прилагодљив како би одговорио на будуће потребе индустрије 4.0, као што је аргументовано у студији из 2016. године (Düzkaуа, 2016). Овај приступ истиче значај неколико кључних принципа (Düzkaуа, 2016):

- усклађивање образовне политике са променама у ИКТ сектору,
- креирање програма обуке који су прилагодљиви развоју ИКТ-а,
- усмеравање образовног система на концепту истраживачког учења,
- повећање броја појединаца способних за самостално учење,
- укључивање визуелног и динамичног учења у образовни систем.

Напредак ИКТ испољава значајне импликације на раст економије како је закључено у постојећим истраживањима (Appiah-Otoo & Song, 2020). Могућност дифузије ИКТ у индустријским секторима економија у развоју представља важну окосницу у њиховом економском просперитету (Kallal et al., 2020). Дигитализација представља моћан инструмент који је данас доступан менаџерима и пружа обимну количину података која може бити драгоцену у процесу доношења пословних одлука (Nell et al., 2021). Међутим, према налазима студије (Nell et al., 2021), споро доношење одлука, узроковано претрпаношћу доступним информацијама које захтевају детаљну анализу, као и могућим грешкама у подацима, повремено може надмашити користи које дигитална технологија пружа. Стога, аутори наглашавају да би организације потпуно искористиле предности дигитализације, кључно је прецизно проценити у којој мери њихово пословање зависи од дигиталних технологија у процесу доношења одлука (Nell et al., 2021). Додатно, истичу да је кључно у току процеса рада са дигиталним технологијама укључити људе како би се правилно интерпретирали резултати вештачке интелигенције. Стога је потребно фокусирати се на усмеравање будућег развоја дигитализације који би могао да подржи и унапреди функционисање индустрије 4.0. Образовни систем у дигиталном друштву креира образовне програме који оспособљавају појединце да живе и раде у дигиталном окружењу и пружа могућност појединцима да стекну вештине за учешће у свету дигиталне технологије (Cirillo et al., 2023).

Брзина у којој се дигитализација развија зависи и од расположивих финансијских средстава које државни и приватни сектор алоцирају за активности истраживања и развоја технологије (Bloom et al., 2012). Усмеравање веће количине новца за ове потребе убрзава развој иновативне технологије и омогућава даљи напредак дигитализације што се може видети на примеру економски развијених земаља (Lera-López et al., 2011). Дигитализација утиче на продуктивност рада и тиме мења структуру интернационалне трговине и конкурентност на глобалном тржишту (Moyer & Hughes, 2012; Anand et al., 2015). Може се закључити постојање статистички значајне позитивне корелације између економије и дигитализације (Vu et al., 2020). У осталом, ранија истраживања су потврдила да веза између дигитализације и глобализације постоји, и да употреба дигиталне технологије интензивира глобализацију (Friedman, 2000). Дигитална технологија омогућава олакшану трговину, комуникацију и размену знања међу становништвом које је физички удаљено (Hart, 2010).

У погледу законодавства, утицај дигитализације се огледа у новим правним и политичким питањима која овај феномен поставља законодавним институцијама. Ефекти развоја дигитализације са собом доносе промене на националном и интернационалном тржишту, у јавном и приватном сектору, у животној средини и многим другим областима које је потребно правно регулисати и обликовати релевантне законе и политике (Glocker & Piribauer, 2021; Jones & Adams, 2023). На пример, одлуком о креирању програма за стратегију „Дигитална декада“ у ЕУ, постало је обавезујуће да се даљи развој дигиталне технологије и свих активности које прате њену производњу и употребу базирају на одрживој инфраструктури која обезбеђује смањење негативног утицаја на животну средину и повећање енергетске ефикасности што је у складу са стратегијом „Европски зелени договор“ (European Commission, 2019). Ова стратегија подразумева посвећеност ЕУ остварењу циља да постане први континент са нултом емисијом штетних гасова и то у периоду до 2050. године. У складу са тим неопходно је планирати одрживи дигитални развој (Suermer et al., 2019).

Сама природа процеса дигитализације указује да је повећана потрошња енергетских ресурса услед повећаног интензитета употребе технологије очекивана. Бројна истраживања то показују, и узимају у обзир континуирани раст броја дигиталних уређаја на тржишту (Kouton, 2019). Овај проблем изазива бројне контроверзе у јавности јер је питање употребе природних ресурса једно од горућих проблема данашњице имајући у виду њихову ограниченост (Salahuddin & Alam, 2016). Други потенцијални проблем који се јавља је прекомерна количина полутаната у атмосфери који представља последицу увећане употребе енергетских ресурса (Salahuddin & Alam, 2016). У складу са тим тежи се ка употреби обновљивих извора енергије и развоју технологије новије генерације која умањује еколошки отисак производње и употребе дигиталне технологије (Twi-Vrempong et al., 2019).

Последица неравномерне употребе дигиталне технологије јесте дигитална подела (European Commission, 2021). Она се може јавити из више разлога. Првенствено је дигитална подела резултат разлике између дигитално развијене инфраструктуре у урбаним срединама, и недовољне инфраструктурне покривености

у руралним подручјима (European Commission, 2021). Затим, дигитална подела се може јавити међу становништвом које има приступ широком асортиману дигиталних услуга и оном делу становништва којем је овај приступ ограничен или онемогућен. Последице дигиталне поделе се могу увидети и у пословном свету у организацијама које су у потпуности усвојиле дигиталне технологије и оним организацијама које их тек усвајају (European Commission, 2021). Земље чланице ЕУ које бележе највишу стопу недовољне употребе интернета укључују Бугарску, Хрватску и Грчку (Digital economy and society index, 2023), и поред значајног потенцијала за даљи напредак у процесу дигитализације у овим економијама.

Динамично окружење у коме се одвија дигитализација условљава анализу различитих показатеља који прате и одређују интензитет њеног развоја. Сходно томе, јавља се потреба да се креирају модели који могу да оцене утицај задатих независних варијабли на будући развој дигитализације. У пракси се за ове потребе користе методе регресије (Pecokov, 2012) и вештачких неуронских мрежа (Torres-García et al., 2021) које представљају методе машинског учења као и методе моделовања структурних једначина (Hair et al., 2021). Ове методе су се показале као ефикасне у проучавању утицаја независне варијабле на зависне варијабле што је случај у овој дисертацији.

У постојећој стручној литератури проналазе се различите студије које испитују област дигитализације и њене утицајне факторе. Међутим уколико се у обзир узму турбулентно окружење и неизвесност у брзини економског, технолошког и друштвеног развоја, јавља се потреба за формирањем напреднијих статистичких модела за анализу развоја дигитализације који се баве актуелним глобалним изазовима и питањем одрживости. Па тако питања као што су социјална и економска неједнакост, развијеност економије, климатске промене, загађење животне средине, повећана употреба енергетских ресурса морају бити интегрисани у оваквим моделима што представља и основни мотив спровођења овог истраживања.

Додатна мотивација за ову истраживачку студију проистиче из приметног недостатка литературе која се бави развојем модела за анализу утицајних фактора одрживости на развој дигитализације који холистички сагледавају сва питања која су раније споменута. Део доступних емпиријских истраживања се односи на поједина социјална или економска питања о употреби дигиталне технологије и интернета док, према сазнању аутора ове дисертације, не постоје модели који симултано сагледавају утицај социјалних, економских, енергетских и фактора животне средине на развој дигитализације као и утицај образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације.

Додатни мотив за реализацију овог истраживања се проналази у покушају да се открију они фактори одрживости који остварују негативан утицај на развој дигитализације како би се истражио разлог за ту појаву. Крајњи циљ истраживања јесте моделовање фактора одрживости како би се креирали оригинални мерни инструменти развоја дигитализације који најприближније оцењују и предвиђају утицај ових фактора на развој дигитализације. Како се у литератури јавља мноштво начина за мерење развоја дигитализације због њене мултидимензионалности, мотив

за ову истраживачку студију је да аутор предложи статистичке моделе за мерење развоја дигитализације који до сада нису коришћени у пракси, а формиран су употребом различитих методологија машинског учења и структурног моделовања.

Затим, мотивација за спровођење оваквог истраживања се налази и у сагледавању шире перспективе развоја дигитализације кроз повезаност технолошких фактора са другим феноменом као што је глобализација. Имајући у виду да технолошки развој и глобализација зависе од величине и карактера привредног система, у истраживању је употребљена подела земаља коју је дефинисала Европска банка за реконструкцију и развој (енг. European Bank for Reconstruction and development - EBRD) (EBRD, 2021) на тржишне и транзиционе привреде. Сходно томе, анализа утицајних фактора на развој глобализације извршена је према тој подели. У постојећој литератури недостају студије које се баве утицајем технолошких фактора на развој глобализације у контексту тржишних и транзиционих земаља па ова студија представља теоријски и емпиријски искорак у тој области истраживања.

1.1. Предмет и циљеви истраживања

1.1.1. Предмет истраживања

Процес дигиталног напретка има свој континуирани ток који се може пратити унатраг деценијама. Почетком педесетих година прошлог века, рачунари су први пут постали део оперативних система у великим организацијама, што представља кључну тачку у развоју дигиталне технологије (Freeman & Perez, 1988). Одатле, технолошки напредак је еволуирао кроз побољшање микрочипова током седамдесетих година, а са појавом интернета, ова еволуција је још више добила на интензитету (Freeman & Perez, 1988; Allianz Global Investors, 2010). Многе истраживачке студије које су се до сада бавиле дигитализацијом доприносе разумевању фактора који утичу на њу, али исто тако указују на потребу за даљим истраживањем услед динамичног окружења.

Брзе економске и друштвене промене створиле су нове изазове, укључујући климатске промене и загађење животне средине као глобалне претње (Wang et al., 2020). Такође, динамика потрошње енергије директно утиче на исцрпљивање енергетских ресурса (Wang et al., 2020). Социјална неједнакост и неравномерна расподела богатства на глобалном нивоу доводе до диспаритета у технолошком развоју између развијених и неразвијених земаља (Njangang et al., 2022). Ови феномени заједно стварају потребу за конструкцијом нових модела који могу систематизовано анализирати утицај савремених друштвених и економских тенденција на дигитални развој поједине земље.

Предмет истраживања ове дисертације је моделовање утицаја фактора одрживости на процес дигитализације применом метода машинског учења и структурног моделовања. Затим се истраживање шири моделовањем утицаја технолошких фактора на развој глобализације употребом методе структурног моделовања. За потребе овог обимног истраживања са већим бројем различитих

фактора и припадајућим елементима формирана су три истраживачка модела. У истраживачком моделу I, предмет истраживања је моделовање утицаја социјалних, економских, енергетских и фактора животне средине на развој дигитализације. У истраживачком моделу II, предмет истраживања је моделовање утицаја образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације. Док је у истраживачком моделу III, предмет истраживања моделовање утицаја фактора дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на глобализацију. Подручје обухваћено истраживањем обухвата већи број европских држава чији су подаци прикупљени на годишњем нивоу у опсегу од 2010. године до 2018. године, а што ће детаљно бити објашњено у делу истраживачких података. У складу са истраживачким моделима I, II и III и прегледом релевантне литературе дефинисани су одговарајући показатељи који припадају сваком фактору. Сваки од ових фактора представља независну групу улазних варијабли које се користе у истраживању. Централни фокус истраживања је анализа интеракција између утицаја наведених фактора одрживости и развоја дигитализације у моделима I и II. У моделу III циљ истраживања је анализа утицаја технолошких фактора на развој глобализације.

Истраживање представљено у овој дисертацији је од значаја за разумевање комплексних веза између различитих фактора одрживости и дигитализације, пружајући дубљи увид у процесе дигитализације у контексту европских земаља. Подаци коришћени у овој дисертацији преузети су из различитих извора у којима су спроведена емпиријска истраживања у домену дигиталног развоја европских привреда. Још један аспект према коме је истраживање значајно је разумевање комплексних односа између технологије и глобализације као општеприсутног феномена у свету. Коришћење метода машинског учења и структурног моделовања омогућава прецизно и детаљно анализирање ових веза, што може допринети бољем обликовању политика и стратегија у циљу подршке технолошком развоју.

1.1.2. Циљеви истраживања

Основна сврха истраживања ове дисертације јесте да се темељно анализира утицај фактора одрживости на процес дигитализације. Споредни циљ се огледа у анализирању утицаја технолошких фактора на глобализацију. Ова дисертација има за циљ да пружи детаљно разумевање природе веза између посматраних фактора одрживости и развоја дигитализације, као и да идентификује њихов релативни значај. Кроз остваривање низа специфичних подциљева, ова дисертација ће допринети даљем развоју теоријског и емпиријског оквира за проучавање ових веза и понудити смернице за будући развој дигитализације на европском нивоу.

Први подциљ истраживања је дефинисање теоријског и емпиријског оквира за формирање структурног модела којим ће се испитати утицај социјалних, економских, енергетских и фактора животне средине на развој дигитализације. Овај корак је од суштинског значаја јер пружа основу за анализу и интерпретацију података који ће бити прикупљени током истраживања. Теоријски оквир омогућава постављање хипотеза о очекиваним утицајима фактора одрживости на

дигитализацију, док емпиријски оквир дефинише методологију прикупљања и анализе релевантних података.

Други подциљ истраживања је дефинисање теоријског оквира за формирање структурног модела којим ће се испитати утицај образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације. На основу оваквог теоријског прегледа могуће је формирати додатне хипотезе развоја дигитализације и прикупити одговарајуће емпиријске податаке.

Трећи подциљ истраживања се односи на прикупљање релевантне литературе и дефинисање теоријског оквира којим ће се формирати структурни модел утицаја фактора дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на глобализацију.

Четврти подциљ истраживања односи се на предвиђање значајности фактора одрживости за развој дигитализације. Овај корак ће омогућити идентификацију битних фактора који играју кључну улогу у процесу дигитализације. Процес предвиђања допринеће бољем разумевању значајности појединих фактора у планирању и имплементацији дифузије дигитализације.

Пети подциљ истраживања усмерен је на анализу корелација између појединачних показатеља у оквиру фактора одрживости и развоја дигитализације. Ова анализа ће помоћи у идентификовању интензитета релација које постоје између показатеља у оквиру посматраних фактора и дигитализације. Откривање ових односа омогућиће боље разумевање динамике дигитализације и пружити основу за даље анализе и неопходне мере.

Шести подциљ истраживања је да образложи који од разматраних аспеката имају негативан утицај на развој дигитализације што ће помоћи доносиоцима одлука да боље разумеју како да оптимизују факторе одрживости који утичу на дигитализацију у складу са околином у којој је спроводе. да утврди јаке аспекте развоја дигитализације како би се усвојила најбоља пракса и дефинисале мере за развој дигитализације у будућем периоду.

Седми подциљ је анализа разлика у утицају посматраних технолошких фактора на глобализацију између тржишних и транзиционих привреда путем мулти-групне анализе.

Ова дисертација има за циљ да истражи комплексне везе између фактора одрживости и развоја дигитализације. Кроз дефинисање теоријског и емпиријског оквира, предвиђања значајности фактора одрживости, анализу корелација и предлагања смерница, истраживање ће допринети разумевању дигитализације и понудити теоријске импликације за области у којима се може извршити њено унапређење у посматраним привредама. Добијени модели моћи ће да пронађу своју примену у анализи развоја дигитализације и других економија света које овим истраживањем нису обухваћене. Такође, модел је флексибилан и може се употребити за испитивање развоја дигитализације на националном нивоу. Додатно

истраживање у области глобализације омогући ће посматрање односа технолошког развоја у односу на феномен глобализације и утврдиће се разлика у утицају фактора у земљама са различитим привредним системима.

1.2. Полазне хипотезе

На основу опсежног прегледа доступне литературе и формираног теоријског оквира истраживања предложена је полазна нулта хипотеза. Нулта хипотеза претпоставља да је могуће формирати модел којим се доказује да различите групе фактора одрживости имају утицаја на развој дигитализације (Urbančiková et al., 2017; Farooqi et al., 2020; Myovella et al., 2021; Rath et al., 2023). Стога, иницијална хипотеза формулисана је на следећи начин:

X₀: Могуће је развити модел којим се мери утицај социјалних, економских, енергетских и фактора животне средине на развој дигитализације.

Полазна хипотеза ће бити разматрана у истраживачком моделу I. На темељу утицаја групе фактора одрживости на развој дигитализације, постављена је и додатна хипотеза којом се испитује утицај образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације (Salahuddin & Alam, 2016; Afawubo et al., 2017; Kouton, 2019; Habibi & Zabardast, 2020; Zhou et al., 2021). Ова хипотеза се испитује у истраживачком моделу II. У складу са тим формирана је на следећи начин:

X₁: Могуће је развити модел којим се мери утицај образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације.

Образовање има значајну улогу у контексту развоја дигитализације јер се на њему темељи употреба дигиталне технологије. Корисници дигиталне технологије представљају појединце који у различитом обиму имају приступ овим уређајима и интернету. Досадашња истраживања показују да ниво животног стандарда становништва, ниво образовања и запосленост имају утицаја на дифузију дигиталних технологија (Sharma & Banerjee, 2022; Njangang et al., 2022). Образовање игра важну улогу у одлуци о прихватању дигиталне технологије јер омогућава појединцима да стекну компетенције за коришћење дигиталних уређаја (Habibi & Zabardast, 2020). Имајући у виду да је употреба дигиталне технологије условљена и висином дохотка појединаца (Afawubo et al., 2017), хипотеза X_2 формирана је на следећи начин:

X₂: Образовни фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације.

Економски фактори односе се на средства намењена за инвестирање у процес развоја дигитализације. Развој технологије заснива се на активностима истраживања и развоја која изискују значајна финансијска средства (Nair et al., 2020). Улагања у ову област се најчешће финансирају из државног буџета и висина тих улагања се зависи од нивоа економског развоја (Nair et al., 2020). Развијене земље улажу и преко 2% свог БДП-а за потребе истраживања и развоја и њихов технолошки напредак је бржи у односу на земље у развоју које улажу знатно мања средства (Ivanová et al.,

2021). Битну улогу у овом процесу има и међународна трговина која омогућава трансфер технологије и размену знања (Zhou et al., 2021). Узимајући у обзир све претходно наведене чињенице, формирана је хипотеза X_3 која гласи:

X_3 : Економски фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације.

Енергетски фактори су веома заступљени у истраживањима различитих дисциплина током последњих неколико деценија. Ова широка заступљеност произилази из све веће потребе за осигурањем снабдевања енергетским ресурсима на којима се темељи општи напредак друштва као и чињеници да у 21. веку и даље постоје подручја у којима је приступ електричној енергији ограничен (Wang et al., 2022). Посебно забрињавајућа је чињеница да се велики удео енергије још увек ствара из конвенционалних извора као што су фосилна горива и чија је расположива количина ограничена (Kouton, 2019). Да би се обезбедила довољна количина енергетских ресурса, пре свега електричне енергије и подржао развој технологије, а самим тим и дигитализације неопходно је усвојити алтернативне изворе енергије који се темеље на чистим изворима енергије ветра, сунца, воде и осталим изворима (Zheng & Wang, 2020). Према томе, наведени разлози условљавају формирање хипотезе X_4 која је дефинисана на следећи начин:

X_4 : Енергетски фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације.

Еколошки фактори представљају неизбежан аспект истраживања у овој области у савременим условима. Значај екологије привукао је интересовање шире јавности и академске заједнице са појавом истраживања о штетним гасовима који су производ индустријализације и напретка друштва (Salahuddin & Alam, 2016). Штетни полутанти, између осталих и угљен-диоксид, изазивају деградацију животне средине и изазивају климатске промене. Ова два изазова представљају озбиљне претње будућем развоју цивилизације. Истраживања показују да се њихов утицај мора идентификовати и минимизирати кроз употребу чистих извора енергије који немају негативан утицај на животну средину (Salahuddin & Alam, 2016). Технолошка решења новије генерације подразумевају повећану енергетску ефикасност производа у циљу смањења загађења насталог услед употребе ових уређаја (Ulucak et al., 2020; Godil et al., 2020; Lv & Xu, 2022). У складу са наведеним, формирана је хипотеза X_5 на следећи начин:

X_5 : Еколошки фактори имају негативан утицај на развој дигитализације.

У циљу даљег проширења истраживачког оквира развоја дигитализације, овом дисертацијом обухваћен је и истраживачки модел III. Овим моделом се испитује утицај технолошких фактора на глобализацију. Конкретно, испитује се утицај различитих аспеката дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на глобализацију.

Проучавајући везу између дигитализације и глобализације, јасно је да међу њима постоји висок степен међузависности и међуусловљености. Дигитална технологија продире у све аспекте друштва и економије, олакшавајући глобалну

комуникацију. Она игра кључну улогу као покретач процеса глобализације, који омогућава повезивање људи и привреда широм света (Hart, 2010). Развијене привреде често остварују бржи развој глобализације, нарочито када је ниво дигитализације висок (Miśkiewicz & Ausloos, 2010; Skare & Soriano, 2021). Насупрот томе, привреде у развоју суочавају се с изазовима недостатка адекватне дигиталне инфраструктуре која би подржала интензивирање процеса глобализације, што негативно утиче на прилив страних директних инвестиција (Arvin et al., 2021; Kim et al., 2021). Овај међузависни однос дигитализације и глобализације поставља основу за следеће теоријске хипотезе:

X₆: Фактори дигитализације имају позитиван утицај на глобализацију.

X_{6a}: Фактори дигитализације имају позитиван утицај на развој глобализације у тржишним привредама.

X_{6b}: Фактори дигитализације имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама.

Значај науке и технологије за развој глобализације је веома велики. Образовање је стуб свеукупног развоја друштва, док улагање у активности истраживања и развоја представља основу развоја технологије и размене знања ван граница једне земље (Grossman & Helpman, 2015; Dnishev & Alzhanova, 2016). Оне привреде које су конкурентне на тржишту улажу значајна средства у науку и бележе повећање нивоа образовања становништва јер се само тако осигуравају даљи раст и развој (Lera-López et al., 2011; Akcali & Sismanoglu, 2015). Количина средстава која се улаже у ове активности зависи од економске развијености земље па се тако јављају значајне разлике између развијених привреда и привреда у развоју. Развијене земље алоцирају велики део свог БДП-а за потребе истраживања и развоја како би развиле нове технологије (Akcali & Sismanoglu, 2015), док земље у развоју немају довољно финансијских средстава за овакав подухват те се ослањају на инострану технолошка решења и знања (Zhang, 2014; Erdal & Göçer, 2015; Fan et al., 2019). Осим нивоа развијености, на издвајања за развој науке и технологије зависе и од карактера привредног система. У тржишним привредама ова улагања финансира у већој мери приватни сектор, док се у транзиционим привредама ова улагања углавном свде на издвајања јавног сектора. На основу предложене теоријске подлоге формиране су следеће хипотезе:

X₇: Фактори науке и технологије имају позитиван утицај на глобализацију.

X_{7a}: Фактори науке и технологије имају позитиван утицај на развој глобализације у тржишним привредама.

X_{7b}: Фактори науке и технологије имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама.

Утицај трговине информационо-комуникационим технологијама на глобализацију се може пратити кроз праћење увоза и извоза ИКТ производа и услуга. Развијене земље су главни произвођачи и извозници ИКТ робе и услуга, јер оне обезбеђују развој нове технологије кроз улагање велике количине финансијских ресурса у њен развој (Costantini & Liberati, 2014; Adeleye et al., 2021). Тиме развијене земље повећавају учешће извоза ИКТ производе и услуге у укупном извозу ових

производа на глобалном тржишту. У покушају да одрже конкурентност на глобалном тржишту, земље у развоју увозе ИКТ производе и услуге у већој мери и настоје да произведу што већу количину ИКТ производа и услуга (Ukwuoma, 2019; Капо & Тоуата, 2020). Међутим недостатак адекватне инфраструктуре и осталих неопходних ресурса успоравају овај процес и углавном земље у развоју зависе од увоза ових производа и услуга (Dnisev & Alzhanova, 2016). Тржишне привреде имају већи извоз ИКТ од увоза, док је у транзиционим привредама ситуација обрнута. У складу са наведеним теоријским оквиром предложене су следеће хипотезе:

H₈: Фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на глобализацију.

H_{8a}: Фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на развој глобализације у тржишним привредама.

H_{8b}: Фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама.

Финална хипотеза је формирана како би се испитало постојање разлика између тржишних и транзиционих земља у погледу утицаја разматраних фактора на глобализацију на следећи начин:

H₉: Постоји статистички значајна разлика између тржишних и транзиционих привреда у утицају дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на глобализацију.

1.3. Структура дисертације

Структура ове дисертације формирана је на следећи начин. Поглавље 1 служи као увод у целокупно истраживање. Дефинисани су предмет и циљеви истраживања и постављене су полазне хипотезе. Поглавље 2 чине детаљан теоријски опис појма дигитализације, идентификовани су фактори који утичу на ниво дигитализације и баријере које се могу јавити у току тог процеса. Затим су предложени одговарајући начини за мерење развоја дигитализације који су до сада коришћени у литератури и од стране релевантних институција у овој области.

Поглавље 3 пружа увид у најзначајнија и најновија истраживања у области дигитализације. Дати су примери студија спроведених у оквиру испитивања фактора одрживости који имају утицаја на развој дигитализације од стране других аутора и њихова сазнања и предвиђања, као и литературни преглед истраживања спроведена на тему утицаја технолошких фактора на развој глобализације у појединим привредама.

Поглавље 4 представља теоријску поставку фактора одрживости који утичу на дигитализацију и технолошких фактора који утичу на глобализацију који ће бити анализирани у емпиријском делу истраживања. Приказани су резултати досадашњих истраживања за сваку групу фактора и показатеља који су дефинисани у оквиру ових фактора.

Поглавље 5 пружа детаљан опис методологије која је коришћена у истраживачком делу дисертације. У овом поглављу приказана је шема спровођења теоријског и практичног дела истраживања и дефинисане су методе за спровођење истраживања као и карактеристике скупа података на којима се врше анализе и прорачуни. Поглавље 6 представља детаљан приказ дескриптивне статистике података, корелације и поступак креирања модела.

Поглавље 7 посвећено је дискусији добијених резултата у светлу постављених хипотеза и теоријског оквира. И коначно, поглавље 8 представља закључке добијене након спроведеног истраживања заједно са ограничењима ове дисертације и будућим правцима истраживања.

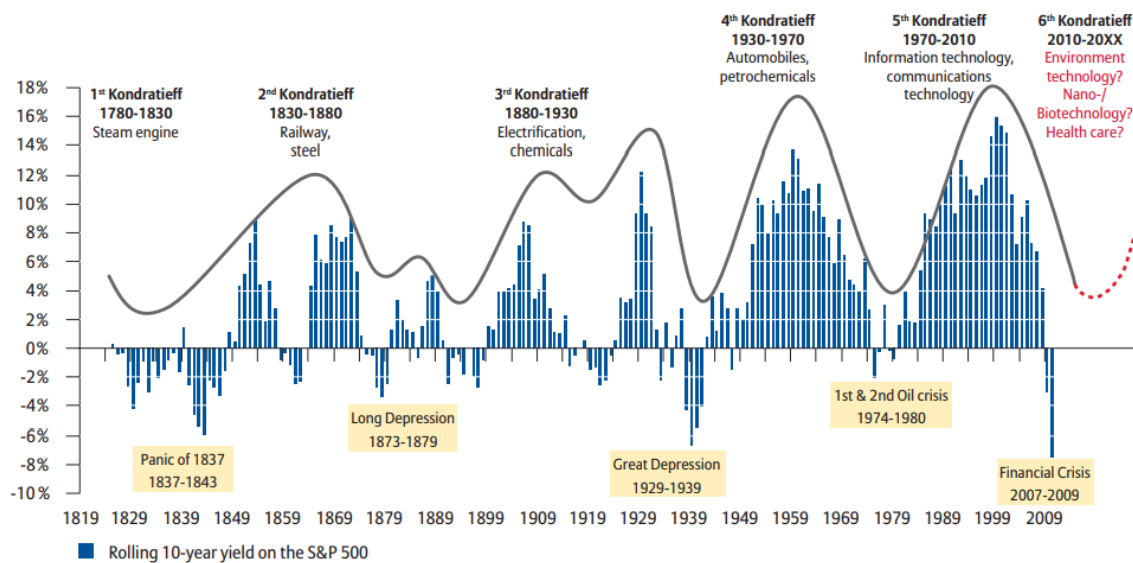
2. ОПШТА ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА О ДИГИТАЛИЗАЦИЈИ

Постојећи званични извештаји процењују да преко 5.3 милиона људи у свету користи интернет, што чини око 66% глобалне популације (International Telecommunication Union, 2022). У његовој употреби предњачи становништво старости од 15 до 24 година, углавном у развијеним земљама Европе, Америке и Азије, док је удео корисника у Африци знатно мањи (International Telecommunication Union, 2022). Урбанизација доприноси расту броја појединаца у урбаним срединама који користе интернет за своје личне и пословне потребе, док рурална подручја заостају у употреби интернета (International Telecommunication Union, 2022). Најчешћа баријера за даљи развој употребе дигиталне технологије јесте недостатак дигиталних вештина. Према Извештају индекса дигиталне економије и друштва за Европску Унију (ЕУ) из 2022. године, тек половина појединаца који користе интернет у свакодневним активностима поседују основне дигиталне вештине (Digital Economy and Society Index, 2022). Пенетрацијом дигиталних технологија у друштву постиже се значајан утицај на тржиште рада које исказује растућу потребу за појединцима са дигиталним вештинама. Мала и средња предузећа (МСП) у свом пословању све више усвајају дигиталну технологију али је јаз између великих компанија и МСП и даље значајан (Digital Economy and Society Index, 2022). Употреба дигиталних технологија у државној управи је такође у порасту чиме се подржава свеукупан дигитални развој економије и друштва (Tejedo-Romero et al., 2022). У 2020. години бруто додата вредност ИКТ сектора износила је 5.2% европског бруто домаћег производа (БДП) и већина бруто додате вредности припала је домену ИКТ услуга у виду компјутерског програмирања и консултатнских услуга (Eurostat, 2023). Прогнозе института McKinsey говоре да би дигиталне технологије у виду вештачке интелигенције могле да достигну 13 трилиона долара који би увећао глобални БДП до 2030. године и то највише применом електронске трговине (Bughin et al., 2018). Ови подаци говоре да је потенцијал за даљи развој дигитализације присутан и да је будућност развоја друштва одређена развојем дигиталне технологије која је инкорпорирана у свим аспектима друштва и економије.

У овом поглављу биће представљен развој ИКТ које су окосница данашњег концепта дигитализације. Даље, биће дефинисани основни појмови дигитализације и њен утицај на окружење. Такође, биће представљени разлози и баријере за увођење дигитализације. И на крају биће објашњени основни приступи за мерење дигиталног развоја.

2.1. Настанак и развој ИКТ

Настанак ИКТ кроз историју најпогодније је објаснити у оквиру Кондратијеве теорије економских циклуса према којој се економија креће у таласима који могу бити краћег или дужег интервала (Konratieff, 1935). Студије које се заснивају на Кондратијевој теорији економских циклуса дефинишу временске оквири и окоснице свих циклуса што се може видети на слици 2.1. Тако су се, према истраживању компаније Allianz из 2010. године (Allianz Global Investors, 2010), ИКТ које су основа данашњег дигиталног развоја појавиле у свету 70-их година прошлог века након нафтне кризе почетком 80-их година прошлог века.



Слика 2.1. Кондратијеви циклуси у економији (Allianz Global Investors, 2010)

У студији из 1987. године (Freeman, 1987), идентификован је почетак петог економског циклуса од 90-их година прошлог века који траје до данашњег дана. Окосница петог економског циклуса је проналазак ИКТ технологије и њена примена у друштвеном и економском животу (Freeman, 1987). Утицај ИКТ на драстичне промене у друштвеном и пословном свету нагласили су разни аутори у својим истраживањима (Freeman & Perez, 1988). Њихова истраживања су такође заснована на Кондратијевој дефиницији циклуса у економији и Шумпетеровој теорији привредних циклуса (Schumpeter, 1939). Пети циклус је окарактерисан као просперитет ИКТ сектора који се огледа кроз пораст производње компјутерских и електронских добара, телекомуникационе опреме, роботике, дигиталне и телекомуникационе мреже и сателита, као и развој нових информационих система (Freeman & Perez, 1988). Фокус је на регулацији неопходне ИКТ инфраструктуре, финансијских институција и тржишта капитала (Freeman & Perez, 1988). Међутим, аутори наводе да је ИКТ циклус са собом донео и проблеме недостатка институција које би на глобалном нивоу регулисале ИКТ пословање и транснационалне компаније.

Савремена литература препознаје неколико таласа у процесу дигитализације. Први талас дигитализације односи се на прелазак папира за складиштење информација у електронски облик употребом рачунара чиме се повећава аутоматизација (Legner et al., 2017). Други талас дигитализације односи се на појаву интернета и његову употребу као средство глобалне комуникације чиме се мења начин стварања вредности у организацијама и креирају се нове врсте електронског пословања (Legner et al., 2017). Трећи талас у којем се данас налазимо, заснован је на употреби SMAC (енг. social, mobile, analytics и cloud) технологије са све већом снагом процесора, капацитета за складиштење и повећаним опсегом комуникације (Legner et al., 2017).

У периоду пре интензивног развоја дигитализације фокус сектора за информационе технологије (ИТ) био је на пружању ефикасних ИТ решења уз ниске трошкове унутар пословних функција у организацији за потребе интерних корисника (Urbach et al., 2018). Са дигиталним развојем, значај ИТ сектора као издвојене службе интегрисане у структури организације расте (Urbach et al., 2018). Његов значај превазилази ниво појединачне функције у организацији јер се дигитализација одвија у свим функцијама организације. У актуелном таласу дигитализације фокус је на клијентима и њиховим потребама те се и фокус ИТ сектора помера на питања као што су време изласка на тржиште, иновације, креирање пословних модела и задовољство клијената (Urbach et al., 2018). Схватање неопходности ИТ-а за будуће пословање перципирају и организације изван оквира ИТ сектора што је значајна промена за ИТ област (Urbach et al., 2018).

2.2. Основни појмови и дефиниције дигитализације

Како би се успешно изучавао појам дигитализације, неопходно је да се разграниче основни термини везани за тему дигитализације. У савременој литератури се, приликом истраживања појма дигитализације јављају следећи појмови:

- дигитизација,
- дигитализација,
- дигитална трансформација.

Истраживања наводе да мањи број стручних чланака дефинише концепт дигитализације, а да је велики број истраживања усмерен на процес дигиталне трансформације. Сходно томе је и већи број доступних дефиниција појма дигиталне трансформације (Reis et al., 2020). У систематском прегледу мултидисциплинарних радова који се баве тематиком дигитализације објашњен је теоријски оквир настајања ова три појма (Verhoef et al., 2021). Аутори (Verhoef et al., 2021) су дискутовали да дигитизација и дигитализација заједно доводе до почетка процеса дигиталне трансформације што је представљено на слици 2.2.



Слика 2.2. Процес дигиталне трансформације (Verhoef et al., 2021)

Појам дигитизације дефинисали су као пренос аналогне у дигиталну информацију односно активност (Verhoef et al., 2021). Дефиниција појма дигитизације дата је и као технички процес преноса аналогног сигнала у дигитални облик и даље у бинарне цифре (Tilson et al., 2010). Дигитизација значи пренос аналогне информације у бинарни облик који користе дигиталне технологије (Hinings et al., 2018). Даље, дигитизација се према Гартнеровом речнику о информационим технологијама (ИТ) (Gartner, 2023) дефинише као „процес промене из аналогног у дигитални облик, такође познат као дигитално омогућавање. Другим речима, дигитизација узима аналогни облик информација и мења га у дигитални облик без икаквих промена у природи самог процеса“. Из представљених литературних извора се може закључити да је дефиниција појма дигитизације универзалног карактера и да у вези ње постоји консензус великог броја истраживача.

У савременој литератури могу се пронаћи различите дефиниције појма дигитализације. Дигитализација се посматра као једна од најважнијих трансформација у друштвеном и пословном свету (Hagberg et al., 2016). Појам дигитализације означен је као „социотехнички процес примене технике дигитизације у ширем друштвеном и институционалном контексту који чини инфраструктуру дигиталних технологија“ (Tilson et al., 2010). Дигитализација омогућава нове облике интеракције са купцима и запосленима (Rachinger et al., 2018). Она утиче на пословни модел организације тиме што омогућава нове облике сарадње међу клијентима и нуди нове производе и услуге засноване на дигиталној технологији (Rachinger et al., 2018). Концепт дигитализације на основу доступних дефиниција у литератури предложен је на примеру дефиниције која гласи: „дигитализација је феномен конверзије аналогних података у дигиталне чиме се могу побољшати пословни односи између купаца и организација, стварајући додатну вредност и за организацију и за целокупно друштво“ (Reis et al., 2020).

Дигитализација подразумева употребу дигиталне технологије у контексту појединаца, друштва и економије (Legner et al., 2017). Најједноставнија дефиниција дигитализације објашњава овај појам као употребу дигиталне технологије (Srai & Lorentz, 2019). Осим што дигитализација означава технологију, уз термин дигитализације може се придодати и спајање технологија како би се развили нови пословни модели и генерисала нова тржишта (Schneider & Kokshagina, 2020). Даље, она подразумева промене настале у организацији и пословним моделима организације употребом дигиталне технологије са циљем побољшања перформанси и обима пословања (Westerman et al., 2011). Циљ дигитализације није просто увођење дигиталне технологије у постојеће процесе, већ промена постојећих процеса тако да они буду олакшани употребом дигиталне технологије (Parviainen et al., 2017). У Гартнеровом речнику (Gartner, 2023) појам дигитализације дефинише се као: „употреба дигиталних технологија за промену пословног модела и обезбеђивање нових могућности за остваривање прихода и стварање вредности; то је процес преласка на дигитално пословање“. Дигитализација се може дефинисати и као употреба дигиталне технологије у привреди чиме се мењају постојећи пословни процеси (Verhoef et al., 2021). Ову дефиницију потврђују и друга истраживања која тврде да се појам дигитализације односи на употребу дигиталне технологије којом се мењају постојећи пословни процеси (Reis & Melão, 2023). Други аутори (Google,

2018) сматрају да је дигитализација употреба дигиталне технологије и дигитизоване информације за потребе стварања и креирања вредности на нов начин. На основу предложених дефиниција може се рећи да је термин дигитализације у литератури најчешће дефинисан у економском оквиру промене пословних модела организација, интеракције са клијентима и употребе дигиталне технологије за стварање додатне вредности.

Са друге стране, појам дигиталне трансформације дефинише се као промена пословних модела услед деловања дигитизације и дигитализације (Verhoef et al., 2021). Наводи се да дигитална трансформација мења фокус стратегије привредних субјеката тиме што наглашава потребу за дигиталним ресурсима, променом организационе структуре која се заснива на дигиталном пословном моделу, редефинисањем стратегије раста и мониторингом индикатора и циљева у оваквом пословном окружењу како би се мерио успех дигиталне трансформације (Verhoef et al., 2021). Другачија перспектива појма дигиталне трансформације предложена је кроз њену дефиницију као: „процес који има за циљ да побољша одређени ентитет покретањем значајних промена његових својстава комбиновањем информација, рачунарства, комуникације и технологије за умрежавање“ (Vial, 2019). Дигитална технологија се посматра као покретач поремећаја који захтевају стратешки одговор организација, које одговарајући на промене и баријере обезбеђују да процес дигиталне трансформације буде успешан (Vial, 2019). Даље, дигитална трансформација може се дефинисати као „дубока и убрзана трансформација пословних активности, процеса, компетенција, и модела како би се у потпуности искористиле промене и прилике које доносе дигиталне технологије и њихов утицај у друштву на стратешки и приоритетан начин“ (Demirkan et al., 2016).

Дигитална трансформација се може дефинисати као трансформација пословног процеса, културе и организационих аспеката како би се оствариле потребе тржишта, захваљујући употреби дигиталне технологије (Nasiri et al., 2020). Другим речима, дигитална трансформација је процес комбиновања дигиталних технологија са успешним пословним моделима којима се ствара велика вредност за организације (Lee et al., 2021). Други аутори наглашавају промену у структури организације, процеса, функција и пословних модела организације услед прихватања дигиталне технологије (Sahu et al., 2018). Сходно томе, компанија IBM (IBM, 2023) дигиталну трансформацију дефинише као: „Вођена потражњом на тржишту и подстакнута технологијом, дигитална трансформација подразумева усвајање дигиталних искустава купаца, пословних партнера и запослених“. У IBM-у се концепт дигиталне трансформације односи на клијенте, запослене, пословне процесе и пословне операције (IBM, 2023). Дигитална трансформација може да се посматра и анализира на следећим нивоима (Parviainen et al., 2017):

- ниво процеса,
- ниво организације,
- ниво друштва.

Као главни циљ дигиталне трансформације наводи се повећање продуктивности и креативности појединаца и организација (Demirkan et al., 2016).

2.3. Дигитализација у друштву

У ери дигитализације, дигитална технологија је интегрисана у свим аспектима модерног друштва. Дигитална технологија се налази у широкој употреби у економији (Rong, 2022), индустрији (Benitez et al., 2023), друштву (Dufva & Dufva, 2019), образовању (Wang et al., 2023), државној управи (Khan et al., 2021), и осталим сегментима привреде. Употреба дигиталне технологије у економској литератури је дефинисана као дигитална економија. Дигитална економија односи се на „широк спектар економских активности које укључују коришћење дигитизованих информација и знања као кључног фактора производње, савремене информационе мреже као важног простора за обављање активности и ефикасну употребу ИКТ као важног покретача раста продуктивности и оптимизације економске структуре“ (G20 Digital Economy Task Force, 2016). Истраживања су закључила да се дефиниције дигиталне економије у литератури фокусирају на економске ефекте, док се социјални и регулаторни ефекти занемарују (Oloyede et al., 2022). Из тог разлога предложена је дефиниција дигиталне економије као „све економске, друштвене и државне активности које могу побољшати људски живот, а који се ослања или унапређује коришћењем ИКТ“ (Oloyede et al., 2022). Од дигиталних технологија које се најчешће користе могу се издвојити друштвени медији (енг. social media), мобилно рачунарство (енг. mobile computing), аналитика података (енг. data analytics), рачунарство у облаку (енг. cloud computing), затим се јављају блокчејн, вештачка интелигенција, 5G мрежа, и виртуелна стварност (Urbach et al., 2018; Rong, 2022). За већину ове технологије може се рећи да је начин употребе, учесталост употребе, побољшана ефикасност и умреженост чине незаобилазним делом друштвене и пословне свакодневице (Urbach et al., 2018).

Развој дигиталне економије подржан је дигиталном инфраструктуром која се базира на информационим мрежама и фокусира на пренос, складиштење, прорачун, процесуирање и сигурност података (Rong, 2022). Дигитална инфраструктура је та која одређује конкурентску предност економије у погледу развоја технологије, дигиталне индустрије и стварања дигиталних екосистема (Rong, 2022). Дигитална технологија у домену индустрије креира концепт индустрије 4.0 који поред основне технологије интегрише и разна друга хардверска и софтверска технолошка решења у својим активностима (Benitez et al., 2023). Предност коју индустрија 4.0 пружа привреди огледа се у већој флексибилности, ефикасности и прецизности пословних активности (Murugesan et al., 2023). Одвијање индустријских активности у индустрији подржаној дигиталним технологијама заснива се на употреби дигиталних платформи (Benitez et al., 2023). Дигиталне технологије у индустрији 4.0 се могу категорисати у неколико група и обухватају технологије за вертикалну интеграцију, основне технологије, технологије за виртуелне активности и технологије за физичке процесе (Benitez et al., 2023). У оквиру технологије за вертикалну интеграцију могу се пронаћи системи за планирање ресурса у предузећу, системи за контролу извршења производње, системи за супервизију и прикупљање података (Benitez et al., 2023). У основне технологије спадају интернет ствари, рачунарство у облаку, велики подаци, аналитика и вештачка интелигенција (Benitez et al., 2023). Технологије за виртуелне активности обухватају даљинско пуштање у рад машина, дигиталну производњу, машински вид, проширену и виртуелну

стварност, паметне мреже (Benitez et al., 2023). У технологије за физичке процесе убрајају се 3D штампа, роботи, и флексибилне производне линије (Benitez et al., 2023).

Дигитална технологија мења стил и темпо живота појединаца употребом ИКТ у виду рачунара, паметних телефона, интернета, виртуелне стварности и сличних уређаја у свакодневним активностима (Dufva & Dufva, 2019). Развој друштва у дигиталној ери зависи од распрострањености дигиталне технологије и доступне дигиталне инфраструктуре чије се функционисање заснива на употреби дигиталних мрежа и база података (Dufva & Dufva, 2019). Дифузија дигитализације условљена је доступном ИКТ и онемогућен приступ ИКТ у појединим подручјима у литератури познат је као „дигитална подела“ (Lythreathis et al., 2022). Дигитална подела се јавља са настанком ИКТ сектора 90-их година прошлог века и може бити условљена различитим социјалним, економским, личним, технолошким факторима али највише од свега условљена је образовањем (Lythreathis et al., 2022). Да би појединци могли да користе дигиталну технологију морају бити дигитално писмени. Дигитална писменост означава овладавање појединаца техничким знањима, уз поседовање основног образовања како би користили ИКТ на тај начин да могу да функционишу у информационом друштву (Tornero, 2004). Да би се већи проценат становништва укључио у коришћење дигиталних технологија, потребно је да поседују дигиталне компетенције стога је неопходно дигитализовати образовне институције (Wang et al., 2023). Образовне институције усклађују своје планове и програме потребама дигиталног окружења у контексту образовања 4.0 кроз мењање праксе предавања, учења и организације (Hong & Ma, 2020). образовање 4.0 припрема студенте за живот и рад након стеченог образовања, а који је условљен интензивном дигитализацијом (Hong & Ma, 2020).

Новија литература препознаје све већу примену ИКТ у раду у државној администрацији (Khan et al., 2021). Њена примена у интеракцији државних институција и грађана осликава се кроз употребу дигиталних сервиса путем којих грађани остварују своја права и обавезе према држави (Tejedo-Romero et al., 2022). Овакав вид комуникације између државе и грађана назива се е-управа и основни циљ е-управе огледа се у повећању транспарентности у комуникацији и повећавању учешће грађана у активностима локалне самоуправе и државе (Tejedo-Romero et al., 2022).

2.4. Разлози увођења дигитализације

За увођење дигитализације у пословном окружењу постоје бројни разлози. Према интернационалном истраживању (Ghobakhloo & Chings, 2019) у коме су анализирана мала и средња предузећа (МСП), доказано је да на одлуку о имплементацији дигиталне технологије у овим привредним субјектима утиче скуп технолошких, организационих и фактора окружења. Резултати су добијени анализом одговора 360 анкетираних МСП која послују у различитим привредним секторима. Истраживање је показало да су технолошки фактори усвајања дигиталне технологије њена перципирана вредност и компатибилност. Међу организационим факторима нашли су се потреба за процесуирањем информација, компетенције у области

информационих и дигиталних технологија и стратешки оквири за спровођење дигитализације у производњи. Фактори окружења који утичу на увођење дигиталне технологије су притисци од стране различитих стејкхолдера (испоручиоци, партнери, потрошачи, држава) да осавремене своје пословање и прилагоде се променама у окружењу.

У сродном истраживању испитивани су технолошки, организациони фактори и фактори окружења који утичу на увођење дигитализације у МСП у земљама у развоју (Shahadat et al., 2023). Анализа одговора спроведена је моделовањем структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата (енг. Partial Least Squares Structural Equation Modeling - PLS-SEM). Наиме, истраживање је показало да код технолошких фактора релативна предност, комплексност и транспарентност у великој мери утичу на усвајање дигиталне технологије. Код организационих фактора, као значајни елементи истичу се подршка топ менаџмента који води целокупан процес усвајања технологије и спремност привредног субјекта на неопходне промене. Што се тиче фактора окружења, аутори су навели значај притиска конкурената и државе ка усвајању дигиталне технологије (Shahadat et al., 2023).

Дифузија дигиталне технологије у привредним субјектима није једнако распрострањена (Cirillo et al., 2023). У емпиријској студији, аутори су истраживали детерминанте које условљавају усвајање дигиталне технологије на нивоу привредних субјеката (Cirillo et al., 2023). Истраживање је показало да на усвајање ове технологије највећи утицај остварују образовање и тренинзи запослених. Улагање у развој људског капитала и креирање услова за тренинг запослених на радним местима је од виталног значаја у дигиталној ери јер запослени су ти који морају поседовати адекватна знања и вештине за коришћење дигиталне технологије (Cirillo et al., 2023).

Други аутори су испитивали утицајне факторе на тренд прихватања нове технологије кроз преглед постојећих извора литературе (Solaimani & Swaak, 2023). Анализа обухваћених студија показала је да одређени фактори имају кључну важност за усвајање дигиталне технологије. Међу овим факторима навели су потребу за одређивањем очекиваног учинка, подршку од стране топ менаџмента, неопходне техничке компетенције и ресурсе, лакоћу употребе, организациону компатибилност и утицај пословних партнера. Анализирани фактори односе се на привредне субјекте и њихове запослене. Најкритичнији фактор међу њима је очекивани учинак који дигитална технологија остварује у раду. Када се овај фактор дефинише и утврди очекивани учинак онда на значајности добијају и остали фактори који су дефинисани у литературном прегледу (Solaimani & Swaak, 2023).

Недавно истраживање фокусирано на усвајање дигиталне технологије у виду блокчејна, у ланцима снабдевања привредних субјеката пружило је анализу става експерата у овој области (Agi & Jha, 2022). На основу прикупљених одговора 37 анкетираних експерата у Француској спроведена је анализа података употребом вишекритеријумске методе лабораторије за прерачунавање и вредновање одлучивања (DEMATEL) која одређује узрочно-последичну везу елемената.

Евалуација добијених резултата показала је велики значај релативне предности технологије и притиска околине на усвајање блокчејн технологије у систем снабдевања. Од осталих фактора који утичу на усвајање ове дигиталне технологије проналазе се и могућност за смањење трошкова трансакција, могућност потрошача да прате податке и формирање регулаторног оквира за рад блокчејн технологије. Аутори истичу важну улогу менаџмента у ширењу свести пословних партнера и клијената о значају доступности података које пружа блокчејн, затим у стандардизацији ове технологије како би се могла користити екстерно међу различитим привредним субјектима, и на крају у формирању оквира за регулаторну политику која би дефинисала законске оквире употребе блокчејн технологије (Agi & Jha, 2022).

Истраживачка студија из 2022. године спроведена је на тему усвајања дигиталне технологије у виду блокчејна, у привредним субјектима (Bai et al., 2022). Истраживање је спроведено полуструктурираним интервјуима у којима су учешће узели чланови топ менаџмента и технички стручњаци. Аутори су формирали две основне групе фактора који утичу на усвајање дигиталне технологије у ланцу снабдевања које чине технолошку и оперативну групу. У технолошкој групи утицајних фактора истакнути су избор најадекватнијег оквира блокчејн технологије у односу на потребе привредног субјекта, интероперабилност технологија у ланцу снабдевања и управљање подацима јер су подаци сада садржани у блокчејн технологији и постоји мања контрола над њима. Што се тиче оперативне групе утицајних фактора, као најзначајнији дефинисани су нови технолошки процеси и целокупна трансформација ланца снабдевања. Аутори су истакли су важност проблема елиминисања одређених радних места приликом дигиталне трансформације ланца снабдевања у току које се од запослених очекује да остану на својим радним местима докле год се процес дигиталне трансформације не комплетира, иако су свесни да ће окончањем процеса дигитализације ланца снабдевања изгубити посао (Bai et al., 2022). Додатни проблем дигитализације ланца снабдевања јесте регулаторни контекст у коме привредни субјекти послују, а који није прилагођен законодавним потребама дигиталног ланца снабдевања. У студији се наводи пример уговора између партнера који према тренутним законима морају бити потписани и у писаној форми док дигитална технологија ове послове обавља електронским путем.

Рачунарство у облаку је још један вид употребе дигиталне технологије који мења традиционални начин пословања. У циљу евалуације разлога за увођење рачунарства у облаку у свакодневни рад у ИТ сектору спроведена је анкета међу ИТ стручњацима (Hassan et al., 2022). Упитник је формиран на основу доступне литературе у овој области. Резултати емпиријске студије су показали да ИТ стручњаци подржавају увођење ове технологије из разлога што пружа перципирану сигурност технологије, аргументовану предност технологије, кредибилност извора података и перципирану корист технологије.

Истраживање из 2022. године говори о стопи усвајања дигиталне технологије једне нације (на макро нивоу) (Hooks et al., 2022). Аутори наводе да је за свеукупан развој земље основни предуслов усвајање технологије која тај развој омогућава и

подржава. У анализи су користили панел са случајним ефектима. Резултати студије су показали да су разлози као што су конкурентност на тржишту, сајбер безбедност, начин пословања, политичка стабилност и одсуство тероризма статистички значајни фактори за повећање стопе усвајања дигиталне технологије од стране државе. Држава мора створити адекватне услове за усвајање дигиталне технологије.

2.5. Баријере увођења дигитализације

У данашњој литератури спомињу се спољашњи фактори који условљавају настанак дигиталног окружења. Међу најважнијима наводе се развој дигиталне технологије, ширење дигиталне конкуренције, и промену понашања купаца у складу са постојећом дигиталном технологијом (Verhoef et al., 2021). Развој дигитализације може бити угрожен из бројних разлога. Истраживачки рад на тему препрека за увођење дигиталне технологије у МСП из 2007 године, говори о значају менаџера, запослених, поседовање знања о увођењу и бенефитима дигиталне технологије (Arendt, 2007). Аутор сугерише да се разлика у прихватању дигиталне технологије између МСП и великих корпорација проналази у недостатку знања и вештина запослених у МСП. Његова студија истиче да су знање и вештине људског капитала од виталног значаја за усвајање и коришћење ове технологије.

Новија истраживања усмерена на изучавање препрека у увођењу дигиталне технологије истичу мноштво других баријера. Сходно томе спроведена је анализа постојеће литературе са тематиком баријера за увођење дисруптивне технологије у ланцу снабдевања у 2023. години (Agrawal et al., 2023). Анализом 187 чланака објављених од 2013. године, набројано је укупно 25 баријера увођења ове технологије. Идентификоване баријере класификоване су у 5 група које обухватају процесне баријере, технолошке баријере, економске и финансијске баријере, институционалне и регулаторне баријере и структурне и културалне баријере. Према овом истраживању, баријере које нису обухваћене групама, а присутне су у литератури јесу: недостатак еко-ефикасности технолошких процеса, недостатак физичке и ИТ инфраструктуре, високи трошкови инвестиција у овој области и слаба свест значајних учесника о значају дигиталне технологије. На основу овог истраживања могу се формулисати смернице за развој стратегије за увођење дисруптивне технологије у глобалном ланцу снабдевања чиме би се наставио тренд раста дигитализације.

У сличном истраживању дискутовано је о факторима који утичу негативно на увођење дигиталне технологије у привредним субјектима чиме се ремети њихова дигитална трансформација (Feliciano-Cestero et al., 2023). Резултати истраживања добијени су анализом 123 чланака у овој области од 2002. године. Емпиријски подаци истичу да фактори знања, лидерства, дигитализације услуга и технолошки фактори утичу на увођење дигиталне технологије. Посматрано у негативном контексту, увођење дигиталне технологије успорено је недостатком технолошког знања, сигурносни ризици у вези дигиталне технологије, културални фактори, и лични фактори индивидуа којима се успорава дигитална трансформација.

Систематски литературни преглед из 2023. године представља анализу баријера за увођење дигиталне технологије на нивоу 9 привредних субјеката и доступне литературе (Trevisan et al., 2023). У истраживању је наведен укупан број од 45 баријера које су сврстали у 8 димензија. Димензије су груписали у следеће сегменте: димензија управљања знањем, финансијска димензија, димензија управљања процесима, технолошка димензија, димензија производа и материјала, димензија обрнуте логистичке инфраструктуре, димензија друштвеног понашања и политичка и регулативна димензија. Дате су детаљне препоруке за превазилажење баријера у увођењу дигиталне технологије на микро, мезо и макро нивоу (Trevisan et al., 2023). На микро нивоу аутори предлажу образовне програме и тренинге, на мезо нивоу дискутују о сарадњи привредних субјеката са околином, док на макро нивоу аутори разматрају развој нових државних регулатива и правила како би се олакшала дигитална трансформација.

Како у свим сферама производње, тако и у производним ланцима снабдевања могу се пронаћи препреке за увођење дигиталне технологије. Овај проблем дискутован је на основу постојеће стручне литературе (Attiany et al., 2023). Употребом интерпретативног структурног моделовања и матрице множења за класификацију, аутори су издвојили 2 независне и 8 зависних баријера увођења дигиталне технологије. Изазови сајбер безбедности и недостатак дигиталне стратегије су две основне баријере. Међу зависним баријерама које се дефинишу у оквиру независних баријера, налазе се недостатак инфраструктуре, отпор запослених ка усвајању нових технологија, неопходна значајна инвестициона средства, изазови управљања подацима и квалитетом, неизвесност економске добити, недовољна зрелост технологије, недостатак одговарајућих вештина запослених и застоји у послу. Аутори истичу да је потребно да привредни субјекти схвате који су економски бенефити увођења дигиталне технологије, да обезбеде потребну инфраструктуру и организују тренинге за своје запослене како би они стекли дигиталне вештине.

Литературни преглед о баријерама усвајања дигиталне технологије из 2020. године обухвата 30 студија из различитих привредних сектора као што су здравство, ИТ, енергетика, агрокултура, туризам и слично (Subric, 2020). На основу анализе студија, аутор (Subric, 2022) је детаљно анализирао уочене баријере увођења вештачке интелигенције у свакодневном раду. Међу истакнутим баријерама налазе се техничке баријере које интегришу доступност података и поновна употреба модела. У прегледном раду се спомињу и социјалне баријере које се тичу појачане зависности од машина, сигурност радног места, недостатак потребног знања, питање сигурности, и перспективе стејкхолдера. Економске баријере су такође укључене у анализу и оне се тичу трошкова технологије и пратеће инфраструктуре.

Баријере за увођење дигиталне технологије у државним институцијама анализирани су спровођењем анкете у овим институцијама у Италији (Tangi et al., 2021). Прикупљени одговори из анкета анализирани су употребом моделовања структурних једначина. Резултати су показали да је највећа претња за спровођење дигитализације питање хитности увођења, потребе за променама, питање заједничке

визије и недостатак сарадње. Аутори су истакли значај улоге менаџера у спровођењу дигиталне трансформације у државним институцијама.

2.6. Мерење дигитализације

Имајући у виду да је дигитализација комплексан концепт, правилним мерењем путем одговарајућих индикатора ствара се контролни механизам којим се мери њена успешност у разним сферама (Kotarba, 2017). У раду из 2017. године, представљени су могући начини за мерење дигитализације и закључено је да се индикатори дигитализације у већини анализираних радова своди на индексе дигитализације које прорачунавају различите организације (Kotarba, 2017). У другој компаративној анализи дат је преглед општепознатих индекса за мерење дигиталне економије са скуповима индикатора које обухватају (Oloyede, 2022). У овој студији аутори су идентификовали на десетине индекса међу којима се проналазе (Oloyede, 2022):

- Индекс дигиталне економије и друштва (енг. Digital Economy and Society Index - DESI),
- Индекс спремности мреже (енг. Network Readiness Index - NRI),
- Индекс развоја електронске управе (енг. Electronic Government Development Index - EGDI),
- Индекс усвајања дигиталне технологије (енг. Digital Adoption Index - DAI),
- Индекс развоја ИКТ (енг. ICT development index),
- и остали индекси.

Индекс дигиталне економије и друштва представља композитни индекс за мерење напретка дигитализације у Европској Унији (ЕУ) и састоји се из четири димензија: конекција, људски капитал, интеграција дигиталне технологије, и дигиталне јавне службе (Digital Economy and Society Index, 2022). Овај индекс је први пут употребљен 2014. године и од тада се рачуна на годишњем нивоу од стране Европске Комисије. Димензија која одражава конекцију прикупља податке о брзини мреже, покривености оптичким интернетом и 5G мрежом, броју корисника мобилног интернета и цени интернет пакета. Димензија људског капитала подразумева податке о броју појединаца са основним и напредним дигиталним вештинама, појединцима који користе софтвер да би креирали садржај, ИКТ експертима, организацијама које пружају ИКТ обуку и броју студената са ИКТ дипломом. Димензија интеграције дигиталне технологије прати интензитет употребе дигиталне технологије у МСП, увођење технологије и електронске трговине. Последња димензија дигиталне јавне службе мери понуду и потражњу е-услуга и политику отворених података. Методологија која се користи у израчунавању индекса дигиталне економије и друштва подразумева нормализацију података употребом мин-макс методе (Digital Economy and Society Index, 2022). Све димензије имају подједнаке тежинске факторе од 25%, док се унутар димензија разликују тежински фактори елемената. Израчунавање вредности елемената димензија, самих димензија и укупног скорa индекса дигиталне економије и друштва врши се одозго

нагоре употребом пондерисаних аритметичких просека (Digital Economy and Society Index, 2022).

Индекс спремности мреже је вишеслојни индекс који се састоји из три нивоа показатеља. Највиши ниво обухвата четири стуба и то технологију, људе, управу и утицај (The Network Readiness Index, 2022). Стуб технологије обухвата приступ технологији, садржај и будуће технологије. Други стуб људи обухвата појединце, владу и пословне организације. Трећи стуб управе обухвата поверење, регулацију и инклузију. И четврти стуб утицаја обухвата економију, квалитет живота и допринос циљевима одрживог развоја. Прво издање индекса спремности мреже објављено је 2002. године у склопу Глобалног извештаја о информационим технологијама који публикују Светски економски форум, Cornell универзитет и Европски институт пословне администрације (The Network Readiness Index, 2022). Од 2016. године почиње да се објављује у извештај о индексу спремности мреже института Portulans (The Network Readiness Index, 2022). Овај индекс обухвата 131 земљу и мери 56 показатеља. Агрегација трећег нивоа индекса у други па затим у први ниво врши се на основу аритметичке средине података. Тежински фактори за четири елемента основног модела су подједнаки (The Network Readiness Index, 2022).

Индекс развоја електронске управе је индекс који се мери од 2003. године у 193 економије, које су чланице Уједињених нација. Индекс сачињавају три композитне мере: индекс онлајн услуга, индекс телекомуникационе инфраструктуре и индекс љуског капитала (UN E-Government Survey, 2016). Индекс развоја електронске управе добија се путем пондерисаног просека ова три нормализована композитна индекса (UN E-Government Survey, 2016). Индекс телекомуникационе инфраструктуре обухвата процењене бројеве корисника у односу на 100 становника и то: интернета, фиксног телефона, мобилних претплатника, претплата на бежични широкопојасни приступ и претплата фиксног широкопојасног приступа. Затим, индекс људског капитала обухвата стопу писмености одраслих, комбиновани бруто удео уписа у основне и средње школе и факултете, очекивани број година школовања, и просечан број година школовања. Индекс онлајн услуга формира се путем анкетања изабраних стручњака из различитих земаља који оцењују државне веб странице министарстава у области здравства, образовања, рада, финансија и заштите животне средине. Сврха овог индекса је да се изврши евалуација националних веб страница, и примена стратегија и политике које регулишу рад е-управе (UN E-Government Survey, 2016). Мерење се врши за сваку земљу појединачно и након тога се врши компарација резултата у односу на укупан скор. Почетна структура модела остала је конзистентна од почетка мерења док су се дефиниције индикатора обухваћене индексом мењале развојем технологије (UN E-Government Survey, 2016).

Индекс усвајања дигиталних технологија је релативно нов индекс за мерење прихватања дигитализације на нивоу појединца, владе и привредних субјеката (World Development report, 2016). Мерење се спроводи у 180 земаља света и тренутно су доступни Извештаји из 2014. године и 2016. године (World Development report, 2016). Првобитно је настао као део Извештаја Светске банке о дивидендама од дигитализације. Индекс усвајања дигиталних технологија је просек

три подиндекса. Сваки подиндекс сачињавају подаци о технологијама неопходним за развој дигитализације: повећање продуктивности и убрзање општег раста пословања, ширење могућности и побољшање благостања за људе као и повећање ефикасности и одговорности у пружању државних услуга (World Development report, 2016).

Индекс развоја ИКТ је сложени индикатор који показује развој ИКТ кроз употребу 11 индикатора сврстаних у 3 групе (International Telecommunication Union, 2016). Прва група обухвата индикаторе ИКТ приступа као што су претплате на фиксне телефоне, претплате на мобилне телефоне, пропусни опсег на међународном интернету по кориснику интернета, домаћинства са рачунаром и домаћинства са приступом интернету. Друга група индикатора објашњава ИКТ употребу и чини је број појединаца који користе интернет, претплате на фиксни широкопојасни приступ и претплате на мобилни широкопојасни приступ. Трећу групу чине индикатори ИКТ вештина и ту спадају просечни број година школовања, бруто упис у средњу школу и бруто упис на факултете. Тежински фактори за све три групе износе 40%, 40% и 20% респективно (International Telecommunication Union, 2016). Нормализација података врши се израчунавањем одстојања од референтне вредности која је у скоро свим случајевима једнака вредности 100 (International Telecommunication Union, 2016). ИКТ индекс развоја се добија сабирањем пондерисаних вредности три групе индикатора. Пондерисане вредности група индикатора добијене су методом прорачуна средње вредности (International Telecommunication Union, 2016). ИКТ индекс развоја је први пут употребљен 2009. године од стране Међународне уније за телекомуникације и објављиван је редовно једном годишње до 2018. године када је објављивање прекинуто услед недостатка података.

Поједини аутори (Kotarba, 2017) критикује постојеће мере дигитализације са више аспеката. Првенствено се у студији говори о непостојању стандардизованих дефиниција дигитализације и опште усвојеног начина калкулације мера. Прегршт индикатора дигитализације који су интегрисани у прорачуну кључних индекса перформанси (КПИ) према аутору доводи до проблема приликом избора најбољег показатеља за анализу дигитализације при ограниченим буџетским средствима. У пракси се приликом мерења дигитализације користе и појединачни индикатори који су део описаних индекса али и показатељи за извоз/увоз ИКТ услуга, извоз/увоз ИКТ робе, сигурни интернет сервери (на милион појединаца) и остали показатељи (Appiah-Otoo & Song, 2021; Hussain et al., 2021; Njangang et al., 2022; Dzator et al., 2023).

Узимајући у обзир сложену природу дигитализације и непостојање консензуса вези њеног изражавања и мерења може се закључити да је за анализу дигитализације неопходно да се овај процес сагледа из ширег аспекта. За даље истраживање у обзир се узимају истраживачке студије које се баве утицајем различитих фактора на развој дигитализације.

3. ЛИТЕРАТУРНИ ПРЕГЛЕД

Развој дигитализације је сложени процес који захтева евалуацију различитих показатеља како би се испитао тренд њеног развоја. Већина претходних истраживања у овој области у већини истраживачких студија испитивала су утицај економских и друштвених фактора на процес дигитализације. Међутим, савремени изазови са којима се свет суочава у 21. веку као што су ограничени ресурси, климатске промене, загађење животне средине (Wang et al., 2020) истакли су значај испитивања везе ових проблема и даљег процеса дигитализације. Имајући у виду да се развој друштва и привреде заснива на интензивној употреби и развоју ИКТ, питање њене одрживе производње и употребе је од пресудне важности за одрживи развој (Wang et al., 2020). Из претходног поглавља је закључено да на усвајање дигиталне технологије и њену примену у пракси утичу образовни, економски, енергетски и еколошки фактори. Да би се креирали модели развоја дигитализације са високим степеном предикције излазних величина потребно је извршити преглед доступне савремене литературе и истраживања спроведена од стране различитих аутора.

У овом поглављу дат је литературни преглед истраживања на тему развоја дигитализације и усвајања ИКТ-а као показатеља дигиталног развоја. Фокус је на показатељима развоја дигитализације и методама које су коришћене у истраживањима. Већи број истраживачких радова на тему дигиталне трансформације у односу на развој дигитализације ограничили су број доступних студија који су анализирани у овом поглављу (Rath et al., 2023; Reis et al., 2020). Анализирани су и део радова са темом утицаја технолошких фактора на глобализацију.

Развој ИКТ на узорку 27 брзорастућих привреда испитиван је у периоду од 2000. до 2018. године (Rath et al., 2023). Циљ студије био је да се утврде показатељи који утичу на развој ИКТ користећи модел фиксних ефеката (енг. fixed effects model) и модел прве разлике (енг. first difference model). ИКТ показатељи који су употребљени у истраживању јесу број корисника мобилних телефона, интернета, и претплатника на широкопојасни фиксни телефон. Јединствени индекс ИКТ развоја на основу ИКТ показатеља обрачунат је употребом анализе главних компоненти. Показатељи ИКТ развоја подељени су у економску групу која обухвата доходак по глави становника, људски капитал, стране директне инвестиције, ИКТ извоз роба и услуга и финансијски развој, и другу демографску групу коју чини стопа урбанизације. Емпиријски резултати модела указују да повећање дохотка по глави становника од 1% утиче на повећање ИКТ развоја за 1.85%. Позитиван утицај је идентификован и са показатељем људског капитала где његово повећање од 1% доводи до 5.2 нових корисника ИКТ на сваких 100 појединаца. Директне стране инвестиције такође остварују позитиван утицај на ИКТ развој. Њихова студија предлаже да се према ИКТ развоју, дигитална подела међу земљама у развоју и развијеним земљама смањује током година (Rath et al., 2023). У брзорастућим привредама расте број појединаца имају приступ ИКТ-у те се смањује разлика у учешћу становништва које има приступ овим технологијама (Rath et al., 2023).

У другим истраживањима развој дигитализације је праћен у развијеним земљама применом економетријске анализе (Rasskazova & Yurgenson, 2021). Студија је спроведена на узорку од 36 земаља које спадају у категорију развијених економија према класификацији Уједињених Нација и прикупљени су подаци за 2008., 2010., 2012. и 2017. годину. Показатељи дигиталног развоја су усвојени од организација које имају формиране индексе па су тако обухваћени следећи индекси: индекс развоја ИКТ (енг. ICT development index) без подиндекса ИКТ вештине који мери International Telecommunication Union; затим индекс онлајн услуга који је подиндекс индекса развоја е-управе (енг. E-Government Development Index EGDI) и који мери квалитет и приступ онлајн услугама; и индекс глобалне иновације (енг. global innovation index - GIИ), тачније његова четири стуба а то су: људски капитал, сложеност пословања, знање и технолошки резултати и креативни резултати. Трећи индекс глобалне иновације на јасан начин приказује потенцијал дигитализације једне привреде (Rasskazova & Yurgenson, 2021). Резултати економетријске анализе указују да дигитализација има могућност да позитивно утиче на општи развој привреде и да су усвојени показатељи дигитализације ИКТ и доступност онлајн верзије јавних услуга (Rasskazova & Yurgenson, 2021).

Показатељи усвајања ИКТ-а у земљама у развоју анализирани су 2020. године (Farooqi et al., 2020). На узорку од 67 држава, аутори су испитивали утицај приступа електричној енергији, увоза ИКТ добара, индекса финансијског развоја, БДП-а по глави становника, удела градског становништва, контроле корупције и ефикасности владе на прихватање дигитализације. Подаци су прикупљени за период од 2000. до 2018. године и анализирани путем регресионе анализе. Резултати су показали да је приступ електричној енергији важна одредница употребе ИКТ у економијама са ниским и средњим дохотком (Farooqi et al., 2020). Показатељи увоз ИКТ добара, урбано становништво и ефикасност владе битни су у земљама са ниским, средњим и високим дохотком (Farooqi et al., 2020). Висина БДП-а је важна одредница употребе ИКТ за земље свих нивоа развијености (Farooqi et al., 2020).

Степен развоја дигитализације и роботизације анализиран је на територији 27 европских земаља, чланица ЕУ у малим, средњим и великим предузећима у студији која је спроведена у 2021. години (Brodny & Tutak, 2021). Анализа је спроведена употребом вишекритеријумске методе одлучивања TOPSIS и Конхоненове мреже за класификацију. Референтна година за преузимање емпиријских података била је 2018. Степен развоја дигитализације и роботизације рангиран је према 8 области које имају утицај на будући развој ових процеса и то су: анализа великих података, рачунарство у облаку, 3Д штампање, роботика, интеграција интерних процеса, интеграција са потрошачима/испоручиоцима, управљање ланцем снабдевања, приступ интернету и дигиталне вештине (ИКТ обука). Ових 8 области су обухватиле 16 показатеља. У оквиру TOPSIS методе додељене су исте вредности тежинских коефицијената за све области. TOPSIS метода искоришћена је како би се обухваћене земље рангирале према критеријумима величине предузећа и претходно наведеним областима степена развоја дигитализације и роботизације. Узимајући у обзир сва предузећа без обзира на величину, према степену развоја дигитализације и роботизације боље рангиране земље Скандинавије и западне Европе, и то Финска, Данска, Белгија, Шведска и Холандија. Док су лошији ранг оствариле земље

централне, источне и југоисточне Европе, и то Румунија, Грчка, Кипар, Хрватска и Бугарска. Добијени резултати се поклапају са Кононеновом мрежом за класификацију земаља. Аутори (Brodny & Tutak, 2021) закључују, на основу добијених резултата, да је потребно уложити више ресурса у развој дигитализације и роботизације у МСП на нивоу ЕУ. Финска је једна од најдигитализованијих земаља посматрано глобално. Финска предузећа у великој мери користе рачунарство у облаку и електронске фактуре у свом пословању. У Шведској на сваких 10 000 запослених следи 274 робота, док је у Данској тај број мањи и износи 243. Мањи степен дигитализације и роботизације у земљама централне, источне и југоисточне Европе условљен је слабијим развојем економије. Да би се ова баријера превазишла потребно је делити знање, технологију и искуство са земљама западне Европе (Brodny & Tutak, 2021).

Употреба дигиталне технологије у 24 европске земље и у Турској проучавана је у студији из 2020. године (Nicoletti et al., 2020). Студија је обухватила 25 индустрија у којима је анализирали показатеље употребе ове технологије од 2010. до 2016. године. Дигитална технологија је у овом случају посматрана кроз употребу рачунарства у облаку (енг. cloud computing) и интеграцију позадинског и спољњег рада у канцеларији (енг. back and front office) као што су софтвери за планирање ресурса у предузећу (енг. enterprise resource planning) и софтвери за управљање односима са клијентима (енг. customer relationship management), затим приступ брзом широкопојасном интернету и онлајн куповини услуга рачунарства у облаку (Nicoletti et al., 2020). Усвајање ове технологије посматрано је из угла људских способности и тржишта. Фактори људских способности обухватили су способност менаџера за обављање послова са високим перформансама, затим основне вештине које представљају проценат одраслих без ИКТ вештина и спровођење тренинга на послу у виду броја запослених који су учествовали у неком тренингу. Фактори тржишта се састоје од баријера за улазак на тржиште, нивоа конкуренције и реалокације ресурса. Анализа података је спроведена употребом методе разлике у разлици (енг. The difference-in-difference). Резултати показују да дифузија широкопојасног интернета позитивно утиче на брзину усвајања дигиталне технологије (Nicoletti et al., 2020), док недостатак ИКТ вештина запослених, баријере за улазак на тржиште, конкуренција и неодговарајући топ менаџмент имају негативан утицај на усвајање дигиталне технологије (Nicoletti et al., 2020). Препоруке аутора се односе на пружање тренинга запосленима са недовољним ИКТ вештинама на нивоу предузећа, док се на нивоу државе препоручује измена образовних програма како би се повећао ниво дигиталне писмености (Nicoletti et al., 2020).

Учешће у дигиталној економији, као један од показатеља дигиталног развоја земље зависи од мноштво фактора. Спроведена студија о утицају дигиталне писмености појединаца укључујући и студенате, и дигиталног предузетништва на развој дигиталне економије испитивана је у Индонезији (Primahendra et al., 2021). Истраживање је спроведено анкетирањем 103 испитаника, а резултати анкете обрађени су употребом моделовања структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата. Дигитална писменост посматрана је кроз претраживање података путем дигиталне платформе, дељење знања путем дигиталне платформе, чување, управљање и ширење знања путем дигиталне платформе и употребу знања

са дигиталне платформе да би се унапредило постојеће знање. Дигитално предузетништво представљено је као схватање да је оно преспективна каријера будућности, поседовање идеја за покретање оваквог бизниса, тражење информација за покретање дигиталног бизниса, препознавање изазова, идентификовање могућих идеја за дигиталну услугу или производ и разумевање корака за развој дигиталног бизниса. Даље, дигитална економија је представљена као учесталост куповине, употребом дигиталних платформи, учесталост финансијских трансакција на овим платформама и приступ информацијама (вестима) на дигиталним платформама. Резултати примене PLS-SEM методе указали су на позитиван утицај оба показатеља, и дигиталне писмености и дигиталног предузетништва на развој дигиталне економије (Primahendra et al., 2021). Стога, може се уочити да дигитална писменост утиче и на развој дигиталног предузетништва (Primahendra et al., 2021).

Дигитална писменост као предуслов дигиталног развоја испитивана је у студији која је обухватила преко 1000 испитаника старијих од 14 година на територији Словачке (Urbančíková et al., 2017). Социјални, економски и демографски подаци о дигиталним вештинама прикупљани су од 2005. до 2015. године у склопу пројекта „Дигитална Словачка“. У циљу испитивања утицајних фактора на дигиталну писменост, аутори су користили регресију, моделе за податке попречног пресека - модел обједињавања (енг. pooling method), модел случајних ефеката (енг. random effects model), модел са фиксним ефектима (енг. fixed effects model) и кластер анализу (енг. cluster analysis). Подаци о дигиталним вештинама класификовани су у две групе показатеља: основне вештине (приступ дигиталним алатима, хардверске и софтверске вештине) и интернет и комуникационе вештине (интернет вештине, комуникационе вештине). Социо-демографски фактори обухваћени анализом јесу старост, регион, образовање, доходак, сектор привреде, пол, националност, величина града и статус домаћинства. Резултати су показали да је слабија дигитална писменост присутна код старијих људи, домаћинствима у којима нема млађег становништва и у мањим местима. Даље, негативан утицај на дигиталну писменост имају и образовање, висина дохотка и припадност одређеној регији али је код ових фактора присутан тренд смањивања негативног утицаја услед веће доступности дигиталне технологије. Пресудни фактори утицаја на стицање основног нивоа дигиталне писмености имају интернет и комуникационе вештине. Аутори (Urbančíková et al., 2017) предлажу промене на нивоу образовања, учења и тренинга осетљивих социо-демографских група како би се смањила дигитална подела.

Развој дигитализације је видљив кроз развој ИКТ сектора и употребу интернета. Показатељи употребе интернета и развој ИКТ сектора испитивани су у Јерменији, Азербејдану и Грузији (Doyar et al., 2023). Показатеље учесталости употребе интернета чиниле су варијабле поседовање ИКТ вештина, поседовање ИКТ уређаја, затим пол, старост, брачни статус, породични статус, образовање и језик, запосленост, доходак и урбани/рурални живот. Подаци су прикупљени из онлајн базе података постојећих истраживања и анализирани употребом „ordered probit“ анализе. Подаци из 2018. године прикупљени су за Јерменију, из 2013. године за Азербејдан и из 2021. године за Грузију (Doyar et al., 2023). Истраживања указују да су ове земље у процес дигитализације ушле неспремне услед регионалних конфликта и недостатка инфраструктуре. У Јерменији и Грузији женско становништво више

користе интернет, док у Азербејдану мушко становништво у већој мери користи интернет због конзервативног друштва. Поред тога, резултати указују да поседовање вишег степена образовања и знање енглеског језика позитивно утичу на повећање броја корисника интернета. У Азербејдану и Грузији велики је утицај запослености на коришћење интернета што се објашњава чињеницом да је за приступ интернету неопходно издвојити одређена финансијска средства. Живот у урбаној средини такође позитивно утиче на развој ИКТ сектора и употребу интернета као и поседовање ИКТ уређаја (Doyar et al., 2023).

Дифузија употребе интернета у субсахарској Африци истраживана је на територији 41 државе у периоду од 2006. до 2016. године (Myovella et al., 2021). Циљ студије је утврђивање дигиталне поделе на основу показатеља употребе интернета (број корисника интернета) и броја претплате на широкопојасни интернет на 100 становника (Myovella et al., 2021). Показатељи дигиталне поделе сврстани су у 4 групе и то: социоекономска, демографска, институционална и географска. Дефинисане групе обухватиле су критеријуме као што су: БДП по глави становника, отвореност привреде, стопа раста становништва, бруто фиксни капитал по глави становника, бруто потрошња по глави становника, политичка стабилност, ефективност регулативе, електроенергетска инфраструктура и урбанизација. Емпиријска анализа је спроведена у Матлаб окружењу и употребљена је анализа просторног панела по Дурбиновом моделу како би се приказала територијална повезаност земаља у дифузији употребе интернета. Студија је приказала директан, индиректан и укупан ефекат посматраних фактора на употребу интернета. Према истраживању, употреба интернета у једној земљи условљена је употребом интернета у региону. Присутан је директан ефекат показатеља БДП-а по глави становника, бруто фиксног капитала по глави становника, бруто потрошње по глави становника, политичке стабилности, ефикасности регулативе, отворености привреде и електроенергетске инфраструктуре на употребу интернета (Myovella et al., 2021). Индиректан ефекат је присутан у показатељима БДП по глави становника, раста становништва, отворености привреде, бруто потрошње по глави становника, бруто инвестиције у фиксни капитал по глави становника, електроенергетске инфраструктуре и урбанизације (Myovella et al., 2021).

Проблем дигиталне поделе у 4 земље југоисточне Азије и то Малезије, Индонезије, Филипина и Тајланда испитиван је употребом панел података (Niro & Wijang, 2014). Циљ студије је био да се утврде најзначајнији фактори који утичу на прихватање и развој ИКТ у периоду од 1994. до 2011. године. Методологија употребљена у студији своди се на статичку линеарну регресију. Емпиријски подаци су подвргнути логаритамској трансформацији како би се побољшали резултати регресије. ИКТ као зависна варијабла регресионог модела обухватила је број телефонских линија на 100 људи, број корисника интернета на 100 људи и број мобилних претплатника на 100 људи. Независне варијабле чиниле су економске показатеље (БДП по глави становника), инфраструктурне показатеље (потрошња електричне енергије), екстерне показатеље (директне стране инвестиције и слободна трговина), демографске показатеље (укупно становништво и градско становништво) и показатеље финансијског развоја (развој берзи и развој кредитног тржишта). На основу података, аутори су предложили 3 примера за евалуацију развоја ИКТ-а који

су подељени према излазним варијаблама ИКТ-а (Niro & Vujang, 2014). Сваки од 3 примера анализиран је употребом 3 различите регресионе једначине. Први пример са три модела регресионе једначине представљен је са излазном варијаблом број телефонских линија на 100 људи. Према првом примеру први модел регресионе једначине који је обухватио економске, финансијске и екстерне показатеље, БДП и слободна трговина остварују позитиван утицај на ИКТ који је представљен кроз број телефонских линија. Други модел који је обухватио све показатеље осим финансијских и показује да је позитиван утицај страних директних инвестиција, урбаног становништва, и потрошње електричне енергије остварен на ИКТ. Даље, трећи модел који је обухватио све показатеље ИКТ развоја потврђује резултате који су добијени другим моделом. Други пример анализе је приказан употребом истих модела осим што се за излазну варијаблу узима број корисника интернета на 100 људи. Први модел указује на позитиван утицај на раст ИКТ-а свих варијабли осим директних страних инвестиција. Други модел показује позитиван утицај укупног становништва и потрошње електричне енергије, и негативан утицај БДП-а на раст ИКТ-а. Трећи модел потврђује резултате другог модела. Даље, трећи пример сва три модела је представљен са излазном варијаблом број мобилних претплатника на 100 људи. Први модел регресионе једначине показује позитиван утицај БДП-а и развоја берзи на развој ИКТ-а. Други и трећи модел показују да све варијабле обухваћене моделима, немају статистички значајан утицај за развој ИКТ-а. Аутори (Niro & Vujang, 2014) предлажу као генерални закључак студије да БДП и потрошња електричне енергије имају позитиван утицај на раст дигитализације док су демографски фактори мање значајни за овај процес.

Кина као водеће ИКТ тржиште по броју корисника мобилних уређаја, интернета и броју претплатника на широкопојасни интернет суочава се са проблемом дигиталне поделе, који је анализиран у периферним градовима ове државе (Song et al., 2020). У студији је употребљена кластер анализа за просторну поделу и географски пондерисану регресију. За потребе студије, аутори (Song et al., 2020) су формирали сопствени индекс дигиталног развоја који се састоји од следећих индикатора: пенетрација рачунара, пенетрација мобилних уређаја, цена приступа интернету, број интернет корисника по глави становника, број претплатника широкопојасног приступа по глави становника, интернет пропусни опсег по глави становника, е-трговина, предности онлајн куповине и е-управа. Димензије које утичу на дигиталну поделу јесу демографске (радно способно становништво, урбано становништво, пол), економске (доходак урбаних домаћинстава, доходак руралних домаћинстава, БДП по глави становника), иновационе (улагање у истраживање и развој по глави становника, број патената), образовне (стопа писмености одраслог становништва, број ученика у основној школи, број ученика у средњој школи) и институционалне (број претплатника на новине, директне стране инвестиције, број запослених у државној управи). Истраживање је показало да је висок дигитални развој присутан у урбаним градовима као што је Пекинг, док сиромашнији делови земље на југозападу, западу и у централној Кини имају недовољан развој дигитализације. Кључни фактори који утичу на повећање употребе ИКТ-а су доходак урбаног домаћинства, број ученика у основним школама и доходак руралног домаћинства (Song et al., 2020). Основно образовање се показало као значајно за употребу и приступ ИКТ-у, док је за ИКТ употребу важно средње образовање.

Студија је истакла значај социјалних и економских фактора који утичу на употребу ИКТ-а (Song et al., 2020).

Интензитет употребе технологије може довести до проблема дигиталне поделе, па су тако испитивани демографски, економски, образовни, социјални, иновациони и показатељи отворености друштва који утичу на употребу технологије (Pick et al., 2015). Сваки од наведених показатеља има своје елементе. Што се тиче показатеља који показује употребу технологије, аутори су се одлучили за употребу индикатора као што су: поседовање рачунара/лаптопа у домаћинству, приступ интернету од куће, широкопојасни приступ од куће, број мобилних телефона по члану домаћинства, број мобилних бежичних уређаја велике брзине, број домаћинстава са фиксним телефоном, број фејсбук корисника и број твитер корисника. Анализа је спроведена користећи вишеструку регресију обичних најмањих квадрата (енг. ordinary least squares). Истраживање је показало да највећи утицај на употребу технологије имају варијабле друштвени капитал, факултетско образовање, етничка припадност, урбанизација и истраживање и развој (Pick et al., 2015). Друштвени капитал истиче важност умрежавања и комуникације међу људима. На основу спроведене студије, предложено је да држава улаже додатна средства у високо образовање, пруже подршку етничким групама у њиховим ИКТ иницијативама, и формирање јавно-приватних партнерстава у ИКТ сектору (Pick et al., 2015).

У студији из 2021. године развој дигитализације је испитиван кроз праћење повећања броја запослених жена у ИКТ сектору (Krchová & Höesová, 2021). Истраживање је подстакнуто изазовима са којима се глобална економија суочава, а то су недостатак стручњака у ИКТ области и недовољна заступљеност жена у броју запослених у ИКТ сектору (Krchová & Höesová, 2021). Студија је спроведена у V4 земље, и то су Чешка, Мађарска, Пољска и Словачка са подацима од 2008. до 2018. године. Фактори који су испитивани у истраживању јесу: износ БДП-а који се ствара у ИКТ сектору, просечна годишња плата, родна разлика, број запослених жена и број жена које раде у ИКТ и које се образују у ИКТ. За потребе анализе употребљена је регресиона анализа чија је зависна варијабла била број жена запослених у ИКТ-у. Независне варијабле у регресионој једначини обухватиле су: удео ИКТ сектора у БДП-у у датим земљама, број запослених жена које имају ИКТ образовање, просечна годишња плата у датим земљама, родна разлика датим земљама. Резултати регресионе анализе показују да сви наведени фактори имају статистички значајан утицај на број жена запослених у ИКТ. Највећи утицај међу факторима остварио је удео БДП-а који је створен у ИКТ сектору. Међутим, мора се напоменути и да од 8 милиона запослених у ИКТ сектору, само 17% чини женско становништво, те се смањењем родне разлике очекује повећање броја запослених у ИКТ сектору (Krchová & Höesová, 2021).

Утицај стратегије кинеске владе о широкопојасној мрежној инфраструктури испитан је на нивоу предузећа у 10 кинеских провинција са подацима од 2010. године до 2020. године (Wang & Zhang, 2022). Развој дигитализације анализиран је употребом економетријског модела. Податке о тренутном стању дигитализације у предузећима, аутори су прикупили путем базе података која броји речи везане за

дигитализацију у годишњим извештајима. Имајући у виду да се код оваквих података јавља пристраност (енг. bias) спроведена је њихова логаритамска нормализација. Даља анализа спроведена је употребом регресије поређења (енг. benchmarking). Резултати анализе говоре да година оснивања, обим имовине, и дигитално знање менаџера позитивно утичу на развој дигитализације у предузећима. Уколико сви испитивани фактори остану непромењени, развој широкопојасног приступа интернету доводи до развоја дигитализације. Ова стратегија развоја широкопојасног приступа интернету би првенствено утицала на раст употребе дигиталне технологије у приватним предузећима где је изражена и већа потреба за овом врстом технологије, предузећима која су технолошки усмерена и богатијим предузећима у источном делу земље (Wang & Zhang, 2022). Даље, стратегија доприноси развоју употребе вештачке интелигенције и рачунарства у облаку. Аутори истичу значај улоге државе у дигиталном развоју и повећање провајдера дигиталних услуга који би задовољио потребе дигиталног друштва (Wang & Zhang, 2022).

Развој дигитализације кроз анализу дигиталне неједнакости испитиван је на територији Бангладеша (Islam & Inan, 2021). Студија је спроведена употребом анкете која је обухватила образовну, инфраструктурну, социјалну, економску димензију и димензију употребљивости дизајна. Наведене димензије укључиле су 23 елемента. Анализа 326 одговора је спроведена употребом анализе садржаја, дијаграма афинитета и дескриптивне статистике. Резултати указују на значај општег образовања, разлике у дохотку, недостатка пословних инвестиција у ИТ, и недостатак једноставног интерфејса за ширење дигитализације. Даље, трошкови употребе интернета и недостатак свести о значају ИКТ утичу на развој дигитализације. Као практичне импликације аутори наводе укључивање ИКТ у националне програме образовања, веће инвестиције у развој ИКТ инфраструктуре, креирање једноставних интерфејса, смањивање цене интернет пакета, мотивацију појединаца да своје активности спроводе у дигиталном окружењу када је то могуће (Islam & Inan, 2021).

Емпиријска студија из 2022. године о расту индекса дигитализације на нивоу компаније испитује утицај економских и технолошких фактора на процес развоја дигитализације као окоснице стварања конкурентске предности на тржишту (Isaeva et al., 2022). У истраживању је укључен већи број фактора који су анализирани употребом конфирматорне факторске анализе (енг. confirmatory factor analysis) и регресије. Индекс дигитализације представљен је као употреба дигиталне технологије у виду широкопојасног интернета, услуге у облаку, електронске трговине, система идентификације радио фреквенција и система за планирање ресурса у компанији. Док су техно-економски фактори обухватили обрт електронске трговине, аналитику великих података, ефикасност трговине, број компанија и број дигиталних оквира, пословне активности компанија, обим компанија, инвестиције у технологију, приход од продаје, патенте, и остале индикаторе. Резултати указују да је развој дигитализације позитивно повезан са инвестицијама у технологију и да је потребно повећати улагања у дигиталну технологију како би се испратили трендови раста дигиталног окружења. Уз то, анализе указују да велике компаније остварују већи пораст дигитализације услед могућности да улажу већа средства у ову област.

Пораст броја запослених у струци дигиталних технологија такође доприноси развоју дигитализације путем пораста индекса дигитализације. Аутори студије наглашавају проблем недостатка дигиталних вештина постојеће радне снаге у будућем развоју дигитализације (Isaeva et al., 2022).

Развој дигитализације праћен је кроз студију о присвајању дигиталне технологије у микро и малим предузећима у Индонезији (Trinugroho et al., 2022). Студија је спроведена путем онлајн анкете у којој су учествовала 2222 предузећа. Аутори су групе фактора који утичу на присвајање дигиталне технологије у свом пословању поделили на пословне, факторе предузећа и банкарске факторе. Резултати регресионе анализе указују да пословни фактори као што су притисак конкуренције која има могућност онлајн плаћања као и притисак клијената који желе да се уведе могућност онлајн плаћања позитивно утичу на развој дигитализације. Даље, млади власници предузећа, млада предузећа, високо образовање власника и доступност брзог интернета су фактори предузећа који такође остварују позитиван утицај на раст дигитализације. Што се тиче банкарских фактора, доказано је да предузећа која добијају средства од владе у мањој мери користе дигиталне технологије. Аутори наглашавају значај ширења дигиталне писмености код становништва са ниским образовањем и старијим власницима предузећа како би се у већој мери прихватила дигитална технологија (Trinugroho et al., 2022). Развој дигитализације мора бити подржан увећањем територијалне покривености интернетом (Trinugroho et al., 2022).

Усвајање ИКТ у привредним субјектима је истраживано спровођењем анкете у привредним субјектима са 20 и више запослених (Bayo-Moriones & Lera- López, 2007). Укупан узорак је обухватио 337 привредних субјеката у Шпанији. Упитник је у великој мери базиран на питања о ИКТ-у које предлаже ОЕСД у свом мерењу употребе ИКТ у предузећима. ИКТ је представљен употребом низа показатеља који обухватају: број рачунара по запосленом, број корисника рачунара, поседовање опреме за видео-конференцију, интранет, екстранет, поседовање вебсајта, број корисника електронске поште, приступне тачке интернету према запосленом, број налога електронске поште према запосленом (Bayo-Moriones & Lera- López, 2007). Према статистичкој анализи зависних варијабли, мало мање од половине запослених рукује компјутерима, док трећина поседује налог електронске поште. Нешто више од 10% запослених поседује опрему за обављање видеоконференције. Ове варијабле посматране су према броју конкурената, привредном сектору, величини фирме, броју запослених који су млађи од 30 година, квалификацији, примени ИСО, тимском раду и другим индикаторима који су сврстани у 5 група фактора и то: фактори окружења, структуре фирме, људског капитала, конкурентске стратегије, и организационе структуре. Анализа прикупљених одговора спроведена је употребом методе обичних најмањих квадрата и „tobit“ регресионих модела за оне варијабле где се појављују вредности 0. Анализа је показала да је утицај окружења у смислу пословања на иностраном тржишту позитивно повезан са употребом интернета и технологије за екстерну комуникацију (Bayo-Moriones & Lera- López, 2007). Мања употреба ИКТ-а је примећена у секторима агрикултуре и грађевинарству. Припадност предузећа мултинационалној групи утиче позитивно на усвајање ИКТ-а као и постојање представништва на различитим географским локацијама.

Образовање запослених као и рад у тиму такође позитивно утиче на усвајање ИКТ-а, док број запослених испод 30 година нема значајан утицај (Bayo-Moriones & Lera-López, 2007). Овај рад употпуњује литературу о усвајању ИКТ-а на основу тога што користи разне индикаторе ИКТ развоја у односу на истраживачке студије доступне у литератури и тиме што у обзир узима различите привредне секторе (Bayo-Moriones & Lera-López, 2007).

Употреба криптовалута доприноси развоју дигитализације те су разни аутори истраживали намеру усвајања криптовалуте као што је биткоин кроз димензије технолошке спремности (оптимизам, иновативност, нелагодност, несигурност) и прихватање технологије (уочена лакоћа коришћења и уочена корисност) (Sohaib et al., 2020). Студија је реализована спровођењем анкете на коју је пристигло 140 одговора. Предложена методологија за анализу одговора је моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата (Sohaib et al., 2020). PLS-SEM је искоришћен за евалуацију фактора који су значајни за намеру употребе криптовалуте. Затим су аутори (Sohaib et al., 2020) употребили вештачке неуронске мреже (енг. artificial neural networks - ANN) како би рангирали факторе према значају за намеру коришћења криптовалуте. Детаљнији приказ резултата дат је конструисањем анализе мапе важности и учинка (енг. importance performance matrix analysis - IPMA). Резултати PLS-SEM анализе показују да показатељ оптимизам има најјачи позитиван утицај на перципирану лакоћу коришћења, што је показала и ANN анализа. Нелагодност и несигурност имају негативан утицај на перципирану лакоћу коришћења према оба модела. Показатељ уочене лакоће коришћења остварује најјачи позитиван утицај на уочену корисност технологије. Даље, уочена корисност остварује јачу позитивну везу са намером употребе криптовалуте у односу на уочену лакоћу употребе. Утицај показатеља према PLS-SEM и ANN методама се разликује за показатеље оптимизам и иновативност, где PLS-SEM даје предност оптимизму у односу на иновативност, а ANN обрнуто. Аутори наводе да нелагодност и несигурност при коришћењу производа или услуге у вези са технологијом доводи до тешкоће у прихватању нових технологија (Sohaib et al., 2020).

Дигитална технологија проналази своју примену у образовању. Па је тако спроведена истраживачка студија о употреби четботова (енг. chatbot) у високообразовним институцијама у Малезији (Rahim et al., 2022). Иако је Малезија окренута дигитализацији, постоји јаз у употреби четботова у пружању подршке студентима. Циљ студије је да се испитају фактори који утичу на прихватање четботова у образовним активностима. Студија је спроведена наменским анкетирањем 302 студента државних и приватних факултета. Анализа је спроведена употребом моделовања структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата и вештачких неуронских мрежа. Структурни модел се састоји из седам фактора који утичу на намере у понашању које даље утиче на употребу четботова, и то су: очекиване перформансе, уочено поверење, навике, хедонистичка мотивација, очекивани напор, утицај друштва, и олакшавајуће околности (Rahim et al., 2022). Факторе уоченог поверења сачињавају елементи интерактивност, дизајн и етика. Позитиван утицај на прихватање и употребу четботова остварили су фактори очекиване перформансе, уочено поверење, навике, и олакшавајуће околности. Сва три елемента фактора уоченог поверења остварују позитиван утицај на усвајање

четботова. Једноставнији дизајн четботова значи и лакше прихватање овог дигиталног асистента. Осећај да се одвија смислена интеракција наводи студенте да користе ову технологију. Резултати ANN студије указују да је етика најважнија приликом одлучивања о употреби четботова (Rahim et al., 2022).

У истраживању у коме су учествовала 223 студента Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, у Србији, испитан је став према употреби мобилних уређаја у прихватању мобилног учења (Milošević et al., 2015). У циљу испитивања дефинисаног истраживачког проблема, аутори (Milošević et al., 2015) су употребили конфирматорну факторску анализу (енг. confirmatory factor analysis) како би проверили валидност анкете. Док је моделовање структурних једначина (енг. structural equation modeling) употребљено да би се тестирале хипотезе. Резултати анализе су указали на позитиван утицај очекиваних перформанси и персоналне иновативности на намеру да се студенти ангажују у усвајању мобилног учења. Према ауторима (Milošević et al., 2015) значајан утицај на овакав исход анализе има поседовање вештина које омогућавају студентима употребу мобилног учења.

Други аутори су такође испитивали употребу дигиталне технологије у високошколским образовним институцијама у условима здравствене кризе изазване корона вирусом Covid 19 (Alhumaid et al., 2021). Њихово истраживање своди се на анализу осам показатеља усвајања мобилног учења (енг. mobile learning) на универзитету у Уједињеним Арапским Емиратима (Alhumaid et al., 2021). Емпиријски подаци су прикупљени на бази анкете коју је попунило 280 студената. Намера за усвајање мобилног учења анализирана је према ставу, потврди очекивања, уочене корисности, једноставности употребе, перципираној контроли понашања, перципираном страху, субјективној норми и задовољству. Утицај показатеља испитиван је употребом моделовања структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата, док је рангирање њиховог појединачног значаја за прихватање мобилног учења спроведено употребом вештачких неуронских (Alhumaide et al., 2021). Структурни PLS-SEM модел указује да сви наведени показатељи имају позитиван и статистички значајан утицај на усвајање мобилног учења у пракси. Највећи коефицијент пута остварили су показатељи става и потврде очекивања. Анализа ANN модела потврђује резултате PLS-SEM структурног модела који указује на велики значај показатеља става и потврде очекивања. Даља анализа је обухватила анализу матрице важности и учинка (енг. importance performance matrix analysis - IPMA). Према овој анализи предност прихватању мобилног учења дат је показатељу став. Аутори закључују да је однос студената према прихватању мобилног учења кључан фактор у овој одлуци (Alhumaid et al., 2021). Даље, што је дигитална технологија лакша за употребу, то је већа шанса да ће је студенти користити у пракси (Alhumaid et al., 2021).

Процес дигитализације у земљама у развоју на примеру државе Оман анализиран је у 2021. години (Alraja et al., 2021). У истраживању је анкетиран 61 лидер у МСП по технолошком, организационом и моделу окружења. За потребе анализе аутори су користили моделовање структурних једначина. Резултати модела указују да сва три фактора имају позитиван утицај на развој дигитализације.

Запажања аутора су да преко 70% фирми које су укључене у анализу користе бар једну компоненту дигиталних технологија (Alraja et al., 2021).

Примењујући модел технологија-организација-окружење, испитивани су показатељи усвајања дигиталне трансформације МСП у економији у настајању каква је Вијетнам (Ta & Lin, 2023). Истраживање је спроведено анкетирањем 72 власника МСП. Теоријски оквир истраживања обухватио је три димензије прихватања дигиталне трансформације и то технолошку, организациону и димензију окружења. Под технолошком димензијом аутори (Ta & Lin, 2023) су предложили релативну предност, технолошку компатибилност и технолошку комплексност. Под организационом димензијом аутори (Ta & Lin, 2023) су сврстали организациону подршку, људске ресурсе и иновациону културу. Димензија окружења обухватила је искуство клијената, подршку владе, неизвесност у окружењу. Ови елементи и димензије ранжирани су применом вишекритеријумске методе одлучивања АНР (енг. analytic hierarchy process) у фази окружењу. Вишекритеријумска анализа показује да је димензија окружења доминантна приликом одлучивања о усвајању дигиталне трансформације, под овом димензијом најважнији елемент је искуство клијената. Затим следи технолошка димензија и технолошка компатибилност као следећа ставка у доношењу одлуке о дигиталној трансформацији (Ta & Lin, 2023).

Питање утицаја дигиталне технологије на систем квалитета истраживано је кроз анализу унапређења, учења и иновација које се спровode у индустрији 4.0 (Milošević et al., 2022). Употребом моделовања структурних једначина и вештачких неуронских мрежа испитан је утицај (1) контекста и идентитета организације, (2) лидерства, (3) менаџмента процесима, (4) менаџмента ресурсима и (5) менаџмента перформанса на елемент унапређења, учења и иновација (Milošević et al., 2022). Једино је утицај контекста и идентитета организације негативан на унапређење, учење и иновације.

Утицај индустрије 4.0 на унапређење квалитета анализиран је на узорку од 345 домаћих и страних компанија које послују у Србији (Glogovac et al., 2023). Испитан је утицај лидерства на елементе система квалитета ИСО 9004:2018 кроз елементе: (1) контекст и идентитет, (2) управљање ресурсима, (3) управљање процесима, (4) управљање перформансама, (5) унапређење, учење и иновације (Glogovac et al., 2023). Конфирматорна факторска анализа је спроведена у циљу потврђивања валидности мерног модела. Резултати спроведеног моделовања структурних једначина указују на присуство позитивног утицаја свих елемената квалитета осим елемента квалитета који се односи на утицај управљања процесима на унапређење, учење и иновације. Аутори наглашавају значај оваквог истраживања који има за циљ унапређење постојећих система квалитета ка систему квалитета 4.0 (Glogovac et al., 2023).

Концептуални оквир за развој дигитализације и ширење дигиталне трансформације у условима здравствене кризе дат је у раду из 2021. године (Tripathi, 2021). Студија је обухватила три групе фактора које утичу на брзину развоја дигитализације у виду људских, организационих и технолошких фактора. Свака група се састоји из подфактора који су обухваћени анализом (Tripathi, 2021). Група

људских фактора обухвата здравље и безбедност запослених, виртуелну сарадњу, и рад на даљину. Организациона група фактора подразумева финансијску стабилност, пословну отпорност и опоравак, и аутоматизацију пословних процеса. Даље, технолошка спремност и ризици за сајбер безбедност су сврстани у групу технолошких фактора.

Индустрија 4.0 заснована је на интензивној примени дигиталне технологије у својим активностима где технологија има улогу да олакша рад појединцу и омогући једноставну координацију између појединца и машине (Bitsanis & Ponis, 2022). Притом, дигитална технологија омогућава координацију сакупљањем и процесуирањем података прикупљених разним сензорима и системима. Истраживање на тему показатеља развоја дигитализације у разноврсним организацијама индустрије 4.0 од производње до услуге спроведено је у 2022. години (Bitsanis & Ponis, 2022). Њихова студија фокусирана је на развој дигитализације у организацијама које послују по принципу LEAN производње. Истраживање је спроведено употребом онлајн анкете на коју је пристигло 124 одговора. Резултати анкете показују да је приближно 80% анкетираних организација отпочело процес дигитализације. Логистичка бинарна регресија спроведена је у софтверском пакету SPSS 26, и њени резултати сугеришу на задовољавајуће фитовање регресионог модела. Према моделу, највећи утицај на дигиталну трансформацију остварују показатељи LEAN производње, пословне орјентације и интернет ствари. Најчешће коришћене дигиталне технологије јесу рачунарство у облаку и анализа података. Што се тиче организација, највећа брига исказана је кроз недостатак ИТ вештина и знања запослених који треба да буду носиоци дигиталног развоја (Bitsanis & Ponis, 2022).

Примена дигиталне технологије у виду анализе великих података (енг. big data analysis) у МСП истраживана је у раду из 2022. године (Lufti et al., 2022). Аутори (Lufti et al., 2022) су реализовали истраживање у оквиру концепта технологија-организација-окружење на основу које су сврстали показатеље усвајања анализе великих података. Истраживање је спроведено на територији Јордана која се класификује као економија у развоју. У испитивању је коришћена анкета на коју је пристигло 37 одговора власника или менаџера МСП. Питања у анкети сврстана су у технолошке, организационе и факторе окружења. У технолошке факторе сврстани су показатељи релативна предност, комплексност, компатибилност и безбедност. У оквиру фактора организације аутори (Lufti et al., 2022) су усвојили показатељ подршку топ менаџмента и организациону спремност. Даље, фактори окружења обухватили су показатеље притисак конкуренције и законодавне регулативе. Анализа је спроведена употребом моделовања структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата. Након спроведених тестова валидације композитне поузданости и дискриминантне валидности на мерном моделу формиран је структурни PLS-SEM модел. Резултати коефицијента пута указују да у оквиру технолошки фактора, позитиван и статистички значајан утицај остварује релативна предност коју МСП добијају при усвајању анализе великих података. Док комплексност и безбедност остварују негативан утицај што значи да сложеност употребе и недостатак безбедности употребе аналитике великих података негативно утиче на усвајање ове дигиталне технологије. Даље, оба фактора организације

остварују позитиван утицај на усвајање ове дигиталне технологије што значи да је потребна подршка топ менаџмента и спремност организације на овај корак. У оквиру фактора окружења, притисак конкуренције не остварује значајан ефекат на усвајање предложене дигиталне технологије док законодавна регулатива има у чему се огледа значај државе у промоцији усвајања дигиталне технологије. Аутори (Lufti et al., 2022) предлажу да пре усвајања дигиталне технологије за анализу великих података МСП имају пробни период коришћења ове технологије како би сагледали benefite и недостатке који се јављају у том периоду.

Примена технологије наредне генерације која обухвата дигиталну технологију као што је вештачка интелигенција (енг. artificial intelligence), интернет ствари (енг. Internet of Things), велики подаци (енг. big data), 3D штампа испитивана је у раду из 2023. године (Cho et al., 2023). Ова технологија своју примену проналази у економији и друштву док је за ширење њене употребе у пракси одговоран велики број фактора. Истраживање на ову тему спроведено је у 12579 јужнокорејских фирми у 2017. години. У емпиријској анализи употребљени су модели „probit“ и обични најмањи квадрати. Аутори (Cho et al., 2023) продубљују литературну и емпиријску анализу употребе дигиталне технологије тиме што у студији истражују употребу технологије нове генерације у пакетима (више од једне). Статистика показује да у 2017. години на примеру узорка ових фирми, преко 90% је применило једну или више од једне дигиталне технологије (Cho et al., 2023). У највећем броју случајева користи се мобилна технологија, велики подаци и рачунарство у облаку. Показатељи који су употребљени у анализи обухватили су продају, запосленост, старост фирме, интензитет истраживања и развоја, продуктивност радне снаге, удео нематеријалне имовине и страно власништво фирме. Напредна дигитална технологија која је праћена је интернет ствари, облак, велики подаци, 5G, вештачка интелигенција, блокчејн, 3D штампа, роботи, проширена и виртуелна стварност. Резултати показују да величина фирме, продуктивност запослених, инвестиције у нематеријалну имовину фирме и новоосноване фирме имају јак предиктор да ће употребити више од једне дигиталне технологије у свом раду. Фирме које акумулирају велику количину података су те које користе велике базе података и користе вештачку интелигенцију и рачунарство у облаку. Студија је показала комплементарност технологија наредне генерације у чему се и огледају benefiti њиховог коришћења у пакету (Cho et al., 2023).

Емпиријско истраживање показатеља успеха ИТ управљања у компанијама у Индонезији спроведено је 2019. године (Yudatama et al., 2019). Њихова студија реализована је употребом структурног упитника чији су резултати анализирани употребом софтверског пакета SMART PLS који спроводи моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата. Упитник је обухватио питања о ИТ управљању, сврстаних у 12 области и то: управљање ризиком, ИТ ресурси, буџет, учешће стејкхолдера, правилници, пословна стратегија, организација, посвећеност, политика, компетенције, комуникација и успех у имплементацији ИТ управљања. Резултати PLS-SEM анализе указују на значај свих области осим политике (Yudatama et al., 2019). Међу највећим коефицијентима пута нашла се област која се односи на правилнике што значи да се успешност ИТ управљања у великој мери ослања на усвајање одговарајућих правилника. Даље, битна област је и комуникација

топ менаџмента у компанијама као и компетенције запослених у смислу постизања ИКТ вештина кроз образовање и тренинг запослених (Yudatama et al., 2019).

Питање развоја дигитализације истраживано је у раду о дигиталној трансформацији која се темељи на анкети о дигиталној трансформацији која се спроводи на годишњем нивоу почевши од 2009. године (Fehér et al., 2022). У истраживању су учествовале 167 организације, од којих је 94 одговора означено као валидно за даљу анализу. Истраживање је спроведено на тлу Мађарске. Развој дигиталне трансформације праћен је кроз индикатор дигиталне иновације. Док су показатељи развоја дигиталне трансформације били релевантност сектора, посвећеност менаџмента компаније, подршка ИТ службе дигитализацији, и стратешки циљеви. Аутори су користили моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата за анализу података. Емпиријски подаци подвргнути су испитивању конвергентности података мерењем просечне екстрактоване варијансе, и дискриминантне валидности употребом Fornell и Likert модела и хетеротраит-монотраит односа корелација. Резултати показују да што је већи значај дигитализације за сектор у коме компанија послује тим пре ће менаџмент компаније посветити своју пажњу дигитализацији (Fehér et al., 2022). Посвећеност менаџмента позитивно утиче на ИТ подршку дигитализацији и дигиталне иновације. Менаџмент игра главну улогу у обезбеђивању ресурса за процес дигитализације који заједно са стратешким циљевима омогућавају њен даљи напредак. Истраживање је показало да подршка саме ИТ службе у компанији не остварује значајан утицај на дигиталне иновације. Аутори (Fehér et al., 2022) су ово занимљиво откриће објаснили тиме да је дигитална трансформација задатак менаџмента, а не поједине службе у компанији. Даље, менаџмент је тај који доноси одлуку о имплементацији дигиталне технологије, док ИТ служба пружа подршку у том процесу (Fehér et al., 2022).

Процес дигитализације и дигиталне трансформације је од виталне значајности за опстанак на тржишту у индустрији 4.0 (Zhang et al., 2023). Дигитална технологија остварује утицај на мноштво грана индустрије каква је и грађевинска. Студија спроведена на тему утицајних фактора на дигиталну трансформацију у грађевинским компанијама у Кини бави се овом тематиком (Zhang et al., 2023). Циљ студије је да промовише ширење дигитализације међу грађевинским компанијама. Аутори су употребили теоријски концепт модела технологија-организација-окружење на основу кога су класификовали утицајне факторе на дигитализацију и дигиталну трансформацију. У оквиру технологије, аутори су пратили индикаторе: употреба дигиталне технологије, дигитални запослени (запослени са дигиталним вештинама који су носиоци дигиталног развоја), и релативна предност коју компанија добија усвајањем дигиталне технологије. У оквиру организације, аутори су посматрали показатеље: дигитални трошкови, организациона спремност, стратегија дигиталне трансформације, и подршка топ менаџмента. Даље, фактор окружења обухватио је притисак конкуренције, притисак партнера, и подршку у виду правилника. Емпиријски подаци о овим показатељима добијени су спровођењем анкете на коју је пристигло 236 одговора руководиоца грађевинских компанија. Хибридна методологија за анализу података која је коришћена обухвата моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата и фази

сет квалитативне компаративне анализе (енг. fsQCA). Резултати ове методологије указују да су за дигиталну трансформацију грађевинских компанија важни фактори као што су: употреба дигиталне технологије и релативна конкурентска предност која се ствара имплементацијом дигиталне технологије, дигитални трошкови и подршка топ менаџмента у организационом оквиру, стратегија дигиталне трансформације, притисак конкуренције и подршка у виду правилника у оквиру окружења (Zhang et al., 2023). Високи трошкови које захтева дигитализација имају негативан утицај на дигиталну трансформацију, што се може приметити у МСП која најчешће немају довољно финансијских средстава да испрате дигитализацију. Дигитална трансформација мора отпочети унутар компанија уз подршку топ менаџмента и бити вођена кроз адекватну подршку законодавства у виду правилника и политика. Међутим, студија показује да уколико не постоји притисак окружења за увођење дигиталне технологије, компаније се могу ослонити на традиционални начин рада и одложити дигиталну трансформацију (Zhang et al., 2023).

Слично истраживање спроведено је на тему баријера за прелазак са индустрије 4.0 на грађевинарство 4.0. У овој студији истраживане су потенцијалне сметње у развоју дигитализације у грађевинским компанијама и њихово спровођење дигиталне трансформације (Wang et al., 2022b). У истраживање су укључене 26 баријере које су класификоване у три димензије. Прва димензија односи се на недостатак закона и регулативе. Овде су се аутори фокусирали на недостатак правног оквира за специфичне гране индустрије, и проблем сајбер безбедности. Друга димензија односи се на недостатак подршке и лидерства. Аутори (Wang et al., 2022b) наглашавају нејасне циљеве и стратегију као и недостатак подршке од стране топ менаџмента као потенцијалне сметње дигиталној трансформацији. Даље, наводи се и недостатак свести о значају дигиталне технологије и трансформације за компаније. Трећа димензија односи се на недостатак ресурса и професионалаца који би били носиоци развоја дигиталне трансформације. Истраживање је спроведено на узорку од 192 професионалаца у Кини. Анализа је одрађена комбинацијом метода од анализе рангирања, до експлораторне факторске анализе и PLS-SEM методе. Анализа рангирања је у топ три баријера за спровођење дигиталне трансформације свстала недостатак стандарда специфичних за индустрију и закона, недостатак јасне визије, стратегије и правца за дигиталну трансформацију и недостатак подршке топ менаџмента за дигиталну трансформацију. Експлораторна факторска анализа омогућила је класификовање свих 26 баријера у 3 димензије које су наведене на почетку. PLS-SEM резултати су показали да све три димензије, недостатак закона и регулатива, недостатак подршке и лидерства и недостатак ресурса и професионалаца негативно утичу на дигиталну трансформацију (Wang et al., 2022b). У Кини се дигитална трансформација ослања на законодавство и власт се гледа као покретач дигитализације и трансформације. Истраживање је показало да компаније алоцирају своје ресурсе према критичним баријерама како би олакшале дигиталну трансформацију. Доказано је да дигитална трансформација има позитиван ефекат на успешност реализације пројеката (Wang et al., 2022b).

На основу спроведеног прегледа савремене литературе на тему развоја дигитализације може се закључити да у литератури доминира већи број истраживачких радова на тему утицаја дигитализације на разне димензије друштва

и економије (Rath et al., 2023; Reis et al., 2020). Мањи број аутора прати утицај различитих димензија на развој дигитализације те се овом дисертацијом употпуњује уочени недостатак у литератури. Истраживања која су анализирана у литературном прегледу своде се на интернационална (Nicoletti et al., 2020), и национална истраживања (Song et al., 2020). Студије су спроведене у контексту друштва (Rath et al., 2023), МСП (Fehér et al., 2022), и институција (Rahim et al., 2022). Тематика истраживања је разноврсна и подразумева развој дигитализације (Rasskazova & Yurgenson, 2021), усвајање дигиталне технологије (Ta & Lin, 2023), испитивање дигиталне писмености (Primahendra et al., 2021) и дигиталне поделе (Pick et al., 2015). Што се тиче употребљене методологије, велики број истраживачких радова бави се употребом економетријских модела (Wang & Zhang, 2022b), модела регресије (Urbančiková et al., 2017), и PLS-SEM методе моделовања у комбинацији са ANN методом машинског учења (Sohaib et al., 2020).

Основне димензије развоја дигитализације најчешће користе социјалне показатеље као што су: године старости, образовање, стопа урбанизације (Urbančiková et al., 2017) и економске показатеље као што су: БДП по глави становника, стране директне инвестиције, ИКТ извоз роба и услуга (Rath et al., 2023) и остале, док се енергетска и еколошка димензија не спомињу. Велики број радова користи организационе показатеље у оквиру привредних субјеката и показатеље окружења. Индикатори развоја дигитализације посматрани су кроз: (1) квалитативне индикаторе прикупљене анкетирањем, (2) квантитативне индикаторе као што су: број корисника мобилних телефона, број мобилних претплатника на 100 људи, број телефонских линија на 100 људи, број корисника интернета на 100 људи, број претплатника на широкопојасни фиксни телефон, пенетрација рачунара, цена приступа интернету, број фејсбук корисника и број твитер корисника (Niro & Bujiang, 2014; Pick et al., 2015; Song et al., 2020; Myovella et al., 2021; Rath et al., 2023), и (3) индексе развоја дигитализације и то: ИКТ развојни индекс, индекса развоја е-управе (Rasskazova & Yurgenson, 2021). Из предложеног литературног прегледа се уочава недостатак универзалног начина за мерење развоја дигитализације.

У студији о глобалној интеграцији економија из 2021. године испитује се како ИКТ утиче на зависност привреда од учешћа у глобалним трговинским ланцима (Arvin et al., 2021). Испитујући ову везу употребом анализе узрочности, на примеру G20 земаља у периоду од 1961. године до 2019. године, аутори потврђују да повећана употреба дигиталних платформи позитивно утиче на сарадњу међу државама у погледу трговине и повезаности, а самим тим се повећава прилив директних страних инвестиција у посматраним земљама. Према ауторима (Arvin et al., 2021) повећање директних страних инвестиција подстиче трансфер технологија и знања у земљама које примају ова средства и тиме се постиже глобализација технологије.

Интеракција између дигитализације и глобализације истраживана је у панел анализи у истраживању из 2018. године (Latif et al., 2018). Анализом каузалности обухваћене су БРИКС земље и њихови релевантни годишњи подаци прикупљени су за показатеље: ИКТ, директне стране инвестиције, глобализацију и економски раст у периоду од 2000. године до 2014. године. ИКТ показатељи који су коришћени у студији укључили су број корисника фиксног телефона, мобилног телефона,

интернета, интернет услуге и број претплата на фиксни широкопојасни приступ. Глобализација је представљена показатељима удела увоза и извоза једне земље у БДП-у. Резултати студије потврдили су да постоји позитивна синергија између дигитализације и глобализације и да раст дигитализације условљава пораст глобализације и обрнуто.

Утицај дигиталног развоја на учешће у глобалним ланцима снабдевања испитиван је у истраживању из 2020. године (Matthess & Kunkel, 2020). Њихова студија је истраживала ефекте које дигитализација постиже у развијеним земљама и земљама у развоју и налази студије говоре да постоје значајне разлике између ове две категорије економија. Истраживање показује да постоји мањак интернет компанија које долазе из земаља у развоју и да је профит које компаније остварују дигитализацијом производње и услуга далеко мањи у овим земљама. Аутори (Matthess & Kunkel, 2020) истичу три главна разлога за то. Један од разлога је већи удео образованог становништва, финансијских ресурса и неопипљиве имовине развијених земаља у односу на земље у развоју, па тако земље у развоју не могу да пруже одговарајућу конкурентност на глобалном тржишту због мањка образованог становништва, финансијских средстава и неопипљиве имовине. На тај начин развијене земље измештају производњу која захтева просту радну снагу у овим земљама док технолошке услуге остављају у својим границама. Тиме штите интелектуалну имовину и повећавају своју конкурентност на глобалном тржишту. Затим, увођењем аутоматизације у радно-интензивним секторима индустрије путем дигиталне технологије, и у развијеним земљама се смањује потреба да се ови индустријски сектори измештају у другим земљама. Развијене земље имају довољно ресурса да своју дигиталну технологију прилагоде актуелним и будућим трендовима развоја и на бржи и јефтинији начин могу да задовоље потребе глобалних ланаца снабдевања за дигиталним производима високе додате вредности. Земље у развоју су у овом покушају условљене различитим факторима и то првенствено људским и финансијским ресурсима. Студија је показала да дигитализација утиче на повећање обима трговине у глобалном ланцу снабдевања али у земљама у развоју не повећава квалитет трговине.

У наредном поглављу биће представљене досадашње студије у области развоја дигитализације које обухватају утицајне факторе на развој дигитализације и глобализације који ће бити анализирани у истраживачком делу дисертације.

4. ФАКТОРИ ДИГИТАЛИЗАЦИЈЕ

Када се говори о дигиталној технологији, основни услов њеног развоја је регуларно снабдевање електричном енергијом. У свету и даље постоје подручја у којима становништво нема обезбеђен адекватан приступ електричној енергији што онемогућава задовољење основних животних потреба човека, друштвени и технолошки напредак једне земље. Овај проблем је најизраженији у Африци, јужној Азији и латинској Америци где се формира дигитална подела у односу на развијене економије (Almeshqab & Ustun, 2019). Поред испуњења енергетских потреба, на одлуку о прихватању дигитализације у великој мери утичу фактори социјалне и економске природе који подразумевају образовање становништва, запосленост, висину дохотка по члану домаћинства и остале (Rodríguez-Castelán & Pierola, 2022). Разматрано са стране државног врха, БДП и инвестиције у истраживање и развој представљају кључне ставке које омогућују основу за развој дигитализације стварањем знања за генерисање нових технологија (Nair et al., 2020) и обезбеђивањем пратеће инфраструктуре (Mothobi & Grzybowski, 2017). У тренутку када се свет суочава са климатским променама и деградацијом животне средине неопходно је сагледати однос штетних гасова произведених услед повећане производње и потрошње електричне енергије и дигитализације која изискује повећану употребу енергетских ресурса (Salahuddin & Alam, 2016). Многобројни изазови који прате развој дигитализације захтевају дубљу анализу утицаја на сам процес дигитализације како би се добила сазнања о њиховим односима и дефинисале препоруке о даљим корацима њене примене.

Ово поглавље обухватиће преглед најважнијих фактора дигитализације који се издвајају у досадашњој литератури. Биће извршено класификовање фактора на основне групе које ће се користити у даљој теоријској и емпиријској анализи развоја дигитализације. Додатно, биће представљен њихов утицај на брзину спровођења дигитализације и биће спроведен преглед литературе у области односа дигитализације и глобализације. На крају биће представљени концептуални модели истраживања.

4.1. Социјални и образовни фактори

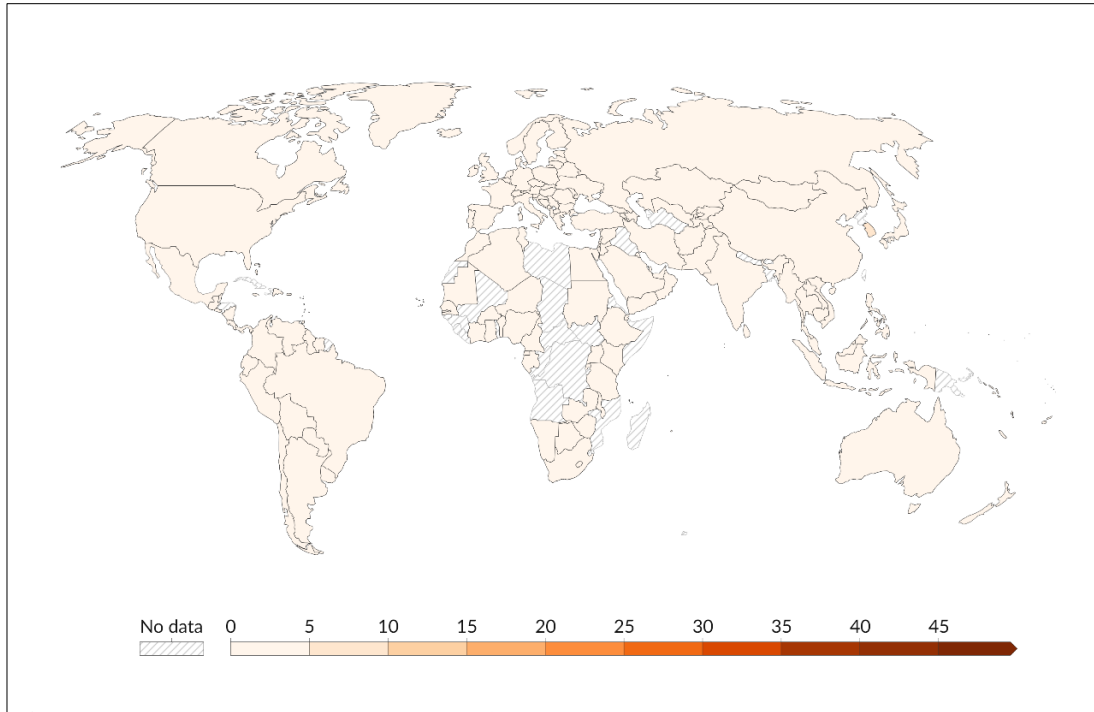
Социо-економски фактори у великој мери утичу на употребу дигиталне технологије у модерном друштву. Међу најзначајнијим факторима наводе се доходак, религија, економска група, године старости, брачни статус, знање енглеског језика, образовање и статус посла (Sharma & Banerjee, 2022). Доходак домаћинства у многоме одређују учесталост употребе интернета и студије доказују да нижи доходак у домаћинству често утичу на одлуку о некоришћењу интернета (Sharma & Banerjee, 2022). Истраживања показују да је у земљама у развоју већа вероватноћа усвајања ИКТ-а уколико домаћинства располажу већим месечним дохотком те је главни задатак државе да обезбеди домаћинствима са мањим дохотком приступ ИКТ-у и интернету (Kovačić & Vukmirović, 2008). Додатно, радикалне технолошке промене могу довести до смањења неједнакости дохотка становништва у развијеним земљама (Antonelli & Tubiana, 2023).

Неједнака подела богатства у свету такође доводи до дигиталне поделе јер је сиромашном становништву приступ ИКТ-у у виду употребе телефона и интернета мање значајан у односу на богатији слој становништва (Chinn & Fairlie, 2010; Njangang et al., 2022). Истиче се да се проблем приступа ИКТ-у јавља у раној фази дифузије нове технологије када само појединци са већим доходком могу себи да приуште куповину дигиталних уређаја, а да касније са падом цена дигитална технологија постаје доступна и становништву са нижим доходком (Vicente & López, 2006). Најчешће погођено становништво које има ограничене могућности куповине дигиталних уређаја припада осетљивој категорији становништва и то старији људи, жене и незапослени (Vicente & López, 2006). Студија из 2019. године (Forenbacher et al., 2019) указује да је сиромаштво кључан фактор за поседовање мобилног телефона, те да би интервенција државе у смислу новчане помоћи за куповину мобилних телефона у значајној мери повећала ниво дигитализације међу становништвом које је на граници сиромаштва. Такође, пружање могућности од стране државе за образовне програме и приступ ИКТ становништву са нижим доходком довело би до веће употребе дигиталне технологије ове категорије становништва у земљама у развоју (Gutierrez & Gamboa, 2008).

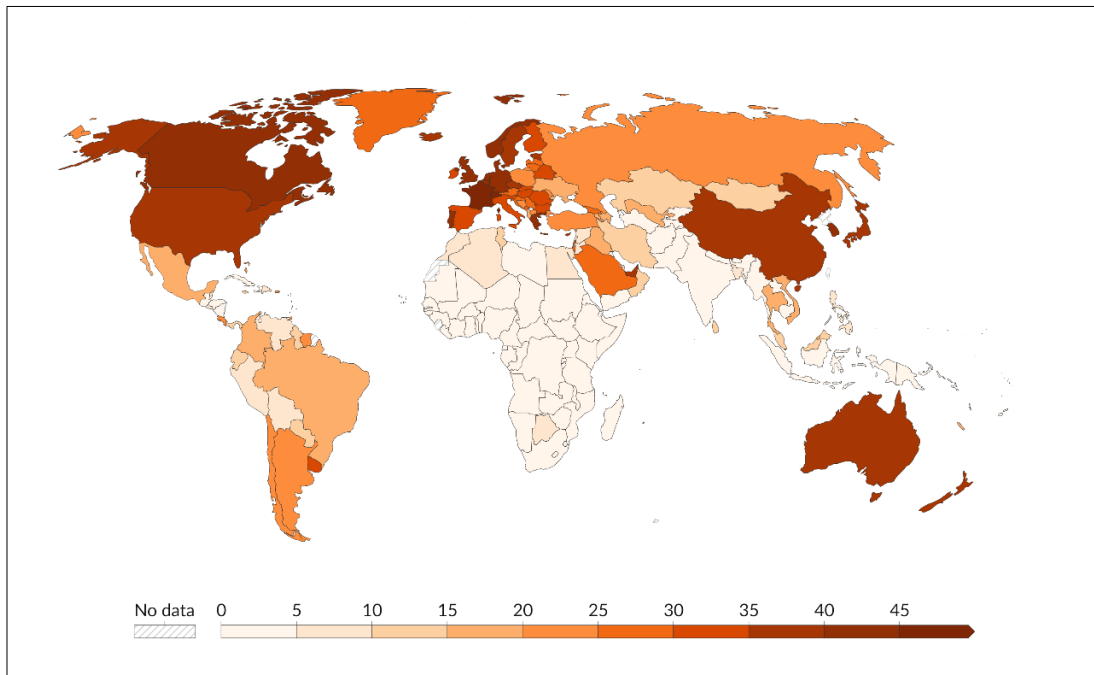
У земљама у развоју, напредак дигитализације може довести до бољег социо-економског статуса становништва (Perez-Castro et al., 2021). Економије на територији афричког континента су под утицајем дигиталне поделе у односу на развијене глобалне економије из разлога што већина становништва не може да приушти приступ интернету или нема довољно знања да га користи па већи део становништва користи ИКТ и интернет на послу (Penard et al., 2015). У руралним подручјима, употреба дигиталне технологије зависи од демографске структуре становништва, образовања и дохотка (Martínez-Domínguez & Mora-Rivera, 2020). Младо, образовано становништво са стабилним доходком чешће користи интернет у односу на старије становништво са нижим степеном образовања и нижим доходком (Martínez-Domínguez & Mora-Rivera, 2020). На слици 4.1 дат је приказ броја претплата на фиксни широкопојасни приступ интернету на сваких 100 становника у свету. Поређења ради, дати су подаци за 2000. када је тренд употребе интернета био у фази почетка раста и 2021. годину када се велики део свакодневних и пословних активности завршава путем интернета. Слика 4.1 показује да Европа, Северна Америка и Азија предњаче у употреби интернета у односу на Африку, јужну Азију и Јужну Америку.

Аутори (Martínez-Domínguez & Mora-Rivera, 2020) наводе да се проблем дигиталне поделе може умањити на следеће начине:

- развојем адекватне ИКТ инфраструктуре и пружањем услуга брзог интернета,
- смањењем трошкова повезивања на интернет међу провајдерима,
- едукацијом становништва о дигиталној писмености.



(a)



(б)

Слика 4.1. Број претплата на фиксни широкопојасни приступ интернету (на 100 људи) у свету (а) 2000. године и (б) 2021. године (Our World in Data, 2023)

Доказ о сталном расту ИКТ сектора налази се и у повећању глобалне запослености у ИКТ-у за 16% од 2010. до 2015. године на скоро 40 милиона запослених (Digital economy report, 2019). Извештај за мерење дигиталне економије

и друштва у Европи (Digital Economy and Society Index, 2023) наводи да је највећи број запослених ИКТ стручњака у 2023. години био у Шведској и Луксембургу. Запослени имају већу могућност приступа ИКТ због својих доходака који то омогућавају у односу на незапослене (Ковачић & Vukmirović, 2008). Студије су показале да се прихватање дигиталног развоја у виду употребе дигиталног новца смањује код становништва које је незапослено и има нижи степен образовања, као последица финансијске и социјалне ексклузије (Afawubo et al., 2017) и то у руралним подручјима Африке (Akinyemi & Mushunje, 2020). Запослено становништво учестало користи ИКТ управо из разлога јер ИКТ омогућава њихову продуктивност и конкурентност, те се може закључити да стопа запослености позитивно утиче на усвајање и употребу дигиталне технологије (Vicente & López, 2006).

Образовање је полазна основа технолошког напретка (Habibi & Zabardast, 2020). Ову чињеницу не изостављају многе развијене земље и земље у развоју када планирају свој технолошки напредак и у складу са тим формирају универзитете и образовне институције које могу да подрже развој технологије својим истраживањима (Habibi & Zabardast, 2020).

Повећање издвајања државе за потребе образовања доприноси развоју нивоа образовања становништва што за последицу има већу употребу ИКТ у пракси (Saidi & Mongi, 2018). Подаци ЕУ из 2019. године говоре да највиша улагања у образовање постижу земље као што су Исланд (7.1% БДП-а) и Шведска (6.9% БДП-а) (Иванова et al., 2021). Нижа улагања у образовање забележена су у земљама као што су Ирска (3.1% БДП-а) и Румунија (3.6% БДП-а) (Ivanová et al., 2021). Удео улагања у великој мери је одређен висином БДП-а земаља, тако да земље са јачом економијом алоцирају већа издвајања за област образовања. Реформе у области људског капитала и образовања подразумевају усмеравање ка дигиталним потребама тржишта рада у којима су захтеви за дигиталним вештинама приоритет (Ivanová et al., 2021).

Високо образовање је значајан фактор развоја дигитализације. У већини земаља ЕУ, запослени у ИКТ сектору поседују универзитетско образовање. Подаци из 2021. године говоре да је највећи проценат запослених са високим образовањем у овом сектору у Литванији (93.7%) и Аустрији (85.7%), док је најслабији удео у Португалији (32.1%) и Италији (36.7%) (Ivanová et al., 2021). Резултати регресионе студије спроведене у Србији показују да образовано становништво у великој мери користи ИКТ за своје потребе, док је усвајање ИКТ код становништва нижег степена образовања спорије (Ковачић & Vukmirović, 2008). Високообразовано становништво повезује се са чешћом употребом интернета управо из разлога поседовања дигиталног знања и вештина (Lera-López et al., 2011). До истог закључка су дошли и други аутори који су употребом економетријског модела утврдили мању употребу мобилног широкопојасног приступа од стране становништва са ниским степеном образовања (Hasbi & Dubus, 2020). Ови аутори су закључили да би пружање могућности за стицање вештина у области дигиталне технологије за млађе и старије генерације смањило дигиталну поделу (Hasbi & Dubus, 2020). Јер употреба дигиталне технологије не зависи само од њене доступности и лакоће приступа него

и вештинама које су потребне да би се ови уређаји користили (Vicente & López, 2006).

У недавној студији из 2019. године, коришћена је мултиваријантна анализа како би се пружили докази да ИКТ искуство висококвалификованих радника помаже да постану дигитални предузетници, док нискоквалификовани радници траже подршку у различитим програмима за преквалификацију (Fossen & Sorgner, 2019). Приликом планирања обука у вези са послом, организације треба да буду свесне да улагање у нискоквалификоване раднике доноси бржу дигитализацију (Andrevs et al., 2018). Истраживања су показала да појединци са већим степеном образовања на бољи начин користе доступну дигиталну технологију и интернет за своје потребе у односу на ниже образовано становништво (Habibi & Zabardast, 2020). Тиме се путем лакшег приступа образовању у високошколским установама стичу знања која утичу на фреквенцију употребе интернета. Образовано становништво у већој мери користи рачунаре у обављању својих активности у односу на необразовано становништво (Sharma & Banerjee, 2022). Остали аутори наглашавају да су за дифузију употребе интернета међу сиромашним становништвом битни образовање и други социјални фактори у односу на приступ технологији (Alderete, 2019).

4.2. Економски фактори

Дигитализација и дигитална трансформација у великој мери утичу на друштво и економију. Док поједини аутори дигитализацију виде као предност у пословној пракси (Lanzolla et al., 2020), други истраживачи баве се изазовима које дигитализација са собом доноси (Nell et al., 2021). Многи аутори су већ потврдили позитиван однос који се остварује између раста националне привреде и развоја ИКТ-а (Vu et al., 2020). Њихова међусобна повезаност сугерише да нема привредног раста без унапређења технологије нити побољшања технологије без економског раста. Свеобухватан преглед литературе о односу између ИКТ-а и економског раста извештава да је веза између ове две варијабле доказана и сада је време да се размисли о ефектима увођења ИКТ-а у пословање из перспективе квалитета посла (Vu et al., 2020).

Дигитализација мења уобичајену праксу у свим секторима привреде, како приватним тако и државним институцијама образовања, здравства, финансија, производње, логистике, транспорта и многим другим (Demirkan et al., 2016). Она нуди разне могућности за стварање ефикаснијег, ефективнијег, иновативнијег и одрживог решења кроз (Demirkan et al., 2016):

- креирање нових услуга,
- увођење аутоматизације,
- раздвајање процеса реализације услуге,
- дизајн и испоруку таргетираног искуства клијената,
- креирање нових сервисних система,
- смањење трошкова услуживања употребом полуаутоматизованих или аутоматизованих машина,
- побољшање квалитета услуге,

- креирање самоуслужних активности,
- генерисање професија заснованих на знању.

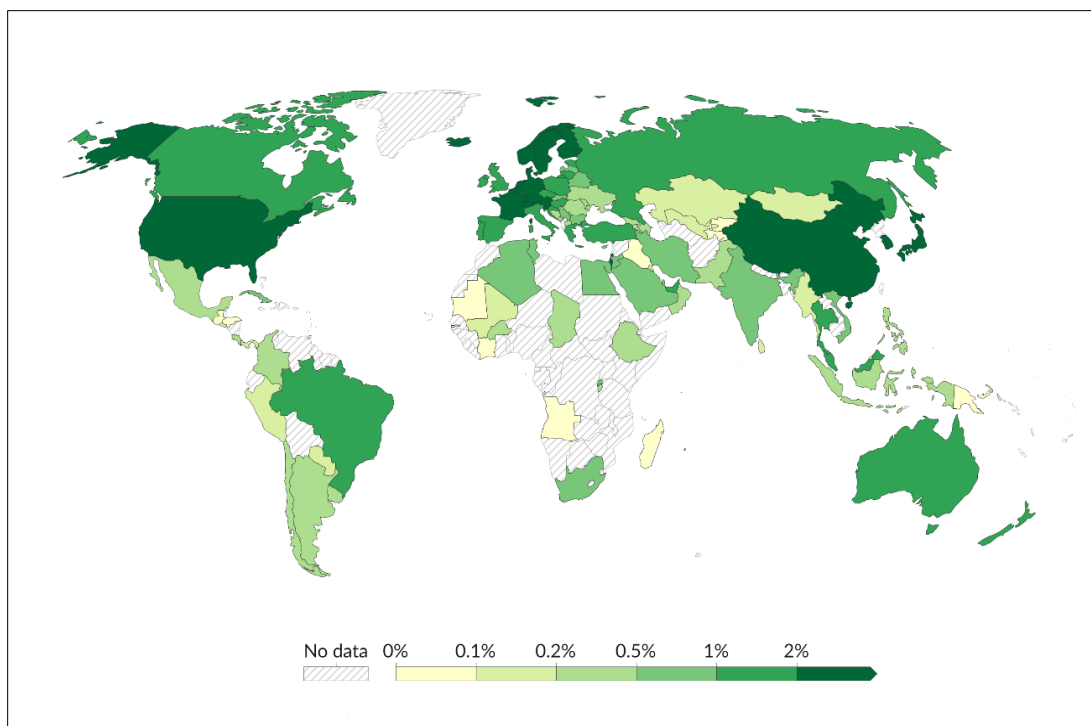
Сам развој дигитализације утиче на дефинисање стратегија у организацијама и мења организациону структуру (Nell et al., 2021). Дигитализација нуди разне бенефите организацијама и друштву у погледу уштеде финансијских средстава до 90%, и побољшања времена обрта тиме што се благовремено анализирају подаци који се прикупљају електронским путем уместо у папирној форми (Parviainen et al., 2017). Она омогућава поновно креирање производа, процеса и ланца вредности како би се организације пробиле на нова тржишта (Lanzolla et al., 2020). Утицај дигитализације у пословању организација може се огледати у проширењу асортимана производа и услуга, ширењу опсега купаца, смањењу трошкова проналаска купаца, и пружању информација о неоствареним жељама купаца (Lanzolla et al., 2020).

Имајући у виду да се ИКТ сектор још увек успоставља и да је у фази развоја, он поседује потенцијал да еволуира и донесе даље промене и просперитет на глобалном тржишту (Hong, 2017; Appiah-Otoo & Song, 2020). Емпиријски подаци сугеришу на годишњи пораст удела ИКТ у БДП-у у већини европских привреда и пружају доказе о њиховом тренутном фокусу на развој ИКТ услуга (Eurostat, 2020a). Пет најуспешнијих европских привреда у бруто додатној вредности (БДВ) ИКТ јесу развијене привреде ЕУ и то: Немачка, УК, Француска, Италија и Шпанија (Digital economy and society index, 2020). Примарне економске активности у ЕУ као што су индустрија, трговина и транспорт су знатно испред ИКТ у смислу БДВ-а (Eurostat, 2020c). У 2018. години, ИКТ је остварио БДВ приближно висок као грађевински сектор када се посматра просек ЕУ (Eurostat, 2020c). Ирска је пример европске развијене привреде која је обезбедила своју водећу позицију у ИКТ постигавши индивидуално супериоран ИКТ резултат већи од 12% укупног БДВ-а земље (Eurostat, 2020c).

Развој ИКТ сектора повезан је са растом привреде када се посматра дугорочан период (Saidi & Mongi, 2018; Sawng et al., 2021). Дигитална технологија своју сврху проналази у различитим секторима привреде те њена интеграција у кључним секторима и активностима доводи до прогреса привреде (de Clercq, 2023). Повећање нивоа дохотка утиче на већу употребу ИКТ-а кроз раст потражње за телефонским линијама, мобилним телефонима и повећање броја корисника интернета и интернет сервера (Arvin & Pradhan, 2014; Pradhan et al., 2017). Што је једна привреда напреднија и јача, компаније и остали стејкхолдери исказује већу потребу за софистицираним ИКТ услугама, што значи да држава мора имати већа издвајања за ИКТ развој која могу да подрже потребе тржишта (Nair et al., 2020). То наводи да већа улагања БДП-а у развој ИКТ сектора доводе до развоја дигитализације (Nair et al., 2020). Међу земљама које улажу значајан део БДП-а (између 5% и 8%) у развој ИКТ сектора у 2018. години биле су Малта, УК, Бугарска, Мађарска и Шведска (Eurostat, 2020a). Студије су показале да БДП по глави становника има позитиван утицај на учесталост употребе интернета те се овај индикатор може сматрати показатељем дигиталног развоја (Lera-López et al., 2011).

Са друге стране, развој дигитализације мора бити подржан улагањем у истраживања и развој које се огледа кроз проценат издвајања БДП-а у ову сврху, број истраживача и број техничара дигитализације (Nair et al., 2020). Улагање у истраживање и развој подстиче глобални развој јер се са повећањем издвајања у истраживачке активности развија напредна технологија која служи за дигитализацију целокупне привреде (Bloom et al., 2012). У ЕУ, највећа издвајања за област истраживање и развоја у 2019. години имале су државе Шведска (3.39% БДП-а), Аустрија (3.19% БДП-а), и Немачка (3.17% БДП-а) (Ivanová et al., 2021), док су улагања мања од 1% БДП-а забележена у Румунији (0.48%), Малти (0.61%), Кипру (0.63%), Летонији (0.64%), Ирској (0.78%), Словачкој (0.83%), Бугарској (0.84%) и Литванији (0.99%) (Ivanová et al., 2021). Средства уложена у истраживање и развој имају много већи повратни ефекат у ИКТ сектору него у осталим секторима јер се производи ИКТ-а користе у скоро свим секторима привреде (Koutroumpis et al., 2020). Студија из 2017. године показала је да се остварује већи ефекат улагања у истраживање и развој из приватног сектора у развој ИКТ, у односу на јавна улагања, али да улагање из оба извора позитивно утиче на развој дигиталне технологије (Hong, 2017). На слици 4.2 приказани су подаци о улагању у активностима истраживања и развоја у свим привредама света у 2021. години. Према подацима, највећа издвајања од преко 2% БДП-а имају привреде у Северној Америци, земље западне Европе, Кина и Јапан. То су уједно и глобалне светске силе по висини БДП-а па су и улагања у развој знатно већа у односу на земље у развоју. Најнижа улагања се остварују у афричким привредама и појединим привредама у Јужној Америци.

Улагање у истраживање и развој у развијеним земљама је услов за стварање напредне технологије која се путем извоза пласира на тржишта мање развијених привреда (Sharma, 2018). Активности истраживања и развоја заједно са међународним активностима извоза робе и услуга једне земље могу допринети развоју употребе интернета и технологије (Vicente & López, 2006; Močnik & Širec, 2010). О недостатку истраживачких радова на тему утицаја извоза на технолошке иновације говорили су многи аутори који наводе да велики број радова истражује утицај технолошких иновација на ниво извоза (Filipescu et al., 2013). Извоз промовише технолошки развој кроз креирање технолошких иновација (Zhou et al., 2021). Компаније које извозе своје производе и услуге имају могућност стицања неопходног знања прикупљеног из страних компанија које примењују у својим активностима, тиме доприносе развоју технолошких иновација (Bindroo et al., 2012; Filipescu et al., 2013). Извоз доприноси трансферу технологије који омогућује даљи технолошки напредак привреда (Bhagwati & Srinivasan, 1975).



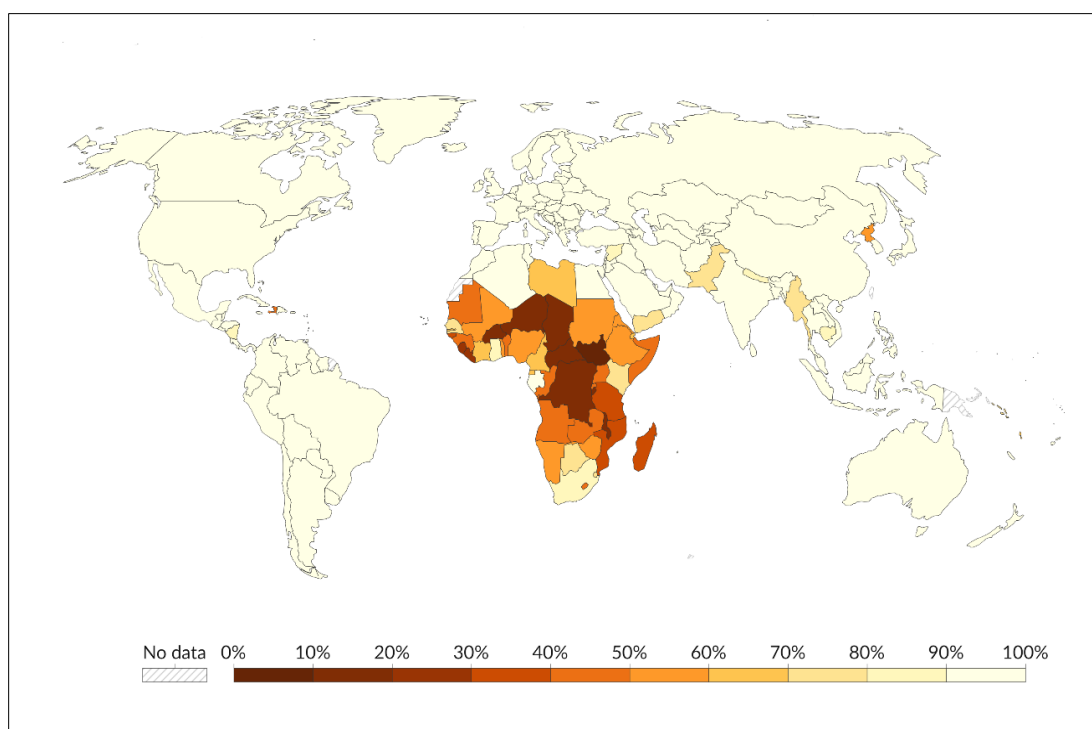
Слика 4.2. Улагање у истраживања и развој као проценат БДП-а у свету у 2021. години (Our World in Data, 2023)

Учешће на интернационалном тржишту подстиче развој напредне технологије хардвера и софтвера, уређаја за складиштење података, и осталих информационих решења (Anand et al., 2015). Позитивну нелинеарну везу између интернационалне трговине и компоненти стварања технологије, дифузије старих иновација, ширења недавних иновација и људских вештина које сачињавају индекс технолошког достигнућа пронашли су аутори у раду из 2010. године (Márquez-Ramos & Martínez-Zarzoso, 2010). Интернационализација компанија повезује се са повећаном употребом ИКТ и софтверима за управљање односима са клијентима и пословним процесима (Jin & Hurd, 2018; Westerlund, 2020).

4.3. Енергетски фактори

Приступ електричној енергији у 21. веку је основна потреба човека на основу које се задовољавају основне потребе људи као што су исхрана, лична хигијена, здравство, образовање, информисање и остале потребе у односу на животни стил појединца (Day et al., 2016). Више од једног билиона светске популације и даље живи без електричне енергије, и то у највећем проценту у руралним подручјима јужне Азије, латинске Америке и подсахарске Африке (Almeshqab & Ustun, 2019). На слици 4.3 је дат приказ процентног удела становништва са приступом електричној енергији у свим привредама света и може се закључити да се проблем јавља углавном у Африци. Новија истраживања дискутују о феномену енергетског сиромаштва који оставља значајне последице на развој друштва у дигиталној ери (Wang et al., 2022c). Студије показују емпиријске доказе о негативном утицају недостатка енергетских

ресурса на развој ИКТ (Wang et al., 2022c). Удео корисника интернета је ограничен дистрибуцијом електричне енергије, што значи да привреде са електричном енергијом доступном већем делу становништва имају већи број корисника од привреда са руралним подручјима без струје (Armeu & Hosman, 2016). Разлика у стопи присвајања интернета између континента је очигледна и у томе предњаче САД (Chinn & Fairlie, 2007). На афричком континенту, број корисника мобилних уређаја је ограничен приступом електричне енергије, што значи да би доступност електричне енергије утицала на повећање броја дигиталних уређаја и олакшала дигитализацију на овом простору (Kouton, 2019). Онемогућен приступ интернету услед рестрикције електричне енергије доводи до пада употребе савремених дигиталних услуга као што је нпр. интернет банкарство (Abbasi et al., 2017) и електронска трговина (Twi-Brempong et al., 2019). Проблем енергетског сиромаштва се може решити повећањем дохотка становништва, повећањем степена образовања и побољшањем услова живота кроз изградњу енергетске инфраструктуре пре увођења дигитализације (Wang et al., 2022c).



Слика 4.3. Процент становништва са приступом електричној енергији у свету у 2020. години (Our World in Data, 2023)

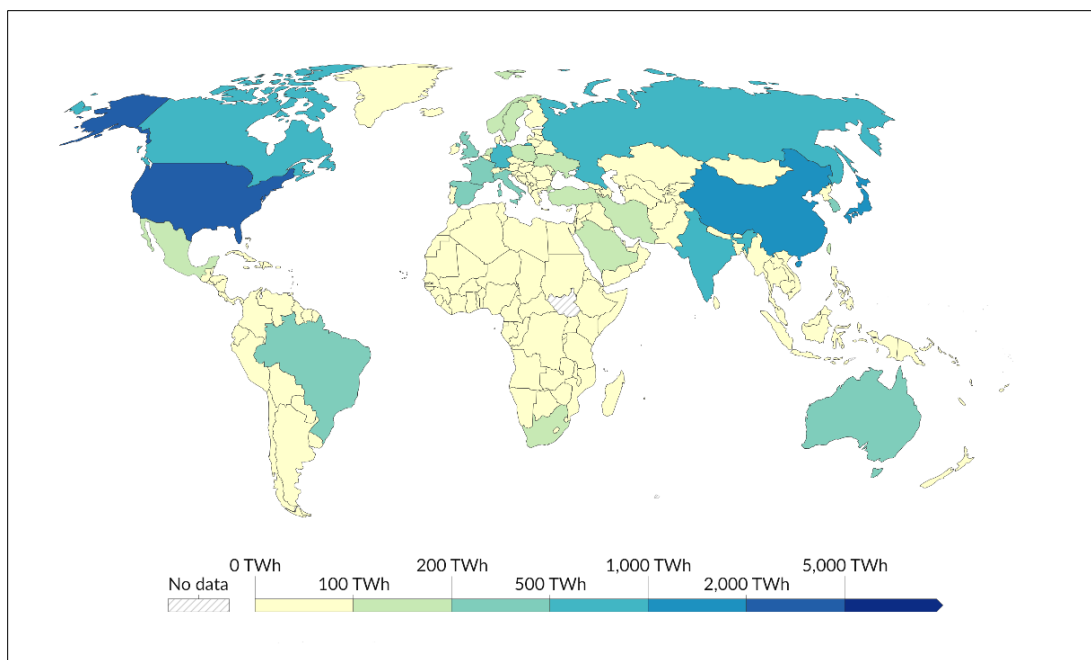
Сигурно снабдевање електричном енергијом је од кључног значаја за употребу интернета и мобилних телефона (Nishida et al., 2014; Hounghonon et al., 2021). Значајна потрошња електричне енергије идентификована је на оним просторима где становништво учестало користи ове уређаје (Nishida et al., 2014). Студије показују да дистрибуција електричне енергије путем генератора или јавне мреже електричне енергије има круцијалан утицај на поседовање мобилних телефона у најгушће насељеној држави Африке, Нигерији (Forenbacher et al., 2019).

Поједини мобилни оператери ангажују сопствене системе за снабдевање електричном енергијом који функционишу ван енергетског система земље за потребе мобилних корисника на местима где је ограничен приступ електричној енергији (Kouton, 2019). Обезбеђивање адекватног приступа електричној енергији омогућило би прикључивање ових оператера на јавну енергетску мрежу и прекид снабдевања енергијом путем скувих приватних генератора чиме би се трошкови оператера смањили и смањила би се цена мобилних услуга и интернета (Houngbonon & Le Quentrec, 2019). Тиме би се број корисника мобилних услуга и интернета значајно повећао.

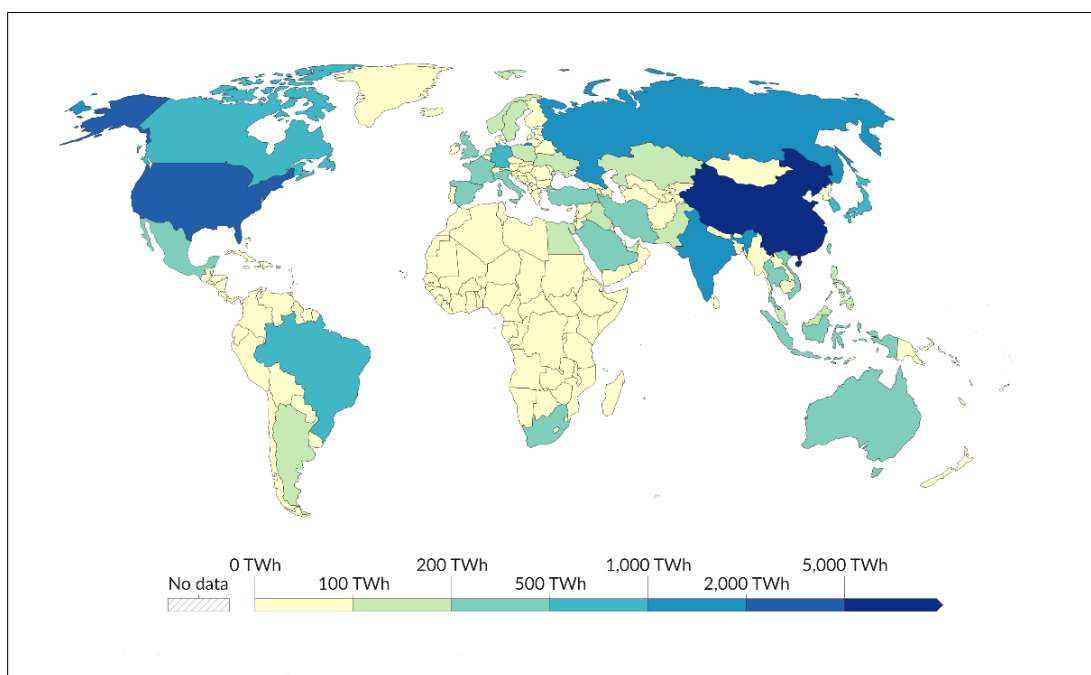
Досадашња истраживања занемарују утицај приступа електричној енергији на распрострањеност употребе ИКТ, поготово у земљама у развоју где се недостатак електричне енергије у појединим територијалним областима може приметити (Houngbonon & Le Quentrec, 2019). Стога је, веома важно спроводити студије овог типа у споменутих земљама. Студија из 2019. године (Houngbonon & Le Quentrec, 2019) показује да су приступ електричној енергији и дифузија интернета и мобилних телефона у позитивној корелацији што значи да доступност електричне енергије утиче на тренд ширења дигитализације. Ова студија је од значаја за доказивање везе између доступне енергије и даљег развоја дигитализације јер је спроведена на тлу субсахарске Африке на територији 60 држава где је насељена половина светске популације која живи без приступа електричној енергији (Houngbonon & Le Quentrec, 2019). Емпиријски резултати показују да повећање приступа електричној енергији од 10% утиче на повећање броја корисника мобилних телефона за 2.14%, корисника интернета за 6.65% и корисника паметних телефона за 2.54%. Привреде са нижим дохотком често се повезују са недостатком инфраструктуре фиксне линије која омогућује приступ становништва интернету те се на овим просторима примећује мањи проценат становништва који има приступ интернету, док се повећава број корисника мобилних телефона путем којих становништво учествује у дигиталном свету (Mothobi & Grzybowski, 2017). Инфраструктурни изазови у погледу недостатка електричне енергије у домаћинствима неповољно утичу и на усвајање мобилних телефона у односу на богатије делове земље са бољом инфраструктуром (Mothobi & Grzybowski, 2017). Додатно, у руралним деловима где постоји приступ електричној енергији, осетан је утицај могућности становништва да приуште трошкове електричне енергије и поузданост система снабдевања електричном енергијом на усвајање ИКТ (Muhihi, 2020). Најчешће се у употреби у руралним подручјима налазе мобилни телефони, ТВ и савремени радио уређаји (Muhihi, 2020).

Студије показују да је интензитет потрошње електричне енергије неопходне за пренос података путем интернета у паду и значајно се смањује за 50% сваке друге године још од 2000. године (Aslan et al., 2018). Међутим, све већи број корисника интернета као последицу дигитализације захтева растућу потрошњу електричне енергије (Sadorsky, 2012; Aslan et al., 2018). Фреквентност употребе мобилних телефона, интернета и персоналних рачунара у савременом добу доводи до повећане потрошње електричне енергије која се мора узети у обзир приликом планирања снабдевања електричном енергијом како не би дошло до несташице на тржишту (Sadorsky, 2012). На слици 4.4 приказана је потражња за електричном енергијом

2000. године када је употреба интернета и дигиталне технологије била тек на зачетку и 2020. године када се интернет и дигитална технологија активно користе. Повећана потражња је углавном везана за развијене светске привреде. Недостатак потребне количине електричне енергије у земљама у којима је у току ИКТ револуција може омести њихов ИКТ развој (Afzal & Gow, 2016).



(a)



(б)

Слика 4.4. Потражња за електричном енергијом у свету (а) 2000. године и (б) 2020. године (Our World in Data, 2023)

У Европи је примећен драстичан пораст производње електричне енергије од почетка коришћења интернета у друштву (Eurostat, 2020b). Тренд пораста потрошње електричне енергије услед развоја ИКТ сектора присутан је и у осталим светским привредама ван територије Европе (Saidi et al., 2015). Дифузија ИКТ-а условљава повећану потражњу за енергетским ресурсима што значи да је за континуирани развој ИКТ-а потребно обезбедити растућу количину електричне енергије (Kouton, 2019).

Детаљном студијом о потрошњи електричне енергије за потребе ИКТ дефинисане су следеће четири категорије ИКТ уређаја који потражују електричну енергију и то (Cogogan & Andrae, 2013):

- уређаји клијената,
- мрежна инфраструктура,
- центри података и складиштења,
- одржавање рада дигиталних уређаја.

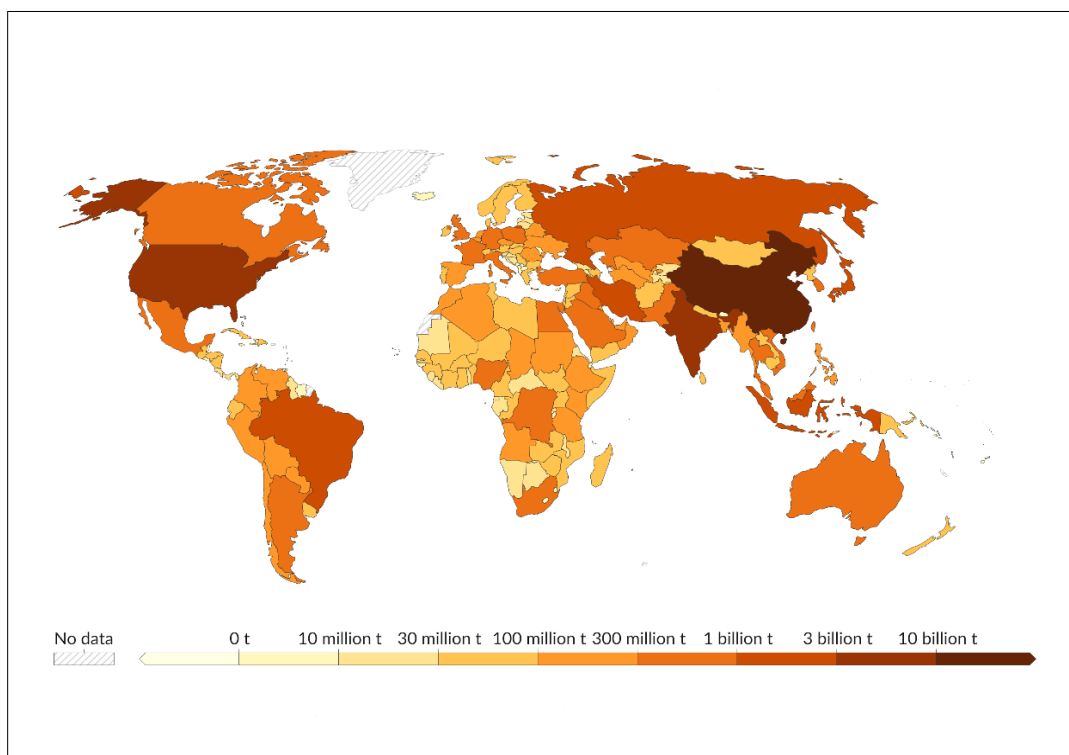
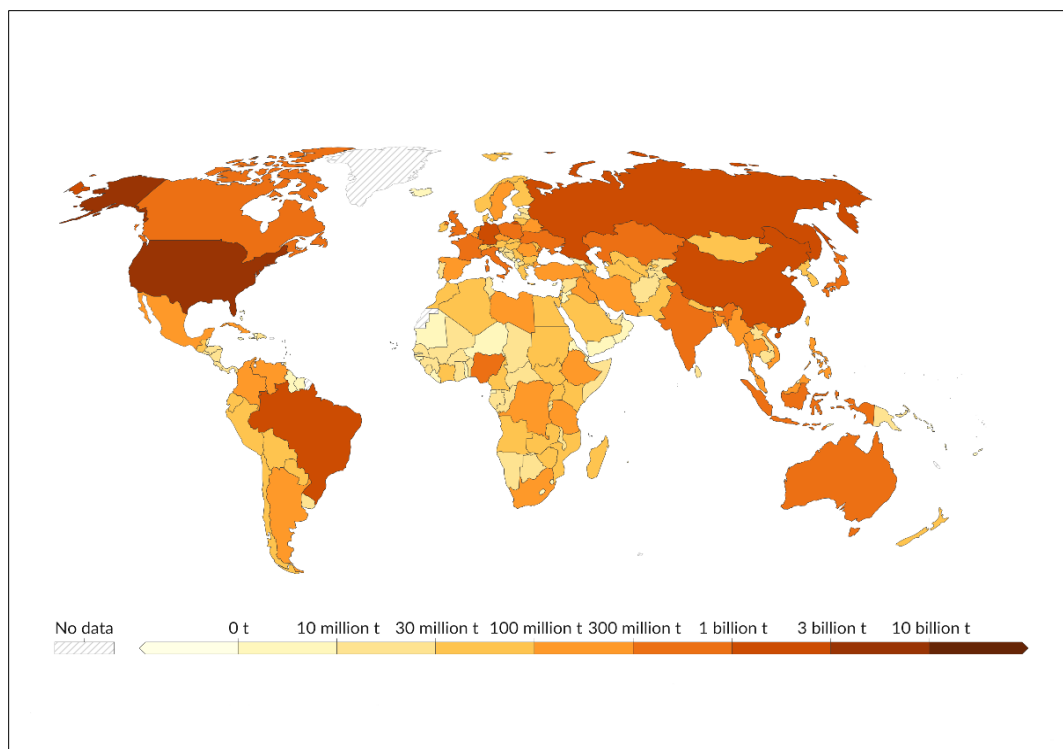
Привреде са ниским дохотком имају низ проблема који се морају решити како би развиле своје мреже електричне енергије за потребе ИКТ сектора и то су недостатак средстава и недостатак стручњака (Armeu & Hosman, 2016). Ширење инфраструктуре електричне енергије је један од водећих фактора усвајања дигиталне технологије у МСП у земљама у развоју које у овом процесу заостају у односу на развијене земље са бољом енергетском инфраструктуром (Arulu & Ige, 2011; Makiwa & Steyn, 2019). Поред тога што ИКТ условљава промене у свим секторима привреде, она покреће и дигитализацију енергетског сектора на основу које се смањује неповољан утицај на животну средину и обезбеђује поузданост дистрибуције (Park & Neo, 2020).

Тренутни изазови развоја дигитализације у подручјима са ограниченим приступом електричној енергији могу се решити производњом обновљиве енергије која може задовољити потребе ИКТ сектора (Ikwaba & Uhomobhi, 2013; Twi-Vrempong et al., 2019). Недавна студија о употреби обновљивих извора енергије у ИКТ-у наглашава да повећање од 1% мобилних ИКТ-а доводи до повећања производње обновљиве енергије од 0.2 - 1.1% и препознаје ИКТ сектор као будућег промотера обновљивих извора енергије (Zheng & Wang, 2020). Према извештају Интернационалне агенције за енергију, 2019. године измерен је пад производње електричне енергије у целом свету из фосилних горива, укључујући угаљ, нуклеарну енергију и нафту, праћен порастом употребе обновљивих извора и природног гаса (IEA, 2020a). У Европи, Норвешка и Исланд су веома успешни произвођачи зелене електричне енергије чија производња из обновљивих извора превазилази националну потражњу (Eurostat, 2020d). У том контексту, бројна истраживања су се бавила проблемом повећане потрошње електричне енергије употребом ИКТ-а у различитим нацијама, али евидентан је недостатак радова који процењују удео обновљивих извора у укупној потрошњи електричне енергије.

4.4. Еколошки фактори

Веза између загађења животне средине и дигиталне технологије се може посматрати из два различита угла. Први угао гледања је испуштање загађујућих материја и потрошња необновљивих извора енергије за производњу дигиталне технологије и њено одлагање (Salahuddin & Alam, 2016). Док други угао гледања подразумева увећану потрошњу електричне енергије која је потребна приликом коришћења дигиталне технологије (Salahuddin & Alam, 2016). Процене су да је током 2020. године, ИКТ сектор имао удела у глобалној потрошњи електричне енергије од 7% (Andrae, 2020). Будуће процене потрошње електричне енергије за потребе дигиталног окружења су неизвесне јер је тешко предвидети технолошка достигнућа ИКТ сектора и енергетски интензитет технологије најновије генерације (Andrae, 2020). Истраживања показују да се тренутни удео потрошње електричне енергије у ИКТ сектору у највећем проценту односи на потрошњу кућних дигиталних уређаја (50% потрошње електричне енергије), затим на центре података (15%) и мрежу (15%) (Andrae, 2020). Имајући у виду да је развој дигитализације условљен повећањем потрошње електричне енергије дигиталних уређаја, поготово од стране центара података, поставља се питање њеног утицаја на екологију (Salahuddin & Alam, 2016). Очекивања су да ће саобраћај података бити у константном порасту у наредном периоду, само је неизвесно колика ће бити потрошња енергената за ове потребе (Andrae, 2020).

Проблем који настаје повећаном потребом за енергетским ресурсима проналази се у коришћењу конвенционалних извора енергије као што су угљ, нафта и дрво (Ma et al., 2022). Сагоревањем ових фосилних горива производи се огромна количина штетних гасова који одлазе у атмосферу и загађују животну средину. Тиме изазивају непроцењиву штету животној околини и човеку. Новије студије потврђују повезаност емисије угљен-диоксида са развојем ИКТ сектора (Bildirici et al., 2022). Истраживања показују да једнопроцентни раст потрошње енергије доводи до приближно 1.2% повећања емисије угљен-диоксида (Ma et al., 2022). Овај проблем је мање изражен у развијеним земљама јер ове привреде улажу значајна средства у развој технологије и еколошке прописе (Wang et al., 2020a). Развијене земље заснивају своју привреду на лакој индустрији са технологијом која поседује ниски проценат загађења док тешку индустрију шире ван своје територије (Wang et al., 2020a). Проблем је израженији у земљама у развоју јер оне, да би постигле конкурентност на глобалном тржишту ослањају се на индустрију која интензивно загађује животну средину и која се развија кроз директне стране инвестиције развијених земаља (Wang et al., 2020a). Загађење које се ствара у земљама у развоју може се решити трансфером технологије из развијених земаља у мање развијене земље (Wang et al., 2020a). На слици 4.5 приказана је компарација емисије штетних гасова у свету са почетка 90-их година прошлог века када је употреба ИКТ-а била на зачељу и 2021. године када актуелно дигитално доба показује да се емисија није драстично повећала осим у случају Кине. Разлог за то се може пронаћи и у брзом економском просперитету ове државе и њеној зависности од фосилних горива (Ma et al., 2022).



Слика 4.5. Компарација емисије штетних гасова изражене у тонама у свету (а) 1970. године и (б) 2021. године (Our World in Data, 2023)

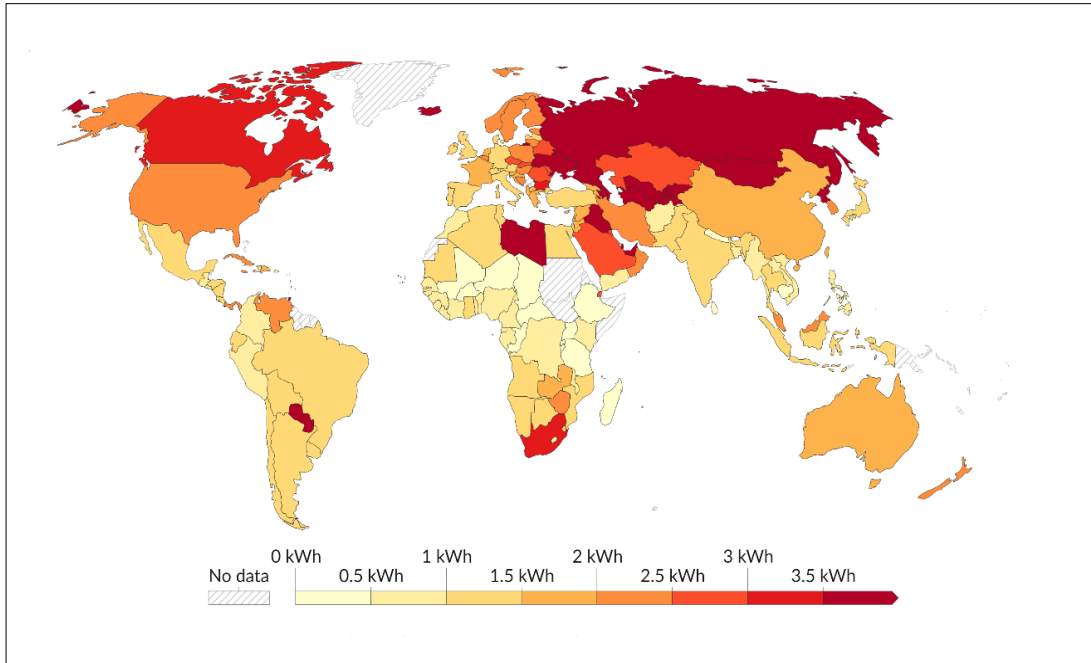
Решење које се наметнуло као логичан одговор је употреба обновљивих извора енергије за потребе ИКТ сектора која се у стручној литератури назива зелена технологија (енг. green technology) (Salahuddin & Alam, 2016). Истраживања су показала да повећање употребе обновљивих извора енергије од 1% доводи до смањења емисије угљен-диоксида за 0.655% у краткорочном периоду и за 0.489% у дугорочном периоду (Batool et al., 2022).

ИКТ сектор доводи до повећања продуктивности и снижавања трошкова производње обновљивих извора енергије те поспешује употребу чисте енергије за своје потребе употребом паметних мрежа (Moyer & Hughes, 2012). Паметне мреже су део дигитализованог енергетског сектора које су напредније од постојећих мрежа јер се њихов рад заснива на интеграцији са ИКТ и оне својим радом доприносе смањењу енергетског интензитета и тиме доприносе очувању окружења (Shahbaz et al., 2014). Резултати емпиријске студије из 2022. године истичу да се удео потрошње обновљивих извора енергије може повећати за потребе растућег броја интернет корисника (Lv & Xu, 2022). Међутим један од изазова употребе обновљивих извора енергије за потребе ИКТ сектора је физичка доступност ове енергије у близини ИКТ инфраструктуре (Andrae, 2020).

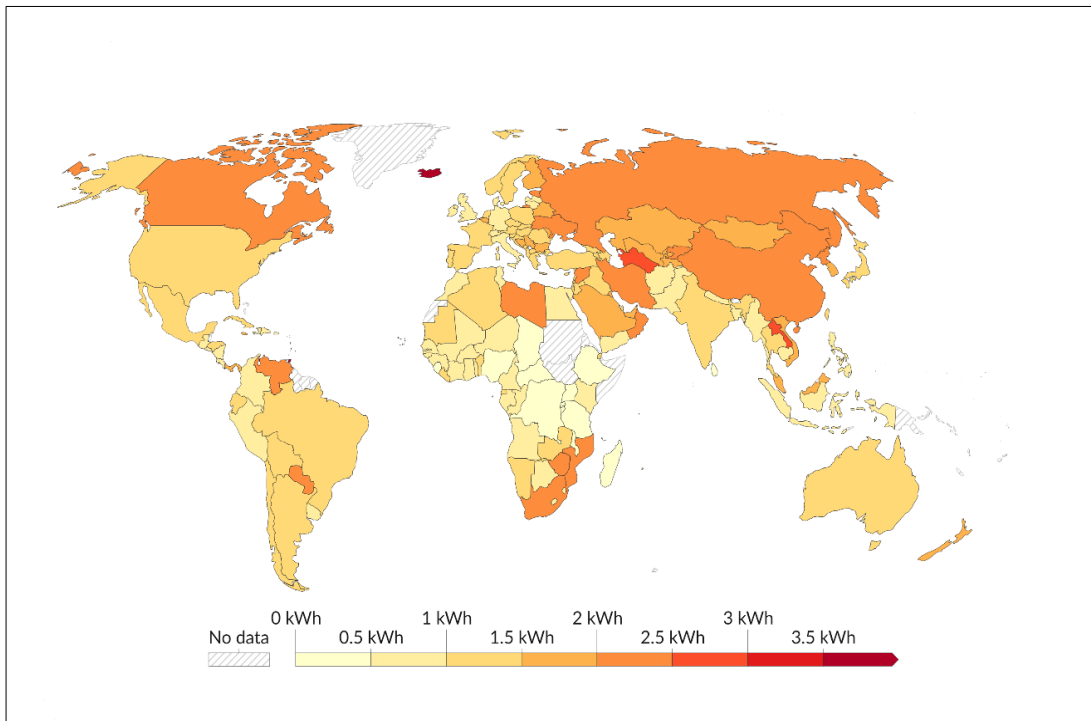
Посматрано у краткорочном периоду на примеру земаља G7, повећана употреба ИКТ условљава појачану потражњу за електричном енергијом и самим тим доводи до повећања деградације животне средине (Bildirici et al., 2022). Међутим уколико се посматра дугорочна каузалност, повећана употреба ИКТ доводи до смањења потрошње електричне енергије услед употребе ИКТ која је енергетски ефикасна и мења се образац понашања потрошача те се смањује негативан утицај на животну средину (Bildirici et al., 2022). У истраживању из 2019. године потврђује се да промена понашања потрошача настала услед употребе ИКТ може довести до смањења потрошње електричне енергије у домаћинствима и до 5% (Bastida et al., 2019). Пример БРИКС земаља такође показује да ИКТ сектор доприноси смањењу загађења животне средине кроз смањење емисије угљен-диоксида (Ulucak et al., 2020).

Анализом утицаја ИКТ сектора, финансијског развоја и институционалне подршке на ниво угљен-диоксида у атмосфери дошло се до сазнања да се са развојем дигитализације, емисија угљен-диоксида смањује (Godil et al., 2020). Развој дигитализације условљава смањење загађења животне средине кроз промоцију електронског банкарства, трговине, осталих апликација на паметним телефонима, употребе обновљивих извора енергије и слично (Godil et al., 2020). Употреба интернета у развијеним земљама и земљама у развоју доводи до смањења количине угљен диоксида (Ozcan & Apergis, 2018; Lv & Xu, 2022).

Увођењем 5G мреже, аутоматизације и роботике у енергетском сектору може се постићи значајан утицај на енергетски систем једне земље јер се тиме смањује загађење које овај сектор производи и повећава се ефикасност употребе енергије (Lyu & Liu, 2021). Док се употребом интернета високе брзине и ниске цене може смањити потрошња електричне енергије у домаћинствима због употребе



(a)



(b)

Слика 4.6. Компарација интензитета енергије израженог у доларима у свету (a) 2000. године и (b) 2018. године (Our World in Data, 2023)

енергетски ефикасних уређаја и тако довести до смањења количине угљен-диоксида који се испушта у атмосферу услед увећане производње електричне енергије и решити проблем недостатка капацитета производње електричне енергије (Qin et al.,

2022). Енергетски интензитет светских привреда приказан је на слици 4.6 према којој се закључује да се он значајно смањује у већини земаља од 2000. године па до данас.

Међутим, важно је споменути да дигитална технологија сама по себи не може имати толики утицај на смањење емисије штетних гасова уколико се у обзир не узима улагање у истраживање и развој које би обезбедило енергетску ефикасност ове технологије (Zhang et al., 2022). Иако поједини дигитални уређаји не конзумирају велику количину електричне енергије за свој рад, повећање броја корисника ових уређаја доводи до повећања потрошње овог енергента (Van Heddeghem et al., 2014). И други аутори су такође дошли до закључка да важну посредничку улогу у смањењу емисије штетних гасова употребом дигиталне технологије има улагање у истраживање и развој (Ma et al., 2022). Генерисањем технологије најновије генерације која има ограничену емисију штетних гасова омогућава се развој дигитализације уз смањење негативног утицаја на природно окружење (Ma et al., 2022). Сходно томе, истраживања говоре да се ширењем дигиталне економије која представља један вид дигитализације за 1% смањује емисија штетних гасова за 0.886% (Wang et al., 2022a). Сагласно, до пада емисије угљен-диоксида најчешће долази услед смањене потрошње угља у дигиталним економијама (Li et al., 2021). Ова сазнања су веома битна за будућу анализу везе дигиталне технологије и загађења животне средине јер показују да у средини која је дигитално напредна емисија штетних гасова је у паду (Wang et al., 2022a). Овај пад се остварује индиректним путем кроз повећање обима терцијарне делатности, смањење структуре потрошње угља и промовисање зелених технолошких иновација (Wang et al., 2022a).

Најновије студије из Кине која је највећи светски потрошач угља и произвођач штетних гасова показују да повећање улагања у истраживање и развој од 1% доводи до смањења емисије штетних гасова за приближно 0.6% (Ma et al., 2022). Важна је улога и технолошких иновација које за 1% повећања доводе до смањења емисије штетних гасова од приближно 1.4% (Ma et al., 2022). Инвестиције у ИКТ сектор такође покрећу смањење интензитета енергије кроз употребу ИТ у индустрији (Takase & Murata, 2004). Адекватан показатељ будуће потрошње енергетских ресурса за потребе ИКТ сектора би могао обухватити однос између брзине смањења енергетског интензитета и брзине саобраћаја података (Andrae, 2020).

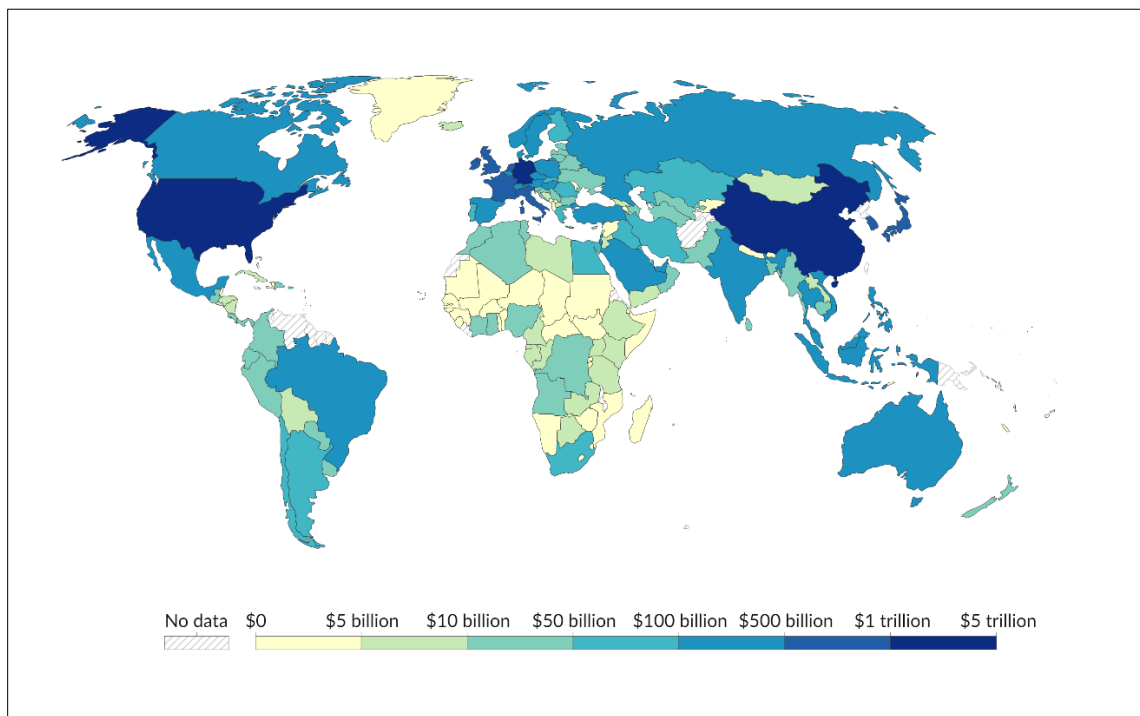
4.5. Глобализација

Према дефиницији из 2000. године, глобализација је „процес који брише националне границе, интегрише националне привреде, културе, технологије и управљања, и производи сложене односе међусобне међузависности“ (Norris, 2000). Детаљнију дефиницију појма глобализације предложили су и други аутори која гласи „глобализација је широк појам који се обично користи за описивање разних појава које одражавају повећану економску међузависност земаља. Такви феномени укључују токове од робе и услуге преко граница, смањење политичких и транспортних баријера у трговини, међународне токове капитала, мултинационалне активности, директне стране инвестиције, аутсорсинг, повећану изложеност флукуацији девизног курса и имиграцији“ (Goldberg & Pavcnik, 2007). Обе

дефиниције истичу суштину глобализације, а то је глобална повезаност друштва и привреде.

Може се рећи да је глобализација општеприсутни феномен који се прожима у свим сферама друштва те се њена интеграција може истраживати у домену културе (Salehan & Kim, 2013), здравства (Alexandru & Ianculescu, 2007), образовања (Кагров & Кагорова, 2022), законодавства (Kim, 2019) и у осталим доменима. Најчешћа област која се користи за изражавање развоја глобализације јесте глобализација трговине кроз мерење нивоа трговине и степена отворености тржишта (Simoes et al., 2021). Поред ових мера које су критиковане да превише поједностављују феномен глобализације, у употреби су и индекси глобализације и то: (1) Maastricht индекс глобализације (Martenz & Raza, 2009), и (2) KOF индекс глобализације (Dreher, 2006).

Период од 1990. године до 2010. године може се назвати златно доба глобализације, током кога је стопа размене на међународном нивоу била у константном порасту (Simoes et al., 2021). Са доласком светске економске кризе 2009. године, глобализација успорава свој темпо раста уколико се посматрају параметри интернационалне трговине. На слици 4.7 дат је приказ учешћа земаља света у извозу производа и услуга у 2020. години.



Слика 4.7. Укупна вредност извоза производа и услуга изражена у доларима у свету 2020. године (Our World in Data, 2023)

Увидом у овај илустративни приказ може се закључити да су највећи извозници САД, Канада, земље западне и централне Европе, Аустралија, Русија, Јапан и Кина. Махом су то развијене привреде са високом стопом БДП-а које

обликују глобалне ланце снабдевања. Афричке земље остварују знатно нижи удео у светском извозу.

Досадашња истраживања су развој глобализације одређивала на основу показатеља учешћа у интернационалној трговини (Van der Marel, 2020). Међутим, промене у глобалној економији које су донеле смањење нивоа глобализације производње одразиле су се на начин посматрања развоја глобализације. Уместо опипљивих производа који су се у претходном периоду размењивали на глобалном тржишту, место су заузеле неопипљиве дигиталне технологије, такозване „информационе индустрије“ (Van der Marel, 2020). Поједини аутори наводе да је за даљи развој глобализације заслужна употреба ИКТ у све већем броју привредних сектора чиме се подстиче међународна трговина (Simoes et al., 2021). Дакле, развој глобализације може се пратити са становишта развоја дигитализације. Са појавом дигитализације, глобално тржиште се мења и традиционална трговина производима уступа место трговини подацима и неопипљивим дигиталним услугама које постају стуб развоја глобализације у будућности (Van der Marel, 2020). Интернет постаје платформа за обављање интернационалне трговине и његово ширење омогућава појединцима да узму учешће у глобалном трговинском ланцу (Meltzer, 2014).

Дигитална технологија представља технолошку подршку даљем развоју глобализације јер мења начин и брзину глобалног повезивања људи (Isaksson et al., 2014). Дигитализација омогућава појаву нових дигиталних производа и услуга, олакшава прекограничну сарадњу и рад просторно удаљених тимова чиме поспешује глобално интегрисање друштва и привреде (Isaksson et al., 2016). Интеграцијом дигиталне технологије у процес глобализације постиже се позитиван утицај ИКТ-а на глобализацију и тежи се ка стварању гео-економије, јединствене мреже светске привреде (Voitau & Novikova, 2019). У том процесу главну улогу имају транснационалне и мултинационалне компаније које обезбеђују финансијска средства кроз инвестиције (Voitau & Novikova, 2019). На примеру развоја ИКТ сектора у Словачкој може се видети да је учешће ИКТ у глобалној трговини постало могуће уласком глобалних ИТ компанија на домаћем тржишту и преласком са регионалне на глобалну сарадњу (Čorejová & Madudová, 2019).

На макро нивоу дигитална глобализација означава промене настале у глобалној трговини и директним страним инвестицијама, а које су резултат употребе дигиталне технологије (Azmeħ et al., 2020). Истраживања показују значајне разлике између развијених и земаља у развоју у погледу искоришћења дигиталног напретка и интеграције дигиталне технологије у домен интернационалне трговине (Matthess & Kunkel, 2020). Развијене земље остварују већи бенефит од земаља у развоју управо из разлога већих финансијских средстава које подржавају развој дигиталне технологије и образованог становништва које чини вредни људски капитал (Matthess & Kunkel, 2020). Међутим, земље у развоју теже ка повећању учешћа у глобалној трговини уз помоћ дигиталне технологије која олакшава приступ глобалном тржишту (Van der Marel, 2020). Уз приступ интернету, земље у развоју имају веће шансе да учествују у међународној трговини и на тај начин постану део глобалних ланаца снабдевања (Meltzer, 2014). Индија се издваја као глобални лидер уколико се посматра извоз ИКТ услуга на глобалном нивоу и прате је САД, Немачка, Кина,

Уједињено Краљевство, Француска, Холандија, Шведска и Сингапур (Stremousova & Buchinskaia, 2019).

Уколико се анализирају увоз и извоз ИКТ на глобалном нивоу, у периоду од 2000. године до 2016. године, може се закључити да највећи удео извоза ИКТ у укупној светској трговини имају земље у развоју са високим БДП-ом, и прате их развијене земље које бележе пад вредности извоза (Čorejová & Madudová, 2019). Што се тиче транзиционих земаља оне бележе знатно ниске вредности ИКТ извоза, далеко испод просека развијених земаља и земаља у развоју. У ИКТ извозу предњаче земље Азије, САД и ЕУ28, док најниже вредности бележе земље Африке (Čorejová & Madudová, 2019). Посматрајући удео увоза ИКТ у укупној светској трговини, ситуација је слична јер у ИКТ увозу предњаче земље у развоју са високим БДП-ом, док развијене земље бележе пад увоза и транзиционе земље евидентирају брзи пораст увоза (Čorejová & Madudová, 2019). Највећи увозници јесу земље Азије, затим САД и Океанија, а најнижу вредност увоза остварују земље Африке (Čorejová & Madudová, 2019).

На примеру БРИКС земаља може се закључити да је развој ИКТ један од носилаца развоја глобализације (Latif et al., 2018). Развој ИКТ омогућује повезивање друштва и привреде глобално и тиме поспешује привлачење директних страних инвестиција и ширење глобализације (Latiff et al., 2018). Исти закључак се може донети за земље чланице G20, у којима учестала употреба дигиталних платформи доводи до повећаног учешћа ових земаља у глобалне ланце снабдевања (Arvin et al., 2021).

Разлика у употреби технологије између развијених и земаља у развоју може се представити као начин на који се технологија користи у привреди (Topuz & Dogan, 2016). У развијеним земљама, технологија је инпут у производњи док је у земљама у развоју она финални производ који се користи. Ова разлика се може превазићи трансфером знања међу земљама (Topuz & Dogan, 2016).

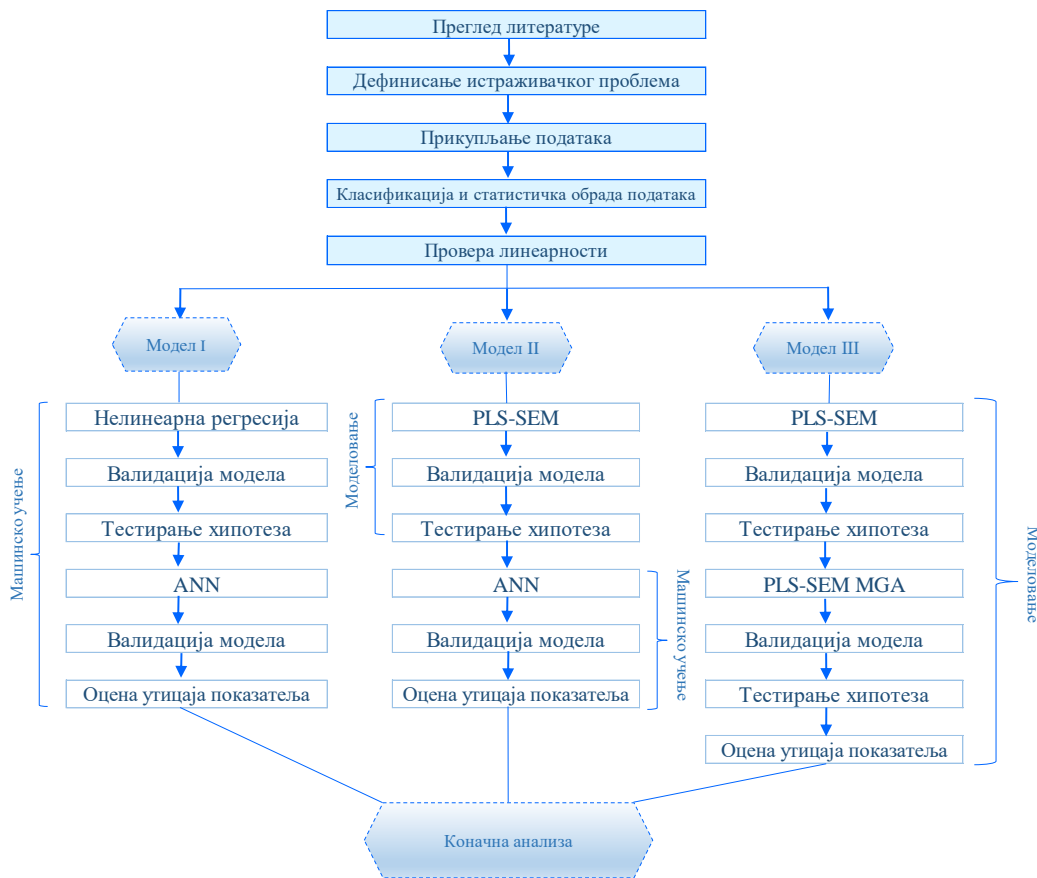
Интеграција дигитализације у разним секторима привреде доприноси развоју глобализације кроз технолошке промене и иновације (Van der Marel, 2020). Земље које свој развој базирају на знању и истраживању и развоју имају могућност да стварају технолошка решења новије генерације и тиме значајно могу да унапреде ниво глобализације учешћем на глобалном тржишту (Fofack, 2019). Док се земље које нису достигле исти ниво развоја суочавају са недостатком средстава за развој оваквог вида технологије и у процесу глобализације заостају за развијеним земљама (Fofack, 2019). Значајна је улога повећања броја истраживача и развоја технологије у субсахарској Африци чиме се подстиче извоз технологије на страном тржишту и врши инклузија ових земаља у глобалне трговинске токове (Fofack, 2019).

Резултати бројних истраживања која су представљена у овом поглављу указују на комплексан скуп фактора који могу остварити утицај на развој дигитализације једне привреде. Неки од фактора односе се на неједнакост поделе богатства, запосленост, улагање у активности истраживања и развоја, производњу електричне енергије и њену потрошњу, емисију штетних гасова и остали. Те се за

потребе анализирања дигитализације усвајају различите димензије почев од социјалне, економске до енергетске и еколошке како би истраживање употпунили најзначајнији изазови савременог друштва.

4.6. Развој концептуалних модела

Истраживање у оквиру дисертације је конципирано у више фаза које обухватају систематично идентификовање недостатака у постојећој литератури. Теоријска поставка је темељ формирања даљег истраживања. На основу теоријске основе дефинишу се истраживачко питање и истраживачки проблем. Затим се приступа прикупљању релевантних података из поузданих база података и врши се њихова статистичка анализа и провера линеарности скупа података у циљу избора одговарајућег методолошког оквира. На слици 4.8 приказан је детаљан опис свих истраживачких фаза и представљене је методологија која је употребљена у анализи модела.



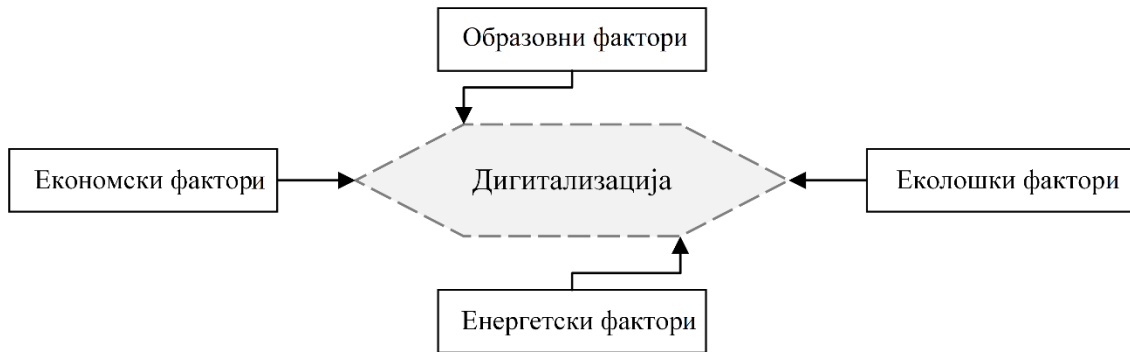
Слика 4.8. Фазе истраживачког рада и формирање модела

На основу теоријског оквира представљеног у почетним поглављима ове дисертације предложена су три дивергентна правца истраживања у којима се анализирају два модела развоја дигитализације и један модел развоја глобализације. Њихов теоријски концепт илустрован је на сликама 4.9, 4.10, и 4.11. У првом моделу

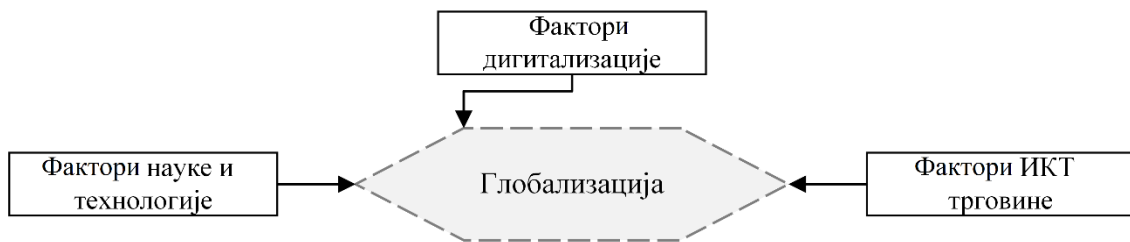
нагласак је стављен на социјалне и економске факторе, факторе животне средине и енергетске факторе. Фокус другог модела је на проучавању утицаја образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације. Разлика између два модела је присутна у показатељима (индикаторима) који чине факторе и начину представљања дигитализације као зависне променљиве. Трећи модел представља искорак на тему технолошког развоја и проучава како дигитализација, наука и технологија и трговина информационо-комуникационим технологијама остварују утицај на развој феномена глобализације.



Слика 4.9. Теоријски концепт истраживачког модела I



Слика 4.10. Теоријски концепт истраживачког модела II



Слика 4.11. Теоријски концепт истраживачког модела III

Избор представљених фактора је спроведен у циљу свестраности модела који осликавају тренутне глобалне изазове у друштву и привреди, а на основу идентификованих појединачних изазова у постојећој стручној литератури.

Тема наредног поглавља је детаљни преглед и опис методологије којом се врши статистичка анализа квантитативних показатеља и научно моделовање како би се креирали структурни модели предвиђања утицаја фактора одрживости на развој дигитализације и моделовање утицаја технолошких фактора на развој глобализације.

5. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

У овом поглављу дат је теоријски оквир методологије на којој се заснива истраживање представљено у дисертацији. Прелиминарна теоријска поставка обухвата опис мера дескриптивне статистике на основу којих се стиче утисак о природи података, дистрибуцији и везама између променљивих. Након тога, дат је концепт машинског учења који у овој дисертацији обухвата објашњење концепата линеарне регресије, нелинеарне регресије, полиномске нелинеарне регресије и вештачких неуронских мрежа. Затим се методолошки оквир проширује уводом у област моделовања структурних једначина и факторске анализе као саставног дела ове методе. У оквиру моделовања структурних једначина представљена је метода моделовања структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата.

5.1. Дескриптивна статистика

Дескриптивна статистика је основни алат у експлоративној статистичкој анализи података којом се стиче увид у основне карактеристике скупа података који се изучава (Thompson, 2009). Прорачун дескриптивне статистике је важан јер указује на појединости које одговарају природи узорка.

Типови дескриптивне статистике обухватају (Thompson, 2009):

- мере централне тенденције и мере дисперзије,
- хистограме и графичке приказе,
- табеле и фреквенције.

Мере централне тенденције одређују место средине узорка и подразумевају прорачун средње вредности, медијане, и модуса (Fisher & Marshall, 2009). Дефиниције и формуле за прорачун ових мера дате су у наставку (Marshall & Jonker, 2010):

- средња вредност представља збир вредности свих елемената скупа који се дели са бројем елемената и рачуна се као:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, x = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5.1)$$

где је x - појединачна вредност сваког елемента, а n - величина узорка,

- медијана представља средину скупа и дели скуп на два једнака дела. За непаран број података то је вредност која се налази тачно на средини скупа,
- модус представља вредност у скупу података која се најчешће понавља, односно, има највећу фреквенцију.

Мере дисперзије одређују где се већина података налази и обухватају прорачун варијансе, стандардне девијације, и распона (Fisher & Marshall, 2009). Формуле за прорачун ових мера приказане су у наставку (Marshall & Jonker, 2010):

- варијанса представља квадратно одступање елемената од аритметичке средине. Образац за варијансу узорка је:

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \quad (5.2)$$

где је s^2 - варијанса, x - појединачна вредност сваког елемента појединачно, \bar{x} - средња вредност узорка, и n - величина узорка,

- стандардна девијација је квадратни корен варијансе, односно вредност одстојања елемената скупа у односу на аритметичку средину. Образац за стандардну девијацију узорка је квадратни корен варијансе, односно:

$$s = \sqrt{s^2}. \quad (5.3)$$

- распон, односно интервал варијације представља вредност између највише и најниже вредности у узорку.

$$Raspon = x_{\max} - x_{\min}. \quad (5.4)$$

Хистограми и графички прикази своју примену проналазе у визуелној анализи приказа облика и ширине дистрибуције (Ramachandran & Tsokos, 2020). Табеле се употребљавају када је потребно пружити увид о карактеристикама скупа на основу којих се закључује о дистрибуцији узорка (Ramachandran & Tsokos, 2020). Док се фреквенције користе за израчунавање броја понављања одређених података и одређивање типа скала и могу се приказати табеларно или графички (Shi & McLarty, 2010). Скале које се јављају у употреби бирају се према типу података и могу бити бинарна, номинална, обична и континуирана, односно интервална (Fisher & Marshall, 2009). У пракси се јављају различите дистрибуције података од којих су најчешће, номинална (Гаусова) дистрибуција, Бернулијева дистрибуција, биномна дистрибуција, Поисонова дистрибуција, експоненцијална и остале (Shi & McLarty, 2010; Ramachandran & Tsokos, 2020). Свака од наведених дистрибуција користи се за моделовање различитих врста података у односу на оквир истраживања. Провера дистрибуције података врши се тестовима Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Chi-square (Ramachandran & Tsokos, 2020).

Ограничење употребе дескриптивне статистике огледа се у чињеници да добијени статистички резултати служе за формирање општег утиска о подацима са којима се располаже, а да се извођење закључака о међусобним односима елемената скупа спроводи употребом разних других метода (Thompson, 2009; Marshall & Jonker, 2010).

У наставку је дат теоријски оквир метода машинског учења и статистичког моделовања које су употребљене у истраживачком делу дисертације.

5.2. Машинско учење

Почетак употребе вештачке интелигенције (енг. artificial intelligence - AI) може се пратити уназад до периода 1950-их година прошлог века. Кључну улогу у развоју машинског учења имао је познати математичар Алан Туринг који је спровео експериментално тестирање над машинама како би утврдио да ли машине могу изразити интелигентно понашање и размишљање налик људима (Shukla Shubhendu & Vijay, 2013). Овај експеримент је резултирао настанком Туринг теста којим се машини поставља низ питања, а њени одговори се процењују са гледишта сличности са људским одговорима (Shukla Shubhendu & Vijay, 2013). Док је формално, појам AI први употребио професор Џон МекКарти са Масачусетс Института за технологију, 1956. године (Shukla Shubhendu & Vijay, 2013). Након ових пионирских корака, примена AI у научне сврхе је постала уобичајна пракса за спровођење разних истраживачких студија (Bhbosale et al., 2020).

AI је интердисциплинарна област рачунарства која се своди на употребу рачунара којима се, развојем различитих алгоритама и система, омогућава рачунарима да уче, размишљају, решавају задатке и доносе одлуке по принципима људског разумевања и расуђивања (Poole et al., 1998).

Предности употребе AI су многобројне. AI омогућава анализу велике количине података и извођење закључака (Strong, 2016). Она убрзава и чини процес анализе података ефикаснијим чиме се скраћује време и финансијски ресурси истраживача потребни за прорачун (Khanzode & Sarode, 2020). AI омогућава симулацију и експериментисање са подацима (Teng, 2019). Смањује број грешака које се јављају када исту активност обавља човек (Bhbosale et al., 2020). Даље, алгоритми који чине AI креирани су тако да проналазе скривене обрасце и дубоке везе у посматраним подацима које је веома тешко пронаћи употребом конвенционалних статистичких метода и техника (Nasteski, 2017). На тај начин омогућују изучавање области истраживања које су у развоју као што је свемир (Khanzode & Sarode, 2020). Ови алгоритми омогућују да се врши предикција будућих вредности података чиме се могу генерисати предикциони модели неке појаве или догађаја (Strong, 2016). Додатна предност AI је та што се у процесу доношења одлука или предвиђањима смањује субјективност која се јавља када ове процесе спроводи човек (Shukla Shubhendu & Vijay, 2013).

Употреба AI са собом доноси и одређене недостатке. Употреба AI зависи од доступних података, те се због недоступности података или њихове непотпуности могу јавити нетачни или непоуздани резултати (Strong, 2016). Даље, поједине методе могу произвести сложене моделе које је немогуће интерпретирати и разумети како је рачунар дошао до таквих резултата (Anderson & McNeill, 1992). Још један недостатак у низу је тај што је AI значајан потрошач енергетских ресурса на основу чега се поставља питање њеног утицаја на енергетску и еколошку одрживост (Aslan et al., 2018). У раду AI неопходно је надгледање од стране човека како би се испоштовали етички принципи и како би се недоместио утицај интуиције, креативности и емоција човека у решавању проблема што недостаје рачунарима који своје одлуке доносе на основу логике (Khanzode & Sarode, 2020). Употреба AI

захтева инвестирање значајних финансијских средстава у технологију и људе (Bhbosale et al., 2020). Такође, јавља се ризик од сајбер напада чиме системи и подаци постају мета нападача и могу се злоупотребити (Shukla Shubhendu & Vijay, 2013).

У оквиру AI постоје многобројне технике и методе које се имплементирају како би се решио задати проблем (Strong, 2016). У том спектру техника и метода могуће је пронаћи методе машинског учења, методе обраде природног језика, методе рачунарског вида, роботика и остале методе (Khanzode & Sarode, 2020).

Машинско учење као део области AI и моделовања које своју примену заснива на употреби рачунара којима се на основу доступних података задаје проблем који је потребно решити (Carbonell et al., 1983). Методе машинског учења се базирају на већ конструисаним алгоритмима који служе за анализу и испитивање података и не захтевају додатно програмирање (Bishop, 2006). Алгоритми машинског учења задужени су за проучавање и проналазак образаца и скривених веза међу подацима на основу којих добијају резултате (Nasteski, 2017). На тај начин, алгоритми машинског учења уче на основу искуства, односно, постојећих података и на основу њих доносе одлуке о будућим вредностима па се ове методе користе за потребе предвиђања (Nasteski, 2017). Основна подела метода машинског учења је следећа (Haldorai et al., 2020; Torres-García et al., 2021):

- надгледано машинско учење - у овом случају постоји скуп улазних вредности, и скуп циљаних вредности. Задатак је научити модел да на основу улазних вредности одреди/предвиди излазне вредности. У ову категорију спадају методе за класификацију и методе регресије,
- ненадгледано машинско учење - у овом случају такође постоји скуп улазних вредности али не постоји скуп циљаних вредности. Задатак је научити модел да на основу улазних вредности пронађе обрасце за класификовање улазних вредности. У ову категорију спадају методе за класификацију и методе за редукцију димензионалности,
- појачано машинско учење - у овом случају постоји модел који учи како да донесе што бољу одлуку о некој акцији путем интеракције са окружењем како би се максимизирала крајња корист. У ову категорију спадају области роботике, аутономне вожње и друго.

У наставку дефинисања концепта машинског учења дата је теоријска основа регресије и вештачких неуронских мрежа као основних алгоритама који чине област машинског учења (Carbonell et al., 1983).

5.2.1. Регресија

Методе регресије чине део области машинског учења којима се врши надгледано машинско учење (Torres-García et al., 2021). Регресија представља статистичку методу која се употребљава за анализирање односа између независних и зависних променљивих, односно, регресијом се на основу вредности независних променљивих предвиђају вредности зависних променљивих (Shewa & Ugwuowo, 2022).

Независне променљиве јесу варијабле које служе за објашњење, односно, предикцију вредности зависних променљивих (Alexopoulos, 2010). Независне променљиве имају улогу контроле утицаја на зависне променљиве и њихова вредност би требало да варира како би се утицај на зависне променљиве идентификовао (Holcomb, 1999). Могу бити квантитативне (бројчане) и квалитативне (описне) природе у зависности шта је предмет мерења (Ter Braak & Looman, 1995). Њихов међусобни однос би требао бити независан како би се тачно одредио утицај сваке појединачне независне променљиве на зависну променљиву, односно, обезбедила робусност модела и избегао проблем мултиколинеарности (Holcomb, 1999) о коме ће касније бити више речи. Са друге стране, постоје зависне променљиве чије вредности је потребно предвидети или објаснити на основу независних променљивих. По природи, независне променљиве могу бити континуиране (у континуираном низу), категоричке (категорички редослед), бинарне (представљене у облику два облика) и ординарне (категорички смислени редослед) (Ter Braak & Looman, 1995).

5.2.2. Линеарна регресија

Линеарна регресија која у себи садржи већи број независних променљивих назива се вишеструка линеарна регресија и обично се на њу мисли када се говори о линеарној регресији (Peckov, 2012). Вишеструком линеарном регресијом могуће је предвидети само једну зависну променљиву (Peckov, 2012).

Независне променљиве и зависне променљиве заједно сачињавају модел регресије који се математички може записати у облику једначине у свом линеарном облику (Ramachandran & Tsokos, 2020):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon, \quad (5.5)$$

где је y - зависна променљива, x_1, x_2, x_k - независне променљиве, β_0 - константа, односно, вредност y када су све вредности x једнаке нули, $\beta_0, \beta_1, \beta_k$ - коефицијенти регресије којима се мери утицај независних променљивих на зависне променљиве и ε - резидуал или грешка која се јавља између стварне и предвиђене вредности зависне променљиве.

Регресиони коефицијенти резултат су математичког прорачуна и у највећем броју случајева прорачун се врши употребом методе најмањих квадрата (Ter Braak & Looman, 1995). Регресиони коефицијенти јесу у ствари нагиб и пресечна тачка регресионе линије (Ramachandran & Tsokos, 2020). Линеарна регресиона једначина се може записати и у облику матрице $n \times m$ на следећи начин (Peckov, 2012):

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,m} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n,1} & \dots & x_{n,m} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}. \quad (5.6)$$

Провера прецизности модела врши се прорачуном различитих статистичких показатеља међу којима су најчешће употребљени коефицијент детерминације (енг. determination coefficient - R^2), корен средње квадратне грешке (енг. root mean squared error - RMSE), средња апсолутна грешка (енг. mean absolute error - MAE) и остали показатељи (Shewa & Ugwuowo, 2022). Коефицијент детерминације показује који је део варијабилитета у зависној променљивој објашњен регресионим моделом (Bewick et al., 2003). Формула за коефицијент детерминације дата је у наставку (Bewick et al., 2003; Hodson, 2020):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}, \quad (5.7)$$

где је y_i - стварна вредност зависне променљиве за i -то посматрање, \hat{y}_i - предвиђена вредност зависне променљиве за i -то посматрање, \bar{y} - средња вредност зависне променљиве.

Формуле за прорачун средње квадратне грешке и корена средње квадратне грешке дате су у наставку (Hodson, 2020):

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}, \quad (5.8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}, \quad (5.9)$$

где је y_i - стварна вредност зависне променљиве за i -то посматрање, \hat{y}_i - предвиђена вредност зависне променљиве за i -то посматрање, n - величина узорка.

Формула за прорачун средње апсолутне грешке дата је у наставку (Hodson, 2020):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n}, \quad (5.10)$$

где је y_i - стварна вредност зависне променљиве за i -то посматрање, x_i - вредност независне променљиве за i -то посматрање, n - величина узорка.

Да би се модел линеарне регресије могао формирати потребно је да се испуне претпоставке регресије и то (Bewick et al., 2003):

- да су подаци линеарни,
- да је расподела података нормална,
- да је присутна хомоскедастичност,

- да није присутна мултиколинеарност међу независним променљивим.

Хомоскедастичност означава константну варијансу у грешкама (резидуалима) која се прорачунава у моделима (Coolidge, 2012). Насупрот томе је хетероскедастичност што означава да је варијанса у резидуалима променљива и да самим тим може нарушити тачност модела (Coolidge, 2012). Најчешће се за процену хомоскедастичности користи Breusch-Pagan тест. Са друге стране, појам мултиколинеарност означава стање високе корелације међу независним променљивим и онемогућују исправну процену утицаја независних променљивих на зависну променљиву (Shewa & Ugwuowo, 2022). Присутност мултиколинеарности се одређује мером фактора инфлације варијансе (енг. variance inflation factor - VIF) (Weisberg, 2005). Гранична вредност ове мере је $VIF < 5$ (Ramayah et al., 2018). Ограничење регресије је то да она није увек идеално решење за предикцију и објашњење утицаја независних променљивих на зависне јер је веома битно како се подаци и резултати интерпретирају и који је утицај екстремних вредности на прецизност модела (Weisberg, 2005).

5.2.3. Нелинеарна регресија

Како је понекад немогуће испунити све претпоставке линеарне регресије, онда се приступа нелинеарној регресији. Нелинеарна регресија је статистичка метода којом се предвиђа и објашњава однос нелинеарних независних променљивих на нелинеарну зависну променљиву (Weisberg, 2005). Модел нелинеарне регресије се формира на основу избора одговарајуће функције нелинеарне регресије према прикупљеним подацима и циљу истраживања (Weisberg, 2005). У пракси се јављају различити типови нелинеарне регресије у зависности за које податке се користе и могу бити полиномска регресија, експоненцијална регресија, логистичка регресија, Бајесова регресија, KNN регресија и остале.

Прецизност и тачност нелинеарних модела регресије се оцењују на исти начин као и код линеарних модела, употребом коефицијента детерминације, корена средње квадратне грешке, средње апсолутне грешке и уз помоћ осталих показатеља (Huang et al., 2010). Предности нелинеарних модела регресије у односу на линеарне моделе регресије су велике (Archontoulis & Miguez, 2015). Првенствено, нелинеарни модели регресије омогућавају проучавање променљивих које не прате линеаран образац кретања, што олакшава анализу променљивих које су склоне разним трендовима кретања и модели су флексибилнији јер се могу прилагодити различитим врстама података (Holcomb, 1999). Затим осетљивост модела нелинеарне регресије на екстремне вредности је мања управо из разлога веће флексибилности и могућности прилагођавања различитим типовима података у односу на линеарни модел регресије (Holcomb, 1999).

Приликом сагледавања нелинеарних модела регресије морају се у обзир узети и недостаци ових модела, а то су отежано разумевање и интерпретација добијених резултата и веза међу променљивима који проистичу из сложености једначине одабране регресије (Archontoulis & Miguez, 2015). Овај проблем условљава већи број параметара како би се поуздано анализирали међусобни односи независних и

зависних променљивих, а самим тим и до потребе за већим узорком на коме би се добили поузданији резултати (Opsomer & Ruppert, 1997; Archontoulis & Miguez, 2015). Модели нелинеарне регресије нису универзални из разлога специфичности карактеристика података и једначине и осетљивији су на промене у параметрима (Archontoulis & Miguez, 2015).

5.2.4. Полиномска регресија

Полиномска нелинеарна регресија је тип нелинеарне регресије који се у анализи користи у случају када посматрани подаци не задовољавају основне претпоставке линеарности те је истраживачки проблем потребно решити нелинеарним обликом регресије (Weisberg, 2005). Полиномска регресија се користи када се претпоставља да однос између променљивих није монотон и да је криволинијски (Plassmann & Khanna, 2007; Остертаговá, 2012). Полиномском регресијом се врши предикција вредности зависне променљиве у односу на посматране вредности независних променљивих. Међутим, разлика у односу на линеарну регресију огледа се у степеновању независних варијабли како би се што прецизније предвиделе вредности зависне променљиве (Heiberger & Neuwirth, 2009). Степеновање независних варијабли врши се формирањем полинома вишег реда у односу на његов почетни облик (Heiberger & Neuwirth, 2009). Полиномска регресија се може записати у облику регресионе једначине на следећи начин (Ostertagová, 2012):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_n x_i^n + \varepsilon, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5.11)$$

где су $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ - коефицијенти полинома којима се предвиђају вредности зависне променљиве, x - вредност независне променљиве, n - ред полинома, односно највиши степен који се користи у једначини, и ε - резидуал.

Ред полинома који ће се користити у регресионој једначини може бити другог, трећег и вишег реда. Он зависи од добијених резултата предвиђања вредности зависне променљиве (Stimson et al., 1978). Па тако полиномска регресиона једначина другог реда која се другачије назива квадратна регресиона једначина гласи (Heiberger & Neuwirth, 2009):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \varepsilon, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (5.12)$$

Квадратна регресиона једначина користи члан x^2 како би се извршило нелинеарно моделовање вредности независних променљивих и зависне променљиве (Heiberger & Neuwirth, 2009). Овом једначином се проналазе оптималне вредности коефицијената полинома β_0, β_1 и β_2 како би се на што прецизнији начин предвиделе вредности зависне променљиве (Stimson et al., 1978). Док је полиномска регресиона једначина трећег реда која се другачије назива кубна регресиона једначина, у следећем облику (Rawlings et al., 1998):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \varepsilon, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (5.13)$$

Кубна регресиона једначина користи чланове x^2 и x^3 како би се извршило моделовање вредности независних променљивих и зависне променљиве (Rawlings et al., 1998). Циљ ове једначине је као и код квадратне регресионе једначине, да се пронађу оптималне вредности коефицијената полинома $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ и β_3 како би се на што прецизнији начин предвиделе вредности зависне променљиве (Rawlings et al., 1998).

Међутим, анализа добијених података се мора вршити пажљиво како се модел не би премало прилагодио (енг. *underfitting*) или прекомерно прилагодио (енг. *overfitting*) подацима и дао погрешне резултате (Cheng et al., 2018). Оптимална вредност реда полинома је два или три чиме се се постиже прецизност и поузданост резултата (Cheng et al., 2018). У анализи се почиње са полиномом првог реда који има облик као једначина линеарне регресије (Seber & Lee, 2003). Уколико се аналитичком проценом оцени да су одступања у предвиђању вредности зависне променљиве висока онда се приступа додавању реда и онда је таква полиномска регресиона једначина другог реда (Seber & Lee, 2003). Уколико се анализом утврде значајна одступања предвиђања зависне варијабле у односу на реалне вредности онда се формира нова полиномска регресиона једначина трећег реда (Seber & Lee, 2003). Поступак је итеративан док се не добију адекватне вредности приближне стварним вредностима зависне променљиве (Seber & Lee, 2003). Евалуација избора реда полинома врши се путем визуелне анализе резидуала или валидацијом модела употребом коефицијента детерминације, средње квадратне грешке и осталих показатеља (Ostertagová, 2012). Ограничења полиномске нелинеарне регресије огледају се у времену потребном за прорачун, величини почетне матрице чиме се угрожава стабилност резултата и мултиколинеарношћу независних варијабли (Cheng et al., 2018).

5.2.5. Вештачке неуронске мреже

Вештачке неуронске мреже (енг. *artificial neural network - ANN*) представљају алгоритме машинског учења којима се путем рачунара креирају модели предикције инспирисани структуром и функцијом људског мозга (Torres-García et al., 2021). Почети развоја вештачких неуронских мрежа сежу уназад у период раних 1940-их година прошлог века када су аутори МекКулох и Питс први предложили комбиновање вишеструких процесних елемената и мреже (Walczak, 2019). Кључни допринос концепту вештачких неуронских мрежа датира из 1949. године када је аутор Доналд Хеб објаснио улогу учења на којој се вештачке мреже заснивају (Walczak, 2019). Касније, током 1950-их година аутор Френк Росенблант развија први алгоритам за учење перцептона (Walczak, 2019). Да би се коначна верзија вештачких неуронских мрежа каква је и данас у употреби појавила 1986. године захваљујући раду аутора МекКлиланд и Румелхарт (Walczak, 2019).

Вештачке неуронске мреже имају способности дубоког учења јер поседују могућност да проналазе сложене обрасце који се јављају у подацима и омогућавају анализу нелинеарних података (Haldorai et al., 2020). Алгоритми вештачких неуронских мрежа дозвољавају тренирање неуронских мрежа и тиме омогућавају

мрежама да уче из података (сигнала), прилагођавају се и врше задату предикцију (Kumar et al., 2020).

Вештачке неуронске мреже у пракси служе за класификацију, регресију, обраду слика и обраду природних језика (Khanzode & Sarode, 2020). Основна подела вештачких неуронских мрежа према начину повезивања вештачких неурона је на потпуно повезане неуронске мреже (енг. feed-forward neural networks) и рекурентне неуронске мреже (енг. recurrent neural networks) (Jain et al., 1996). У потпуно повезане неуронске мреже спадају једнослојна неуронска мрежа, вишеслојна неуронска мрежа и мрежа са неуронским функцијама радијалне базе (Jain et al., 1996). Док у рекурентне неуронске мреже спадају компетитивна мрежа, Кохоненова мрежа, Хопфилдова мрежа и уметничке вештачке мреже (Jain et al., 1996). У даљој теоријској поставци биће дискутовано о вишеслојној неуронској мрежи.

Основни елемент вештачких неуронских мрежа је вештачки неурон (Gupta & остали, 2020). Вештачки неурони примају улазне податке (сигнале) на којима се врши анализа, обрађују их применом активационе функције и шаљу даље другим неуронима у наредном слоју на анализу (Gupta et al., 2020). Линеарна комбинација вештачког неурона може се представити у следећем облику (Gupta et al., 2020; Torres-García et al., 2021):

$$z_j^{(l)} = \left(\sum_{i=1}^n w_{ij}^{(l)} \times a_i^{(l-1)} \right) + b_j^{(l)}, \quad (5.14)$$

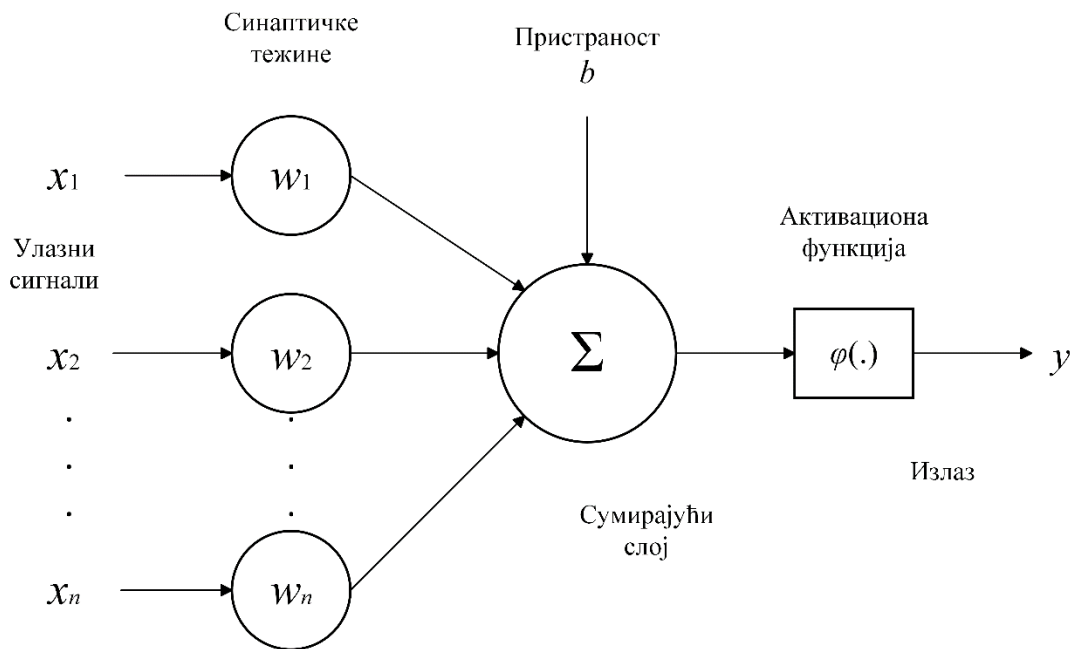
где је w_{ij} - тежина између неурона i у слоју $(l-1)$ и неурона j у слоју l , $a_i^{(l-1)}$ - излаз неурона i у слоју $(l-1)$, и $b_j^{(l)}$ - пристраност за неурон j у слоју l .

Затим се линеарној комбинацији вештачког неурона $z_j^{(l)}$ активациона функција f да би се добио коначан излаз неурона (Gupta et al., 2020). Овај корак представљен је математичким изразом (Gupta et al., 2020):

$$a_j^{(l)} = f(z_j^{(l)}), \quad (5.15)$$

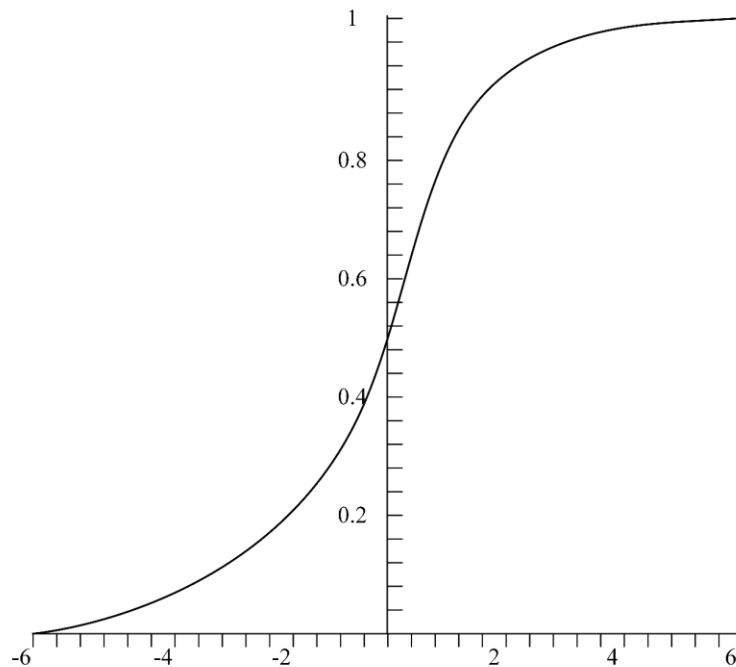
Графички приказ неурона може се видети на наредној слици 5.1.

Постоје различите врсте активационих функција које су у употреби и међу њима се налазе сигмоид, Гаусова, квадратна, линеарна, синус, хиперболична тангента (Anderson & McNeill, 1992; Sharma, 2012; Kukreja et al., 2016). Ове функције одређују који ће се подаци и која количина података послати наредном вештачком неурону (Kubat et al., 1998).



Слика 5.1. Приказ елемената вештачког неурона (Csáji, 2001)

Сигмоид активациона функција има следећи облик и математичку формулу (Kubat et al., 1998; Csáji, 2000):



Слика 5.2. Сигмоидна функција (Csáji, 2000)

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-z_j^{(l)}}}, \quad (5.16)$$

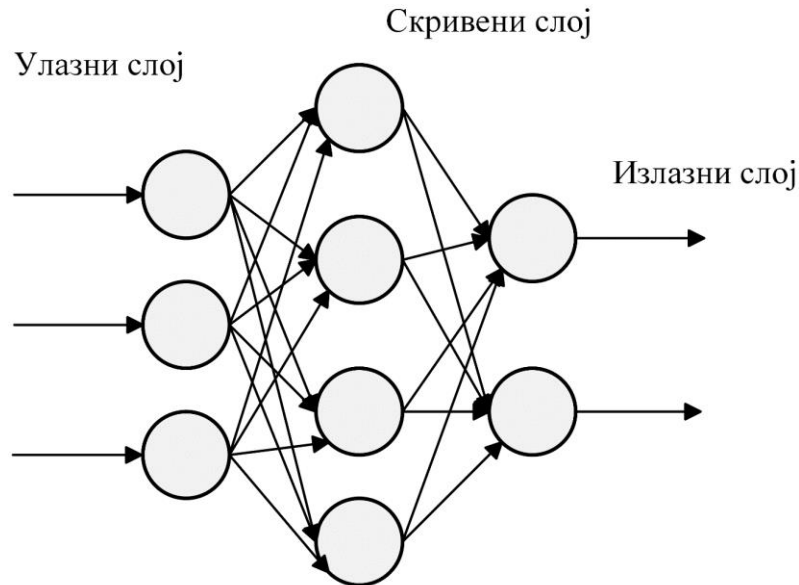
где је e - Ојлеров број (приближно 2.71828), $z_j^{(l)}$ - линеарна комбинација вештачког неурона j у слоју l .

Сигмоидна активациона функција претвара линеарну комбинацију вештачког неурона у вредност између 0 и 1 и шаље податак (сигнал) даље следећем слоју неуронске мреже (Anderson & McNeill, 1992).

Структура вештачке неуронске мреже је организована у различите слојеве, при чему сваки слој има своју улогу у обради и анализи података (Guresen & Kayakutlu, 2011):

- улазни слој неуронске мреже - сачињавају га неурони који прихватају улазне податке и преносе их кроз мрежу,
- скривени слој неуронске мреже - сачињавају га неурони који дубље обрађују податке из улазног слоја, проналазе обрасце у подацима и шаљу следећем слоју,
- излазни слој неуронске мреже - сачињавају га неурони који су заправо предикција неуронске мреже.

Сплет вештачких неурона заједно са свим идентификованим улазним, скривеним и излазним слојевима сачињавају архитектуру неуронске мреже (Sharma, 2012). Класична структура вештачке неуронске мреже илустрована је на слици 5.3.



Слика 5.3. Структура вештачке неуронске мреже (Abraham, 2005)

Везе између вештачких неурона у слојевима дефинисане су тежинским вредностима које се називају синаптичке тежине и те вредности су подложне променама када се неуронске мреже тренирају (Gupta et al., 2020). Тиме се излазне вредности модификују и прилагођавају жељеним предикционим вредностима (Gupta et al., 2020).

Целокупан скуп података се уводи као улазни скуп вредности и чини улазни слој неуронске мреже са улазним вештачким неуронима (Guresen & Kayakutlu, 2011). Вештачки неурони са изабраном активационом функцијом врше прорачун и анализу улазних података и вредности шаљу даље наредним вештачким неуронима у скривеном слоју мреже, а на основу тежинских вредности веза са вештачким неуронима у наредном слоју (Guresen & Kayakutlu, 2011). Једна неуронска мрежа може се састојати из великог броја скривених слојева, у односу на пронађене обрасце у подацима (Sharma, 2012). Идентични поступак врши се и у скривеном слоју неуронске мреже, и скупови података се дистрибуирају у односу на пронађене скривене обрасце, зато и постоји већи број скривених слојева (Sharma, 2012). Овај поступак се стручно назива алгоритам пропагације унапред (енг. forward propagation) и он омогућава добијање излазног слоја неуронске мреже на основу података које обрађује кроз мрежу (Kukreja et al., 2016).

У поступку тренирања неуронске мреже скуп података се дели на скуп података за тренинг и скуп података за тестирање (Abraham, 2005). Посебна пажња се мора усмерити ка томе да се неуронска мрежа не претренира што за последицу може имати прилагођавање на учење из датих података и тако алгоритам не може уочити нове обрасце (Abraham, 2005). Како би се проверила прецизност предикције неуронске мреже сагледавају се предикционе и стварне вредности излазне променљиве и прорачунава се функција губитка (енг. function loss - L), односно, грешке као разлика између ове две вредности (Hilton, 1992). За прорачун грешке неуронске мреже користи се следећа формула (Hilton, 1992):

$$L(w_{ij}) = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - o_i)^2}{2} , \quad (5.17)$$

где је t_i - предвиђена вредност i -те јединице, а o_i - жељена вредност i -те јединице.

Уколико се утврди значајно одступање и уколико је потребна прецизнија предикција неуронске мреже приступа се тренирању. У том процесу кључни алгоритам који се користи је алгоритам пропагације уназад (енг. back propagation) који прати и коригује грешку од излазног слоја уназад према улазном слоју података (Hilton, 1992). Алгоритам проналази како тежине додељене неуронима утичу на стварање грешке употребом градијента (првог извода). Функције губитка у односу на тежине неурона приказане су у следећем облику (Torres-García et al., 2021):

$$w_{ij} \leftarrow w_{ij} + \Delta w_{ij} , \quad (5.18)$$

$$\Delta w_{ij} = -\alpha \nabla L \quad (5.19)$$

где је α - позитиван хиперпараметар.

Затим се прорачунава градијентни спуст за сваку тежину у неуронској мрежи. Овај поступак је математичким обрасцима приказан на следећи начин (Torres-García et al., 2021):

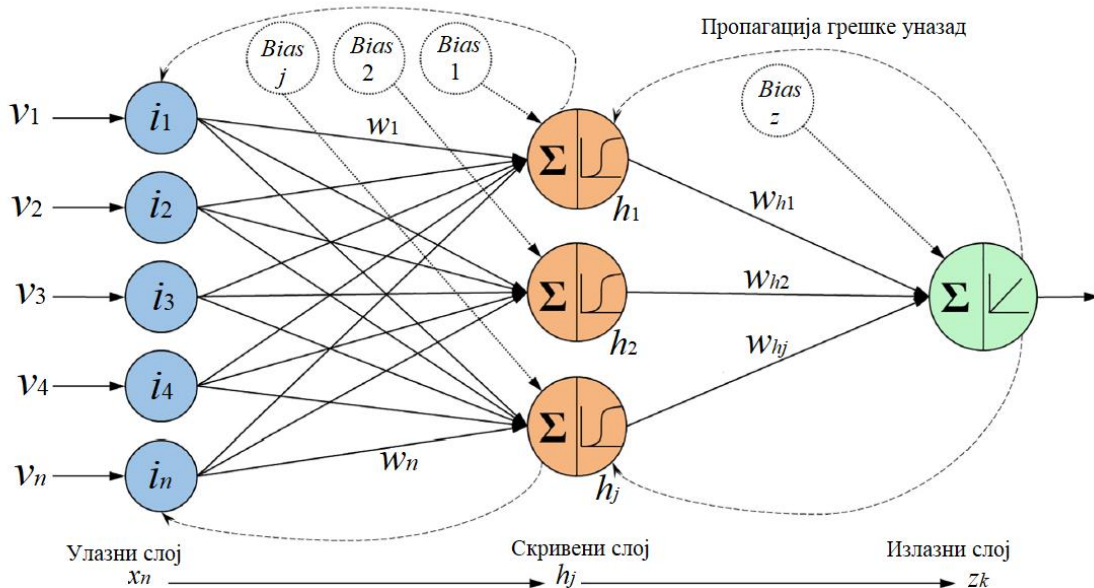
$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial w_{ij}} &= \frac{\partial}{\partial w_{ij}} \frac{1}{2} \sum_{d \in D} (t_d - o_d)^2 \\ &= \sum_{d \in D} (t_d - o_d) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} (t_d - \bar{w}_{ij} \times \bar{x}_d) , \\ &= \sum_{d \in D} (t_d - o_d) (-x_d) \end{aligned} \quad (5.20)$$

где је t_d - стварна вредност примера d , o_d - предвиђена вредност примера d , и x_d - улазни подаци за пример d .

Односно, цео поступак се може приказати формулом (Torres-García et al., 2021):

$$\Delta w_{ij} = \alpha \sum_{d \in D} (t_d - o_d) x_d , \quad (5.21)$$

Овај поступак је итеративан докле год се не добију задовољавајуће вредности предикције неуронске мреже. Поступак пропације уназад приказан је на следећој слици 5.4:



Слика 5.4. Поступак тренирања вештачке мреже употребом методе „пропагација уназад“ (Zafeiris et al., 2018)

Предности употребе вештачких неуронских мрежа огледају се у способности мрежа да уче из података и саме увиде обрасце који постоје у подацима. Могу се

користити за решавање проблема из различитих области и флексибилне су у смислу обраде различитих врста података (Kukreja et al., 2016). Неуронске мреже нису значајно осетљиве на недостатак или грешке у подацима (Kukreja et al., 2016). Са друге стране, вештачке неуронске мреже у свом раду захтевају рачунарску опрему (Anderson & McNeill, 1992). Њихова употреба захтева већи скуп података како би се могла вршити предикција (Anderson & McNeill, 1992). Прорачун вештачких мрежа се врши по принципу црне кутије у којој је немогуће видети везе између променљивих (Zafeiris et al., 2018).

5.3. Моделовање

Моделовање представља поједностављено приказивања реалних система, феномена или процеса ради њиховог олакшаног разумевања, анализе и предвиђања (Sibley, 2009). Моделовање све више добија на значају у различитим областима истраживања, омогућавајући разумевање понашања, предвиђање будућих резултата или догађаја и тестирање разноврсних сценарија (Sibley, 2009). Значајна улога модела огледа се у могућности спровођења симулације и експериментисања над подацима у лабораторијским условима чиме се значајно штеде временски, људски и финансијски ресурси у односу на експериментисање у реалном окружењу (Banks, 1998). Притом, модели могу бити једноставни и сложени, у односу на то колико се променљивих укључује у процес моделовања (Milojković et al., 2018).

Основна подела метода моделовања је на машинско учење и традиционалне статистичке методе. Битна разлика међу ове две методе је та да машинско учење представља област у домену моделовања коју карактерише употреба алгоритама који се прилагођавају подацима на основу научених образаца, док традиционално моделовање подразумева употребу статистичких метода које се не прилагођавају подацима (Dash & Paul, 2021). Моделовање се даље може поделити на детерминистичко и стохастичко у односу на врсту система који се моделује (Milojković et al., 2018). Детерминистичко моделовање подразумева моделовање са тачним параметрима и математичким једначинама док стохастичко моделовање у својим једначинама укључује вероватноћу и тиме укључује неизвесност у анализу (Milojković et al., 2018). Даља подела према методама којима се анализира, указује да моделовање може бити математичко, статистичко, физичко, агентно и симулационо (Milojković et al., 2018). У наставку је дата теоријска основа статистичке методе моделовања структурних једначина која је примењена у истраживачком делу дисертације.

5.3.1. Моделовање структурних једначина

Технике за формирање модела могу се поделити на мултиваријантне методе прве и друге генерације. У мултиваријантне методе прве генерације спадају методе као што су: регресија, вештачке неуронске мреже и анализа варијансе, док су мултиваријантне методе друге генерације методе моделовања структурних једначина (Hair et al., 2021). SEM методологија је предложена јавности на основу радова аутора Jöreskog објављених средином 20. века (Jöreskog, 1970). SEM представља наставак вишеструке линеарне регресије и ANOVA анализе (Lei & Wu,

2007). ANOVA или како се другачије назива анализа варијансе односи се на упоређивање варијансе између различитих група (Stahle & Wold, 1989).

Суштинска карактеристика по којој се SEM, као метода друге генерације, разликује у односу на методе моделовања прве генерације попут регресије и неуронских мрежа је то да се на страни зависних варијабли може посматрати већи број варијабли, док се код осталих метода може посматрати само једна варијабла, односно да је структура модела једноставна (Venturini & Mehmetoglu, 2019; Dash & Paul, 2021). SEM омогућава истовремено моделовање већег броја зависних варијабли у односу на сличне методе које омогућавају моделовање једне зависне варијабле (Dash & Paul, 2021). Тиме се омогућава вишефакторска анализа и приступ истраживачком проблему. Затим, мултиваријантне методе прве генерације подразумевају да се све варијабле могу мерити и да се грешке у мерењу не јављају (Haenlein & Kaplan, 2004). Док SEM проналази своју примену у моделовању феномена који не могу бити директно измерени већ су они представљени као латентне (скривене) варијабле и резултат су мерења већег броја посматраних варијабли (Yuan & Bentler, 2006). У поступку мерења вредности посматраних варијабли које сачињавају латентне варијабле јавља се могућност грешке у мерењу коју методе попут регресије не могу превазићи (Yuan & Bentler, 2006). SEM методологија базира се на раздвајању грешака у мерењу вредности посматраних варијабли и на основу реалних вредности тих варијабли врши моделовање латентних варијабли (Yuan & Bentler, 2006).

Да би се превазишле претпоставке и ограничења метода моделовања прве генерације, формиране су мултиваријантне технике друге генерације које обухватају методе моделовања структурних једначина попут ковариационог моделовања структурних једначина (енг. covariance based structural equation modeling - CB-SEM) и моделовања структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата (енг. partial least squares structural equation modeling - PLS-SEM) (Hair et al., 2021). Основна разлика међу њима је та што се CB-SEM метода најчешће употребљава за тестирање хипотеза где се анализира како предложени теоријски модел може да креира одговарајућу матрицу коваријанси за посматрани скуп података, док PLS-SEM анализира узрочно-последичне односе променљивих и анализира варијансе које се јављају у зависним променљивим (Hair et al., 2021).

Полазну тачку у процесу моделовања представља сам модел који се сачињава од различитих варијабли које га карактеришу, што је у SEM моделима означено као посматране и латентне варијабле (Dash & Paul, 2021). Избор одговарајућих варијабли је од велике важности за квалитетно представљање модела и његову анализу. На основу селектованих варијабли може се вршити предвиђање будућих вредности разматране појаве, али се такође може извршити анализа променљивих које утичу на испитивану појаву (Milojković et al., 2018). Па се тако у SEM методи утицај посматраних варијабли мери у односу на латентне/скривене варијабле које се не могу мерити директно већ их сачињавају посматране варијабле (Lomax, 2013). Основне претпоставке SEM модела јесу нормалност и линеарност посматраних варијабли (Lomax, 2013). Минимални узорак за формирање квалитетног SEM модела је 200 (Ное, 2008).

SEM модел сачињен је од мерног и структурног модела. Мерни модел чине посматране варијабле које конструишу латентне варијабле (Civelek, 2018). Тестирање мерног модела одговарајућим тестовима о којима ће бити више речи у наставку поглавља, спроводи се како би се потврдила поузданост модела (Civelek, 2018). Тестирање мерног модела обухвата проверу конвергентне валидности и поузданости и дискриминантне валидности концептуалног модела (Dragan & Topolšek, 2014). Уколико се евалуацијом утврди да је мерни модел одговарајући, приступа се тестирању структурног модела (Civelek, 2018).

SEM метода се базира на интеграцији факторске конфирматорне анализе и анализе пута (Mueller & Hancock, 2008). Основни кораци у примени SEM методе јесу (Lei & Wu, 2007; Mueller & Hancock, 2008):

- формирање теоријске поставке модела - најчешће се врши на основу литературног налаза и знања у датој области,
- избор и евалуација варијабли мерног модела - спроводи се кроз низ тестова конструктне поузданости и валидности према корацима конфирматорне факторске анализе,
- испитивање подобности структурног модела - врши се на основу прорачуна апсолутних индекса, концизних индекса, и инкременталних индекса (Mueller & Hancock, 2008) који се базирају на анализи разлике матрице коваријанси узорка и матрице коваријанси модела,
- могуће модификације модела - спроводи се уколико провера подобности модела не даје прихватљиве резултате.

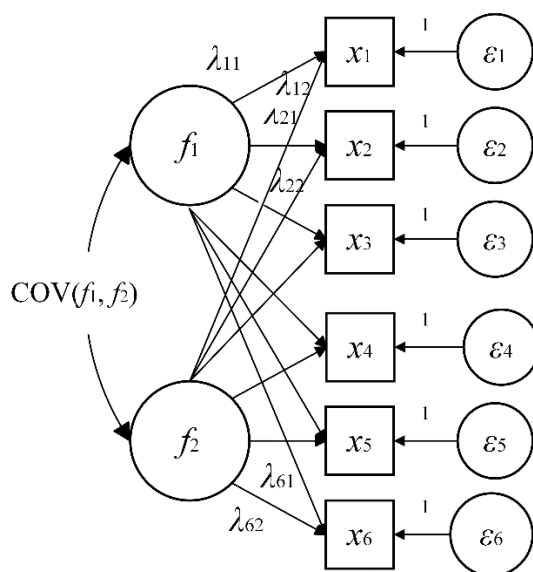
Идеја избора и употребе већег броја посматраних варијабли које сачињавају латентне варијабле SEM методи има порекло из примене факторске анализе (Lawley & Maxwell, 1971). Сходно томе, у наставку је дат теоријски опис факторске анализе.

5.3.2. Факторска анализа

Примена факторске анализе (енг. factor analysis - FA) везује се за почетак 20. века и рад аутора Чарлса Спирмана чије дело из 1900-их година поставља темеље ове методе (Harman, 1976). У основи факторске анализе проналази се идеја да све посматране и мерљиве варијабле могу бити сврстане тако да чине скривене/латентне варијабле које се не могу мерити директно (Bartholomew et al., 2011). Факторска анализа се у основи дели на експлораторну (енг. exploratory factor analysis - EFA) и конфирматорну (енг. confirmatory factor analysis - CFA) факторску анализу (Civelek, 2018). EFA своју примену проналази у додељивању посматраних варијабли одређеном фактору на основу идентификованих структурних образаца у подацима (Civelek, 2018). CFA преузима груписање посматраних варијабли према факторима на начин како су подељене у теоријском оквиру истраживања и врши евалуацију те поделе (Civelek, 2018). Фактори добијени CFA анализом одговарају латентним варијаблама које се јављају у SEM анализи (Lei & Wu, 2007). Сходно томе је и значај факторске анализе у формирању SEM модела наглашен.

Кључна дистинкција између EFA и CFA се огледа у томе да CFA потврђује концептуални модел који је претходно предложен у литератури, док EFA активно формира модел на основу посматраних података (Lei & Wu, 2007).

Пре спровођења EFA неопходно је проверити да ли су прикупљени подаци адекватни за примену факторске анализе (Dragan & Topolšek, 2014). У ту сврху спроводи се корелациона анализа, Бартлетов тест сферичности и Kaiser-Meyer-Olkin (КМО) тест како би се утврдила прикладност података (Dragan & Topolšek, 2014). Вредности коефицијента корелације би требало да пређу граничну вредност од 0.3 како би се сматрало да варијабле имају јаку корелацију (Tabachnick & Fidell, 2013). Бартлетов тест сферичности испитује матрицу корелације посматраних варијабли (Beavers et al., 2019). Док Kaiser-Meyer-Olkin (КМО) тест мери варијансу међу посматраним варијаблама (Beavers et al., 2019). Главни задатак EFA огледа се у оптимизацији димензија посматраних варијабли према припадајућим факторима тако да број фактора буде што минимизиран, уз истовремено присутну јаку корелацију између посматраних варијабли унутар фактора (Dragan & Topolšek, 2014). Пример EFA са шест посматраних варијабли и две латентне варијабле дата је на слици 5.5.



Слика 5.5. EFA модел (Dragan & Topolšek, 2014)

На слици 5.5 ознаком x представљене су посматране (манифестне) варијабле, ознаком f представљене су латентне варијабле, ознаком λ представљена су факторска оптерећења, док су ознаком ε представљене грешке у мерењу.

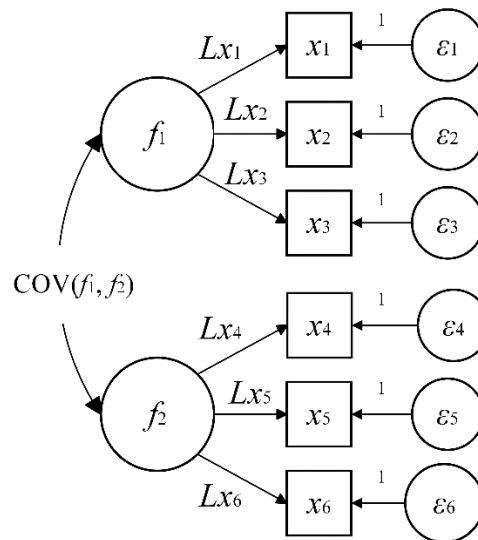
Први корак EFA анализе подразумева избор методе екстракције фактора којима се у највећој мери презентује варијација у подацима. Два начина за екстракцију фактора јесу факторска анализа максималне вероватноће (енг. maximum likelihood factor analysis - MLFA и анализа главних компоненти (енг. principal component analysis - PCA) (Jung & Lee, 2011). У пракси се за потребе екстракције фактора најчешће користи PCA (Jung & Lee, 2011). PCA анализа обавља прорачун „eigenvalues“ вредности на основу којих се формира број фактора (Tabachnick &

Fidell, 2013). Гранична вредност за одређивање значајности фактора је 1 па тиме сви фактори који пређу овај праг „eigenvalues“ вредности сматрају се значајним за даљу анализу (Tabachnick & Fidell, 2013). Затим, наредни корак у ЕФА анализи је ротација вредности фактора добијених применом РСА како би се олакшала интерпретација добијених резултата. Ротација фактора врши се на основу ортогоналне или косе методе у зависности од корелације међу факторима (Tucker & MacCallum, 1997). Ортогонална ротација подразумева ротацију фактора за 90 степени у односу на друге факторе и подразумева одсуство корелације међу факторима (Tucker & MacCallum, 1997). Најпознатије методе ортогоналне ротације јесу Quartimax и Varimax при чему се најчешће користи Varimax ротација (Hooper, 2012). Коса ротација не подразумева ротацију фактора и посматра корелацију међу факторима (Tucker & MacCallum, 1997). Спровођењем ротације добијају се вредности факторског оптерећења (Ho, 2006).

Поступак спровођења CFA се може приказати кроз четири корака и то (Hair, 2009):

- формирање конструката,
- одређивање варијабли које сачињавају латентне конструкте,
- формирање модела,
- проверавање погодности мерења модела путем прорачуна низа параметара који испитују разлику између матрице коваријанси посматраних и латентних варијабли.

Пример CFA са шест посматраних варијабли и две латентне варијабле дата је на слици 5.6. На слици 5.6 ознаком x обележене су посматране варијабле, ознаком f обележене су латентне варијабле, ознаком Lx обележена су стандардизована факторска оптерећења, док су ознаком ε обележене грешке које се јављају приликом мерења.



Слика 5.6. CFA модел (Dragan & Topolšek, 2014)

Провером конвергентне валидности и поузданости посматраних варијабли као и дискриминантне валидности, CFA указује на корелацију између посматраних варијабли које чине латентне варијабле и тиме потврђује ваљаност модела (Dragan & Topolšek, 2014). Мерења која се спроводе у оквиру CFA анализе јесу истоветна као и мерења у мерном SEM моделу и обухватају прорачун следећих параметара (Awang, 2014):

- просечна извучена варијанса (енг. average variance extracted - AVE) којом се мери конвергентна валидност и чија је гранична вредност већа од 0.5,
- композитна валидност (енг. composite reliability - CR) којом се мери поузданост и конвергентна валидност и чија је гранична вредност већа од 0.7,
- максимална заједничка варијанса (енг. maximum shared variance - MSV) којом се мери дискриминантна валидност и чија је гранична вредност мања од AVE,
- просечна заједничка варијанса (енг. average shared variance - ASV) којом се мери дискриминантна валидност и чија је гранична вредност мања од AVE.

5.3.3. Корелација

Корелација је још једна мера у низу статистичких мера којом се одређује степен линеарног односа између две променљиве (Asuero et al., 2006; Kumar & Gautam, 2020). Корелација служи за експораторну анализу чиме се пружа дубље сазнање о карактеристикама анализираних података, односно, о заједничком или супротном кретању променљивих (Bewick et al., 2003).

Корелација се интерпретира кроз вредност корелационог коефицијента који може бити позитиван, негативан или једнак нули (Bewick et al., 2003). Опсег вредности корелационог коефицијента је од -1 до 1 (Bewick et al., 2003). Вредност корелационог коефицијента од -1 указује на постојање јаке негативне корелације између променљивих варијабли. Вредност корелационог коефицијента од 1 показује јаку позитивну корелацију међу променљивим варијаблама. Док вредност корелационог коефицијента 0 означава одсуство корелације, односно, не постоји веза између посматраних променљивих варијабли.

У литератури је познато неколико типова корелације међу којима су и Пирсонова корелација, Спирманова корелација, и Кендалова корелација. Сва три типа се користе у различитим анализама и на различитим типовима података. Њихове основне карактеристике и формуле за обрачун дате су у наставку.

- Пирсонова корелација је параметарска метода која показује линеарну везу између двеју променљивих варијабли и обрачунава се употребом следеће формуле (Kumar & Gautam, 2020):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5.22)$$

где је, x_i - вредност променљиве x за i -то посматрање, y_i - вредност променљиве y за i -то посматрање, \bar{x} - средња вредност променљиве x , \bar{y} - средња вредност променљиве y , и n - величина узорка,

- Спирманов ранг корелација је непараметарска метода која показује нелинеарну везу између двеју променљивих варијабли. Поступак обрачуна подразумева претходно рангирање вредности варијабли од најмање која има ранг 1 до највеће која има ранг i , затим се коефицијент корелација израчунава употребом наредне формуле (Kumar & Gautam, 2020):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (5.23)$$

где је d_i - разлика између рангова x и y варијабле, а n - величина узорка,

- Кендалова корелација је непараметарска метода и тип корелације којим се одређује веза између скупова података који се претходно рангирају по процедури као код Спирманове корелације, а потом се броје парови који су у истом рангу (конкордантни парови) и парови који су у супротном рангу (дисконкордантни парови). Образац за прорачун коефицијента корелације по Кендалу је следећи (Kumar & Gautam, 2020):

$$\tau = \frac{\text{број конкордантних парова} - \text{број дисконкордантних парова}}{\frac{1}{2} n(n-1)}, \quad (5.24)$$

Пирсонова корелација се користи код линеарних континуираних података, док се Спирманова и Кендалова корелација користе за нелинеарне податке који немају нормалну дистрибуцију и мање су осетљиве на екстремне вредности у подацима него Пирсонова корелација (Schober et al., 2018; Pal et al., 2019).

Ограничење корелације као статистичког алата огледа се у немогућности да се овим путем анализирају узрочне везе већ се само указује на постојање везе и њену јачину (Bewick et al., 2003).

5.3.4. Мерни SEM модел

Сходно резултатима CFA оцењује се валидност мерног модела и може се приступити формирању и тестирању структурног SEM модела. Валидацијом вредности представљених мера приступа се формирању структурног модела SEM. Мерни модел у SEM методи је почетни модел у коме се врши селекција одговарајућих посматраних варијабли, а на основу утицаја латентних варијабли

(Aburumman et al., 2022). Мерни модел се користи у сврху процене поузданости и валидности посматраних варијабли у односу на латентне варијабле које се проналазе у моделу (Aburumman et al., 2022). Тестирање се заснива на конфирматорној факторској анализи и провери конструктне валидности (Civelek, 2018).

Почетна мерења на мерном SEM моделу се састоје из следећих провера (Sarstedt et al., 2014):

- интерне конзистенције - мера повезаности посматраних и латентних варијабли. Провера интерне конзистенције даје одговор на питање који је апсолутни допринос посматране варијабле у дефинисању латентне варијабле (Garson, 2016),
- конвергентне валидности - мера провере поклапања посматраних варијабли у односу на латентне варијабле. Провера конвергентне валидности даје одговор на питање да ли различите посматране варијабле које мере исту латентну варијаблу дају сличне резултате (Garson, 2016),
- дискриминантне валидности - мера провере различитости посматраних варијабли и латентних варијабли у односу на остале посматране и латентне варијабле. Провера дискриминантне валидности даје одговор на питање да ли се латентне варијабле разликују међусобно (Garson, 2016).

Интерна конзистенција се проучава следећим мерама:

- факторско оптерећење (енг. factor loading) - свака посматрана варијабла би требала имати факторско оптерећење веће од 0.7 што је доња граница овог индикатора (Hair et al., 2012),
- Cronbach alpha - израчунава се као количник суме вредности варијансе посматраних варијабли са укупном варијансом (Civelek, 2018). Вредности Cronbach alpha се налазе у рангу од 0 до 1 и требало би бити веће од граничне вредности 0.7 (Cronbach, 1951; Fornell & Larcker, 1981),
- Композитна варијабилност (енг. composite variability - CR) - вредности композитне варијабилности за сваку посматрану варијаблу би требале бити веће од 0.8 (Dash & Paul, 2021).

Конвергентна валидност се мери вредношћу извучене просечне варијансе (енг. average variance extracted - AVE). Доња граница за AVE је 0.5 што подразумева да свака посматрана варијабла мора имати AVE вредност већу од наведеног прага (Guenther et al., 2023).

Дискриминантна валидност проверава на три различита начина. Први начин је прорачун по Fornell-Larcker критеријуму који мери квадратну корелацију латентних варијабли у односу на AVE (Fornell & Larcker, 1981; Chin, 1998). Уколико је вредност квадратног корена AVE вредности посматране латентне варијабле већа од квадрата корелације међу осталим латентним варијаблама постигнута је дискриминантна валидност према овом критеријуму (Sarstedt et al., 2014). Други начин је путем прорачуна односа хетероатрибутивних и моноатрибутивних варијабли (енг. heterotrait-monotrait ratio - HTMT). Граница за HTMT однос је 0.85

или 0.9, што значи да би свака посматрана варијабла требала имати НТМТ однос нижи од ове вредности (Ringle et al., 2023). Трећи начин подразумева унакрсне факторе оптерећења (енг. cross-loadings). У овом случају, посматране варијабле не би требало остварити већа факторска оптерећења за остале латентне варијабле у односу на анализирану латентну варијаблу (Hair et al., 2014).

5.3.5. Структурни SEM модел

Параметри подобности структурног SEM модела се испитују кроз прорачун низа индикатора. Ови индикатори чине индексе који се деле у следеће три групе (Mueller & Hancock, 2008):

- апсолутни индекси,
- концизни индекси,
- инкрементални индекси.

У групу апсолутних индекса спадају мере разлике између стварне вредности и прорачунате вредности ковариационих матрица при чему се врши прорачун Chi-square теста (χ^2), стандардизованог средњег квадратног остатка (енг. standardized root mean square residual - SRMR) и индекса доброг уклапања (енг. goodness-of-fit index - GFI) (Mueller & Hancock, 2008). Chi-square тест (χ^2) који указује на разлику у вредностима између вредности матрице коваријансе узорка и вредности матрице коваријансе модела (Jin et al., 2007). У групу концизних индекса спадају мере средње квадратне грешке апроксимација (енг. root mean square error of approximation - RMSEA), Akaike информациони критеријум и прилагођени индекс доброг уклапања (енг. adjusted goodness-of-fit index - AGFI) (Mueller & Hancock, 2008). При чему вредности RMSEA између 0.05 и 0.08 означавају добру прилагођеност модела (Savalei & Bentler, 2006). Вредности GFI и AGFI изједначавају се са вредностима коефицијента детерминације и прилагођеног коефицијента детерминације израчунатим путем регресије (Savalei & Bentler, 2006). Гранична вредност за GFI и AGFI је 0.90 при чему се вредности изнад 0.90 сматрају прихватљивим (Savalei & Bentler, 2006). Аутори Lei и Wu (2007) указују да веће вредности GFI и AGFI и ниже вредности SRMR и RMSEA показују на добро прилагођавање модела. Трећа група инкременталних индекса подразумева прорачун компаративног индекса уклапања (енг. comparative fit index - CFI), нормираног индекса уклапања (енг. normed fit index - NFI) и, ненормираног индекса уклапања (енг. nonnormed fit index - NNFI) (Mueller & Hancock, 2008). Прихватљиве вредности инкременталних индекса су изнад 0.90 и указују на добро прилагођавање модела у односу на почетни модел (Lei & Wu, 2007; Bayram, 2013).

Осим провере индекса погодности модела неопходно је анализирати и путање између латентних варијабли у SEM структурном моделу (Ное, 2008). Путање се анализирају сагледавањем статистичке значајности ($p < 0.05$) и вредности коефицијента пута или стандардизованог коефицијента регресије (β) (Ное, 2008).

5.3.6. Моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата

Моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата (енг. partial least squares structural equation modeling - PLS-SEM) представља софистицирану статистичку методу која своју широку употребу проналази у анализи међузависних односа латентних конструката (Dash & Paul, 2021). Творац PLS-SEM методе је аутор Волд, 1974. године (Wold, 1982). PLS-SEM метода је у почетку била у сенци CB-SEM методе која се заснива на конваријансама. CB-SEM метода је у том тренутку имала свој развијен софтвер назван LISREL који су истраживачи могли да користе па је PLS-SEM метода ређе коришћена (Jöreskog, 1982). Први софтвер за прорачун PLS-SEM методе представљен је јавности неколико година касније и то 1989. године под називом LVPLS, развијен од стране аутора Лохмолера (1989). Године 2003. аутор Чин је развио софтвер PLS-Graph, први софтвер са графичким корисничким интерфејсом за PLS-SEM анализу. Од тада креће шира употреба ове методе у истраживачким радовима (Chin, 2003(b)).

PLS-SEM метода пружа дубљи увид у однос латентних конструката и мерних показатеља/манифестних варијабли у посматраном скупу података (Sarstedt et al., 2014). Основни разлози употребе PLS-SEM методе могу се класификовати на следећи начин (Magno et al., 2022):

- омогућава анализу малих узорака,
- употребљава се за податке који одступају од нормалне дистрибуције,
- омогућава анализу сложених модела,
- примењује се у развоју нових теорија,
- омогућава креирање модела предикције,
- омогућава тестирање хипотеза,
- и слично.

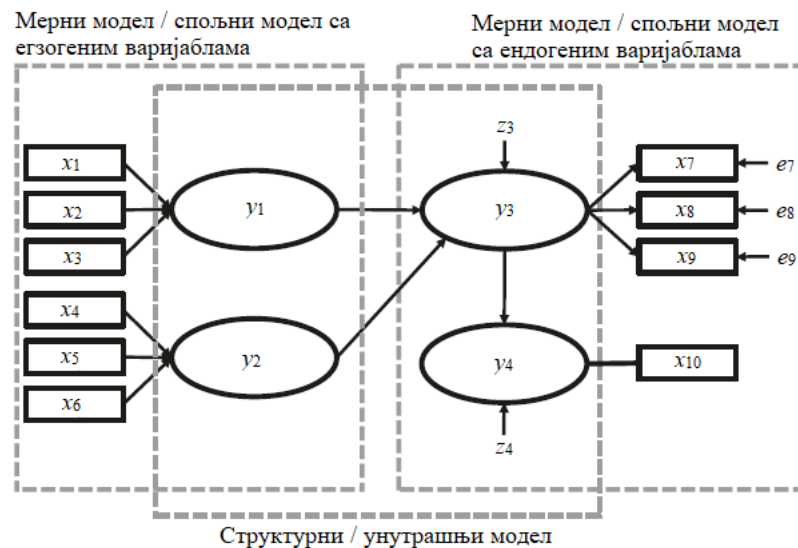
Предности PLS-SEM методе моделовања огледају се у могућности моделовања сложених односа међу конструктима и моделовању на малом узорку података (Guenther et al., 2023). Ова метода омогућује моделовање мерних показатеља различитог типа као што су континуиране, номиналне и ординалне променљиве што доприноси флексибилности методе и моделовање података који нису нормално дистрибуирани (Hair et al., 2019). PLS-SEM софтвер аутоматски стандардизује податке тако да се подаци крећу у рангу од 0 до 1 и на тај начин се олакшава анализа података и омогућава употреба нестандардизованих сетова података и секундарних база података (Garson, 2016). Главни недостаци се односе на неопходност доброг статистичког знања како би се резултати исправно интерпретирали (Guenther et al., 2023). Најчешћи проблеми са употребом PLS-SEM методе јесу управо употреба неодговарајућих тестова, и мањак спроведених тестова на моделима како би се утврдила њихова валидност (Guenther et al., 2023). Иако PLS-SEM може анализирати мале узорке, да би модел био прецизнији потребно је генерисати велики број мерних података (Guenther et al., 2023). Препоручени

минимални узорак је 200 (Dash & Paul, 2021). Софтверска решења за PLS-SEM укључују SmartPLS, WarpPLS и ADANCO софтверске пакете (Memon et al., 2021).

Поступак формирања SEM модела обухвата креирање два основна модела и то (Dash & Paul, 2021; Hair et al., 2021):

- мерног/спољњег модела (енг. measurement/outer model) - анализира однос мерних показатеља и латентних конструката на основу факторског оптерећења. Он може бити спољни и унутрашњи у зависности који однос се посматра,
- структурног/унутрашњег модела (енг. structural/inner model) - анализира однос латентних конструката у односу на постављени истраживачки проблем/теоријски оквир.

Приказ основне структуре PLS-SEM модела дат је на слици 5.7.



Слика 5.7. Мерни и структурни PLS-SEM модел (Hair et al., 2021)

На слици 5.7 приказани су следећи елементи:

- $x_1 - x_6$ - мерни показатељи (латентне варијабле) или егзогене латентне варијабле, које служе да би објасниле латентне конструкте (Hair et al., 2021),
- $y_1 - y_3$ - латентни конструкти који се другачије називају ендогени латентни конструкти (Hair et al., 2021),
- $x_7 - x_9$ - мерни показатељи (латентне варијабле) који се другачије називају ендogene латентне варијабле (Hair et al., 2021),
- $e_7 - e_9$ - грешке, односно, варијанса која настаје у процесу предвиђања вредности и мерних показатеља (Hair et al., 2021),

- $z_3 - z_4$ - грешке у процени (мерењу) латентних конструката (Hair et al., 2021).

Јачина везе која иде од рефлективног конструкта до латентних варијабли се мери факторским оптерећењима (енг. factor loadings) док се јачина везе између формативног конструкта и латентних варијабли мери спољним тежинама (енг. outer weights) (Garson, 2016). Латентни конструкти се према PLS-SEM методи могу мерити рефлективним и формативним индикаторима/варијаблама (Sarstedt et al., 2021). Рефлективно мерени индикатори јесу они индикатори који мере исти феномен, односно, латентни конструкт, и свака промена у вредности латентног конструкта доводи до промене у вредностима ових индикатора (Chin, 1998). Док формативно мерени индикатори представљају скуп индикатора који мере одређени део латентног конструкта (Chin, 1998). Уколико су конструкти мерени рефлективно, на мерном моделу се врше мерења вредности интерне конзистенције, конвергентне валидности, и дискриминантне валидности (Sarstedt et al., 2014). Уколико су конструкти мерени формативно, на мерном моделу се врше следећа мерења (Sarstedt et al., 2014; Sarstedt et al., 2021):

- конвергентне валидности - мера степена корелације између формативно мереног конструкта и показатеља који служи као алтернативни индикатор посматраног конструкта. Ова мера је првобитно предложена од стране аутора Чин (Chin, 1998) и назива се анализа редуванности,
- колинеарности - мера фактора инфлације варијансе (енг. variance inflation factor - VIF) којом се процењује колинеарност међу независним показатељима,
- значаја и релевантности тежина показатеља - мера процене значајности показатеља путем бутстрапинг процедуре узорковања где се на основу почетног скупа података праве вишеструке реплике како би се креирала дистрибуција узорака.

Уколико сви наведени критеријуми задовоље стандарде, приступа се формирању структурног модела. Први корак у генерисању структурног модела је прорачун коефицијената пута (енг. path coefficients). Претпоставља се да је однос између конструката линеаран (Sarstedt et al., 2019). Коефицијенти пута оцењују који је интензитет везе између два конструкта (Hair et al., 2023). Прорачун ових коефицијената спроводи се употребом бутстрапинг технике (Sarstedt et al., 2019). Затим се коефицијентима пута проверава валидност прорачуном стандардне девијације, t -вредности и p -вредности (Sarstedt et al., 2019). На тај начин врши се тестирање постављених хипотеза које су повезане са мерним показатељима (Aburumman et al., 2022). PLS-SEM алгоритам се зауставља онда када промене у спољним тежинама (енг. outer weights) које повезују латентне конструкте и мерне показатеље мења за веома мале вредности, обично је критеријум за заустављање вредност од 10^{-7} (Garson, 2016). Циљ PLS-SEM методе је максимизовати вредност коефицијента детерминације латентних варијабли које се мере употребом регресије (Garson, 2016). Затим се на основу добијених података формира PLS-SEM

структурни модел који представља графички приказ добијених резултата (Aburumman et al., 2022).

Структурни PLS-SEM модел се оцењује на основу квалитета мерног модела који се може проверити коефицијентом детерминације (R^2) и предиктивном значајношћу модела (енг. predictive significance - Q^2) (Chin, 1998). Наведене методе процене модела показују колико добро модел одговара мерним показатељима који га описују. Вредности коефицијента детерминације крећу се у рангу од 0 до 1, где вредности 0.25, 0.50, и 0.75 означавају слабу, умерену и значајну предиктивну тачност модела респективно (Sarstedt et al., 2014). Добијене вредности предиктивне снаге модела које су позитивне ($Q^2 > 0$) означавају да модел има предиктивну снагу (Chin, 1998).

PLS-SEM методологија која је интегрисана у софтверски пакет Stata детаљно је описана у наставку (Venturini & Mehmetoglu, 2019).

Прва фаза у примени PLS-SEM методе је процена резултата латентних варијабли и то је итеративна фаза у којој се на почетку врши прорачун вредности латентних конструката према формули (Venturini & Mehmetoglu, 2019).

$$\hat{Y} = X \times M , \quad (5.25)$$

где је X - вредност мерних показатеља, а вредност M - матрица повезаности за мерни модел коју сачињавају вредности 1 или 0, у зависности од начина мерења конструката.

Затим се врши прорачун унутрашњих тежина (енг. outer loadings) којима се оцењује јачина везе између мерних показатеља и њиховог дефинисања латентних конструката (Garson, 2016). Постоје три начина на која се може извршити прорачун унутрашњих тежина и то: центроидним шемама (Wold, 1982) и факторским шемама и шемама пута (Lohmöller, 1989). Вредности добијених тежина чине матрицу E и могу се добити употребом следећих шема:

- центроидна шема прорачунава унутрашње тежине на основу знака који представља линеарну корелацију између латентних конструката,
- факторска шема прорачунава унутрашње тежине на основу јачине корелације латентних конструката и као вредност узима вредност корелације,
- шема пута прорачунава унутрашње тежине на основу типа везе између латентних конструката.

Након тога следи прорачун унутрашњих тежина латентног конструката где се вредности нове вредности рачунају као пондерисани збир припадајућих суседних латентних конструката, односно (Venturini & Mehmetoglu, 2019):

$$\tilde{Y} = \hat{Y} \times E , \quad (5.26)$$

Затим се приступа прорачуну нових тежина али се сада узима у обзир начин мерења латентних конструката који може бити рефлексивни и формативни. Први модел се односи на прорачун тежинских оптерећења применом методе регресије према формули (Venturini & Mehmetoglu, 2019):

$$\hat{w}_j^T = (\tilde{y}_j^T \tilde{y}_j)^{-1} \tilde{y}_j^T X_j = COR(\tilde{y}_j, X_j) . \quad (5.27)$$

Други модел се односи на тежине прорачунате методом регресије и то на следећи начин (Venturini & Mehmetoglu, 2019):

$$\hat{w}_j = (X_j^T X_j)^{-1} X_j^T \tilde{y}_j = VAR(X_j)^{-1} COR(X_j, \tilde{y}_j) . \quad (5.28)$$

Затим се врши спољна процена резултата латентних конструката коришћењем прорачунатих тежина, на следећи начин (Venturini & Mehmetoglu, 2019):

$$\hat{Y} = X\hat{W} , \quad (5.29)$$

На крају прве фазе врши се провера конвергентности. Кораци прве фазе се понављају докле год се не добију резултати који задовољавају вредности толеранције (енг. tolerance - tol) које су задате. Односно, то се другачије може дефинисати на следећи начин (Venturini & Mehmetoglu, 2019):

$$\max_{\substack{k=1,\dots,K \\ j=1,\dots,J}} \left| \frac{\hat{W}_{kj}^{old} - \hat{W}_{kj}^{new}}{\hat{W}_{kj}^{new}} \right| < tol , \quad (5.30)$$

Друга фаза обухвата евалуацију параметара мерног модела и то факторског оптерећења за рефлексивне конструкте и тежина за формативне конструкте на (Venturini & Mehmetoglu, 2019).

Трећа фаза обухвата процену параметара структурног модела у виду прорачуна коефицијената пута применом методе најмањих квадрата за сваку ендегену латентну варијаблу и то на следећи начин (Venturini & Mehmetoglu, 2019):

$$\hat{\beta}_j = (\hat{y}_j^{predT} \hat{y}_j^{pred})^{-1} \hat{y}_j^{predT} \hat{y}_j = COR(\hat{y}_j^{pred}, \hat{y}_j^{pred})^{-1} COR(\hat{y}_j^{pred}, \hat{y}_j) , \quad (5.31)$$

5.3.7. Мулти-групна анализа методом парцијалних најмањих квадрата

PLS-SEM метода омогућава мулти-групну анализу (енг. multigroup analysis - MGA) којом је могуће вршити упоређивање резултата за различите групе мерних показатеља (Henseler et al., 2016). У првом кораку PLS-MGA анализе врши се формирање група на основу претпоставке о хетерогености скупа података и бира се показатељ који представља основу формирања ових група, притом водећи рачуна о величини група и предиктивној снази модела (Cheah et al., 2023). Затим се врши провера квалитета мерног модела употребом мера за рефлексивно или формативно мерење у односу на посматране варијабле, као што је то случај у примени PLS-SEM

методе (Cheah et al., 2023). Уколико су латентне варијабле мерене рефлексивно, врши се провера факторског оптерећења, Cronbach alpha, композитне валидности и поузданости и дискриминантне валидности (Sarstedt et al., 2014). Док се за латентне варијабле које су мерене формативно врши анализа редувантности, значајност тежина посматраних варијабли и VIF вредности (Sarstedt et al., 2021).

Валидност резултата и закључака PLS-MGA анализе врши се процедуром мерне инваријантности композитних модела (енг. measurement invariance of composite models - MICOM) (Henseler et al., 2016). Испитивање инваријантности је важно за потврђивање разлога настанка разлике између група (Cheah et al., 2023). MICOM процедура се састоји из три међусобно повезана хијерархијска корака (Henseler et al., 2016):

- конфигурисану инваријантност - очување конфигурације модела уз једнаку параметризацију и начин оцењивања како би се очувала конзистентност међу групама. Овај корак обезбеђује избор идентичних индикатора, индентични поступак третирања података и идентична подешавања алгоритма (Cheah et al., 2023),
- композициона инваријантност - постиже се када је присутна корелација између композитних вредности међу дефинисаним групама. Потврђује се када је „оригинална корелација“ већа или једнака 5% квантилу или није потврђена статистичка значајност $p > 0.05$ (Cheah et al., 2020),
- једнакост композитних средњих вредности и варијанси - обезбеђивање валидних и статистички значајних разлика. Потпуна инваријантност се постиже када су средње вредности и варијанса „оригиналних разлика“ унутар интервала од 2.5% до 97.5% (Cheah et al., 2020). Делимична инваријантност се постиже уколико једна вредност (средња вредност или варијанса „оригиналне разлике“) или ниједна од ове две вредности не спадају унутар интервала од 2.5% до 97.5% (Cheah et al., 2020).

Ако су оба прорачуна инваријантности потврђена, може се закључити да је постигнута делимична мерна инваријантност (Henseler et al., 2016). Потпуна мерна инваријантност се постиже ако се испуне сва три услова (Henseler et al., 2016).

Након постигнуте потпуне или парцијалне инваријантности приступа се анализи разлика између група. Тестирање разлика међу групама обавља се различитим тестовима који се деле на тестове за утврђивање разлика између две групе и тестове за утврђивање разлика међу више од две групе (Cheah et al., 2020). У пракси је мањи број истраживања које испитују више од две групе (Cheah et al., 2023). Тестирање разлика између две групе врши се употребом параметарских тестова и то Welch-Satterthwait теста (Henseler et al., 2016), као и непараметарских тестова и то Henseler PLS-MGA теста и теста пермутације (Cheah et al., 2020). Док се за тестирање разлика између три и више група користи Omnibus тест групних разлика који се може заснивати на Бонферони корекцији или Шидак корекцији (Cheah et al., 2020). Овим тестовима се олакшава анализа разлика између група које се посматрају. Параметарски тест спроводи се на основу прорачуна вредности стандардне грешке бутстрапинг техником и узима у обзир дистрибуцију података

(Keil et al., 2000). Процедура PLS-MGA подразумева прорачун разлике коефицијената пута, t - теста за анализиране групе и p - теста за анализиране групе (Henseler et al., 2016). Прорачун разлике коефицијената пута се спроводи бутстрапинг техником којом се врши прорачун статистичке значајности коефицијената пута (Chin, 1988). Welch-Satterthwait тест као варијанта параметарског теста се не базира на претпоставци да су варијансе приликом упоређивања средних вредности група подједнаке (Cheah et al., 2020). Henseler PLS-MGA тест је унапређена верзија параметарских тестова јер се не базира на претпоставци о дистрибуцији података и за анализу користи резултат бутстрапинг процедуре у PLS софтверу. Тест пермутације се може спровести у оквиру MICOM процедуре у кораку којим се испитује мерна инваријантност (Chin, 2003a).

Након теоријске поставке метода које ће бити употребљене следи систематски прорачун и представљање аналитичких резултата. У наредном поглављу биће приказани детаљни резултати емпиријског истраживања који ће пружити доказе о валидацији или оповргавању хипотеза постављених у теоријском делу дисертације.

6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Теоријски оквир дисертације предлаже развој два модела за испитивање утицаја фактора одрживости на развој дигитализације. Истраживачки оквир се проширује развојем додатног трећег модела који служи за испитивање утицаја технолошких фактора на развој глобализације, чиме се врши дубља анализа појма дигитализације у контексту других глобалних појава. Притом се за потребе анализе користе различити алати за моделовање који обухватају методе машинског учења и методе структурног моделовања. У овом поглављу биће приказани најважнији резултати анализе. За сваки од три креирана модела биће приказани резултати дескриптивне статистике и корелације, затим ће бити генерисани модели и приказани њихови значајни резултати.

6.1. Истраживачки подаци

У циљу спровођења истраживања и тестирања хипотетичких модела који су теоријски представљени у претходном делу дисертације, прикупљени су секундарни подаци из онлајн база података из више извора (Табела 6.1.). За потребе истраживања формирано је неколико група независних фактора које представљају улазне групе посматраних варијабли при чему се свака група састоји од већег броја посматраних варијабли. Ту се могу идентификовати социјални, фактори науке и технологије, економски, енергетски (употребе енергије), еколошки (животне средине), и фактори трговине информационо-комуникационим технологијама (скр. ИКТ трговина). Такође, представљене су и два излазна фактора и то глобализација и дигитализација са припадајућим посматраним варијаблама.

Табела 6.1. Независни и зависни фактори и припадајуће посматране варијабле

Назив фактора	Јединица мере	Извор
Социјални (образовни) фактори		
Запосленост		
Радно способно становништво са високим образовањем	% од укупног броја становника	ILOSTAT, 2020
Становништво са високим образовањем		
Радна снага		
Људи у ризику од сиромаштва или социјалне искључености		EUROSTAT, 2020
Фактори науке и технологије		
Радно способно становништво са високим образовањем	% од укупног броја становника	ILOSTAT, 2020
Издаци за истраживање и развој	% БДП-а	World Data Bank, 2020
Број истраживача	% од укупног броја становника	
Економски фактори		
БДП по глави становника	US\$ по глави становника	
БДП по раднику		

Структурирање фактора развоја дигиталног друштва применом машинског учења

Издаци за истраживање и развој	% БДП-а	World Data Bank, 2020
Извоз роба и услуга	% од укупног броја становника	
Енергетски фактори (фактори употребе енергије)		
Производња електричне енергије из угља		
Производња електричне енергије из нафте		
Производња електричне енергије из других обновљивих извора	TWh	Our World in data, 2020
Производња електричне енергије из соларне енергије		
Производња електричне енергије из ветра		
Финална потрошња електричне енергије - индустрија		
Финална потрошња електричне енергије - домаћинства		
Енергетски интензитет	kWh/US\$	
Еколошки фактори (фактори животне средине)		
Емисије GHG	t GHG по глави становника	
Емисије CO ₂	t CO ₂ по глави становника	Climate Watch, 2020
Удео емисија GHG МТСО ₂ е из производње енергије	% укупне емисије GHG	
Фактори трговине информационо-комуникационим технологијама		
Комуникације, рачунар, итд.	% извоза услуга, БоП	
Комуникације, рачунар, итд.	% увоза услуга, БоП	World Data Bank, 2020
Извоз високе технологије	% БДП-а	
Увоз ИКТ робе	% укупног увоза робе	
Фактори глобализације		
Учешће извоза земље	% светског извоза	
Учешће увоза земље	% светског увоза	World Data Bank, 2020
Извоз робе у привреде са високим дохотком	% извоза робе	
Фактори дигитализације		
Активне претплате на мобилни широкопојасни приступ	Број корисника на 100 становника	
Претплате на фиксни широкопојасни приступ		International Telecommunication Union, 2020
Претплате на мобилни телефон		
Претплате на фиксни телефон		
ИКТ индекс развоја	Коефицијент	
Број интернет корисника		
Сигурни интернет сервери	Број сервера на милион становника	World Data Bank, 2020

Временски распон прикупљања истраживачких података за истраживачке моделе I и II је од 2010. године до 2016. године, док су у истраживачком моделу III подаци прикупљени за период од 2010. године до 2018. године. Временско и просторно ограничење у прикупљању података одређено је расположивим изворима. У циљу олакшане анализе, подаци су конвертовани у јединице мере које омогућују упоређивање међу земљама обухваћеним истраживањем. Развој дигитализације посматран је на нивоу европских земаља и списак обухваћених земаља дат је табели 6.2. Из истраживања су искључене одређене земље као што су: Андора, Босна и Херцеговина, Ватикан, Лихтенштајн, Молдавија, Монако, Сан Марино, Украјина, и Швајцарска за које постоји велики низ недостајућих расположивих података у базама што би утицало на тачност аналитичких резултата. Истраживачки модели I и II обухватају 33 земље. Док су, за потребе мулти-групне анализе у истраживачком моделу III, посматране 32 земље које су подељене на основу EBRD извештаја на тржишне и транзиционе привреде (EBRD, 2018). У тржишне привреде спадају следећих 17 привреда: Аустрија, Белгија, Чешка, Данска, Финска, Француска, Немачка, Ирска, Италија, Луксембург, Малта, Холандија, Северна Македонија, Норвешка, Португалија, Шведска и Уједињено Краљевство. Док у транзиционе привреде спадају следећих 15 привреда: Белорусија, Бугарска, Хрватска, Кипар, Естонија, Грчка, Мађарска, Летонија, Литванија, Црна Гора, Пољска, Румунија, Србија, Република Словачка и Словенија.

Табела 6.2. Списак земаља обухваћених истраживањем

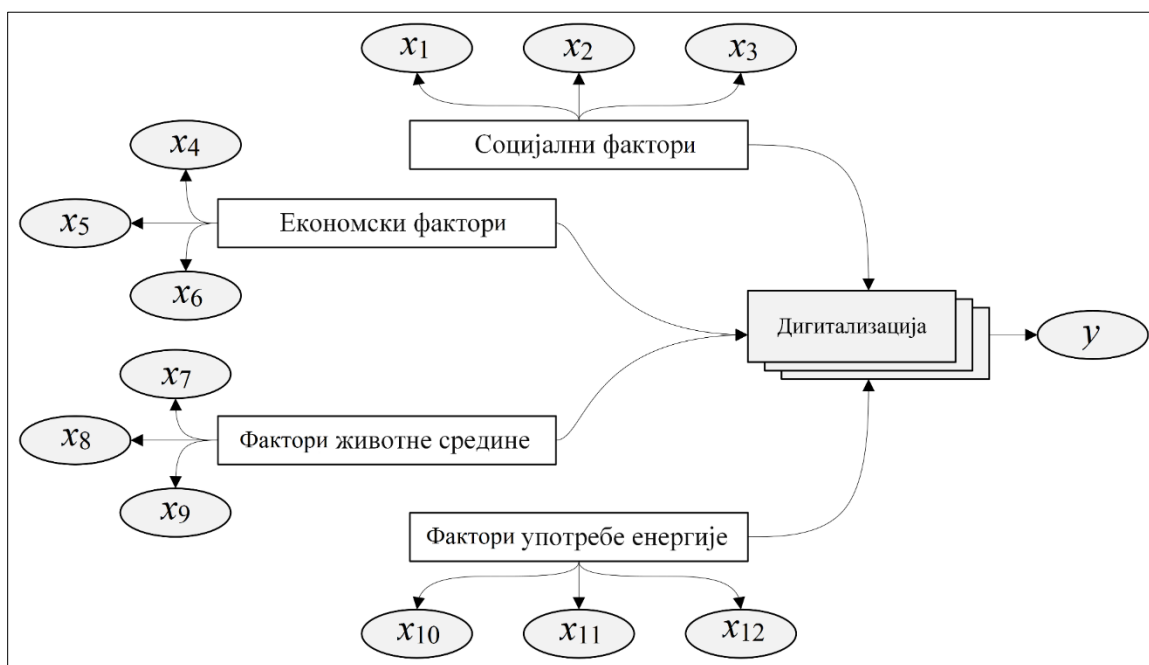
Аустрија	Исланд	Норвешка	Финска
Белгија	Италија	Пољска	Француска
Белорусија	Кипар	Португалија	Холандија
Бугарска	Летонија	Румунија	Хрватска
Уједињено Краљевство	Литванија	Република Словачка	Црна Гора
Грчка	Луксембург	Северна Македонија	Чешка
Данска	Мађарска	Словенија	Шведска
Естонија	Малта	Србија	Шпанија
Ирска	Немачка	Турска	

6.2. Модел I: Нелинеарна регресија и вештачке неуронске мреже

Први истраживачки модел који је разматран у истраживачком делу дисертације односи се на утицај фактора одрживости на развој дигитализације. У факторе одрживости сврстани су социјални, економски, енергетски и фактори животне средине. На слици 6.1 дат је приказ истраживачког модела I. Према слици се може уочити да сваки од наведених фактора сачињавају одређени елементи. У случају социјалних фактора то су елементи x_1 , x_2 , и x_3 . Економске факторе сачињавају елементи x_4 , x_5 , и x_6 . Фактори животне средине састоје се из елемената x_7 , x_8 , и x_9 . Факторе употребе енергије чине елементи x_{10} , x_{11} , и x_{12} . Наведени фактори и њихови елементи представљају латентне конструкте и посматране варијабле чији

се утицај анализира у односу на латентни конструкт дигитализације који сачињава елемент y .

Подаци прикупљени за истраживачку студију који се користе у истраживачком моделу I интернационалног су карактера и односе се на 33 привреде у Европи. Ту спадају: Белгија, Бугарска, Чешка, Данска, Немачка, Естонија, Ирска, Грчка, Шпанија, Француска, Хрватска, Италија, Кипар, Летонија, Литванија, Луксембург, Мађарска, Малта, Холандија, Аустрија, Пољска, Португалија, Румунија, Словенија, Република Словачка, Финска, Шведска, Уједињено Краљевство, Исланд, Норвешка, Северна Македонија, Србија, и Турска. Временски оквир прикупљања података обухвата период од 2010. године до 2016. године и ограничен је доступним подацима како се не би јавила велика количина недоступних информација и тиме смањила прецизност и тачност резултата анализе.



Слика 6.1. Истраживачки модел I

Елементи истраживачког модела I описно су представљени у табели 6.3 која садржи назив латентних конструката, ознаку посматраних варијабла и њихове називе.

Иницијална анализа података обухватила је прорачун дескриптивне статистике чији су резултати представљени у табели 6.4. Мере које су обухваћене дескриптивном статистиком чине минималне вредности, максималне вредности, средње вредности и вредности стандардне девијације за почетне податке сваке варијабле у моделу. Може се видети да скуп података чини 231 низ података ($N = 231$). Вредности резултата дескриптивне статистике варирају па се може закључити да је присутна значајна разлика између вредности почетних података у односу на привреду коју представљају.

Табела 6.3. Структура истраживачког модела I

Латентни конструкт	Ознака	Посматрана варијабла
Социјални	x_1	Запосленост
	x_2	Радно способно становништво са високим образовањем
	x_3	Људи у опасности од сиромаштва или социјалне искључености
Економски	x_4	БДП по становнику
	x_5	Издаци за истраживање и развој
	x_6	Извоз роба и услуга
Животна средина	x_7	Производња електричне енергије из угља
	x_8	Производња електричне енергије из нафте
	x_9	Удео емисија GHG MTCO ₂ e из производње енергије
Енергетски	x_{10}	Финална потрошња електричне енергије - индустрија
	x_{11}	Финална потрошња електричне енергије - домаћинства
	x_{12}	Енергетски интензитет
Дигитализација	y	ИКТ индекс развоја

Социјални латентни конструкт бележи минималну стопу запослености (x_1) у Северној Македонији. Најмањи удео радно способног становништва (x_2) приписује се Турској. У Турској је евидентиран и највећи проценат становништва у ризику од сиромаштва или социјалне искључености (x_3). Са друге стране, максимална стопа запослености (x_1) забележена је на Исланду. Највећи удео радно способног становништва забележен је на Кипру (x_2). Док се најмањи проценат становништва у ризику од сиромаштва бележи у Хрватској (x_3). У просеку, стопа запослености у посматраним привредама у периоду од 2010. године до 2016. године износила је мање од половине становништва (x_1), скоро четвртина радно способног становништва поседује високо образовање (x_2) и мало више од четвртине становништва се налази у ризику од сиромаштва или социјалне искључености (x_3). Највећа варијабилност у подацима социјалног латентног конструкта пронађена је у посматраној варијабли проценат становништва у ризику од сиромаштва или социјалне искључености (x_3).

Узимајући у обзир економски латентни конструкт најмања вредност БДП-а (x_4), проценат улагања у активности истраживања и развоја (x_5), и удео извоза робе и услуга као проценат БДП-а (x_6) измерени су у Турској. Највећа вредност БДП-а (x_4) забележена је у Португалији. Максимална вредност улагања у активности истраживања и развоја као проценат БДП-а (x_5) бележи се у Грчкој, док је највећа вредност извоза робе и услуга забележена у Словенији. Просечан износ БДП-а по глави становника (x_4) у периоду од 2010. године до 2016. године износи нешто више од 35000 долара по глави становника, улагање у истраживање и развој (x_5) премашује 1% БДП-а и извоз робе и услуга (x_6) је већи од 60%. Највећа варијабилност у подацима економског латентног конструкта забележена је у посматраној варијабли БДП (x_4) што је и очекивано јер се посматрају привреде са различитим степеном економског раста.

Латентни конструкт животне средине одликује се минималном вредношћу за производњу електричне енергије из угља (x_7) и нафте (x_8) за већину посматраних привреда. Најмањи удео емисије штетних гасова из производње енергије (x_9) бележи

Италија. Максималну вредност производње електричне енергије из угља (x_7) бележи Аустрија, док производњу електричне енергије из нафте (x_8) бележи Финска. Највећи удео емисије штетних гасова у производњи електричне енергије (x_9) евидентиран је у Шведској. Просечне вредности латентног конструкта животне средине у периоду од 2010. године до 2016. године евидентирају скоро трећину количине производње електричне енергије из угља (x_7) и мање од 3% производње електричне енергије из нафте (x_8), док се удео загађења из производње електричне енергије (x_9) креће изнад 35%. Може се закључити да су привреде Европе ограничене производњом електричне енергије из конвенционалних извора енергије из резерви угља и да се том приликом стварају велике количине штетних емисија. Највећа варијабилност података за латентни конструкт животне средине огледа се у посматраној варијабли производња електричне енергије из угља (x_7).

Разматрајући енергетски латентни конструкт, може се закључити да је минимална вредност употребе електричне енергије у индустрији (x_{10}) евидентирана у Ирској, Летонији и Португалији, док је минимална вредност употребе електричне енергије у домаћинствима (x_{11}) забележена у Ирској и Летонији. Минимум енергетске интензивности (x_{12}) бележи Аустрија. Максимална вредност употребе електричне енергије у индустрији (x_{10}) везује се за Шведску, док је максимална вредност употребе електричне енергије у домаћинствима (x_{11}) повезана са Уједињеним Краљевством. Највећа енергетска интензивност (x_{12}) бележи се у Грчкој. Према просечним вредностима у периоду од 2010. године до 2016. године вредност употребе електричне енергије у индустрији (x_{10}) износила је више од 35%, мање од трећине вредности употребе електричне енергије потрошено је у домаћинствима (x_{11}), док је енергетска интензивност (x_{12}) већа од 1. Највећи варијабилитет у подацима латентног конструкта употребе енергије забележена је у варијабли употреба електричне енергије у индустрији (x_{10}), што је и очекивано јер немају све посматране привреде исти индустријски интензитет.

Табела 6.4. Дескриптивна статистика истраживачког модела I

Посматрана варијабла	Минимум	Максимум	Ср. вредност	Стд. Дев.
x_1	31.04	60.21	43.55	5.55
x_2	10.50	39.60	25.11	7.58
x_3	11.20	65.70	26.20	10.25
x_4	11283.31	110660.87	35481.83	16399.82
x_5	0.22	3.73	1.51	0.86
x_6	21.19	221.20	61.23	36.51
x_7	0.00	288.21	27.71	53.24
x_8	0.00	21.71	2.82	4.31
x_9	0.00	127.65	36.29	18.77
x_{10}	0.40	234.23	35.96	48.59
x_{11}	0.59	166.13	27.86	38.55
x_{12}	0.68	4.65	1.39	0.69
y	4.38	8.88	7.06	1.00
Број низова података	231			

Латентни конструкт дигитализације се посматра једном варијаблом која се назива ИКТ индекс развоја (y). Минимална вредност овог индекса забележена је у Србији, максимална вредност на Кипру, средња вредност овог индекса у периоду од 2010. године до 2016. године је изнад 7, и присутна је слаба варијабилност у подацима ове посматране варијабле.

Резултати корелационе анализе представљени су у табели 6.5. На основу анализе нормалности података применом Kolmogorov-Smirnov теста, чији су резултати процене значајности неодговарајући ($p < 0.05$), процењено је да подаци одступају од нормалне дистрибуције и у складу са тим порачунат је Спирманов коефицијент корелације. Статистички значајне корелације означене су звездicom у датој табели 6.5. Прорачун Спирманове корелације наглашава утицај социјалног и економског латентног конструкта на индекс развоја ИКТ. Највећа позитивна и статистички значајна корелација забележена је између БДП-а и ИКТ индекса развоја ($\rho = 0.85$, $p < 0.05$), где свако повећање БДП-а условљава развој дигитализације. Такође се уочава статистички значајна позитивна веза између издатака за истраживање и развој и ИКТ индекса развоја ($\rho = 0.75$, $p < 0.05$), што је и очекивано. Најјача негативна корелација показује се у односу становништва у ризику од сиромаштва или социјалне искључености и ИКТ индекса развоја ($\rho = -0.74$, $p < 0.05$) и открива да повећање удела сиромашног становништва доводи до смањења дигитализације, што значи да слаба економска ситуација резултује slabим резултатима у дигиталном развоју због недостатка финансијских средстава.

Када се посматрају коефицијенти корелације међу посматраним варијаблама истих и различитих латентних конструката ту се истичу односи између стопе запослености и стопе становништва у ризику од сиромаштва или социјалне искључености ($\rho = -0.77$, $p < 0.05$) где се повећањем стопе запослености смањује стопа становништва која је у ризику од ових изазова. Затим стопа запослености је у позитивној корелацији са БДП-ом ($\rho = 0.65$, $p < 0.05$) и то пружа објашњење да је са растом запослености на располагању и већи БДП. Већи удео становништва са високим образовањем условљава раст БДП-а ($\rho = 0.65$, $p < 0.05$). Даље, већим БДП-ом и уделом издатака у истраживање и развој смањује се стопа становништва која је у ризику од сиромаштва или социјалне искључености ($\rho = -0.78$, $p < 0.05$; $\rho = -0.75$, $p < 0.05$). Већи БДП значи и већа издвајања за издатке активности истраживања и развоја јер те активности представљају буџетске категорије ($\rho = 0.73$, $p < 0.05$). Однос извоза робе и услуга и производње електричне енергије из угља је позитиван и значи да је потребна сигурна испорука електричне енергије како би осигурало снабдевање робом и услугама на међународном тржишту ($\rho = 0.72$, $p < 0.05$). То се потврђује и позитивним односом између извоза робе и услуга и потрошње електричне енергије у индустрији ($\rho = 0.93$, $p < 0.05$).

На основу утврђеног одступања од нормалне дистрибуције и нелинеарности података (Zhang et al., 2021) предложен је методолошки оквир који укључује модел нелинеарне регресије и вештачку неуронску мрежу (ANN). Ове методе се често користе када подаци показују нелинеарне односе. Истраживачки модел I је креиран употребом софтверског пакета SPSS v.17.

Табела 6.5. Корелациона анализа истраживачког модела I

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	y
x_1	1												
x_2	.49	1											
x_3	-.77	-.44	1										
x_4	.65	.65	-.78	1									
x_5	.57	.43	-.75	.75	1								
x_6	.25	.20	-.23	.17	.01	1							
x_7	-.23	-.35	.19	-.16	.06	-.59	1						
x_8	-.05	-.02	-.06	.12	.19	-.31	.44	1					
x_9	.01	-.20	.07	-.29	-.15	-.04	.26	.17	1				
x_{10}	.12	.02	-.27	.36	.50	-.57	.65	.47	-.08	1			
x_{11}	-.03	-.01	-.10	.21	.39	-.67	.72	.51	.08	.92	1		
x_{12}	.14	.03	-.31	-.05	.08	.30	-.27	-.11	.38	-.22	-.26	1	
y	.66	.68	-.74	.85	.75	.11	-.17	.02	-.24	.28	.17	.04	1

Поступак формирања једначине нелинеарне регресије је започет поделом скупа података на узорак за обуку (72.7% насумично одабраних података) и узорак за тестирање (27.3% података). У ту сврху употребљена је биномна Бернулијева расподела. Избор одговарајућег модела нелинеарне регресије извршен је применом анализе процене криве, која је указала на статистички значајну ($p < 0.05$) нелинеарну једначину трећег степена (кубну) као најприкладнији полиномски модел за посматране варијабле. Резултати процене криве идентификовали су највише и статистички значајне коефицијенте детерминације за сваку од посматраних варијабли. Анализом процене криве (енг. curve estimation) разматран је широк спектар функција, као што су линеарна, логаритамска, инверзна, квадратна, кубна, сложена, степенована, растућа, експоненцијална и логистичка функција. На основу прорачунатих вредности параметара добијених анализом процене криве, добијене су нестандардизоване вредности коефицијената који су део нелинеарне полиномске кубне регресије. Према томе, једначина нелинеарне полиномске регресије трећег степена истраживачког модела I на скупу података за обуку дата је у наставку као:

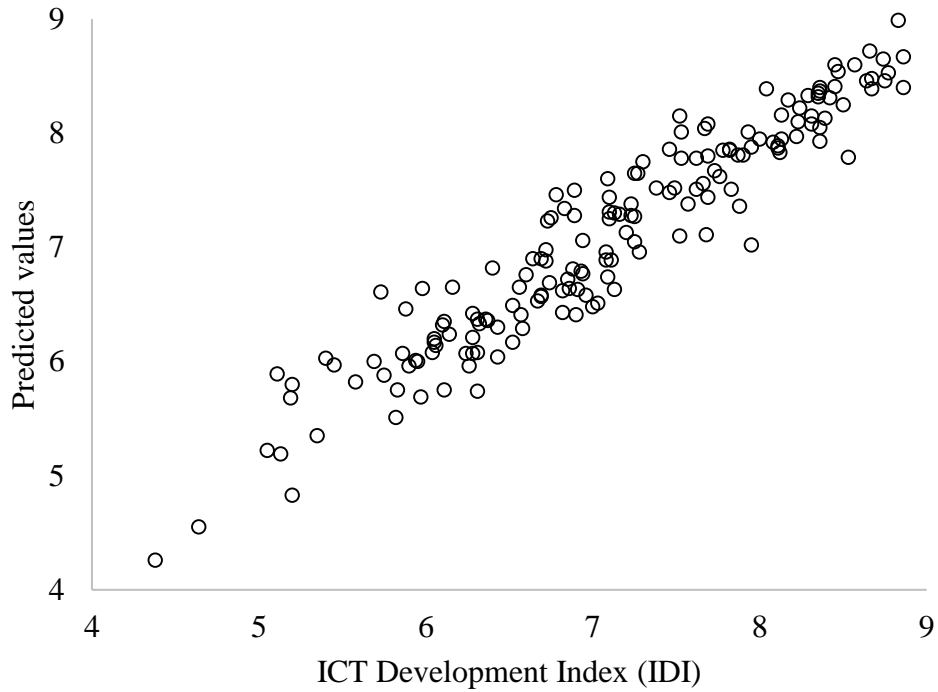
$$\begin{aligned}
 PRED_{70\%} = & 2.991 + 0.067 \times x_1 + 0.001 \times x_1^2 + 0 \times x_1^3 + 1.763 + 0.387 \times x_2 - 0.008 \times x_2^2 + 0 \times x_2^3 \\
 & + 10.322 - 0.19 \times x_3 + 0.003 \times x_3^2 + 0 \times x_3^3 + 3.232 + 0 \times x_4 + 0 \times x_4^2 + 0 \times x_4^3 \\
 & + 4.785 + 2.632 \times x_5 - 0.773 \times x_5^2 + 0.089 \times x_5^3 + 6.273 + 0.034 \times x_6 + 0 \times x_6^2 + 0 \times x_6^3 \\
 & + 7.345 - 0.027 \times x_7 + 0 \times x_7^2 + 0 \times x_7^3 + 7.11 - 0.078 \times x_8 + 0.021 \times x_8^2 - 0.001 \times x_8^3 \\
 & + 8.332 - 0.062 \times x_9 + 0.001 \times x_9^2 + 0 \times x_9^3 + 6.603 + 0.038 \times x_{10} + 0 \times x_{10}^2 + 0 \times x_{10}^3 \\
 & + 6.946 + 0.001 \times x_{11} + 0 \times x_{11}^2 + 0 \times x_{11}^3 + 7.838 - 1.166 \times x_{12} + 0.442 \times x_{12}^2 - 0.032 \times x_{12}^3
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Док је једначина нелинеарне полиномске регресије трећег степена истраживачког модела I на скупу података за тестирање приказана као:

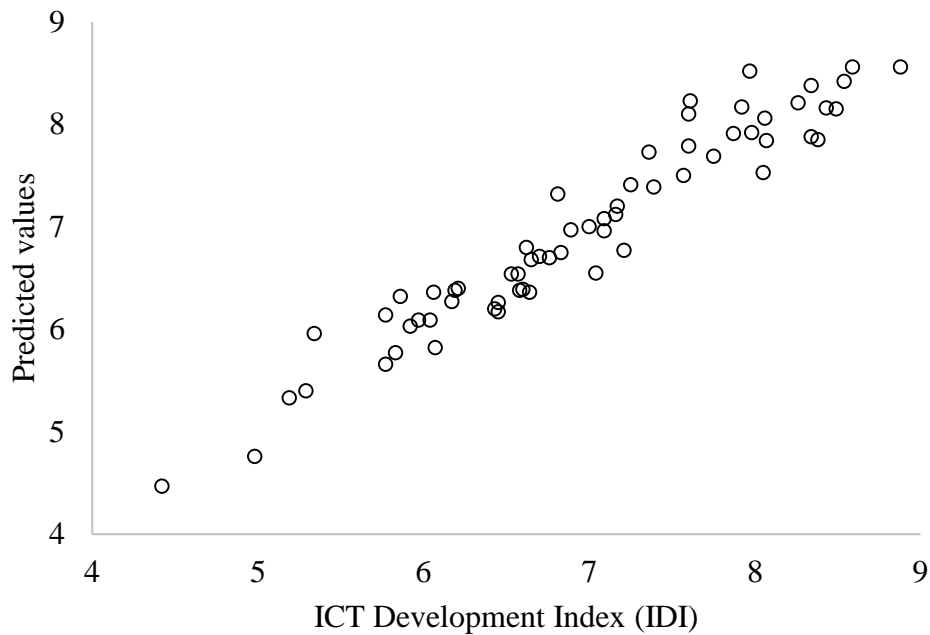
$$\begin{aligned}
PRED_{30\%} = & 0.247 + 0.185 \times x_1 - 0.001 \times x_1^2 + 0 \times x_1^3 + 1.116 + 0.517 \times x_2 - 0.015 \times x_2^2 + 0 \times x_2^3 \\
& + 8.031 + 0.013 \times x_3 - 0.003 \times x_3^2 + 0 \times x_3^3 + 3.885 + 0 \times x_4 + 0 \times x_4^2 + 0 \times x_4^3 \\
& + 4.234 + 3.908 \times x_5 - 1.502 \times x_5^2 + 0.195 \times x_5^3 + 5.925 + 0.032 \times x_6 + 0 \times x_6^2 + 0 \times x_6^3 \\
& + 7.13 - 0.019 \times x_7 + 0 \times x_7^2 + 0 \times x_7^3 + 6.952 - 0.025 \times x_8 + 0.008 \times x_8^2 + 0 \times x_8^3 \\
& + 8.435 - 0.091 \times x_9 + 0.001 \times x_9^2 + 0 \times x_9^3 + 6.746 + 0.018 \times x_{10} + 0 \times x_{10}^2 + 0 \times x_{10}^3 \\
& + 7.004 - 0.019 \times x_{11} + 0 \times x_{11}^2 + 0 \times x_{11}^3 + 8.079 - 1.747 \times x_{12} + 0.729 \times x_{12}^2 - 0.077 \times x_{12}^3
\end{aligned} \tag{6.2}$$

Валидација поузданости модела нелинеарне полиномске регресије трећег степена приказана је кроз анализу варијансе (ANOVA). Применом ANOVA теста прорачунати су коефицијенти детерминације за обе регресионе једначине и добијене су значајне вредности овог коефицијента. И то, коефицијент детерминације за скуп података за обуку износи $R^2 = 0.904$, док је коефицијент детерминације за скуп података за тренинг једнак $R^2 = 0.930$. Добијени резултати говоре да је 90.4% варијабилитета ИКТ индекса развоја на узорку за обуку објашњено предложеним моделом нелинеарне регресије трећег степена, и 93% варијабилитета ИКТ индекса развоја на узорку за тестирање. Овом анализом је потврђена полазна хипотеза H_0 која гласи да је могуће развити модел којим се мери утицај социјалних, економских, енергетских и фактора животне средине на развој дигитализације. На слици 6.2. дат је приказ упоредних резултата предикционих вредности узорка за обуку (а) и узорка за тестирање (б) у односу на реализоване вредности посматране варијабле ИКТ индекса развоја.

У циљу формирања предикционог модела и одређивања појединачне значајности посматраних варијабли спроведена је анализа вештачких неуронских мрежа. На слици 6.3 дат је приказ архитектуре ANN истраживачког модела I. Посматране варијабле су представљене у улазном слоју неуронске мреже и обухватају дванаест варијабли x_1 - x_{12} . Употребљена је активациона функција сигмоид. Прорачун неуронских мрежа је указао на постојање осам скривених неурона у подацима што указује на добру истраженост података и образаца у њима. На излазу неуронске мреже налази се једна излазна посматрана варијабла. За процену тачности модела прорачунате су вредности релативне грешке. Вредност релативне грешке узорка за обуку је веома мала ($RE = 0.066$), док је вредност релативне грешке узорка за тестирање већа ($RE = 0.147$).

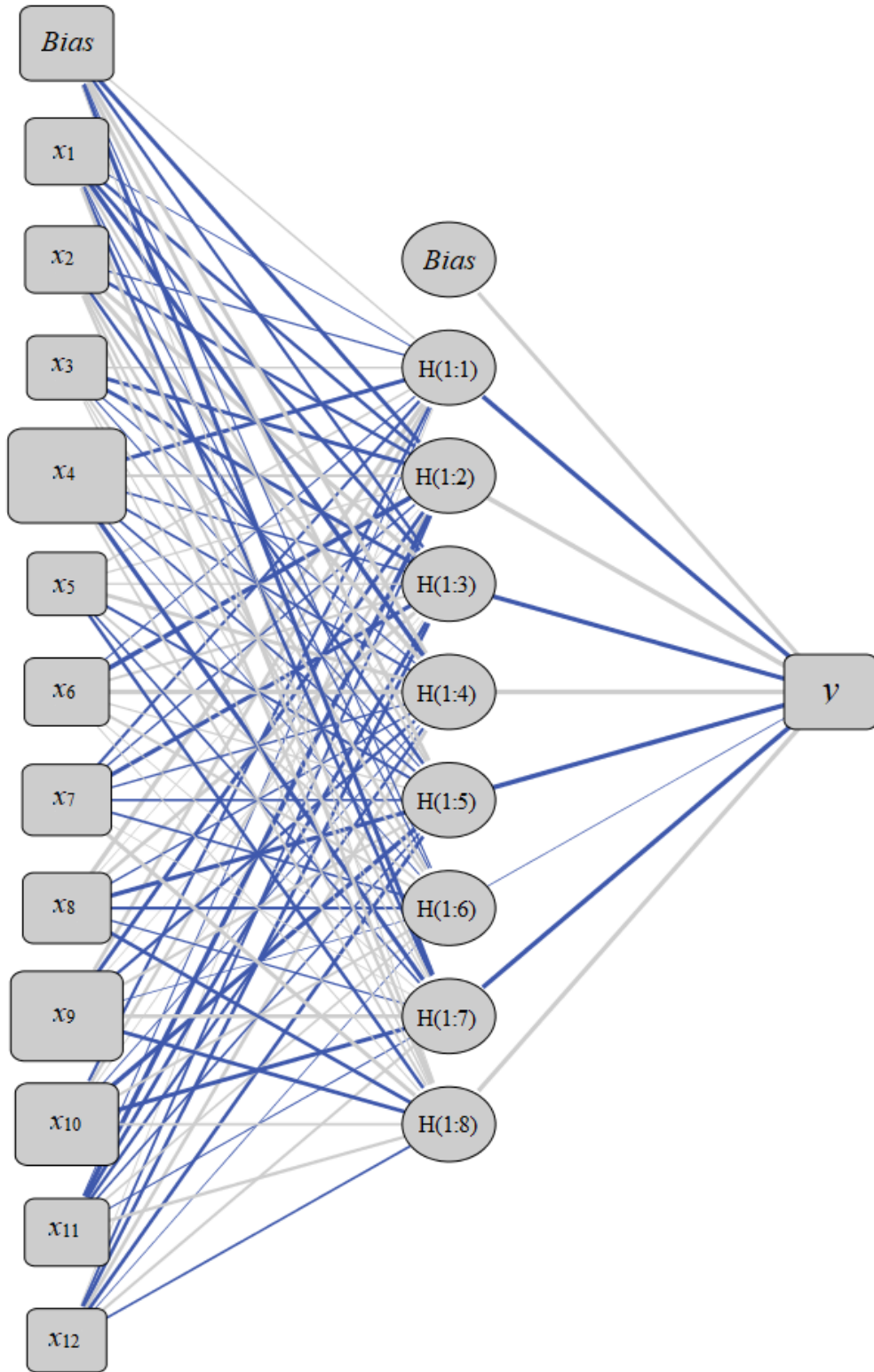


(а) Узорак за обуку нелинеарне регресије



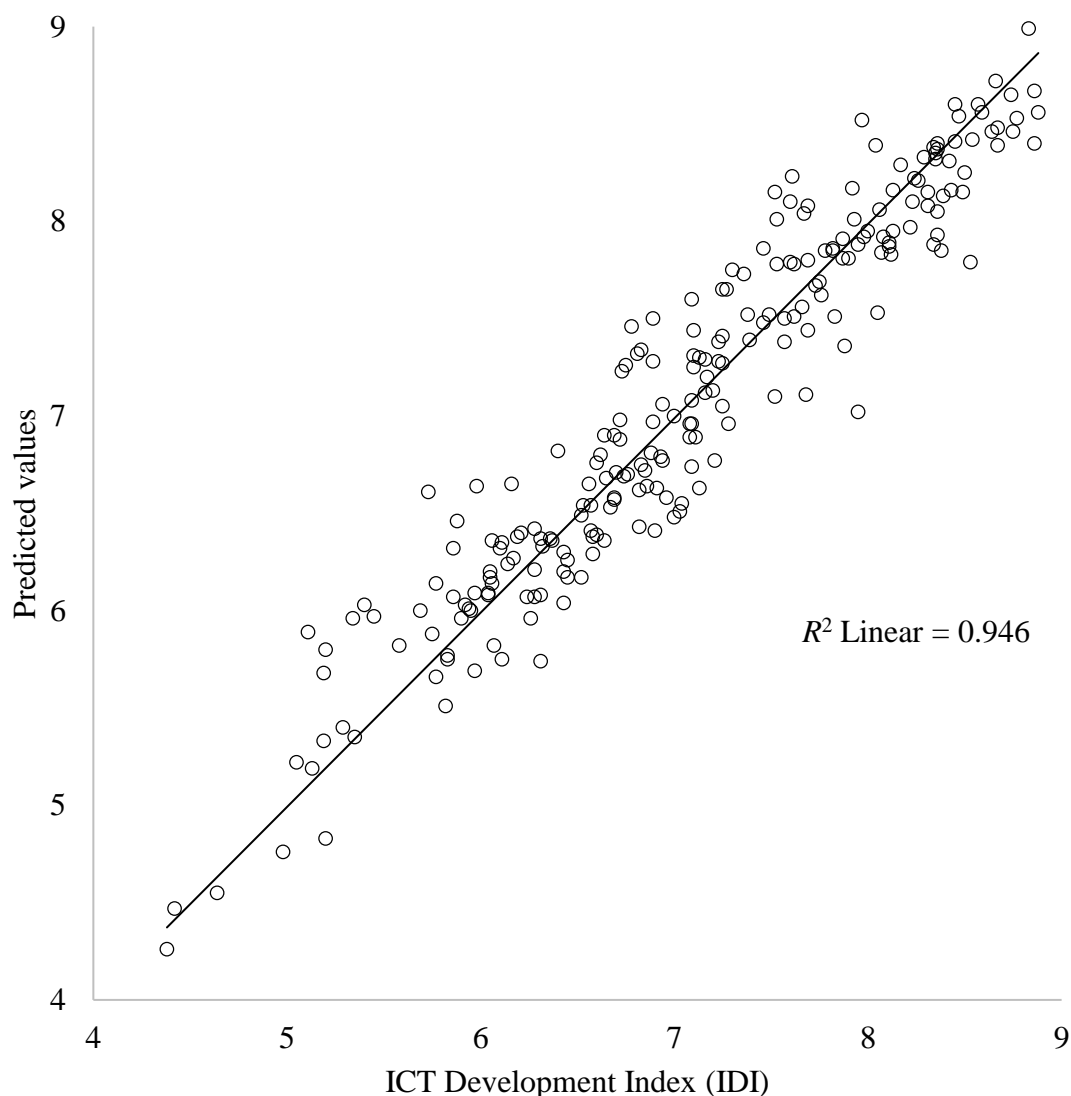
(б) Узорак за тестирање нелинеарне регресије

Слика 6.2. Поређење резултата предикције нелинеарне регресије и стварног ИКТ индекса развоја истраживачког модела I



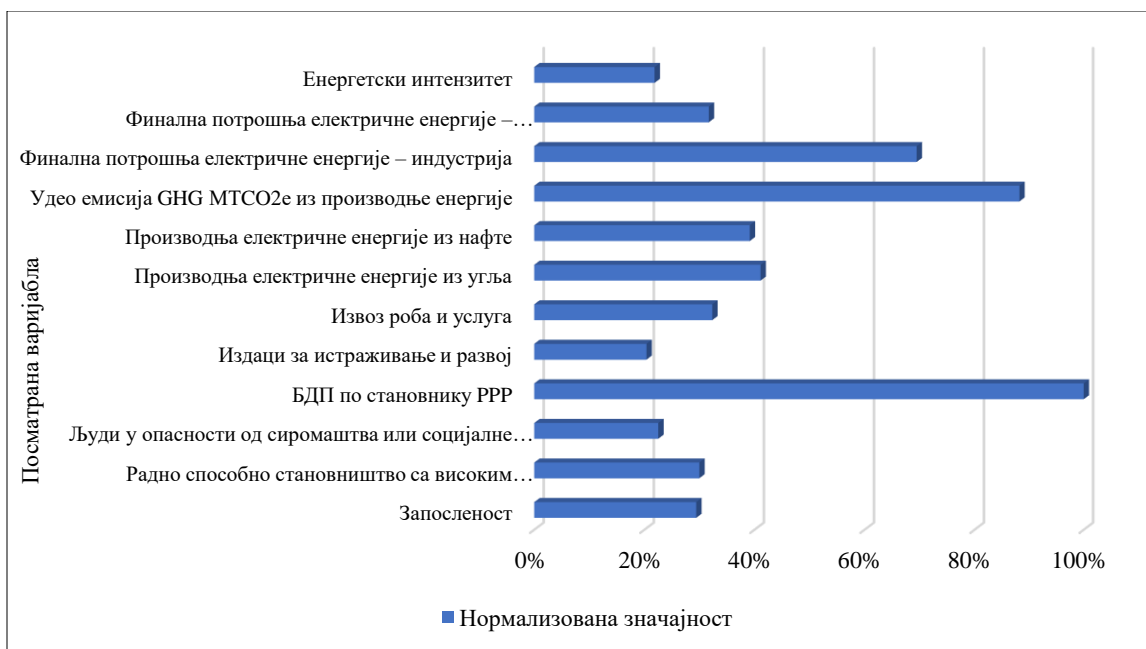
Слика 6.3. Структура вештачке неуронске мреже за истраживачки модел I

У наставку је на слици 6.4 дат приказ упоредних вредности ИКТ развојног индекса као излазне варијабле и вредности предикције ANN прорачуном. За проверу прецизности и тачности модела искоришћен је коефицијент детерминације и у овом случају он износи $R^2 = 0.946$. Ова вредност означава да је 94.6% варијабилитета у ИКТ индексу развоја објашњено предложеним ANN моделом.



Слика 6.4. Поређење предикционе вредности ИКТ индекса развоја путем ANN методе и стварне вредности ИКТ индекса развоја истраживачког модела I

Финални корак анализе неуронских мрежа обухватио је евалуацију нормализованих значајности улазни варијабле у односу на излазну варијаблу. Резултати нормализације значајности представљени су на слици 6.5.



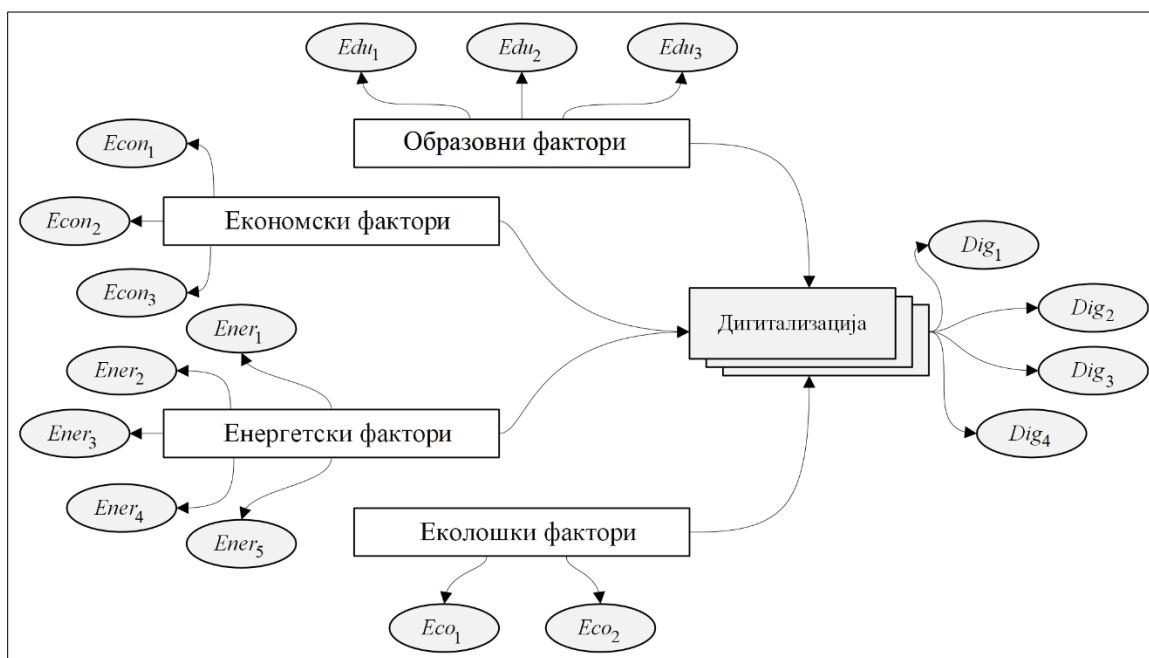
Слика 6.5. Нормализована значајност улазних варијабла истраживачког модела I прорачунатих употребом ANN методе

Увидом у податке може се закључити да су према неуронским мрежама највећу нормализовану значајност за ИКТ индекс развоја добиле улазне варијабле: (1) БДП по глави становника (x_4), (2) удео емисија штетних гасова из производње електричне енергије (x_9) и (3) финална потрошња електричне енергије у индустрији (x_{10}). Док најмању нормализовану значајност према ИКТ индексу развоја има улазна варијабла издатака за истраживање и развој (x_5).

6.3. Модел II: Моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата и вештачке неуронске мреже

Други модел који је разматран у истраживачком делу дисертације односи се такође на утицај различитих фактора одрживости на развој дигитализације. У тим факторима могу се сврстати образовни, економски, енергетски и еколошки латентни конструкти. На слици 6.6. приказан је истраживачки модел II. Сходно визуелној анализи може се уочити да сваки наведени латентни конструкт сачињавају одређени елементи. У случају образовног латентног конструкта то су елементи Edu_1 , Edu_2 , и Edu_3 . Економски латентни конструкт сачињавају елементи $Econ_1$, $Econ_2$, и $Econ_3$. Енергетски латентни конструкт се састоји из елемената $Ener_1$, $Ener_2$, $Ener_3$ и $Ener_4$. Еколошки латентни конструкт чине елементи Eco_1 и Eco_2 . Наведени елементи латентних конструката представљају посматране варијабле чији се утицај анализира у односу на латентни конструкт дигитализације који сачињавају посматране варијабле Dig_1 , Dig_2 , Dig_3 и Dig_4 . Стога се на основу истраживачког модела II може закључити да модел садржи пет латентних конструкта који се мере рефлективно, као што је приказано на слици 6.6. Посматране варијабле јесу полазни скупови података посматраних за одређени период.

Подаци прикупљени за истраживачку студију за модел II међународног су карактера и посматрају 33 привреде у Европи. Ту спадају: Белгија, Бугарска, Чешка, Данска, Немачка, Естонија, Ирска, Грчка, Шпанија, Француска, Хрватска, Италија, Кипар, Летонија, Литванија, Луксембург, Мађарска, Малта, Холандија, Аустрија, Пољска, Португалија, Румунија, Словенија, Република Словачка, Финска, Шведска, Уједињено Краљевство, Исланд, Норвешка, Северна Македонија, Србија и Турска. Временски оквир прикупљања података обухвата период од 2010. године до 2016. године и одређен је доступним подацима.



Слика 6.6. Мерни модел истраживачког модела II

У табели 6.6 приказана је структура употребљених посматраних варијабли заједно са припадајућим латентним конструктима и ознакама које су коришћене у истраживачком моделу II.

Дескриптивна статистика модела II приказана је у табели 6.7. Прорачуном дескриптивне статистике обухваћене су мере минималне вредности, максималне вредности, средње вредности и стандардне девијације. Скуп података модела II обухвата 231 низ података ($N = 231$).

Образовни латентни конструкт чине посматране варијабле, и то проценат становништва са високим образовањем у укупном броју становника (Edu_1), проценат радне снаге у укупном броју становника (Edu_2) и проценат радно способног становништва са високим образовањем у укупном броју становника (Edu_3) према којима минимална вредност у скупу података за сваку посматрану варијаблу припада Турској. Максимална вредност процента становништва са високим образовањем у укупном броју становника (Edu_1) и радно способног становништва са високим образовањем (Edu_3) пронађена је у Луксембургу. Ирска бележи максималну вредност удела радне снаге у укупном броју становника (Edu_2). Средња вредност

Табела 6.6. Структура истраживачког модела II

Латентни конструкт	Ознака	Посматрана варијабла
Образовни	Edu_1	Становништво са високим образовањем
	Edu_2	Радна снага
	Edu_3	Радно способно становништво са високим образовањем
Економски	$Econ_1$	БДП по глави становника
	$Econ_2$	БДП по раднику
	$Econ_3$	Издаци за истраживање и развој
Енергетски	$Ener_1$	Производња електричне енергије из угља
	$Ener_2$	Производња електричне енергије из нафте
	$Ener_3$	Производња електричне енергије из других обновљивих извора
	$Ener_4$	Производња електричне енергије из соларне енергије
	$Ener_5$	Производња електричне енергије из ветра
Еколошки	Eco_1	Емисије GHG
	Eco_2	Емисије CO ₂
Дигитализација	Dig_1	Активне претплате на мобилни широкопојасни приступ
	Dig_2	Претплате на фиксни широкопојасни приступ
	Dig_3	ИКТ индекс развоја
	Dig_4	Сигурни интернет сервери

процента становништва са високим образовањем у укупном броју становника (Edu_1) за посматрани скуп података од 2010. године до 2016. године је мало већа изнад 15, што значи да у просеку преко 15% становништва у посматраном скупу поседује високо образовање, док преко 25% становништва спада у радно способно становништво (Edu_2) од којих преко 70% поседује високо образовање (Edu_3). Вредности стандардне девијације највеће су за посматрану варијаблу проценат радне снаге (Edu_2).

Наредни латентни конструкт који се односи на економију обухвата БДП по глави становника ($Econ_1$), према коме је минимална вредност пронађена у Северној Македонији. Минимална вредност показатеља БДП по раднику ($Econ_2$) је пронађена у Бугарској, док је минимална вредност издатака за истраживање и развој ($Econ_3$) забележена у Северној Македонији. Максимум вредности БДП по глави становника ($Econ_1$) и БДП по раднику ($Econ_2$) бележи се у Луксембургу, док је проценат највећих улагања у истраживање и развој ($Econ_3$) забележен у Финској. Средња вредност БДП по становнику ($Econ_1$) за земље посматране у периоду од 2010. године до 2016. године је приближно 33 хиљада долара и преко 85 хиљада долара по раднику ($Econ_2$). Средња вредност процента улагања у истраживање и развој ($Econ_3$) је 1.52% што значи да у просеку земље издвајају више од 1.5% БДП за потребе активности истраживања и развоја. Стандардна девијација је највећа за БДП по раднику ($Econ_2$) јер се посматрају привреде различитог степена развијености. Карактеристична је и велика стандардна девијација за мерни показатељ БДП по глави становника ($Econ_1$).

Енергетски латентни конструкт чини велики број посматраних варијабли међу којима минимална вредност за производњу електричне енергије из угља ($Ener_1$) бележи већи број земаља као што су Ирска, Естонија, Норвешка, Луксембург,

Литванија, Малта, Кипар и друге земље. Минимум вредности за производњу електричне енергије из нафте ($Ener_2$) бележе Ирска, Норвешка, Србија, Северна Македонија, Луксембург и Словенија. Производња електричне енергије из обновљивих извора енергије ($Ener_3$) бележи минимум у Северној Македонији, Србији и Малти. Минимална вредност производње соларне електричне енергије ($Ener_4$) и електричне енергије снагом ветра ($Ener_5$) је забележена у Србији. Са друге стране, максималне вредности за производњу електричне енергије из угља ($Ener_1$) бележе Немачка, Пољска и Уједињено Краљевство. Максимална вредност производње електричне енергије из нафте ($Ener_2$) бележе се у Италији, Шпанији и Естонији. Разматрајући производњу електричне енергије из обновљивих извора енергије ($Ener_3$) максимална вредност се бележи у Немачкој, Уједињеном Краљевству и Италији. Максималне вредности производње соларне електричне енергије ($Ener_4$) и електричне енергије снагом ветра ($Ener_5$) забележене су у Немачкој, Шпанији и Италији. Средња вредност производње електричне енергије из угља ($Ener_1$) у периоду од 2010. године до 2016. године је преко 25% што значи да овај енергент чини највећи удео у производњи електричне енергије и када се посматрају конвенционални извори електричне енергије и када се посматрају обновљиви извори електричне енергије. Затим следи средња вредност производње електричне енергије из снаге ветра ($Ener_5$) која чини преко 7%, прате је средње вредности производње електричне енергије из осталих обновљивих извора енергије ($Ener_3$), нафте ($Ener_2$) и соларне енергије ($Ener_4$). Највећа вредност стандардне девијације изражена је за производњу електричне енергије из угља ($Ener_1$) и то је очекивани исход јер је већина европских земаља усвојила стратегије ка одбацивању употребе угља као извора електричне енергије.

Еколошки латентни конструкт обухвата минималну вредност емисије штетних гасова (Eco_1) у Финској, а минимална вредност емисије угљен-диоксида (Eco_2) забележена је у Холандији. Максималне вредности ових показатеља забележене су у Мађарској, и Естонији. Средња вредност посматраних варијабли у периоду од 2010. године до 2016. године за обе варијабле износила је нешто више од 7 тона емисија по становнику. Вредност стандардне девијације је нешто виша код варијабле емисије штетних гасова по становнику (Eco_1).

Финални латентни конструкт је дигитализација. У овом латентном конструкту се проналази посматрана варијабла активне претплате на мобилни широкопојасни приступ (Dig_1) чији је минимум пронађен у Хрватској. Наредна посматрана варијабла овог латентног конструкта је број претплата на фиксни широкопојасни приступ (Dig_2) чији минимум се проналази у Србији. Наредна посматрана варијабла је ИКТ индекс развоја (Dig_3) чији је минимум забележен у Турској. Даље, посматрана варијабла број сигурних интернет сервера на милион становника (Dig_4) бележи минимум у Србији. Максимална вредност броја активних претплата на мобилни широкопојасни приступ (Dig_1) је евидентирана у Финској, док је максимална вредност броја претплата на фиксни широкопојасни приступ (Dig_2) забележена у Данској. ИКТ индекс развоја (Dig_3) бележи свој максимум у Данској, док је максималан број сигурних интернет сервера (Dig_4) евидентиран у Холандији и прати је Данска. Средња вредност појединачних посматраних варијабли еколошког латентног конструкта у периоду од 2010. године до 2016. године показује преко 60

становника на сваких 100 да поседују активну претплату на мобилни широкопојасни приступ (Dig_1), затим упола мање (приближно 28 становника на 100 становника) бележи број претплата на фиксни широкопојасни приступ (Dig_2). Средња вредност ИКТ индекса развоја (Dig_3) износи мало више од 7, док је број сигурних интернет сервера (Dig_4) преко 2000. Стандардна девијација је највећа за посматрану варијаблу број сигурних интернет сервера на милион становника (Dig_4).

Табела 6.7. Дескриптивна статистика истраживачког модела II

Посматрана варијабла	Минимум	Максимум	Ср. вредност	Стд. Дев.
Edu_1	0.02	25.60	16.14	4.63
Edu_2	10.50	39.60	25.11	7.58
Edu_3	51.90	89.30	71.23	6.40
$Econ_1$	4542.90	110162.12	32574.75	23066.97
$Econ_2$	42216.96	248362.08	87064.12	36551.68
$Econ_3$	0.22	3.73	1.52	0.86
$Ener_1$	0.00	288.21	27.71	53.24
$Ener_2$	0.00	21.71	2.82	4.31
$Ener_3$	0.00	51.10	5.14	8.91
$Ener_4$	0.00	38.73	2.36	6.31
$Ener_5$	0.00	80.62	7.38	13.73
Eco_1	-0.20	22.60	7.82	3.43
Eco_2	2.90	22.09	7.37	3.20
Dig_1	7.59	143.45	60.82	27.72
Dig_2	9.56	43.10	27.46	7.95
Dig_3	4.38	8.88	7.06	1.00
Dig_4	7.41	24130.79	2019.53	3050.71
Број низова података	231			

Корелациона анализа прорачуната Спирмановим коефицијентом корелације представљена је у наредној табели 6.8. Анализом ове табеле могу се утврдити статистички значајне корелационе везе посматраних варијабли латентног конструкта дигитализације и посматраних варијабли осталих латентних конструката. Број активних претплата на мобилни широкопојасни приступ остварује најјачу позитивну и статистички значајну везу са уделом радне снаге ($\rho = 0.60$, $p < 0.05$). Број претплата на фиксни широкопојасни приступ изражава најјачу позитивну и статистички значајну везу са БДП-ом по глави становника ($\rho = 0.79$, $p < 0.05$). Посматрана варијабла ИКТ индекс развоја и број сигурних интернет сервера такође бележе исте резултате БДП-ом по глави становника ($\rho = 0.83$, $p < 0.05$; $\rho = 0.64$, $p < 0.05$). На основу корелационе анализе може се закључити да је развој посматраних варијабли дигитализације у највећој мери условљен доступним БДП-ом и да повећање БДП-а прати раст дигитализације и обратно. Анализа корелације између осталих посматраних варијабли који припадају различитим латентним конструктима наглашава статистички значајну и позитивну везу између БДП-а и посматраних варијабли образовног конструкта ($\rho = 0.62$, $p < 0.05$; $\rho = 0.65$, $p < 0.05$; $\rho = 0.65$, $p < 0.05$) и БДП-а и емисије угљен-диоксида ($\rho = 0.52$, $p < 0.05$). Раст БДП-а прати пораст свих наведених посматраних варијабли. Додатно, истиче се корелациона веза између издатака за истраживање и развој и производње обновљивих извора енергије из осталих извора ($\rho = 0.67$, $p < 0.05$) по којој већа

Табела 6.8. Корелациона анализа истраживачког модела II

	<i>Dig₄</i>	<i>Dig₃</i>	<i>Dig₂</i>	<i>Dig₁</i>	<i>Eco₁</i>	<i>Eco₂</i>	<i>Eco₃</i>	<i>Eco₄</i>	<i>Eco₅</i>	<i>Ener₁</i>	<i>Ener₂</i>	<i>Ener₃</i>	<i>Ener₄</i>	<i>Ener₅</i>	<i>Econ₁</i>	<i>Econ₂</i>	<i>Econ₃</i>	<i>Edu₁</i>	<i>Edu₂</i>	<i>Edu₃</i>
<i>Edu₁</i>	.61	.70	.63	.58	.39	.39	.25	.17	-.01	.23	-.05	-.32	.48	.50	.62	.64	.96	1		
<i>Edu₂</i>	.62	.68	.66	.60	.38	.38	.24	.17	-.01	.20	-.02	-.35	.43	.48	.65	.66	1			
<i>Edu₃</i>	.58	.74	.69	.55	.38	.38	.17	.23	.07	.44	.04	-.21	.62	.40	.65	1				
<i>Econ</i>	.64	.83	.79	.51	.52	.52	.36	.34	.24	.44	.13	-.16	.73	.91	1					
<i>Econ</i>	.55	.73	.69	.40	.47	.47	.35	.45	.34	.47	.21	-.01	.70	1						
<i>Econ</i>	.50	.75	.65	.40	.51	.51	.25	.39	.27	.67	.19	.06	1							
<i>Ener</i>	-.17	-.17	-.22	-.15	.06	.17	.59	.48	.44	1										
<i>Ener</i>	.07	.02	.11	-.07	.19	.21	.58	.49	1											
<i>Ener</i>	.30	.49	.39	.34	.30	.14	.70	.44	1											
<i>Ener</i>	.26	.21	.30	.11	.09	.13	.58	1												
<i>Ener</i>	.27	.29	.28	.24	.01	.07	1													
<i>Eco₁</i>	.19	.26	.25	.04	.70	1														
<i>Eco₂</i>	.29	.45	.38	.22	1															
<i>Dig₁</i>	.72	.73	.54	1																
<i>Dig₂</i>	.73	.87	1																	
<i>Dig₃</i>	.74	1																		
<i>Dig₄</i>	1																			

улагања у активности истраживања и развоја доводе до пораста електричне енергије из обновљивих извора осталих врста.

За процену посматраних варијабли које сачињавају латентне конструкте извршена је експлораторна факторска анализа (EFA). Све посматране варијабле чије факторско оптерећење прелази границу од 0.6 (Hair et al., 2010) прихваћене су као одговарајући показатељ припадајућег латентног конструкта. Резултати ове анализе дати су у табели 6.9. Факторско оптерећење варијабле *Ener₂* је испод граничне вредности од 0.6 али се због незнатног одступања не одбацује у даљој анализи. Кумулативни проценат објашњеног варијабилитета модела износи 71.04%. Према резултатима EFA може се закључити да је предложена структура латентних конструката и усвојена за даљу анализу.

Табела 6.9. Експлораторна факторска анализа истраживачког модела II

Посматрана варијабла	Фактор (латентни конструкт)				
	1 (<i>Dig</i>)	2 (<i>Edu</i>)	3 (<i>Econ</i>)	4 (<i>Ener</i>)	5 (<i>Eco</i>)
<i>Dig₁</i>	0.818				
<i>Dig₂</i>	0.879				
<i>Dig₃</i>	0.936				
<i>Dig₄</i>	0.730				
<i>Edu₁</i>		0.946			
<i>Edu₂</i>		0.959			
<i>Edu₃</i>		0.817			
<i>Econ₁</i>			0.960		
<i>Econ₂</i>			0.918		
<i>Econ₃</i>			0.711		
<i>Ener₁</i>				0.837	
<i>Ener₂</i>				0.593	
<i>Ener₃</i>				0.909	
<i>Ener₄</i>				0.934	
<i>Ener₅</i>				0.911	
<i>Eco₁</i>					0.926
<i>Eco₂</i>					0.926

Имајући у виду да су подаци нелинеарни и да одступају од нормалне дистрибуције (Zhang et al., 2021) предложен је методолошки оквир који укључује моделовање парцијалних најмањих квадрата структурне једначине (PLS-SEM) и вештачке неуронске мреже (ANN). Модел II је креиран употребом софтверских пакета SmartPLS 4 и SPSS v.17. PLS-SEM је употребљен за евалуацију посматраних варијабли и латентних конструката на основу којих је формиран структурни модел и извршено тестирање постављених истраживачких хипотеза. Неуронске мреже су употребљене на PLS-SEM структурном моделу како би се одредиле значајности посматраних латентних конструката.

Почетни корак у PLS-SEM методи је формирање и евалуација мерног PLS-SEM модела. За евалуацију PLS-SEM модела употребљени су прорачуни спољног оптерећења посматраних варијабли, Cronbach alpha, композитне поузданости и конвергентне валидности као и дискриминантне валидности модела. У табели 6.10

дати су резултати прорачуна спољних оптерећења посматраних варијабли. Вредност прага толеранције за спољно оптерећење износи 0.708 (Hair et al., 2017), док је прихватљива и граница од 0.5 (Leong et al., 2011). У моделу II, све вредности факторског оптерећења посматраних варијабли прелазе границу толеранције осим варијабле производња електричне енергије из нафте ($Ener_2$) али ова варијабла није искључена из даље анализе због смањења могућности грешке модела. Вредност прага толеранције показатеља Cronbach alpha је 0.7 (Cronbach, 1951) те се из табеле може закључити да сви латентни конструкти имају одговарајућу вредност овог показатеља ($\alpha > 0.8$). Граница вредности композитне поузданости је 0.7 (Tan et al., 2014) и према добијеним резултатима вредности композитне поузданости модела II превазилазе дефинисану границу па се може закључити да је композитна поузданост латентних конструката постигнута ($CR > 0.9$). Провером AVE вредности чији је праг толеранције 0.5 (Hair et al., 2019) закључује се да сви латентни конструкти имају одговарајућу вредност провере конвергентне валидности ($AVE > 0.69$).

Табела 6.10. Евалуација мерног модела истраживачког модела II

Латентни конструкт	Посматрана варијабла	Спољно оптерећење	Cronbach alpha	Композитна поузданост	AVE
Дигитализација	Dig_1	0.799	0.863	0.906	0.710
	Dig_2	0.902			
	Dig_3	0.953			
	Dig_4	0.693			
Образовни	Edu_1	0.934	0.893	0.934	0.827
	Edu_2	0.839			
	Edu_3	0.950			
Економски	$Econ_1$	0.945	0.831	0.901	0.753
	$Econ_2$	0.886			
	$Econ_3$	0.762			
Енергетски	$Ener_1$	0.791	0.894	0.916	0.694
	$Ener_2$	0.492			
	$Ener_3$	0.944			
	$Ener_4$	0.930			
	$Ener_5$	0.919			
Еколошки	Eco_1	0.958	0.833	0.919	0.850
	Eco_2	0.884			

Наредни корак у PLS-SEM анализи је провера дискриминантне валидности латентних конструката. У литератури се најчешће употребљавају три начина за ову проверу па су сва три начина узета у обзир и прорачуната је дискриминантна валидност. Први начин је процена дискриминантне валидности модела употребом Fornell-Larcker критеријума (Fornell & Larcker, 1981). Приликом процене упоређене су вредности корелације међу латентним конструктима са квадратним кореном AVE вредности које су у табели задебљане. Да би се постигла дискриминантна валидност по Fornell-Larcker критеријуму све вредности корелације латентних конструката морају бити ниже у односу на вредности квадратног корена AVE што се може и видети у табели 6.11. У табели је дата и евалуација дискриминантне валидности по хетеротраит-монотраит односу (НТМТ). Праг толеранције НТМТ је 0.9 (Henseler,

2015) и може се закључити да сви латентни конструкти остварују дискриминантну валидност по овом критеријуму.

Табела 6.11. Дискриминантна валидност истраживачког модела II по Fornell-Larcker критеријуму и хетеротраит-монотраит односу (НТМТ)

Латентни конструкт	Дигитализација	Образовни	Економски	Енергетски	Еколошки
Fornell-Larcker					
Дигитализација	0.843				
Образовни	0.780	0.909			
Економски	0.739	0.616	0.868		
Енергетски	0.266	0.130	0.260	0.833	
Еколошки	0.320	0.357	0.544	0.046	0.922
НТМТ					
Дигитализација					
Образовни	0.863				
Економски	0.833	0.708			
Енергетски	0.205	0.127	0.225		
Еколошки	0.344	0.396	0.646	0.092	

Трећи начин за евалуацију дискриминантне валидности је коришћење унакрсног оптерећења (Hair et al., 2014). Према овом критеријуму, вредности оптерећења посматраних варијабли на свом припадајућем латентном конструкту морају бити већа у односу на вредности оптерећења на другим латентним конструктима. У табели 6.12 дати су резултати прорачуна унакрсног оптерећења и задебљане су вредности посматраних варијабли које припадају одговарајућим латентним конструктима. Може се закључити да су вредности оптерећења посматраних варијабли за припадајући латентни конструкт највеће за свој конструкт тиме је дискриминантна валидност потврђена.

Након потврђене композитне поузданости и дискриминантне валидности формира се структурни PLS-SEM модел. Квалитет и прецизност структурног модела је процењен коришћењем коефицијента детерминације (R^2) и предиктивног значаја ендогених конструката (Q^2). Праг толеранције вредности коефицијента детерминације износи 10% (Wetzels et al., 2009). У овом случају, прорачунати коефицијент детерминације износи $R^2 = 0.735$ што значи да се 73.5 процената варијабилитета у конструкту дигитализације може објаснити овим структурним моделом. Праг толеранције за предиктивни значај ендогених конструката је 0 (Hair et al., 2017), што значи да било која позитивна вредност овог индикатора указује на постигнуту предиктивну значајност. У овом случају, вредност предиктивног значаја ендогених конструката износи $Q^2 = 0.720$ и указује на високу предиктивну моћ структурног модела од 72 процената. На основу прорачуна може се закључити да хипотеза H_1 која гласи да је могуће развити модел којим се мери утицај образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације потврђена односно прихваћена.

Табела 6.12. Дискриминантна валидност истраживачког модела II коришћењем фактора унакрсног оптерећења

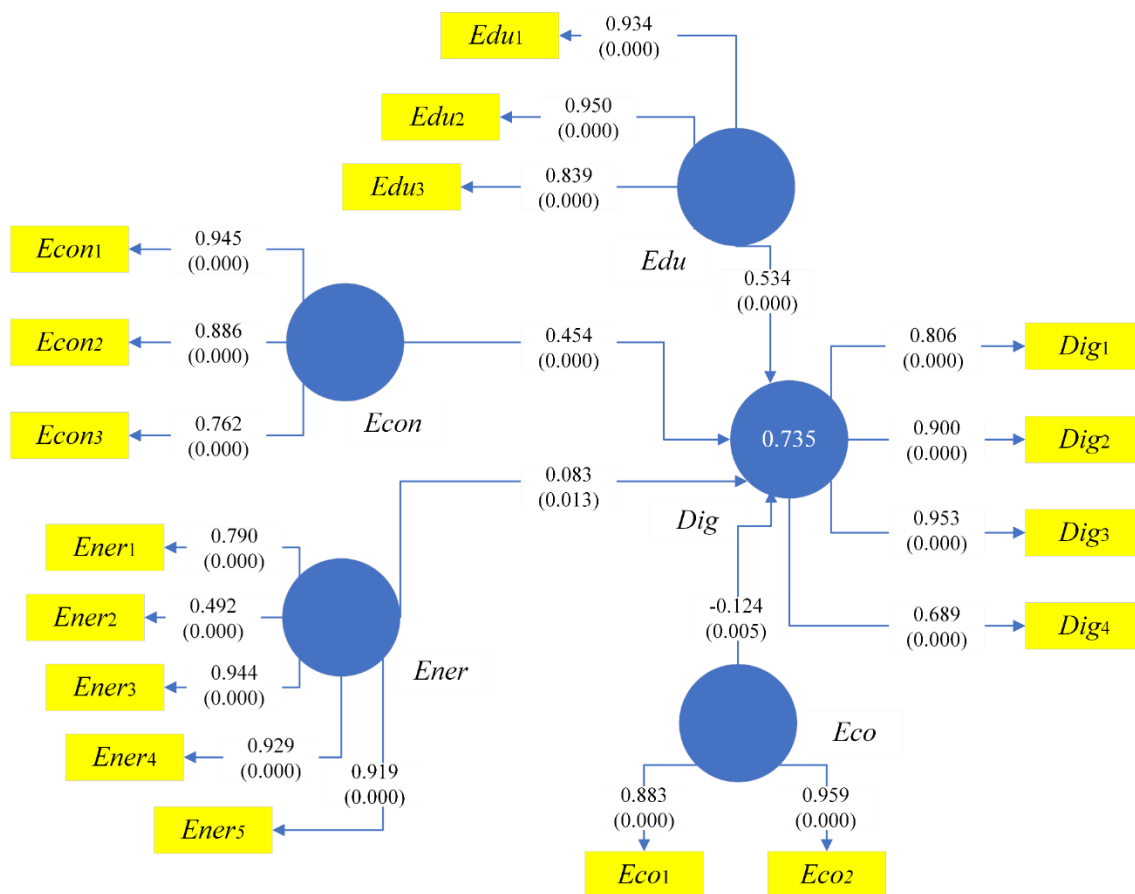
Посматрана варијабла	Дигитализација	Образовни	Економски	Енергетски	Еколошки
<i>Dig</i> ₁	0.799	0.618	0.480	0.129	0.136
<i>Dig</i> ₂	0.902	0.729	0.716	0.276	0.299
<i>Dig</i> ₃	0.953	0.790	0.788	0.292	0.371
<i>Dig</i> ₄	0.693	0.415	0.408	0.156	0.228
<i>Edu</i> ₁	0.683	0.934	0.571	0.068	0.374
<i>Edu</i> ₂	0.727	0.839	0.514	0.209	0.242
<i>Edu</i> ₃	0.711	0.950	0.593	0.071	0.359
<i>Econ</i> ₁	0.703	0.615	0.945	0.154	0.552
<i>Econ</i> ₂	0.558	0.446	0.886	0.161	0.632
<i>Econ</i> ₃	0.643	0.521	0.762	0.360	0.243
<i>Ener</i> ₁	-0.002	-0.080	0.029	0.791	0.115
<i>Ener</i> ₂	0.005	-0.013	0.028	0.492	0.067
<i>Ener</i> ₃	0.304	0.140	0.308	0.944	0.084
<i>Ener</i> ₄	0.147	-0.011	0.161	0.930	0.046
<i>Ener</i> ₅	0.241	0.177	0.210	0.919	-0.012
<i>Eco</i> ₁	0.213	0.245	0.432	0.033	0.884
<i>Eco</i> ₂	0.349	0.385	0.552	0.049	0.958

Даљи резултати тестирања хипотеза употребом PLS-SEM методе могу се видети у табели 6.13. У табели су дате структурне путање, њихова t статистика, статистичка значајност и одлука о прихватању/одбијању хипотезе. Хипотеза X_2 која гласи да образовни фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације је прихваћена са вредношћу коефицијента пута (стандардизованог коефицијента регресије) $\beta = 0.534$ и статистичком значајношћу од $p = 0.000$. Хипотеза X_3 која гласи да економски фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације је такође потврђена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.454$ и статистичком значајношћу од $p = 0.000$. Наредна хипотеза X_4 која гласи да енергетски фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације је потврђена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.083$ и статистичком значајношћу од $p = 0.013$. Последња хипотеза X_5 која гласи да еколошки фактори имају негативан утицај на развој дигитализације је такође потврђена са вредношћу коефицијента пута $\beta = -0.124$ и статистичком значајношћу од $p = 0.005$.

Табела 6.13. Резултати тестирања хипотеза истраживачког модела II

Хипотеза	Структурни пут	Коефицијент пута	t - стат.	Значајност	Одлука
X_2	<i>Edu</i> → <i>Dig</i>	0.534	12.911	0.000	Потврђено
X_3	<i>Econ</i> → <i>Dig</i>	0.454	8.306	0.000	Потврђено
X_4	<i>Ener</i> → <i>Dig</i>	0.083	2.493	0.013	Потврђено
X_5	<i>Eco</i> → <i>Dig</i>	-0.124	2.810	0.005	Потврђено

Дијаграм на слици 6.7 приказује структурни модел PLS-SEM. На слици су исцртане путање и забележени њихови коефицијенти са одговарајућим статистичким p -вредностима.



Слика 6.7. PLS-SEM структурни модел за истраживачки модел II

Табела 6.14. Резултати ANN истраживачког модела II

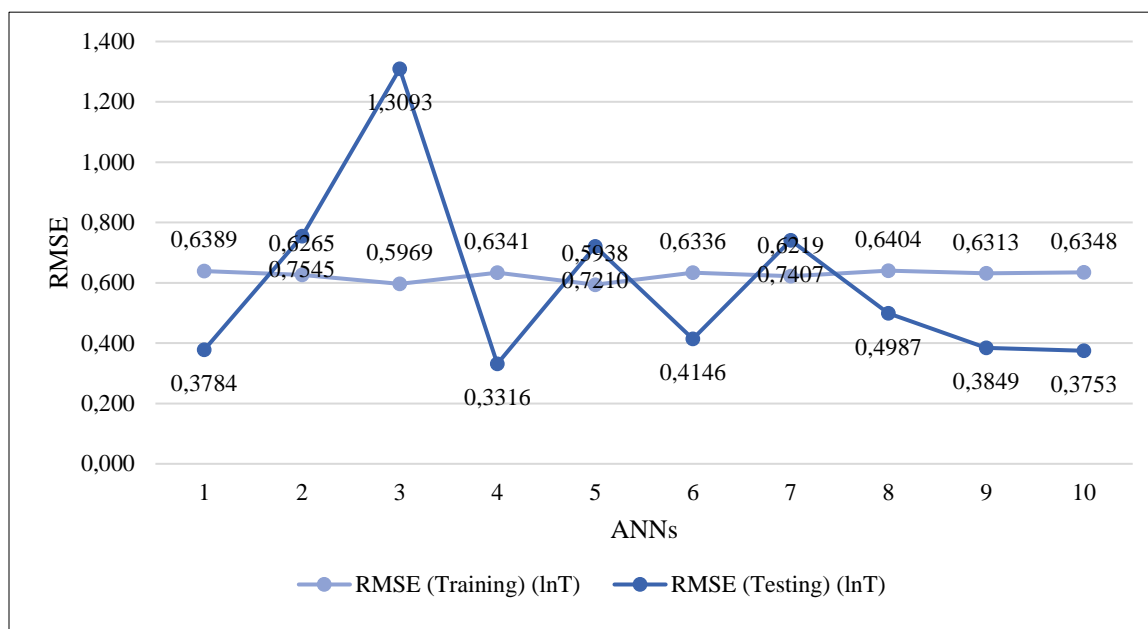
ANN	Обука (74% од скупа података 171)			Тестирање (26% од скупа података 60)		
	N	SSE	RMSE	N	SSE	RMSE
1	159	64.894	0.6389	72	10.310	0.3784
2	171	67.122	0.6265	60	34.157	0.7545
3	159	56.659	0.5969	72	123.427	1.3093
4	158	63.535	0.6341	73	8.027	0.3316
5	163	57.481	0.5938	68	35.352	0.7210
6	167	67.047	0.6336	64	11.001	0.4146
7	150	58.016	0.6219	81	44.436	0.7407
8	158	64.800	0.6404	73	18.157	0.4987
9	167	66.550	0.6313	64	9.481	0.3849
10	163	65.674	0.6348	68	9.579	0.3753
Ср. вр.			0.6252			0.5909

У циљу одређивања предикционог модела и прорачуна нормализоване значајности латентних конструката употребљена је анализа неуронске мреже. Улазни подаци у неуронску мрежу су означени као образовни (*Edu*), економски (*Econ*), енергетски (*Ener*) и еколошки (*Eco*) латентни конструкти. Излазна варијабла

се односи на латентни конструкт дигитализације. За потребе добијања што прецизнијих вредности предикције модела неуронских мрежа спроведена је унакрсна провера неуронске мреже кроз десет итерација.

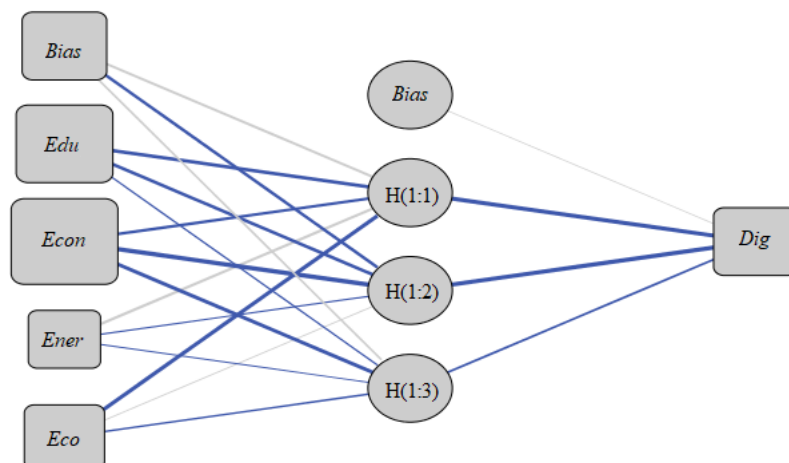
Резултати квалитета ових модела приказани су у табели 6.14 и састоје се од прорачуна збира квадратне грешке и средње квадратне грешке. На основу резултата квалитета модела и визуелне провере неуронских мрежа изабран је модел број два.

Резултати прорачуна квалитета приказани су илустративно путем графика на слици 6.8 и указују на грешке модела које се јављају у поступку тренирања неуронске мреже у свих десет итерација.



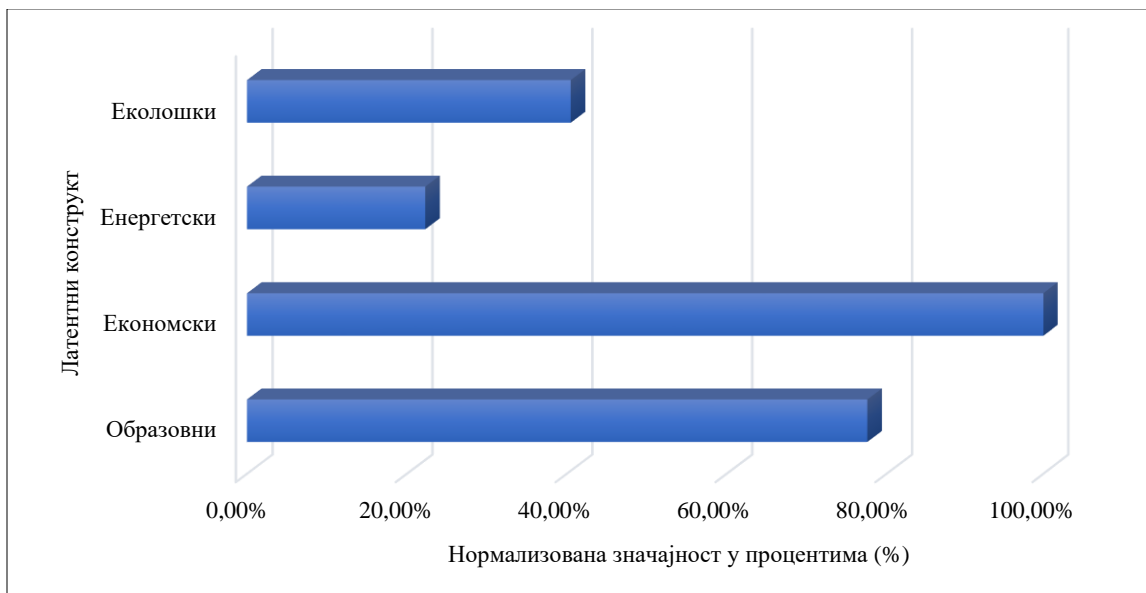
Слика 6.8. RMSE перформансе ANN истраживачког модела II

Модел вештачке неуронске мреже приказ је на слици 6.9. Према слици може се видети да архитектура неуронске мреже обухвата четири улазна латентна конструкта у улазном слоју неуронске мреже, три скривена неурона у скривеном слоју неуронске мреже и један латентни конструкт у излазном слоју неуронске мреже. Скуп података је подељен на 74% података на обуку и 26% података на тренинг неуронске мреже. Примењена је Sigmoid активациона функција. Приликом процене тачности предложеног модела обрачунате су вредности релативне грешке. Вредност релативне грешке узорка за обуку износи $RE = 0.790$, док је вредност релативне грешке узорка за тестирање $RE = 0.802$.



Слика 6.9. Структура вештачке неуронске мреже за истраживачки модел II

Процена нормализоване значајности латентних констуката у односу на латентни конструкт развој дигитализације је приказана на слици 6.10. Према резултатима приказаним на слици може се закључити да је највећа значајност припала економском латентном конструкту, затим следе образовни латентни конструкт, еколошки латентни конструкт и енергетски латентни конструкт.



Слика 6.10. Нормализована значајност латентних констуката истраживачког модела II прорачунатих употребом ANN методе

Добијени исход анализе применом PLS-SEM методе и ANN методе упоређен је ради компаративне анализе резултата најважнијих латентних констуката. У табели 6.15 се проучавањем резултата може видети да не постоји преклапање рангирања значајности јачине односа употребом ове две методе. Закључак који се може донети на основу компаративне анализе је јединствен у томе да обе методе

предност придају образовном (*Edu*) и економском (*Econ*) латентном конструкту у односу на остала два латентна конструкта.

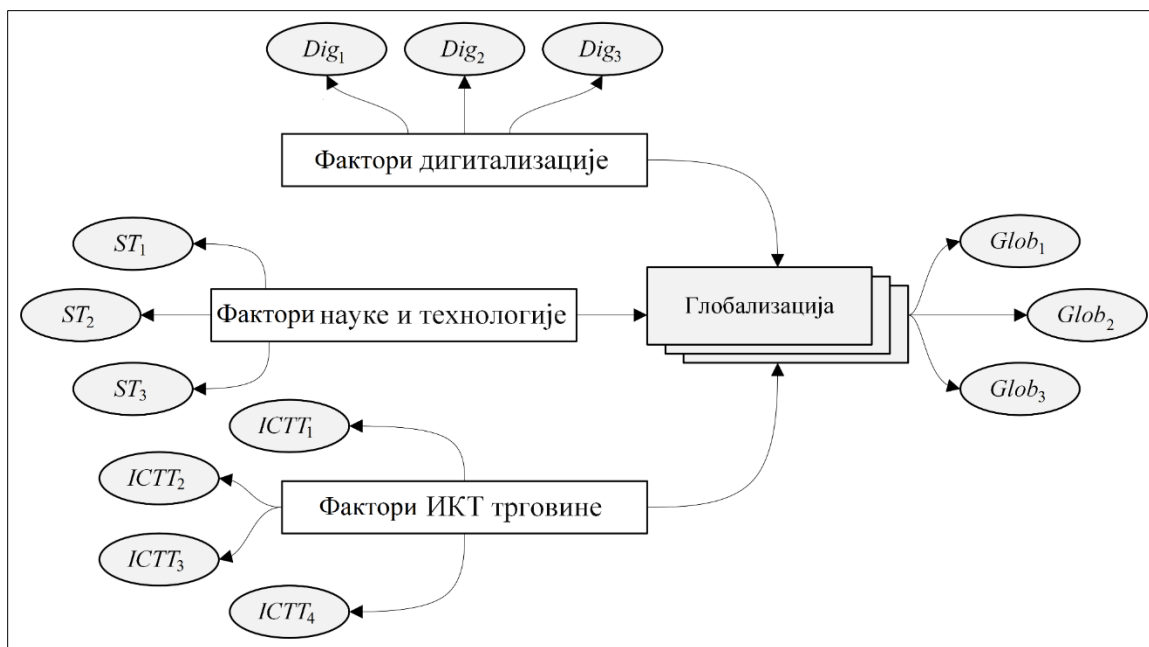
Табела 6.15. Компарација резултата PLS-SEM и ANN истраживачког модела II

Однос	PLS-SEM коефицијент пута	PLS-SEM рангирање	ANN релативна значајност	ANN рангирање	Провера поклапања
<i>Edu</i> → <i>Dig</i>	0.534	1	0.323	2	Не
<i>Econ</i> → <i>Dig</i>	0.454	2	0.416	1	Не
<i>Ener</i> → <i>Dig</i>	0.083	3	0.093	4	Не
<i>Eco</i> → <i>Dig</i>	-0.124	4	0.169	3	Не

6.4. Модел III: Моделовање структурних једначина методом парцијалних најмањих квадрата и мулти-групна анализа

Наредни, трећи истраживачки модел у дисертацији представља искорак из претходног истраживања фактора које утичу на развој дигитализације и бави се испитивањем утицаја технолошких латентних конструката на развој другог глобалног феномена као што је латентни конструкт глобализације. На слици 6.11 графички је приказан истраживачки модел III заједно са припадајућим латентним конструктима који су обухваћени истраживањем. У посматраном моделу анализира се утицај латентних конструката дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на развој латентног конструкта глобализације. Латентни конструкт дигитализације је сачињен од три посматране варијабле *Dig*₁, *Dig*₂ и *Dig*₃. Латентни конструкт фактора науке и технологије сачињен је такође од три мерне варијабле *ST*₁, *ST*₂ и *ST*₃, док латентни конструкт трговине информационо-комуникационим технологијама садржи четири посматране варијабле *ICTT*₁, *ICTT*₂, *ICTT*₃ и *ICTT*₄. Латентни конструкт глобализације састоји се из истог броја посматраних варијабли и то *Glob*₁, *Glob*₂, и *Glob*₃. Мерење свих латентних конструката је извршено рефлексивним путем.

Подаци прикупљени за истраживачку студију за модел III међународног су карактера и обухватају податке за 32 привреде у Европи. Истраживањем су обухваћене следеће земље: Белгија, Белорусија, Аустрија, Бугарска, Чешка, Данска, Естонија, Финска, Француска, Грчка, Холандија, Хрватска, Ирска, Италија, Кипар, Летонија, Литванија, Луксембург, Мађарска, Малта, Црна Гора, Немачка, Норвешка, Пољска, Португалија, Република Словачка, Румунија, Северна Македонија, Словенија, Србија, Шведска и Уједињено Краљевство. Временски оквир прикупљања података посматра период од 2010. године до 2018. године и ограничен је расположивим подацима.



Слика 6.11. Истраживачки модел III

У табели 6.16 представљени су латентни конструкти са припадајућим посматраним варијаблима и њиховим ознакама које су коришћене у истраживачком моделу III.

Табела 6.16. Структура истраживачког модела III

Латентни конструкт	Ознака	Посматрана варијабла
Дигитализација	Dig_1	Претплате на фиксни телефон
	Dig_2	Број интернет корисника
	Dig_3	Претплате на мобилни телефон
Наука и технологија	ST_1	Становништво са високим образовањем
	ST_2	Издаци за истраживање и развој
	ST_3	Број истраживача
ИКТ трговина	$ICTT_1$	Увоз комуникације, рачунар, итд.
	$ICTT_2$	Извоз комуникације, рачунар итд.
	$ICTT_3$	Извоз високе технологије
	$ICTT_4$	Увоз ИКТ робе
Глобализација	$Glob_1$	Учешће извоза земље
	$Glob_2$	Учешће увоза земље
	$Glob_3$	Извоз робе у привреди са високим доходком

Наредна табела 6.17 приказује најважније резултате дескриптивне статистике посматраних варијабли у виду мерења минималне вредности, максималне вредности, средње вредности и стандардне девијације скупа података. Скуп података за истраживачки модел III обухвата 288 низова података ($N = 288$).

Латентни конструкт дигитализације обухвата мерење броја претплата на фиксни телефон (Dig_1) и минимална вредност ове посматране варијабле пронађена је у Финској. Минимална вредност броја корисника интернета (Dig_2) забележена је у Белорусији и прати је Црна Гора, док је минимална вредност броја претплата на мобилни телефон (Dig_3) пронађена у Француској и прати је Македонија. Анализирајући максималне вредности посматраних варијабли овог латентног конструкта максимална вредност претплата на фиксни телефон (Dig_1) пронађена је у Немачкој и прати је Француска. Затим, максималан број интернет корисника (Dig_2) забележен је у Луксембургу. Док је максимална вредност броја претплата на мобилни телефон (Dig_3) пронађена у Црној Гори. Средња вредност ових посматраних варијабли посматрана у периоду од 2010. године до 2018. године за број претплата на фиксни телефон (Dig_1) је скоро 29 корисника на 100 становника. Средња вредност процента интернет корисника (Dig_2) у односу на број становника је преко 74%, и указује на добру покривеност ових земаља, али и довољно простора за дигитални развој. Средња вредност броја претплата на мобилни телефон (Dig_3) је 124 на 100 становника, што указује да појединци поседују више од једног телефона. Стандардна девијација за посматране варијабле је највећа у случају броја претплата на мобилни телефон (Dig_3) и указује на значајне разлике између броја поседованих мобилних телефона међу посматраним бројем становника.

Наредни латентни конструкт обухвата науку и технологију. Посматрана варијабла за овај конструкт удео становника са високим образовањем у укупном броју становника (ST_1) показује свој минимум у Румунији. Минимална вредност удела издатака за истраживање и развој (ST_2) и број истраживача (ST_3) је пронађена у Северној Македонији. Максимална вредност удела становништва са високим образовањем (ST_1) идентификована је у Белорусији. Док је максимална вредност удела издатака за потребе истраживања и развоја (ST_2) забележена у Финској, максималан број истраживача (ST_3) је пронађен у Данској. Посматрајући средње вредности посматраних варијабли чији се подаци односе на период од 2010. године до 2018. године, може се видети да је удео становника са високим образовањем (ST_1) преко 16% у укупном броју становника, удео издатака за активности истраживања и развоја (ST_2) преко 1.4% и број истраживача (ST_3) испод 0.3% у односу на укупан број становника посматраних привреда. Највећа забележена вредност стандардне девијације је присутна код посматраног показатеља удео становништва са високим образовањем у укупном броју становника (ST_1).

Латентни конструкт ИКТ трговине подразумева посматрану варијаблу извоз комуникација, рачунара и осталих услуга ($ICTT_1$) као део БДП-а и минимална вредност ове посматране варијабле је забележена у Грчкој и прати је Кипар, док је минимална вредност увоза комуникација, рачунара и осталих услуга ($ICTT_2$) као део БДП-а забележена на Кипру. Минимална вредност извоза високе технологије ($ICTT_3$) као део БДП-а је пронађена у Црној Гори, док је минимална вредност увоза ИКТ робе ($ICTT_4$) забележена у Белорусији. Максимална вредност увоза ($ICTT_2$) и извоза ($ICTT_1$) комуникација, рачунара и осталих услуга је евидентирана у Ирској, док је максимална вредност извоза високе технологије ($ICTT_3$) у Мађарској. Увоз ИКТ робе ($ICTT_4$) бележи свој максимум у Мађарској и прати је Чешка. Посматрајући средње вредности ових посматраних варијабли у периоду од 2010. године до 2018. године,

учава се да је средња вредност извоза комуникација, рачунара и осталих услуга ($ICTT_1$) преко 40, док је увоз ($ICTT_2$) мањи и иде испод 40%. Средња вредност извоза високе технологије ($ICTT_3$) је око 4%, док је увоз ИКТ робе ($ICTT_4$) мањи од 7%. Стандардна девијација изражава своју највећу вредност код посматране варијабле увоз комуникација, рачунара и осталих услуга ($ICTT_2$).

Латентни конструкт глобализације посматра вредности варијабле учешће извоза земље у БДП-у ($Glob_1$) и учешће увоза земље ($Glob_2$) у БДП-у и минимум ове вредности је пронађен у Црној Гори, док је минимум извоза робе ($Glob_3$) као удео укупног извоза у привреде са високим дохотком пронађен у Белорусији и Црној Гори. Максимална вредност учешћа извоза ($Glob_1$) и увоза земље ($Glob_2$) у БДП-у евидентирана је у Немачкој, док је максим извоза робе у привреде са високим дохотком ($Glob_3$) забележен у Норвешкој. Уколико се посматрају средње вредности посматраних варијабли у периоду од 2010. године од 2018. године, средња вредност извоза ($Glob_1$) и увоза земаља ($Glob_2$) креће се око 1%, док извоз робе у земљама са високим дохотком ($Glob_3$) у односу на укупан извоз достиже преко 77%. Управо је код ове посматране варијабле ($Glob_3$) присутна највећа стандардна девијација у подацима.

Табела 6.17. Дескриптивна статистика истраживачког модела III

Посматрана варијабла	Минимум	Максимум	Ср. вредност	Стд. Дев.
Dig_1	9.60	44.78	28.42	7.95
Dig_2	31.80	98.14	74.96	14.17
Dig_3	91.90	187.42	124.27	17.70
ST_1	8.09	39.30	16.12	5.45
ST_2	0.22	3.71	1.47	0.89
ST_3	0.04	0.81	0.33	0.19
$ICTT_1$	3.58	79.77	41.35	15.40
$ICTT_2$	2.51	76.17	37.98	17.93
$ICTT_3$	0.10	16.12	4.09	3.67
$ICTT_4$	1.70	21.20	6.83	3.46
$Glob_1$	0.00	7.65	1.03	1.53
$Glob_2$	0.00	6.86	1.00	1.45
$Glob_3$	25.90	93.90	77.21	13.42
Број низова података	288			

Након анализираних дескриптивних статистика скупа података, приступа се корелационој анализи представљеној у табели 6.18. Обзиром да су подаци нелинеарне природе, приступа се порачуну Спирмановог коефицијента корелације. Спроведена корелациона анализа обухвата све посматране варијабле латентних конструката. Прво је анализирана корелациона веза између посматраних варијабли латентних конструката дигитализације, науке и технологије, трговине

Табела 6.18. Корелациона анализа истраживачког модела III

	<i>Glob</i> ₃	<i>Glob</i> ₂	<i>Glob</i> ₁	<i>ICTT</i> ₄	<i>ICTT</i> ₃	<i>ICTT</i> ₂	<i>ICTT</i> ₁	<i>ST</i> ₃	<i>ST</i> ₂	<i>ST</i> ₁	<i>Dig</i> ₃	<i>Dig</i> ₂	<i>Dig</i> ₁
<i>Dig</i> ₁	.40	.49	.52	.05	.27	.09	-.05	.67	.61	.59	-.01	.79	1
<i>Dig</i> ₂	.65	.47	.59	.22	.36	.17	-.00	.79	.68	.72	.05	1	
<i>Dig</i> ₃	-.08	-.09	-.10	.08	-.04	-.21	-.20	.01	-.00	.10	1		
<i>ST</i> ₁	.40	.28	.31	.07	.23	.00	-.08	.68	.50	1			
<i>ST</i> ₂	.57	.70	.71	.23	.41	.29	.13	.89	1				
<i>ST</i> ₃	.66	.62	.64	.21	.33	.18	.04	1					
<i>ICTT</i> ₁	.16	.21	.21	.14	.33	.79	1						
<i>ICTT</i> ₂	.24	.37	.37	.20	.39	1							
<i>ICTT</i> ₃	.54	.39	.39	.57	1								
<i>ICTT</i> ₄	.43	.26	.26	1									
<i>Glob</i> ₁	.62	.99	1										
<i>Glob</i> ₂	.59	1											
<i>Glob</i> ₃	1												

информационо-комуникационим технологијама и глобализације. Резултати корелационе анализе указују да је статистички најјача позитивна веза између учешћа извоза једне земље и издатака за истраживање и развој ($\rho = 0.71, p < 0.05$), као и учешћа увоза једне земље и издатака за истраживање и развој ($\rho = 0.70, p < 0.05$). Из резултата се може закључити да на основу корелационе анализе, развој глобализације зависи од улагања у истраживање и развој. Док извоз робе у земљама са високим дохотком остварује најјачу позитивну и статистички значајну корелацију са бројем истраживача ($\rho = 0.66, p < 0.05$). Уколико се посматра корелација између посматраних варијабли различитих латентних конструктора мора се нагласити јака

позитивна и статистички значајна корелација између броја претплата на фиксни телефон и удела становништва са високим образовањем ($\rho = 0.59$, $p < 0.05$) и броја претплата на фиксни телефон и броја истраживача ($\rho = 0.67$, $p < 0.05$). Са друге стране може се видети јака позитивна и статистички значајна веза између броја корисника интернета и удела становништва са високим образовањем ($\rho = 0.72$, $p < 0.05$), и броја корисника интернета и броја истраживача ($\rho = 0.79$, $p < 0.05$).

Наредни корак у анализи истраживачког модела III се огледа у примени PLS-SEM методологије за формирање структурног модела, тестирање постављених хипотеза из теоријског оквира и упоређивање резултата PLS-SEM модела за привреде са различитим степеном развијености привреде. Анализа је спроведена употребом софтверског пакета SmartPLS 4. Иницијални корак у анализи је прорачун спољних оптерећења посматраних варијабли које су обухваћене моделом. У табели 6.19 дате су вредности спољних оптерећења које прелазе праг толеранције од 0.708 (Hair et al., 2017), средње вредности посматраних варијабли, вредности стандардне девијације и значајност спољних оптерећења. Увидом у табелу може се донети закључак да су сва спољна оптерећења статистички значајна ($p < 0.05$) те да се припадајуће посматране варијабле интегришу у даље истраживање.

Табела 6.19. Спољна оптерећења у истраживачком моделу III

Посматрана варијабла	Оригинални узорак	Ср. вредност	Стд. дев.	t - стат.	Значајност
<i>Dig</i> ₁	0.834	0.835	0.019	44.878	0.000
<i>Dig</i> ₂	0.927	0.928	0.009	103.538	0.000
<i>Dig</i> ₃	0.886	0.887	0.017	51.538	0.000
<i>ST</i> ₁	0.870	0.870	0.014	60.844	0.000
<i>ST</i> ₂	0.925	0.925	0.007	142.011	0.000
<i>ST</i> ₃	0.965	0.966	0.004	270.940	0.000
<i>ICTT</i> ₁	0.876	0.876	0.014	64.018	0.000
<i>ICTT</i> ₂	0.876	0.875	0.018	49.950	0.000
<i>ICTT</i> ₃	0.772	0.772	0.019	40.801	0.000
<i>ICTT</i> ₄	0.836	0.837	0.019	44.257	0.000
<i>Glob</i> ₁	0.784	0.786	0.014	57.473	0.000
<i>Glob</i> ₂	0.786	0.787	0.014	57.575	0.000
<i>Glob</i> ₃	0.825	0.825	0.008	100.250	0.000

Приликом процене конструктне поузданости и валидности модела употребљене су мере Cronbach alpha, композитна поузданост и просечна извучена варијанса (енг. Average Variance Extracted - AVE). Резултати прорачуна приказани су у табели 6.20 и показују да вредности Cronbach alpha прелазе праг толеранције од 0.7 (Cronbach, 1951; Cohen, 1988). Постигнута је композитна поузданост ($CR > 0.8$) у односу на праг толеранције од 0.7 (Tan et al., 2014). Даље, све вредности AVE испуњавају доњу границу вредности од 0.5 (Hair et al., 2019) и закључује се да су сви латентни конструкти оцењени као конструктно поуздани и валидни.

У оцени дискриминантне валидности коришћена је метода по Fornell-Larcker критеријуму. У табели 6.21 дати су резултати оцене дискриминантне валидности по

овом критеријуму. Увидом у табеле може се закључити да је постигнута дискриминантна валидност по Fornell-Larcker критеријуму (Fornell & Larcker, 1981).

Табела 6.20. Конструктна поузданост и валидност истраживачког модела III

Латентни конструкт	Cronbach alpha (α)	Композитна позданост	Просечна извучена варијанса (AVE)
Дигитализација	0.859	0.914	0.781
Наука и технологија	0.910	0.944	0.849
ИКТ трговина	0.862	0.906	0.707
Глобализација	0.772	0.841	0.638

Табела 6.21. Дискриминантна валидност по Fornell-Larcker критеријуму истраживачког модела III

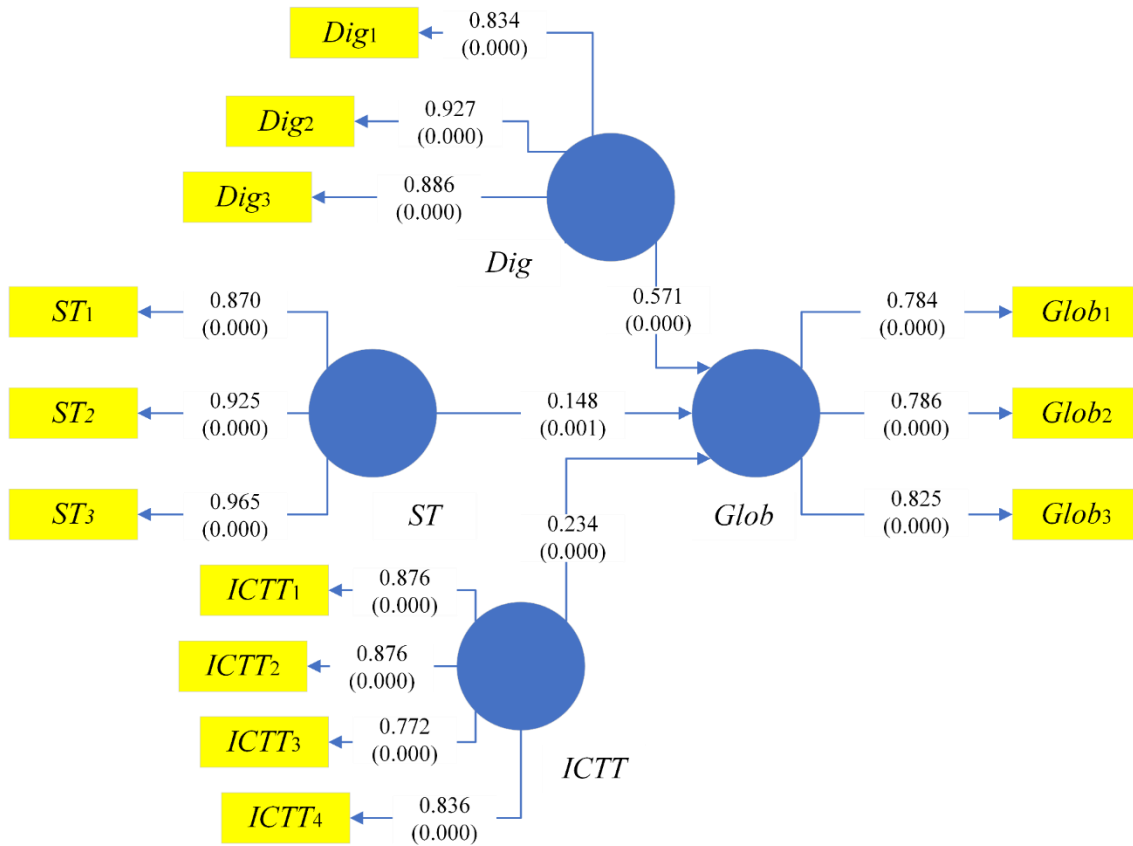
Латентни конструкт	Дигитализација	Наука и технологија	ИКТ трговина	Глобализација
Дигитализација	0.883			
Наука и технологија	0.794	0.921		
ИКТ трговина	0.611	0.565	0.841	
Глобализација	0.832	0.734	0.667	0.799

Прорачуном коефицијента детерминације (R^2) извршена је процена тачности предикције модела. У овом случају добијена вредност коефицијента детерминације износи $R^2 = 0.740$, што указује на квалитетан модел за предикцију. Вредност коефицијента детерминације указује на то да 74% варијабилитета латентног конструкта глобализације може бити објашњено латентним конструктима дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама. Након тога врши се прорачун коефицијената пута структурног модела и резултати структурног модела су приказани у табели 6.22. На основу ових резултата врши се тестирање постављених хипотеза и уочава се да су све хипотезе потврђене. Хипотеза X_6 која гласи да фактори дигитализације имају позитиван утицај на развој глобализације је прихваћена са вредношћу коефицијента пута (стандардизованог коефицијента регресије) $\beta = 0.571$ и статистичком значајношћу од $p = 0.000$. Хипотеза X_7 која гласи да фактори науке и технологије имају позитиван утицај на развој глобализације је такође прихваћена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.148$ и статистичком значајношћу од $p = 0.001$. Следећа хипотеза X_8 која гласи да фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на развој глобализације је прихваћена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.234$ и статистичком значајношћу од $p = 0.000$.

Табела 6.22. Бутстрапинг резултат за укупан скуп података истраживачког модела III

Хипотеза	Структурни пут	Коефицијент пута	t - стат.	Значајност	Одлука
X_6	$Dig \rightarrow Glob$	0.571	11.363	0.000	Потврђено
X_7	$ST \rightarrow Glob$	0.148	3.225	0.001	Потврђено
X_8	$IKTT \rightarrow Glob$	0.234	7.863	0.000	Потврђено

Дијаграм на слици 6.12 графички приказује структурни модел PLS-SEM на примеру истраживачког модела III.



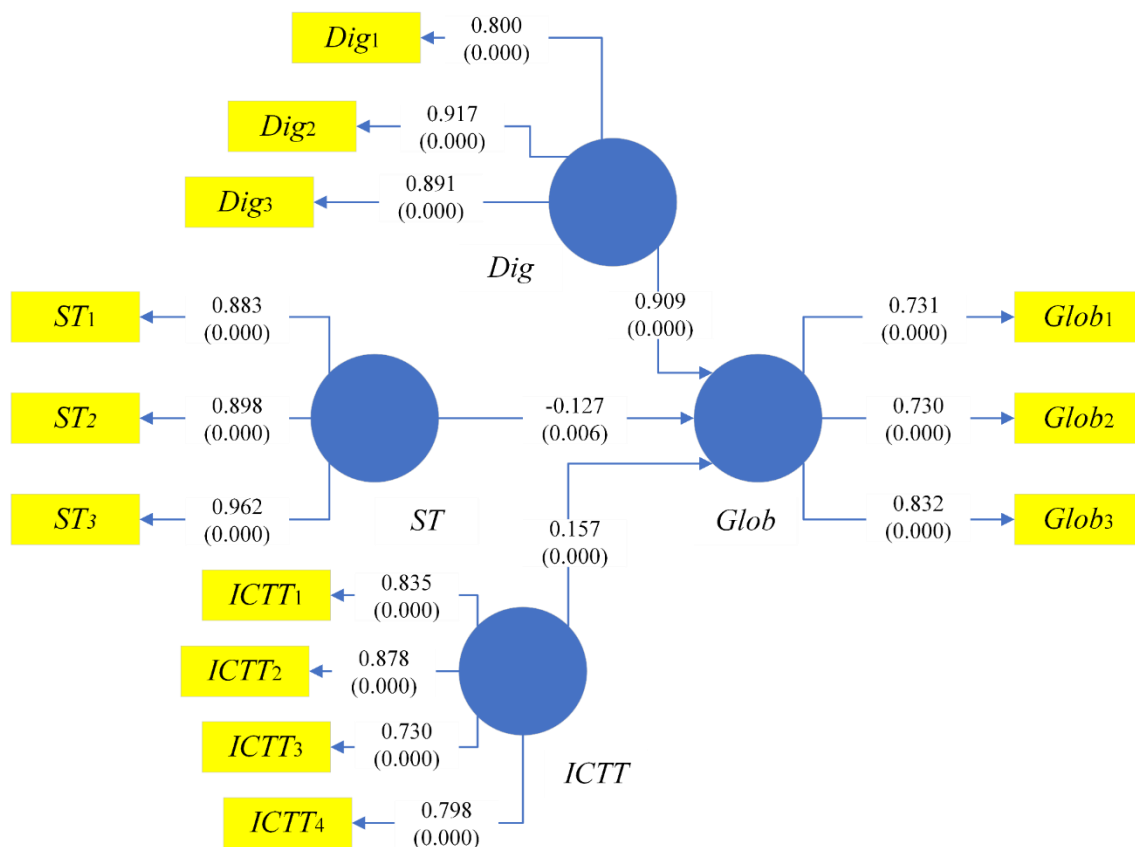
Слика 6.12. PLS-SEM структурни модел за истраживачки модел III

Након извршеног тестирања хипотеза над 32 посматране привреде извршена је класификација земаља по EBRD извештају (EBRD, 2021) и оне су подељене на тржишне привреде и транзиционе привреде зарад испитивања разлика између група привреда. У односу на веома честу поделу привреда на развијене земље и земље у развоју, ова подела се осврће само на економски и политички карактер земље док подела према развијености обухвата шири аспект друштва и привреде (Nielsen, 2011). Резултати структурног модела за тржишне привреде дати су у табели 6.23 и графички представљени на слици 6.13. На темељу ових резултата врши се тестирање постављених хипотеза и уочава се да су хипотезе X_{6a} и X_{8a} потврђене, док је хипотеза X_{7a} одбачена. Хипотеза X_{6a} која гласи да фактори дигитализације имају позитиван утицај на развој глобализације у тржишним привредама је прихваћена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.909$ и статистичком значајношћу од $p = 0.000$. Хипотеза X_{7a} која гласи да фактори науке и технологије имају позитиван утицај на развој глобализације у тржишним привредама је одбачена са негативном вредношћу коефицијента пута $\beta = -0.127$ и статистичком значајношћу од $p = 0.006$ што указује да фактори науке и технологије имају негативан утицај на развој глобализације у тржишним привредама. Наредна хипотеза X_{8a} која гласи да фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на

развој глобализације у тржишним привредама је прихваћена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.157$ и статистичком значајношћу од $p = 0.000$.

Табела 6.23. Бутстрапинг резултат за тржишне привреде истраживачког модела III

Хипотеза	Структурни пут	Коефицијент пута	t - стат.	Значајност	Одлука
X_{6a}	$Dig \rightarrow Glob$	0.909	20.149	0.000	Потврђено
X_{7a}	$ST \rightarrow Glob$	-0.127	2.728	0.006	Одбачено
X_{8a}	$ICTT \rightarrow Glob$	0.157	4.287	0.000	Потврђено



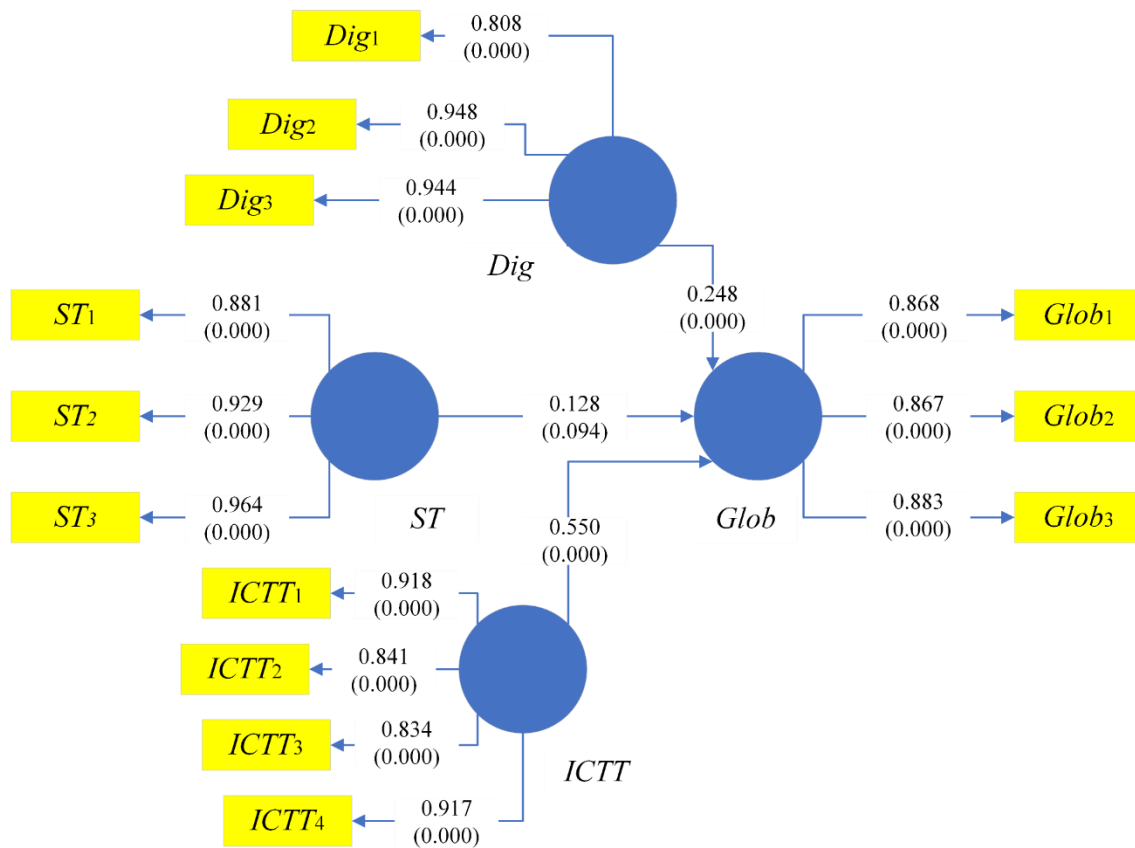
Слика 6.13. Мулти-групни PLS-SEM модел за тржишне привреде истраживачког модела III

Исти поступак је спроведен за транзиционе привреде и резултати коефицијента пута структурног модела приказани су у табели 6.24 и илустровани су на слици 6.14. Резултати структурног модела за транзиционе привреде потврђују да су хипотезе X_{66} и X_{86} потврђене, док је хипотеза X_{76} одбачена. Хипотеза X_{66} која гласи да фактори дигитализације имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама је прихваћена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.248$ и статистичком значајношћу од $p = 0.000$. Хипотеза X_{76} која гласи да фактори науке и технологије имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама је одбачена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.128$ и статистичком

значајношћу од $p = 0.094$ указујући да фактори науке и технологије немају статистички значајан утицај на развој глобализације у транзиционим привредама. Хипотеза X_{86} која гласи да фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама је прихваћена са вредношћу коефицијента пута $\beta = 0.550$ и статистичком значајношћу од $p = 0.000$.

Табела 6.24. Бутстрапинг резултат за транзиционе привреде истраживачког модела III

Хипотеза	Структурни пут	Коефицијент пута	t - стат.	Значајност	Одлука
X_{66}	$Dig \rightarrow Glob$	0.248	3.637	0.000	Потврђено
X_{76}	$ST \rightarrow Glob$	0.128	1.674	0.094	Одбачено
X_{86}	$IKTT \rightarrow Glob$	0.550	11.909	0.000	Потврђено



Слика 6.14. Мулти-групни PLS-SEM модел за транзиционе привреде истраживачког модела III

Како би се приступило мулти-групној анализи утврђује се статистички значајна разлика између коефицијената пута за две предложене групе. PLS-SEM мулти-групна анализа не поставља услов једнакости група за упоређивање, већ само да је минимална величина узорка 30 (Hair et al., 2023). Резултати прорачуна инваријантности мерења дати су у табели 6.25. Поступак процене инваријантности

је спроведен употребом MICOM анализе. Резултати указују да је постигнута делимична инваријантност мерења и да се може приступити мулти-групној анализи.

Табела 6.25. Резултати MICOM анализе истраживачког модела III

Латентни конструкт	Структурна инваријантност	$c = 1$	5% квартал		Измерена парцијална инваријантност
			C_u	пермутација p -вредности	
Дигитализација	Да	1.000	1.000	0.266	Да
Наука и технологија	Да	1.000	1.000	0.227	Да
ИКТ трговина	Да	1.000	0.998	0.624	Да
Глобализација	Да	0.999	0.998	0.057	Да

Финални резултати мулти-групне PLS-SEM анализе приказани у табели 6.26 процењени су на основу параметарског теста и Welch-Satterthwait теста. Оба теста потврђују статистички значајну разлику ($p < 0.05$) између дефинисаних коефицијената пута тржишних и транзиционих привреда. Тиме се потврђује хипотеза H_9 која гласи да постоји статистички значајна разлика између тржишних и транзиционих привреда у виду утицаја дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на развој глобализације.

Табела 6.26. Мулти-групна анализа према параметарском тесту и Welch-Satterthwait тесту за истраживачки модел III

Однос	Коефицијент пута	Параметарски тест		Welch-Satterthwait тест	
		t - стат.	значајност	t - стат.	значајност
$Dig \rightarrow Glob$	0.660	8.424	0.000	8.236	0.000
$ST \rightarrow Glob$	-0.256	2.967	0.003	2.897	0.004
$IKTT \rightarrow Glob$	-0.393	7.015	0.000	6.926	0.000

Приступ моделовања има за циљ боље разумевање и идентификацију веза између латентних конструката одрживости који имају утицаја на латентни конструкт дигитализације и њен развој. Моделовањем се врши и анализа веза посматраних варијабли међу којима се проналазе технолошки латентни конструкти који утичу на развој латентног конструкта глобализације. У том поступку врши се идентификација значајних утицаја који обликују динамику развоја дигитализације и глобализације. У наредном поглављу биће представљена дискусија резултата моделовања и извршиће се компаративна анализа са резултатима постојећих релевантних истраживања.

7. ДИСКУСИЈА

У овом поглављу биће разматрани резултати представљени у истраживачком делу дисертације са нагласком на конкретне моделе истраживања I, II, и III. Дискусија обухвата компарацију показатеља перформанси употребљене методологије како би се утврдила прецизност формираних модела. Даље, биће дато појашњење најважнијих интеракција међу посматраним показатељима и научна сазнања биће упоређена са релевантним истраживањима у савременој литератури како би се утврдило слагање добијених резултата.

Модел I. Истраживачки резултати модела I указују на постојање статистички значајног утицаја социјалних, економских, енергетских и фактора животне средине на развој дигитализације. Групе фактора које су саставни део овог модела селектоване су према концепту стубова одрживости и тако покривају најважније области друштва и привреде које условљавају будући развој дигиталног друштва. Мотивација за избор ових показатеља пронађена је у литературном недостатку у коме се најчешће проучава утицај индивидуалних група фактора на дигитални развој, док већи број истраживачких студија испитује утицај дигиталног развоја на различите групе фактора. Холистички приступ са предложеним групама фактора и показатељима који су обухваћени овим истраживачким моделом није пронађен у литератури према најбољем сазнању аутора.

Компарацијом резултата метода нелинеарне полиномске регресије трећег степена и ANN на истраживачком моделу I дошло се је до сазнања да су предикционе перформансе оба модела веће од 90%. Та вредност указује да су формирани модели високог квалитета и поузданости и да је предложени оквир за истраживање развоја дигитализације одговарајући. Већу предикциону способност исказује модел ANN. Према ANN моделу, економски показатељ БДП има главну улогу у диктирању темпа развоја дигитализације у друштву те да економски развој једне привреде подржава њен дигитални развој, јер постојање веће количине финансијских средстава омогућава напредак друштва и индустрије. Истраживања потврђују да економски развијена привреда пружа неопходну инфраструктуру, улагање у дигитални развој и образовање и тиме свеобухватно подстиче употребу дигиталне технологије међу својим становништвом (Bloom et al., 2012; Sharma & Vanerjee, 2022). ANN модел проналази најмању значајност издатака за истраживање и развој на дигитални развој. Резултати истраживања су делимично објашњени у литератури на тај начин што постоји мноштво других фактора који имају јачи утицај на усвајање дигиталне технологије у односу на активности истраживања и развоја као што су сигурност технологије која се нуди, и управљање процесом усвајања дигиталне технологије (Priyadarshinee et al., 2017). До слабијих резултата овог показатеља могло је доћи услед претренираности неуронске мреже што условљава чињеницу да је модел превише прилагођен подацима и не учува појаву специфичности података (Abraham, 2005). У прилог томе говоре резултати модела нелинеарне полиномске регресије на скупу за валидацију где је показатељ издатака за истраживање и развој означен као веома важан за дигитални развој. Налази нелинеарне полиномске регресије потврђени су у налазима постојећих истраживања многобројних аутора

(Lera-López et al., 2011; Arvin & Pradhan, 2014; Pradhan et al., 2017; Vu et al., 2020; Nair et al., 2020).

ANN модел примењен на истраживачком моделу I наглашава утицај потрошње електричне енергије за потребе индустријских активности и емисије штетних гасова из производње електричне енергије на дигитални развој. Повећана потрошња електричне енергије у сектору индустрије условљена је правцима развоја индустријског сектора који се окрећу ка индустрији 4.0. Индустрија 4.0 карактеристична је по веома значајној улози технологије у производним процесима која у великој мери замењује рад човека (Benitez et al., 2023). Да би се процес производње у индустрији 4.0 покренуо потребне су веће резерве електричне енергије, што говори о повезаности потрошње електричне енергије у индустријском сектору са дигиталним развојем. Релевантна истраживања потврђују да је сигурно снабдевање електричном енергијом битан фактор дигиталног развоја што се огледа у истраживачким налазима који потврђују повећану потрошњу електричне енергије у подручјима где се интензивније користе дигитални уређаји (Nishida et al., 2014; Houngronon et al., 2021). Повећана потражња за енергетским ресурсима, у овом случају за електричном енергијом, задовољава се већом производњом електричне енергије. Ово за последицу има и већу емисију штетних гасова које деградирају животну средину, јер су у Европи конвенционални извори за производњу електричне енергије и даље главни извор енергије. Добијени резултати су у складу са постојећим истраживањима која потврђују повећање емисије штетних гасова у односу на развој ИКТ сектора (Ma et al., 2022). Моделом нелинеарне полиномске регресије истиче се негативан утицај енергетске интензивности на дигитални развој што указује да је смањење енергетске интензивности повезано са повећањем дигиталног развоја. Ово говори у прилог дигиталном развоју којим се, уз стварање и развој технологије новије генерације утиче на енергетску потрошњу ове технологије. Резултати истраживања других аутора су у складу са добијеним резултатима овог модела јер указују на значај енергетске интензивности технологије новије генерације (Andrae, 2020).

Модел II. Истраживачки модел II је креиран према сличном концепту одрживости као и истраживачки модел I, с тим што се разлика у моделима јавља у избору показатеља група фактора и методологији моделовања. Још једна разлика у односу на модел I је формирање структурног модела са већим бројем излазних варијабли које је немогуће моделовати применом регресије и ANN. У складу са тим изабрана је методологија PLS-SEM која нема ограничење броја излазних варијабли и методологија ANN. Према примењеној методологији PLS-SEM, резултати истраживачког модела II потврдили су постојање статистички значајног позитивног утицаја образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације. У PLS-SEM моделу се највећа важност придаје образовним факторима, док је важност економских фактора мало ниже вредности. Резултат указује на позитиван значај улагања у образовање становништва што за последицу има фреквентнију употребу дигиталне технологије и постојање вештина које су потребне за употребу дигиталних уређаја. Позитиван утицај образовања на развој дигитализације потврдили су многобројни аутори кроз истраживања (Vicente & López, 2006; Kovačić & Vukmirović, 2008; Saidi & Mongi, 2018; Martínez-Domínguez

& Mora-Rivera, 2020). Уз образовање, веома важан фактор у развоју дигитализације је доходак становништва што је и очекивани резултат истраживања. Становништво са већим дохотком има другачији животни стил у односу на становништво са нижим дохотком и може себи да приушти приступ интернету, већи број дигиталних уређаја, и тиме допринесе развоју дигитализације. У досадашњим истраживањима пронађени су емпиријски докази који потврђују позитиван утицај дохотка на развој дигитализације (Chinn & Fairlie, 2010; Njangang et al., 2022; Sharma & Banerjee, 2022). Резултати PLS-SEM модела потврдили су значајан утицај улагања у истраживање и развој на развој дигитализације, што је потврђено и у претходном истраживачком моделу I. Вођен образовним и економским факторима, развој дигитализације је под слабијим утицајем енергетских фактора који обухватају производњу електричне енергије из фосилних и обновљивих извора енергије. Разлог томе може бити континуирано побољшање енергетске ефикасности дигиталне технологије која остварује смањену потрошњу енергетских ресурса. Што је потврђено у литератури (Aslan et al., 2018). Снабдевање електричном енергијом осигурава употребу дигиталне технологије и подржава њен даљи развој. У литератури се могу наћи релевантна истраживања која потврђују позитиван утицај сигурног снабдевања електричном енергијом на развој употребе дигиталне технологије и дигитализације (Nishida et al., 2014; Armev & Hosman, 2016; Kouton, 2019; Hounghonon et al., 2021). Када се говори о еколошком утицају на развој дигитализације, PLS-SEM модел показује негативан утицај ових фактора на дигитални развој. Овде се пре свега мисли на утицај испуштања емисије угљен-диоксида у атмосферу чиме се врши загађење животне средине. Негативна веза указује да је смањење емисије штетних гасова повезано са повећаном дигитализацијом. Услед проблема загађења животне средине испуштањем полутаната, новији трендови у развоју дигиталне технологије се заснивају на смањењу енергетске интензивности дигиталних уређаја. Тиме се директно утиче на смањење емисије штетних гасова које су повезане са употребом паметних уређаја чији број све више расте. Да би се овај тренд наставио, потребно је улагати у област истраживања и развоја како би се у будућности креирали иновативнији и ефикаснији ИКТ уређаји који користе чисте изворе енергије за свој рад и тиме поспешили борбу ка одрживом дигиталном развоју друштва. Смањење емисије штетних гасова у вези са повећаном дигитализацијом истраживали су и многи други аутори (Moyer & Hughes, 2012; Shahbaz et al., 2014; Batool et al., 2022; Godil et al., 2020; Ulucak et al., 2020). Ови аутори дискутују да се смањење емисије штетних гасова повезује са дигитално развијеним подручјима.

Резултати ANN методе примењене на истраживачком моделу II указују на јак утицај економских фактора на развој дигитализације којег прате образовни фактори. Резултати ANN су потврђени у истраживању које указује на значај технолошких иновација у прихватању дигиталних услуга (Raut et al., 2018). Као и у истраживању других аутора који закључују да фактори технолошког, организационог, социокултурног порекла и фактори окружења утичу на усвајање дигиталне технологије (Higan & Dadhich, 2024). Еколошки и енергетски фактори такође остварују свој удео у утицају на развој дигитализације. Потреба за јачањем свести о одрживости употребе вештачке интелигенције тема је истраживања разних аутора (Strubell et al., 2019; Ligozat et al., 2021; Van Wynsberghe, 2021) који потврђују последице које њена употреба оставља на животну средину и употребу енергије. Рад из 2016. године

такође потврђује утицај распложивости енергетских ресурса на брзину развоја дигитализације (Armeu & Hosman, 2016). Поређењем резултата добијених PLS-SEM методом и ANN методом може се потврдити неслагање у рангирању јачине утицаја фактора на развој дигитализације. Али се може потврдити предност образовних и економских фактора према обема методама у односу на остале факторе битне за дигитални развој.

Модел III. Истраживачки модел III је креиран као наставак теоријског и емпиријског оквира утицаја дигиталног развоја на друге глобалне феномене што је у овом случају глобализација. Да би се теоријска поставка модела допунила релевантним факторима у области дигитализације, изабране су технолошке групе фактора дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама. Разлог интегрисања фактора науке и технологије је тај јер без технолошког развоја нема ни развоја дигитализације што значи да су ова два фактора у нераскидивој вези. Док је укључивање фактора трговине информационо-комуникационим технологијама било од значаја, јер је трговина веома важна димензија у развоју глобализације, а истовремено дотиче и тему дигитализације кроз увоз и извоз ових производа и услуга на међународном тржишту. Да би се интеракција ових фактора са равојем глобализације испитала и формирали што прецизнији модели, у истраживање је употребљена класификација држава према EBRD подели привреда на тржишне и транзиционе. Разлог томе је очигледан недостатак литературе која укључује ову поделу у истраживању, због чега се јавља недостатак резултата истраживања који указују на развој глобализације у овим привредама. Додатна мотивација за спровођење оваквог истраживања проналази се у значајној економској улози у развоју дигитализације која је пронађена у истраживачком моделу I, сходно томе, економски развој земаља се мора узети у обзир приликом спровођења истраживања, како би се креирали што прецизнији модели који су прилагођени економској ситуацији у којој се једна привреда налази.

Резултати PLS-SEM модела за укупан скуп земаља потврђују статистички значајан и позитиван утицај групе фактора дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на развој глобализације. У тим резултатима се јасно види важна улога коју фактори дигитализације имају на развој глобализације што је и очекивано јер дигитална технологија пружа подршку глобалној интеграцији кроз олакшану комуникацију и остале активности. Дигитална технологија повезује људе на бржи и једноставнији начин него у периоду пре настанка интернета што се може потврдити и у литератури (Isaksson et al., 2014). Фактори трговине информационо-комуникационим технологијама такође остварују позитиван утицај и повећање обима ове трговине доводи до повећаног развоја глобализације. Савремена истраживања подржавају ове налазе и говоре да интеграција дигиталне технологије у свим сферама друштва и економије подстиче развој глобалне трговине као једног од показатеља развоја глобализације (Simoes et al., 2021). Утицај фактора науке и технологије је од мањег значаја што може бити објашњено вредностима показатеља који бележе значајне разлике у посматраном скупу земаља.

Најважнији резултати мулти-групне анализе за тржишне привреде показују да фактори дигитализација и трговина информационо-комуникационим технологијама позитивно утичу на развој глобализације, док фактори науке и технологије имају изражен негативан утицај. Закључак да се са развојем науке и технологије смањује развој глобализације може се објаснити у литератури као задржавање знања у оквиру националних граница док се извози готов производ у виду технолошког решења. Истраживање из 2022. године потврђује значај развоја високотехнолошких производа на националном нивоу (Kafourous et al., 2022). Развијене земље теже да учествују на глобалном тржишту и извозе своје производе и услуге али спречавају трансфер знања у другим земљама и тиме штите своју глобалну конкурентност. Досадашњи приступ измештања индустријско-интензивних активности у виду директних страних инвестиција у земљама у развоју у којима су услови пословања повољнији за стране компаније полако мења свој карактер. Разлог томе је индустрија 4.0 која прати развој дигитализације и условљава аутоматизацију производних процеса (Simoes et al., 2021). Тиме се радна места која захтевају тежак физички рад људских ресурса замењују аутоматизованим радним местима где посао обављају машине (Simoes et al., 2021). Аутоматизација смањује оперативне трошкове производње чинећи производњу јефтинијом па се одлука компаније о измештању производње доводи у питање.

Резултати мулти-групне анализе за транзиционе земље, као и код тржишних земаља, указују на позитиван утицај фактора дигитализације и трговине информационо-комуникационим технологијама на развој глобализације. У транзиционим земљама, утицај трговине информационо-комуникационим технологијама је знатно већи у односу на утицај дигитализације, што је обрнут случај у тржишним земљама. Фактори науке и технологије бележе недостатак статистичке значајности везе са глобализацијом у транзиционим земљама. Показатељи фактора науке и технологије немају изражену улогу у развоју глобализације у транзиционим земљама из разлога што је економска развијеност ових земаља мања и мања су средства која су алоцирана у развој овог сектора. Досадашња истраживања потврђују да је улагање у активности истраживања и развоја битно утицало на учешће развијених земаља у токовима интернационалне трговине, док је услед недостатка средстава учешће земаља у развоју у глобалној трговини ограничено (Fofack, 2019). Слаб утицај дигитализације је такође примећен у транзиционим земљама и може се објаснити слабом инфраструктуром која подржава дигитални развој. У овим земљама је изражен утицај трговине информационо-комуникационим технологијама на развој глобализације услед постојања мултинационалних компанија које путем директних страних инвестиција уносе средства у земљу како би производиле своје производе и извезиле на инострану тржишта. Претходна истраживања потврђују утицај који транснационалне и мултинационалне компаније остварују на страном тржишту путем пласирања својих инвестиција (Voitau & Novikova, 2019).

Поређења ради, мулти-групном анализом се потврђује постојање разлика у утицају фактора дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на развој глобализације уколико се посматра EBRD класификација на тржишне и транзиционе земље. Највећу разлику у развоју глобализације у ове две групе земаља узрокује дигитални развој. Овакав резултат

потврђује значајност дигиталне технологије за развој глобализације. Подела која се примећује у земљама које тек усвајају дигиталну технологију утиче на интеграцију људи, производа и услуга са остатком света што је условљено недостатком дигиталне инфраструктуре и приступа интернету. Разна истраживања потврђују налазе овог истраживачког модела кроз идентификовање дигиталне технологије као кључне у развоју глобализације друштва засноване на дигиталним технологијама (Meltzer, 2014; Legner et al., 2017; Dufva & Dufva, 2019; Čorejová & Madudová, 2019).

У наредном поглављу представљени су најважнији закључци спроведеног истраживања и дефинисан је научни допринос дисертације. У оквиру закључка препозната су ограничења истраживачке студије и дефинисани су правци будућег истраживања.

8. ЗАКЉУЧАК

Дигитални развој је кључни предуслов за обликовање будућег развоја економије и стварања дигиталног друштва у 21. веку. Истраживање дигиталног развоја у овој дисертацији спроведено је на три истраживачка модела. У првом и другом истраживачком моделу испитиван је утицај различитих група фактора одрживости на развој дигитализације. Док је у трећем истраживачком моделу направљен искорак у истраживању које је проширено на тему утицаја технолошких фактора на развоја глобализације. Овим моделима пружа се увид у показатеље који остварују утицај на развој дигитализације и сазнања омогућавају оптимизацију избора параметара за мерење развоја дигитализације, с обзиром да јединствена мера за развој дигитализације не постоји.

Методолошки оквир за анализу развоја дигитализације користи комбинацију различитих метода машинског учења и статистичких техника. У ту сврху коришћене су нелинеарна полиномска регресија и ANN, као методе машинског учења, и метода PLS-SEM, као статистичка техника. За испитивање развоја глобализације користи се метода PLS-SEM и њена мулти-групна анализа (MGA).

Сходно постављеним истраживачким хипотезама и циљевима истраживања у теоријском делу дисертације, резултати се могу представити у виду следећих закључних налаза:

- Могуће је развити модел којим се мери утицај социјалних, економских, енергетских и фактора животне средине на развој дигитализације (X_0). Ова хипотеза је испитивана у истраживачком моделу I. Резултати примењених метода машинског учења нелинеарне полиномске регресије трећег степена указују на високу вредност перформанси предикције модела, чиме је хипотеза X_0 потврђена.
- Компарацијом резултата нелинеарне полиномске регресије и ANN на истраживачком моделу I, откривене су веће вредности предикције развоја дигитализације применом ANN модела.
- Хипотеза да је могуће развити модел којим се мери утицај образовних, економских, енергетских и еколошких фактора на развој дигитализације (X_1) је потврђена. Хипотеза је испитивана у истраживачком моделу II. Резултати методе PLS-SEM наглашавају високу вредност перформанси предикције модела са постојањем статистичке значајности на нивоу $p = 0.000$.
- Према резултатима истраживачког модела II откривено је да: образовни фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације (X_2); економски фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације (X_3); енергетски фактори имају позитиван утицај на развој дигитализације (X_4); еколошки фактори имају негативан утицај на развој дигитализације (X_5). Тестирање постављених хипотеза извршено је анализом резултата PLS-SEM који су

указали на њихов статистички значај од $p = 0.000$, чиме се може потврдити да су хипотезе X_2 , X_3 , X_4 и X_5 потврђене.

- Компарацијом вредности прорачунатих значајности фактора у истраживачком моделу II није утврђено слагање између рангова значајности фактора одрживости на развој дигитализације према методи PLS-SEM и ANN методи. Може се нагласити да обе методологије предност у рангирању дају образовним и економским факторима у односу на енергетске и еколошке факторе.
- Употребом ANN на истраживачком моделу I и истраживачком моделу II одређена је значајност показатеља и група фактора које остварују утицај на развој дигитализације.
- Спроведена анализа корелације на сва три истраживачка модела утврдила је статистички значајне везе између посматраних показатеља и наглашени су резултати.
- Према истраживачком моделу III, потврђено је да: фактори дигитализације имају позитиван утицај на развој глобализације (X_6); фактори науке и технологије имају позитиван утицај на развој глобализације (X_7); фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на развој глобализације (X_8). Тестирање хипотеза извршено је применом PLS-SEM методе, чиме су хипотезе X_6 , X_7 и X_8 потврђене.
- Резултати мулти-групне PLS анализе примењени на истраживачком моделу III потврђују следеће хипотезе: фактори дигитализације имају позитиван утицај на развој глобализације у тржишним привредама (X_{6a}); фактори дигитализације имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама (X_{6b}); фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на развој глобализације у тржишним привредама (X_{8a}); фактори трговине информационо-комуникационим технологијама имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама (X_{8b}).
- Са друге стране, резултати мулти-групне PLS анализе употребљени у истраживачком моделу III одбацују следеће хипотезе: фактори науке и технологије имају позитиван утицај на развој глобализације у тржишним привредама (X_{7a}); фактори науке и технологије имају позитиван утицај на развој глобализације у транзиционим привредама (X_{7b}).
- Мулти-групна PLS анализа је потврдила да постоји статистички значајна разлика између тржишних и транзиционих привреда у утицају дигитализације, науке и технологије и трговине информационо-комуникационим технологијама на развој глобализације (X_9) и тиме

оправдала употребу EBRD поделе привреда према економском развоју у истраживањима. Овим се потврђује хипотеза H_9 .

Први научни допринос остварен у овој дисертацији огледа се у формирању два оригинална статистичка модела за испитивање утицајних фактора на развој дигитализације и један оригинални статистички модел којим се испитује утицај дигитализације и осталих фактора на развој глобализације. Други научни допринос овог истраживања је примена методе нелинеарне полиномске регресије трећег степена у испитивању показатеља који утичу на развој дигитализације, што према сазнању аутора није примењено на истом или сличном моделу у области дигитализације. Ова метода је искоришћена јер њена регресиона једначина на најбољи начин осликава утицај испитиваних показатеља на развој дигитализације. Трећи научни допринос огледа се у јединственом избору група фактора и њихових показатеља којима се холистичким приступом кроз призму стубова одрживости анализира развој дигитализације. Тиме се стиче шира слика о разноврсним факторима који могу утицати на брзину развоја дигиталног друштва. Узимање у обзир утицаја енергетских фактора, који су праћени производњом електричне енергије из конвенционалних и обновљивих извора енергије и употребом електричне енергије у различитим секторима привреде и друштва, омогућава се анализа развоја дигитализације са аспекта обезбеђивања сигурног снабдевања овим ресурсом, који подржава развој дигитализације. Обезбеђивањем довољне количине енергетских ресурса из обновљивих и необновљивих извора енергије подржава се дигитализација друштва кроз омогућен приступ електричној енергији целокупној популацији. Тиме се смањује дигитална подела условљена доступним изворима енергије и омогућава одрживост дигитализације. Разматрањем утицаја еколошких фактора кроз праћење емисије штетних гасова и угљен-диоксида на развој дигитализације објашњава се начин на који се државе суочавају са изазовом загађења животне средине кроз развој политика и мера које на директан или индиректан начин усмеравају дигитални напредак. Четврти научни допринос се односи на проширење истраживачког оквира развоја дигитализације и обухвата анализу развоја глобализације кроз факторе дигитализације и остале факторе дефинисане у истраживачком моделу III. Овај модел истражује како дигитализација, наука и технологија и трговина информационо-комуникационим технологијама утичу на развој феномена глобализације применом мулти-групне анализе. Управо је подела земаља према EBRD из 2016. године на транзиционе и тржишне привреде допринела формирању наредног научног доприноса, јер је у литератури присутан недостатак истраживачких радова који глобализацију сагледавају према овој подели, већ је фокус истраживања на развијене земље и земље у развоју. Утврђене разлике између тржишних и транзиционих земаља у погледу развоја глобализације потврђују значајност спровођења истраживања према оваквој класификацији привреда.

Ограничења ове дисертације се првенствено проналазе у временском оквиру прикупљених података који је ограничен њиховим доступним изворима. Непотпуни подаци би утицали на квалитет и прецизност статистичких модела чиме би се умањила способност предикције те је истраживање вршено само за оне земље за које постоје потпуни подаци. Међутим, будућа истраживања би могла бити спроведена на подацима већег временског оквира. Наредно ограничење огледа се у избору

показатеља који су интегрисани у статистичким моделима. Будућа истраживања би могла обухватити показатеље који разматрају утицај политике, или питање сигурности података на брзину развоја дигитализације. Треће ограничење се огледа у употреби ИКТ индекса за мерење развоја дигитализације којег поједини аутори (Ali et al., 2019) сматрају неодговарајућим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abbasi, S., Kamran, S., & Akhtar, C. S. (2017). Factors affecting customers' adoption of internet banking in Pakistan. *Pakistan Administrative Review*, 1(2), 115-129.
2. Abraham, A. (2005). Artificial neural networks. *Handbook of measuring system design*.
3. Aburumman, O. J., Omar, K., Al Shbail, M., & Aldoghan, M. (2022, March). How to Deal with the Results of PLS-SEM? In *International Conference on Business and Technology* (pp. 1196-1206). Cham: Springer International Publishing.
4. Adeleye, B. N., Adedoyin, F., & Nathaniel, S. (2021). The criticality of ICT-trade nexus on economic and inclusive growth. *Information Technology for Development*, 27(2), 293-313.
5. Afawubo, K., Agbaglah, M., Couchoro, M. K., & Gbandi, T. (2017). Socioeconomic determinants of the mobile money adoption process: The case of Togo. *Cahier de recherche*, 17(03), 1-23.
6. Afzal, M. N. I., & Gow, J. (2016). Electricity consumption and information and communication technology (ict) in the n-11 emerging economies. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6(3), 381-388.
7. Agi, M. A., & Jha, A. K. (2022). Blockchain technology in the supply chain: An integrated theoretical perspective of organizational adoption. *International Journal of Production Economics*, 247, 108458.
8. Agrawal, R., Yadav, V. S., Majumdar, A., Kumar, A., Luthra, S., & Garza-Reyes, J. A. (2023). Opportunities for disruptive digital technologies to ensure circularity in supply Chain: A critical review of drivers, barriers and challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 109140.
9. Akcali, B. Y., & Sismanoglu, E. (2015). Innovation and the effect of research and development (R&D) expenditure on growth in some developing and developed countries. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 768-775.
10. Akinyemi, B. E., & Mushunje, A. (2020). Determinants of mobile money technology adoption in rural areas of Africa. *Cogent Social Sciences*, 6(1), 1815963.
11. Alderete, M. V. (2019). Examining the drivers of internet use among the poor: The case of Bahía Blanca city in Argentina. *Technology in society*, 59, 101179.
12. Alexandru, A., Ianculescu, M., Parvan, M., & Jitaru, E. (2007, November). ICT and its impact upon the globalization and accessibility of the education in the health domain. In *6th WSEAS international conference on education and educational technology, Italy* (Vol. 11, No. 21, pp. 287-291).
13. Alexopoulos, E. C. (2010). Introduction to multivariate regression analysis. *Hippokratia*, 14(Suppl 1), 23.
14. Alhumaid, K., Habes, M., & Salloum, S. A. (2021). Examining the factors influencing the mobile learning usage during COVID-19 Pandemic: An Integrated SEM-ANN Method. *Ieee Access*, 9, 102567-102578.
15. Allianz Global Investors (2010). *The sixth Kondratieff - long waves of prosperity*. https://www.allianz.com/content/dam/onemarketing/azcom/Allianz_com/migration/media/press/document/other/kondratieff_en.pdf

16. Almeshqab, F., & Ustun, T. S. (2019). Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 35-53.
17. Alraja, M. N., Hussein, M. A., & Ahmed, H. M. S. (2021). What affects digitalization process in developing economies? An evidence from SMEs sector in Oman. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10(1), 441-448.
18. Anand, R., Kochhar, M. K., & Mishra, M. S. (2015). *Make in India: which exports can drive the next wave of growth?* International Monetary Fund.
19. Anderson, D., & McNeill, G. (1992). Artificial neural networks technology. *Kaman Sciences Corporation*, 258(6), 1-83.
20. Andrews, D., Nicoletti, G., & Timiliotis, C. (2018). Digital technology diffusion: A matter of capabilities, incentives or both?
21. Antonelli, C., & Tubiana, M. (2023). The rate and direction of technological change and wealth and income inequalities in advanced countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122508.
22. Appiah-Otoo, I., & Song, N. (2021). The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries. *Telecommunications Policy*, 45(2), 102082.
23. Apulu, I., & Ige, E. O. (2011). Are Nigeria SMEs Effectively Utilizing ICT. *International Journal of Business and Management*, 6(6), 207-214.
24. Archontoulis, S. V., & Miguez, F. E. (2015). Nonlinear regression models and applications in agricultural research. *Agronomy Journal*, 107(2), 786-798.
25. Arendt, L. (2008). Barriers to ICT adoption in SMEs: how to bridge the digital divide? *Journal of systems and information technology*, 10(2), 93-108.
26. Arney, L. E., & Hosman, L. (2016). The centrality of electricity to ICT use in low-income countries. *Telecommunications Policy*, 40(7), 617-627.
27. Arvin, B. M., & Pradhan, R. P. (2014). Broadband penetration and economic growth nexus: Evidence from cross-country panel data. *Applied Economics*, 46(35), 4360-4369.
28. Arvin, M. B., Pradhan, R. P., & Nair, M. (2021). Uncovering interlinks among ICT connectivity and penetration, trade openness, foreign direct investment, and economic growth: The case of the G-20 countries. *Telematics and Informatics*, 60, 101567.
29. Aslan, J., Mayers, K., Koomey, J. G., & France, C. (2018). Electricity intensity of internet data transmission: Untangling the estimates. *Journal of industrial ecology*, 22(4), 785-798.
30. Asuero, A. G., Sayago, A., & González, A. G. (2006). The correlation coefficient: An overview. *Critical reviews in analytical chemistry*, 36(1), 41-59.
31. Attiany, M., Al-kharabsheh, S., Abed-Qader, M., Al-Hawary, S., Mohammad, A., & Rahamneh, A. (2023). Barriers to adopt industry 4.0 in supply chains using interpretive structural modeling. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(1), 299-306.
32. Awang Y. (2014). *A handbook on structural equation modeling 2nd edition*. MPWS Rich Resources.
33. Azmeh, S., Foster, C., & Echavarri, J. (2020). The international trade regime and the quest for free digital trade. *International Studies Review*, 22(3), 671-692.
34. Bai, Y., Liu, Y., & Yeo, W. M. (2022). Supply chain finance: What are the challenges in the adoption of blockchain technology? *Journal Of Digital Economy*, 1, 153-165.

35. Banks, J. (1998). Principles of simulation. *Handbook of simulation*, 12, 3-30. John Wiley & Sons.
36. Bartholomew, D. J., Knott, M., & Moustaki, I. (2011). *Latent variable models and factor analysis: A unified approach* (Vol. 904). John Wiley & Sons.
37. Bastida, L., Cohen, J. J., Kollmann, A., Moya, A., & Reichl, J. (2019). Exploring the role of ICT on household behavioural energy efficiency to mitigate global warming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 455-462.
38. Batool, Z., Raza, S. M. F., Ali, S., & Abidin, S. Z. U. (2022). ICT, renewable energy, financial development, and CO₂ emissions in developing countries of East and South Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(23), 35025-35035.
39. Bayo-Moriones, A., & Lera-López, F. (2007). A firm-level analysis of determinants of ICT adoption in Spain. *Technovation*, 27(6-7), 352-366.
40. Beavers, A. S., Lounsbury, J. W., Richards, J. K., Huck, S. W., Skolits, G. J., & Esquivel, S. L. (2019). Practical considerations for using exploratory factor analysis in educational research. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 18(1), 6.
41. Benitez, G. B., Ghezzi, A., & Frank, A. G. (2023). When technologies become Industry 4.0 platforms: Defining the role of digital technologies through a boundary-spanning perspective. *International Journal of Production Economics*, 260, 108858.
42. Bewick, V., Cheek, L., & Ball, J. (2003). Statistics review 7: Correlation and regression. *Critical care*, 7, 1-9.
43. Bhagwati, J. N., & Srinivasan, T. N. (1975). *Foreign trade regimes and economic development: India* (No. bhag75-1). National Bureau of Economic Research.
44. Bhabosale, S., Pujari, V., & Multani, Z. (2020). Advantages and disadvantages of artificial intelligence. *Aayushi International Interdisciplinary Research Journal*, 77, 227-230.
45. Bildirici, M. E., Castanho, R. A., Kayıkçı, F., & Genç, S. Y. (2022). ICT, energy intensity, and CO₂ emission nexus. *Energies*, 15(13), 4567.
46. Bindroo, V., Mariadoss, B. J., & Pillai, R. G. (2012). Customer clusters as sources of innovation-based competitive advantage. *Journal of International Marketing*, 20(3), 17-33.
47. Bishop, C. M., & Nasrabadi, N. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*, 4(1), 738). New York: Springer.
48. Bitsanis, I. A., & Ponis, S. T. (2022). The Determinants of Digital Transformation in Lean Production Systems: A Survey. *European Journal of Business and Management Research*, 7(6), 227-234.
49. Bloom, N., Sadun, R., & Reenen, J. V. (2012). Americans do IT better: US multinationals and the productivity miracle. *American Economic Review*, 102(1), 167-201.
50. Brodny, J., & Tutak, M. (2021). Assessing the level of digitalization and robotization in the enterprises of the European Union Member States. *Plos one*, 16(7), e0254993.
51. Bughin, J., Seong, J., Manyika, J., Chui, M., & Joshi, R. (2018). Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy. *McKinsey Global Institute*, 4.
52. Carbonell, J. G., Michalski, R. S., & Mitchell, T. M. (1983). An overview of machine learning. *Machine learning*, 3-23.

53. Cheah, J. H., Amaro, S., & Roldán, J. L. (2023). Multigroup analysis of more than two groups in PLS-SEM: A review, illustration, and recommendations. *Journal of Business Research*, 156, 113539.
54. Cheah, J. H., Thurasamy, R., Memon, M. A., Chuah, F., & Ting, H. (2020). Multigroup analysis using SmartPLS: Step-by-step guidelines for business research. *Asian Journal of Business Research*, 10(3), I-XIX.
55. Cheng, X., Khomtchouk, B., Matloff, N., & Mohanty, P. (2018). *Polynomial regression as an alternative to neural nets*. arXiv preprint arXiv:1806.06850.
56. Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern methods for business research*, 295(2), 295-336.
57. Chin, W. W. (2003a, September). A permutation procedure for multi-group comparison of PLS models. In *PLS and related methods: proceedings of the international symposium PLS* (Vol. 3, No. 1, pp. 33-43).
58. Chin, W.W. (2003b), PLS-Graph, University of Houston, Houston, TX.
59. Chinn, M. D., & Fairlie, R. W. (2007). The determinants of the global digital divide: a cross-country analysis of computer and internet penetration. *Oxford economic papers*, 59(1), 16-44.
60. Chinn, M. D., & Fairlie, R. W. (2010). ICT use in the developing world: an analysis of differences in computer and internet penetration. *Review of International Economics*, 18(1), 153-167.
61. Cho, J., DeStefano, T., Kim, H., Kim, I., & Paik, J. H. (2023). What's driving the diffusion of next-generation digital technologies? *Technovation*, 119, 102477.
62. Cirillo, V., Fanti, L., Mina, A., & Ricci, A. (2023). The adoption of digital technologies: Investment, skills, work organisation. *Structural Change and Economic Dynamics*, 66, 89-105.
63. Civelek, M. E. (2018). *Essentials of structural equation modeling*. Lulu. com.
64. Climate Watch (2020). *Database*. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2020&start_year=1990
65. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 12 Lawrence Erlbaum Associates Inc. Hillsdale, NJ, USA, 13.
66. Coolidge, F. L. (2012). *An introduction to correlation and regression*. In *Statistics: A Gentle Introduction* (pp. 211-267). SAGE.
67. Corcoran, P., & Andrae, A. (2013). Emerging trends in electricity consumption for consumer ICT. *National University of Ireland, Galway, Connacht, Ireland, Tech. Rep.*
68. Čorejová, T., & Madudová, E. (2019). Trends of scale-up effects of ICT sector. *Transportation Research Procedia*, 40, 1002-1009.
69. Costantini, V., & Liberati, P. (2014). Technology transfer, institutions and development. *Technological Forecasting and Social Change*, 88, 26-48.
70. Cronbach, L.J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of test. *Psychometrika*, 16, 297-334.
71. Csáji, B. C. (2001). Approximation with artificial neural networks. *Faculty of Sciences, Eötvös Loránd University, Hungary*, 24(48), 7.
72. Cubric, M. (2020). Drivers, barriers and social considerations for AI adoption in business and management: A tertiary study. *Technology in Society*, 62, 101257.

73. Dash, G., & Paul, J. (2021). CB-SEM vs PLS-SEM methods for research in social sciences and technology forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121092.
74. Day, R., Walker, G., & Simcock, N. (2016). Conceptualising energy use and energy poverty using a capabilities framework. *Energy Policy*, 93, 255-264.
75. de Clercq, M., D'Haese, M., & Buysse, J. (2023). Economic growth and broadband access: The European urban-rural digital divide. *Telecommunications Policy*, 47(6), 102579.
76. Demirkan, H., Spohrer, J. C., & Welsler, J. J. (2016). Digital innovation and strategic transformation. *IT Professional*, 18(6), 14-18.
77. Digital Economy and Society Index (DESI) (2022). <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>
78. Digital Economy Report, United Nations (2019). https://unctad.org/system/files/official-document/der2019_en.pdf
79. Dnishev, F., & Alzhanova, F. (2016). Globalization of technological development and opportunities for national innovation systems of developing countries. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business (JAFEB)*, 3(4), 67-79.
80. Doyar, B. V., Rzali, S., & Dikkaya, M. (2023). Development of the ICT sector and the determinants of Internet use in the Southern Caucasus. *Telecommunications Policy*, 47(1), 102455.
81. Dragan, D., & Topolšek, D. (2014, June). Introduction to structural equation modeling: review, methodology and practical applications. In *The International Conference on Logistics & Sustainable Transport* (Vol. 6, pp. 19-21).
82. Dreher, A. (2006). Does globalization affect growth? Evidence from a new index of globalization. *Applied economics*, 38(10), 1091-1110.
83. Dufva, T., & Dufva, M. (2019). Grasping the future of the digital society. *Futures*, 107, 17-28.
84. Düzükaya, H. (2016). Endüstri devriminde dördüncü dalga ve eğitim: Türkiye dördüncü dalga endüstri devrimine hazır mı?. *Eğitim Ve İnsani Bilimler Dergisi: Teori Ve Uygulama*, 7(13), 49-88.
85. Dzator, J., Acheampong, A. O., Appiah-Otoo, I., & Dzator, M. (2023). Leveraging digital technology for development: Does ICT contribute to poverty reduction?. *Telecommunications Policy*, 47(4), 102524.
86. EBRD (2021). *The history of the EBRD*. <https://www.ebrd.com/who-we-are/history-of-the-ebrd.html>
87. Erdal, L., & Göçer, İ. (2015). The effects of foreign direct investment on R&D and innovations: Panel data analysis for developing Asian countries. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 749-758.
88. European Commission (2019). *European Green Deal*. [file:///C:/Users/Lenovo%20T460/Downloads/What is the European Green Deal en.pdf](file:///C:/Users/Lenovo%20T460/Downloads/What%20is%20the%20European%20Green%20Deal%20en.pdf)
89. European Commission (2020). *Shaping Europe's digital future*. https://commission.europa.eu/system/files/2020-02/communication-shaping-europes-digital-future-feb2020_en_4.pdf

90. European Commission (2021). *2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0118>
91. European Parliament (2015). *A Digital Single Market Strategy for Europe*. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568325/EPRS_BRI\(2015\)568325_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568325/EPRS_BRI(2015)568325_EN.pdf)
92. Eurostat (2020a). *Database*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>
93. Eurostat (2020b). *Electricity production, consumption and market overview*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_production,_consumption_and_market_overview#Electricity_generation
94. Eurostat (2020c). *Output of economic activities in the EU Member States*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20191028-2>
95. Eurostat (2020d). *Renewable energy statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2019
96. Eurostat (2023). *ICT sector - value added, employment and R&D*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=ICT_sector_-_value_added,_employment_and_R%26D&oldid=553776
97. Eurostat, European Commission (2020a). *Database*. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tin00074/default/table?lang=en>
98. Fan, P., Urs, N., & Hamlin, R. E. (2019). Rising innovative city-regions in a transitional economy: A case study of ICT industry in Cluj-Napoca, Romania. *Technology in Society*, 58, 101139.
99. Farooqi, Z., Yaseen, M. R., Anwar, S., & Makhdum, M. S. A. (2020). Determinants of information and communication technology (ICT) adoption in developing countries. *Indian Journal of Science and Technology*, 13(39), 4116-4126.
100. Feliciano-Cestero, M. M., Ameen, N., Kotabe, M., Paul, J., & Signoret, M. (2023). Is digital transformation threatened? A systematic literature review of the factors influencing firms' digital transformation and internationalization. *Journal of Business Research*, 157, 113546.
101. Filipescu, D. A., Prashantham, S., Rialp, A., & Rialp, J. (2013). Technological innovation and exports: Unpacking their reciprocal causality. *Journal of International Marketing*, 21(1), 23-38.
102. Fisher, M. J., & Marshall, A. P. (2009). Understanding descriptive statistics. *Australian critical care*, 22(2), 93-97.
103. Fofack, H. (2009). Determinants of globalization and growth prospects for Sub-Saharan African countries. *World Bank Policy Research Working Paper*, (5019).
104. Forenbacher, I., Husnjak, S., Cvitić, I., & Jovović, I. (2019). Determinants of mobile phone ownership in Nigeria. *Telecommunications Policy*, 43(7), 101812.
105. Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39-50.
106. Fossen, F. M., & Sorgner, A. (2021). Digitalization of work and entry into entrepreneurship. *Journal of Business Research*, 125, 548-563.

107. Freeman, C. (1987). *Technology, Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London, Pinter.
108. Freeman, C., & Perez, C. (1988). *Structural crises of adjustment: business cycles. Technical change and economic theory*. Londres: Pinter.
109. Friedman, T. L. (2000). *The Lexus and the olive tree: Understanding globalization*. Farrar, Straus and Giroux.
110. G20 Digital Economy Task Force (2016). *G20 Digital Economy Development and Cooperation Initiative*. <https://www.mofa.go.jp/files/000185874.pdf>
111. Garson, G. D. (2016). *Partial least squares. Regression and structural equation models*.
112. Gartner Glossary (2023). <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary?glossaryletter=D>
113. Ghobakhloo, M., & Ching, N. T. (2019). Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs. *Journal of Industrial Information Integration*, 16, 100107.
114. Glocker, C., & Piribauer, P. (2021). Digitalization, retail trade and monetary policy. *Journal of International Money and Finance*, 112, 102340.
115. Glogovac, M., Ruso, J., Arsić, S., Rakić, A., & Milošević, I. (2023). Leadership for quality 4.0 improvement, learning, and innovation. *Engineering Management Journal*, 35(3), 313-329.
116. Gobble, M. M. (2018). Digitalization, digitization, and innovation. *Research-Technology Management*, 61(4), 56-59.
117. Godil, D. I., Sharif, A., Agha, H., & Jermsittiparsert, K. (2020). The dynamic nonlinear influence of ICT, financial development, and institutional quality on CO₂ emission in Pakistan: new insights from QARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 24190-24200.
118. Goldberg, P. K., & Pavcnik, N. (2007). Distributional effects of globalization in developing countries. *Journal of economic Literature*, 45(1), 39-82.
119. Grossman, G. M., & Helpman, E. (2015). Globalization and growth. *American Economic Review*, 105(5), 100-104.
120. Guenther, P., Guenther, M., Ringle, C. M., Zaefarian, G., & Cartwright, S. (2023). Improving PLS-SEM use for business marketing research. *Industrial Marketing Management*, 111, 127-142.
121. Gupta, J., Singla, M. K., Nijhawan, P., Ganguli, S., & Rajest, S. S. (2020). An IoT-based controller realization for PV system monitoring and control. *Business Intelligence for Enterprise Internet of Things*, 213-223.
122. Guresen, E., & Kayakutlu, G. (2011). Definition of artificial neural networks with comparison to other networks. *Procedia Computer Science*, 3, 426-433.
123. Gutierrez, L. H., & Gamboa, L. F. (2008). An approximation to the digital divide among low income people in Colombia, Mexico and Perú: two composite indexes. *Documentos de trabajo*, 39.
124. Habibi, F., & Zabardast, M. A. (2020). Digitalization, education and economic growth: A comparative analysis of Middle East and OECD countries. *Technology in Society*, 63, 101370.
125. Haenlein, M., & Kaplan, A. M. (2004). A beginner's guide to partial least squares analysis. *Understanding Statistics*, 3(4), 283-297.

126. Hagberg, J., Sundstrom, M., & Egels-Zandén, N. (2016). The digitalization of retailing: an exploratory framework. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 44(7), 694-712.
127. Hair Joseph F. Jr., Black William C., Babin Barry J., & Anderson Rolph E. (2010). *Multivariate Data Analysis: A Global Perspective*, 7th ed., Pearson Prentice Hall.
128. Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., & Ray, S. (2021). *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook* (p. 197). Springer Nature.
129. Hair Jr, J. F., Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Gudergan, S. P. (2023). *Advanced issues in partial least squares structural equation modeling*. saGe publications.
130. Hair, J. F. (2009). *Multivariate data analysis*.
131. Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
132. Hair, J. F., Hult, G. T., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
133. Hair, J. F., Jr., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2014). *A primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications Ltd.
134. Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European business review*, 31(1), 2-24.
135. Hair, J. F., Sarstedt, M., Pieper, T. M., & Ringle, C. M. (2012). The use of partial least squares structural equation modeling in strategic management research: a review of past practices and recommendations for future applications. *Long range planning*, 45(5-6), 320-340.
136. Haldorai, A., Ramu, A., & Suriya, M. (2020). Organization internet of things (IoTs): Supervised, unsupervised, and reinforcement learning. In *Business Intelligence for Enterprise Internet of Things* (pp. 27-53). Cham: Springer International Publishing.
137. Harman, H. H. (1976). *Modern factor analysis*. University of Chicago press.
138. Hart, J. (2010). *Globalization and digitalization*. Academia. edu. [https://www.academia.edu/1359654/Globalization and Digitalization](https://www.academia.edu/1359654/Globalization_and_Digitalization)
139. Hasbi, M., & Dubus, A. (2020). Determinants of mobile broadband use in developing economies: Evidence from Sub-Saharan Africa. *Telecommunications Policy*, 44(5), 101944.
140. Hassan, A., Bhatti, S. H., Shujaat, S., & Hwang, Y. (2022). To adopt or not to adopt? The determinants of cloud computing adoption in information technology sector. *Decision Analytics Journal*, 5, 100138.
141. Heiberger, R. M., & Neuwirth, E. (2009). *R through Excel: A spreadsheet interface for statistics, data analysis, and graphics* (pp. 165-191). New York: Springer.
142. Henseler, J. (2007). *A new and simple approach to multi-group analysis in partial least squares path modeling*.
143. Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the academy of marketing science*, 43, 115-135.

144. Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2016). Testing measurement invariance of composites using partial least squares. *International marketing review*, 33(3), 405-431.
145. Hinings, B., Gegenhuber, T., & Greenwood, R. (2018). Digital innovation and transformation: An institutional perspective. *Information and Organization*, 28(1), 52-61.
146. Hinton, G. E. (1992). How neural networks learn from experience. *Scientific American*, 267(3), 144-151.
147. Hiran, K. K., & Dadhich, M. (2024). Predicting the core determinants of cloud-edge computing adoption (CECA) for sustainable development in the higher education institutions of Africa: A high order SEM-ANN analytical approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 199, 122979.
148. Ho, R. (2006). *Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS*. CRC press.
149. Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): When to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15(14), 5481-5487.
150. Hoe, S. L. (2008). Issues and procedures in adopting structural equation modelling technique. *Journal of Quantitative Methods*, 3(1), 76.
151. Holcomb, J. P. (1999). Applied Regression Analysis, /Applied Regression Analysis: A Research Tool. *The American Statistician*, 53(2), 170.
152. Hong, C., & Ma, W. W. (2020). Introduction: Education 4.0: Applied degree education and the future of work. *Applied Degree Education and the Future of Work: Education 4.0*, 1-13.
153. Hong, J. P. (2017). Causal relationship between ICT R&D investment and economic growth in Korea. *Technological Forecasting and Social Change*, 116, 70-75.
154. Hooks, D., Davis, Z., Agrawal, V., & Li, Z. (2022). Exploring factors influencing technology adoption rate at the macro level: A predictive model. *Technology in Society*, 68, 101826.
155. Hooper, D. (2012). *Exploratory factor analysis*.
156. Houngbonon, G. V., & Le Quentrec, E. (2019). *Access to electricity and ICT usage: a country-level assessment on Sub-Saharan Africa*.
157. Houngbonon, G. V., Le Quentrec, E., & Rubrichi, S. (2021). Access to electricity and digital inclusion: evidence from mobile call detail records. *Humanities and Social Sciences Communications*, 8(1), 1-11.
158. Huang, H. H., Hsiao, C. K., Huang, S. Y., Peterson, P., Baker, E., & McGaw, B. (2010). Nonlinear regression analysis. *International encyclopedia of education*, 339-346.
159. Hussain, A., Batool, I., Akbar, M., & Nazir, M. (2021). Is ICT an enduring driver of economic growth? Evidence from South Asian economies. *Telecommunications Policy*, 45(8), 102202.
160. IBM (2023). *What is digital transformation?* <https://www.ibm.com/topics/digital-transformation>
161. IEA (2020a). *World Energy Balances: Overview*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>

162. IEA (2020b). *Global mobile broadband subscriptions, 2007-2017*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-mobile-broadband-subscriptions-2007-2017>
163. Ikwaba Paul, D., & Uhomobhi, J. (2013). Solar electricity generation: issues of development and impact on ICT implementation in Africa. *Campus-Wide Information Systems*, 31(1), 46-62.
164. Ilostat (2020). *Database*. <https://ilostat.ilo.org/data/>
165. International Telecommunication Union (2016). *Measuring the Information Society Report*. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2016/MISR2016-w4.pdf>
166. International Telecommunication Union (2020). *Database*. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/IDI/default.aspx>
167. International Telecommunication Union (2022). *Measuring digital development: Facts and figures, 2022*. https://www.itu.int/hub/publication/d-ind-ict_mdd-2022/
168. Isaeva, I., Shirinkina, E., Kozhevnikova, V., & Bozhko, L. (2022, November). Assessment of factors and their significance in business engineering that affect the digitalization index. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2647, No. 1). AIP Publishing.
169. Isaksson, D., Wennberg, K., Se, D., & Se, K. W. (2016). *Digitalization and collective value creation*. Ratio Working Paper, 283.
170. Islam, M. N., & Inan, T. T. (2021). Exploring the fundamental factors of digital inequality in Bangladesh. *SAGE Open*, 11(2), 21582440211021407.
171. Ivanová, E., Žárská, V., & Masárová, J. (2021). Digitalization and human capital development. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 9(2), 402.
172. Jain, A. K., Mao, J., & Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer*, 29(3), 31-44.
173. Jin, H., & Hurd, F. (2018). Exploring the impact of digital platforms on SME internationalization: New Zealand SMEs use of the Alibaba platform for Chinese market entry. *Journal of Asia-Pacific Business*, 19(2), 72-95.
174. Jin, X. H., Doloi, H., & Gao, S. Y. (2007). Relationship-based determinants of building project performance in China. *Construction Management and Economics*, 25(3), 297-304.
175. Jones, E., & Adam, C. (2023). New frontiers of trade and trade policy: digitalization and climate change. *Oxford Review of Economic Policy*, 39(1), 1-11.
176. Jöreskog, K. G. (1970). A general method for analysis of covariance structures. *Biometrika*, 57(2), 239-251.
177. Jöreskog, K. G. (1982). The ML and PLS techniques for modeling with latent variables: Historical and comparative aspects. *Systems under indirect observation, part I*, 263-270.
178. Jung, S., & Lee, S. (2011). Exploratory factor analysis for small samples. *Behavior research methods*, 43, 701-709.
179. Kafouros, M., Cavusgil, S. T., Devinney, T. M., Ganotakis, P., & Fainshmidt, S. (2022). Cycles of de-internationalization and re-internationalization: Towards an integrative framework. *Journal of World Business*, 57(1), 101257.

180. Kallal, R., Haddaji, A., & Ftiti, Z. ICT diffusion and economic growth: Evidence from the sectorial analysis of a periphery country. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120403.
181. Kano, T., & Toyama, K. (2020, June). Bottlenecks of ICT innovation in Rwanda. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Information and Communication Technologies and Development* (pp. 1-11).
182. Karpov, E., & Karpova, E. (2022). Digitalization of Higher Education in the Context of Globalization. In *XXIV International Conference Culture, Personality, Society in the Conditions of Digitalization: Methodology and Experience of Empirical Research.—Ekaterinburg*, 2021 (pp. 9-19). Knowledge E.
183. Keil, M., Tan, B. C., Wei, K. K., Saarinen, T., Tuunainen, V., & Wassenaar, A. (2000). A cross-cultural study on escalation of commitment behavior in software projects. *MIS quarterly*, 299-325.
184. Khan, S., Umer, R., Umer, S., & Naqvi, S. (2021). Antecedents of trust in using social media for E-government services: An empirical study in Pakistan. *Technology in Society*, 64, 101400.
185. Khanzode, K. C. A., & Sarode, R. D. (2020). Advantages and disadvantages of artificial intelligence and machine learning: A literature review. *International Journal of Library & Information Science (IJLIS)*, 9(1), 3.
186. Kim, H. (2019). Globalization and regulatory change: The interplay of laws and technologies in E-commerce in Southeast Asia. *Computer Law & Security Review*, 35(5), 105315.
187. Kim, J., Park, J. C., & Komarek, T. (2021). The impact of Mobile ICT on national productivity in developed and developing countries. *Information & Management*, 58(3), 103442.
188. Ko, A., Fehér, P., Kovacs, T., Mitev, A., & Szabó, Z. (2022). Influencing factors of digital transformation: management or IT is the driving force?. *International Journal of Innovation Science*, 14(1), 1-20.
189. Kondratieff, N. D., & Stolper, W. F. (1935). The Long Waves in Economic Life. *The Review of Economics and Statistics*, 17(6), 105-115.
190. Kotarba, M. (2017). Measuring digitalization-key metrics. *Foundations of Management*, 9(1), 123-138.
191. Kouton, J. (2019). Information Communication Technology development and energy demand in African countries. *Energy*, 189, 116192.
192. Koutroumpis, P., Leiponen, A., & Thomas, L. D. (2020). Small is big in ICT: The impact of R&D on productivity. *Telecommunications Policy*, 44(1), 101833.
193. Kovačić, Z. J., & Vukmirović, D. (2008). ICT adoption and the digital divide in Serbia: factors and policy implications. In *Proceedings of the informing science & it education conference*.(Insite).
194. Krchová, H., & Höesová, K. Š. (2021). Selected determinants of digital transformation and their influence on the number of women in the ICT sector. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 8(4), 524.
195. Kubat, M., Bratko, I., & Michalski, R. S. (1998). A review of machine learning methods. *Machine Learning and Data Mining: Methods and Applications*, 3-69.

196. Kukreja, H., Bharath, N., Siddesh, C. S., & Kuldeep, S. (2016). An introduction to artificial neural network. *International journal of advance research and innovative ideas in education*, 1, 27-30.
197. Kumar, C., & Gautam, A. (2020). *Correlation Estimation*. Springer Link.
198. Kumar, R. D., Sridhathan, C., & Kumar, M. S. (2020). Performance Evaluation of Different Neural Network Classifiers for Sanskrit Character Recognition. *Business Intelligence for Enterprise Internet of Things*, 185-194.
199. Lanzolla, G., Lorenz, A., Miron-Spektor, E., Schilling, M., Solinas, G., & Tucci, C. L. (2020). Digital transformation: What is new if anything? Emerging patterns and management research. *Academy of Management Discoveries*, 6(3), 341-350.
200. Latif, Z., Latif, S., Ximei, L., Pathan, Z. H., Salam, S., & Jianqiu, Z. (2018). The dynamics of ICT, foreign direct investment, globalization and economic growth: Panel estimation robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Telematics and informatics*, 35(2), 318-328.
201. Lawley, D. N., & Maxwell, A. E. (1971). *Factor analysis as a statistical method*, 2nd ed. Elsevier, New York.
202. Lee, C. H., Liu, C. L., Trappey, A. J., Mo, J. P., & Desouza, K. C. (2021). Understanding digital transformation in advanced manufacturing and engineering: A bibliometric analysis, topic modeling and research trend discovery. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101428.
203. Legner, C., Eymann, T., Hess, T., Matt, C., Böhmman, T., Drews, P., ... & Ahlemann, F. (2017). Digitalization: opportunity and challenge for the business and information systems engineering community. *Business & information systems engineering*, 59, 301-308.
204. Lei, P. W., & Wu, Q. (2007). Introduction to structural equation modeling: Issues and practical considerations. *Educational Measurement: issues and practice*, 26(3), 33-43.
205. Leong, L. Y., Hew, T. S., Ooi, K. B., & Lin, B. (2011). Influence of gender and English proficiency on Facebook mobile adoption. *International Journal of Mobile Communications*, 9(5), 495-521.
206. Lera-López, F., Billon, M., & Gil, M. (2011). Determinants of Internet use in Spain. *Economics of Innovation and New Technology*, 20(2), 127-152.
207. Li, Y., Yang, X., Ran, Q., Wu, H., Irfan, M., & Ahmad, M. (2021). Energy structure, digital economy, and carbon emissions: evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 64606-64629.
208. Ligozat, A. L., Lefèvre, J., Bugeau, A., & Combaz, J. (2021). Unraveling the hidden environmental impacts of AI solutions for environment. *arXiv preprint arXiv:2110.11822*.
209. Lohmöller, J. B. (1989). *Latent Variable Path Modeling with Partial Least Squares*. Physica, Heidelberg.
210. Lomax, R. (2013). Introduction to structural equation modeling. *Applied quantitative analysis in education and the social sciences*, 245-264.
211. Lutfi, A., Alsayouf, A., Almaiah, M. A., Alrawad, M., Abdo, A. A. K., Al-Khasawneh, A. L., ... & Saad, M. (2022). Factors influencing the adoption of big data analytics in the digital transformation era: Case study of Jordanian SMEs. *Sustainability*, 14(3), 1802.

212. Lv, Z., Liu, W., & Xu, T. (2022). Evaluating the impact of information and communication technology on renewable energy consumption: A spatial econometric approach. *Renewable Energy*, 189, 1-12.
213. Lythreathis, S., Singh, S. K., & El-Kassar, A. N. (2022). The digital divide: A review and future research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121359.
214. Lyu, W., & Liu, J. (2021). Artificial Intelligence and emerging digital technologies in the energy sector. *Applied energy*, 303, 117615.
215. Ma, Q., Tariq, M., Mahmood, H., & Khan, Z. (2022). The nexus between digital economy and carbon dioxide emissions in China: The moderating role of investments in research and development. *Technology in Society*, 68, 101910.
216. Magno, F., Cassia, F., & Ringle, C. M. (2022). *A brief review of partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) use in quality management studies*. The TQM Journal, (ahead-of-print).
217. Makiwa, P., & Steyn, R. (2019, August). An investigation of the government-related factors that inhibit small to medium enterprises' adoption and effective use of information and communication technology in developing countries: The case of Zimbabwe. In *Locally Relevant ICT Research: 10th International Development Informatics Association Conference*, IDIA 2018, Tshwane, South Africa, August 23-24, 2018, Revised Selected Papers 10 (pp. 3-16). Springer International Publishing.
218. Márquez-Ramos, L., & Martínez-Zarzoso, I. (2010). The effect of technological innovation on international trade. *Economics*, 4(1), 20100011.
219. Marshall, G., & Jonker, L. (2010). An introduction to descriptive statistics: A review and practical guide. *Radiography*, 16(4), e1-e7.
220. Martens, P., & Raza, M. (2009). The maastricht globalisation index: An update. In *Globalization: Understanding, Management and Effects 2009* (pp. 279-309). Nova Science Publishers.
221. Martínez-Domínguez, M., & Mora-Rivera, J. (2020). Internet adoption and usage patterns in rural Mexico. *Technology in society*, 60, 101226.
222. Matthes, M., & Kunkel, S. (2020). Structural change and digitalization in developing countries: Conceptually linking the two transformations. *Technology in society*, 63, 101428.
223. Meltzer, J. P. (2014). Supporting the internet as a platform for international trade: Opportunities for small and medium-sized enterprises and developing countries. Available at: SSRN 2400578.
224. Memon, M. A., Ramayah, T., Cheah, J. H., Ting, H., Chuah, F., & Cham, T. H. (2021). PLS-SEM statistical programs: a review. *Journal of Applied Structural Equation Modeling*, 5(1), 1-14.
225. Milojković, M., Antić, D., & Nikolić, S. (2018). *Praktikum za modeliranje i simulaciju dinamičkih sistema*. Elektronski fakultet u Nišu.
226. Milošević, I., Ruso, J., Glogovac, M., Arsić, S., & Rakić, A. (2022). An integrated SEM-ANN approach for predicting QMS achievements in Industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(15-16), 1896-1912.
227. Milošević, I., Živković, D., Manasijević, D., & Nikolić, D. (2015). The effects of the intended behavior of students in the use of M-learning. *Computers in Human Behavior*, 51, 207-215.

228. Miśkiewicz, J., & Ausloos, M. (2010). Has the world economy reached its globalization limit? *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(4), 797-806.
229. Močnik, D., & Širec, K. (2010). The determinants of Internet use controlling for income level: Cross-country empirical evidence. *Information Economics and Policy*, 22(3), 243-256.
230. Mothobi, O., & Grzybowski, L. (2017). Infrastructure deficiencies and adoption of mobile money in Sub-Saharan Africa. *Information Economics and Policy*, 40, 71-79.
231. Moyer, J. D., & Hughes, B. B. (2012). ICTs: do they contribute to increased carbon emissions? *Technological Forecasting and Social Change*, 79(5), 919-931.
232. Mueller, R. O., & Hancock, G. R. (2008). *Best practices in structural equation modeling*. Best practices in quantitative methods, 488508.
233. Muhihi, B. G. (2020). *Rural electricity for Consumers' Socio-Economic Improvement in Kasulu and Uyui Districts, Tanzania* (Doctoral dissertation, Moshi Co-operative University (MoCU)).
234. Murugesan, U., Subramanian, P., Srivastava, S., & Dwivedi, A. (2023). A study of Artificial Intelligence impacts on Human Resource Digitalization in Industry 4.0. *Decision Analytics Journal*, 100249.
235. Myovella, G., Karacuka, M., & Haucap, J. (2021). Determinants of digitalization and digital divide in Sub-Saharan African economies: A spatial Durbin analysis. *Telecommunications Policy*, 45(10), 102224.
236. Nair, M., Pradhan, R. P., & Arvin, M. B. (2020). Endogenous dynamics between R&D, ICT and economic growth: Empirical evidence from the OECD countries. *Technology in Society*, 62, 101315.
237. Nasiri, M., Ukko, J., Saunila, M., & Rantala, T. (2020). Managing the digital supply chain: The role of smart technologies. *Technovation*, 96, 102121.
238. Nasteski, V. (2017). An overview of the supervised machine learning methods. *Horizons. b*, 4, 51-62.
239. Nell, P. C., Foss, N. J., Klein, P. G., & Schmitt, J. (2021). Avoiding digitalization traps: Tools for top managers. *Business Horizons*, 64(2), 163-169.
240. Nicoletti, G., von Rueden, C., & Andrews, D. (2020). Digital technology diffusion: A matter of capabilities, incentives or both? *European Economic Review*, 128, 103513.
241. Nielsen, L. (2011). *Classifications of Countries Based on their Level of Development: How it is Done and How it Could Be Done*. International Monetary Fund.
242. Nipo, D. T., & Bujang, I. (2014). Global digital divide: determinants of cross-country ICT development with special reference to Southeast Asia. *International Journal of Business and Economic Development (IJBED)*, 2(3).
243. Nishida, T., Pick, J. B., & Sarkar, A. (2014). Japan' s prefectural digital divide: A multivariate and spatial analysis. *Telecommunications policy*, 38(11), 992-1010.
244. Njangang, H., Beleck, A., Tadadjeu, S., & Kamguia, B. (2022). Do ICTs drive wealth inequality? Evidence from a dynamic panel analysis. *Telecommunications Policy*, 46(2), 102246.
245. Norris, P. (2000). Global governance and cosmopolitan citizens. *Governance in a globalizing world*, 155, 173-175.

246. Oloyede, A., Fark, N., Noma, N., & Tebep, E. (2022). Measuring the Impact of the Digital Economy in Developing Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis. Available at: SSRN 4106167.
247. Opsomer, J. D., & Ruppert, D. (1997). Fitting a bivariate additive model by local polynomial regression. *The Annals of Statistics*, 25(1), 186-211.
248. Ostertagová, E. (2012). Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*, 48, 500-506.
249. Our World in Data (2020). *Database*. <https://ourworldindata.org/>
250. Our World in Data (2023). *Database*. <https://ourworldindata.org/>
251. Ozcan, B., & Apergis, N. (2018). The impact of internet use on air pollution: Evidence from emerging countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 4174-4189.
252. Pal, M., Bharati, P., Pal, M., & Bharati, P. (2019). Introduction to correlation and linear regression analysis. *Applications of regression techniques*, 1-18.
253. Park, C., & Heo, W. (2020). Review of the changing electricity industry value chain in the ICT convergence era. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120743.
254. Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice. *International journal of information systems and project management*, 5(1), 63-77.
255. Peckov, A. (2012). *A machine learning approach to polynomial regression*. Ljubljana, Slovenia. http://kt.ijs.si/theses/phd_aleksandar_peckov.Pdf
256. Penard, T., Poussing, N., Mukoko, B., & Piaptie, G. B. T. (2015). Internet adoption and usage patterns in Africa: Evidence from Cameroon. *Technology in Society*, 42, 71-80.
257. Pérez-Castro, M. Á., Mohamed-Maslouhi, M., & Montero-Alonso, M. Á. (2021). The digital divide and its impact on the development of Mediterranean countries. *Technology in Society*, 64, 101452.
258. Peter Heng, B. C., Chandler, J. H., & Armstrong, A. (2010). Applying close range digital photogrammetry in soil erosion studies. *The Photogrammetric Record*, 25(131), 240-265.
259. Pick, J. B., Sarkar, A., & Johnson, J. (2015). United States digital divide: State level analysis of spatial clustering and multivariate determinants of ICT utilization. *Socio-Economic Planning Sciences*, 49, 16-32.
260. Plassmann, F., & Khanna, N. (2007). Assessing the precision of turning point estimates in polynomial regression functions. *Econometric Reviews*, 26(5), 503-528.
261. Poole, D. I., Goebel, R. G., & Mackworth, A. K. (1998). *Computational intelligence* (Vol. 1). Oxford: Oxford University Press.
262. Pradhan, R. P., Arvin, M., Nair, M., Bennett, S., & Bahmani, S. (2017). ICT-finance-growth nexus: Empirical evidence from the Next-11 countries. *Cuadernos de economía*, 40(113), 115-134.
263. Primahendra, R., Purba, J. T., Ugut, G. S. S., & Budiono, S. (2021). Do Digital Literacy and Digital Entrepreneurship among University Students Contribute to Digital Economy. Budapest International Research and Critics Institute (BIRCI-Journal): *Humanities and Social Sciences*, 4(3), 7387-7394.

264. Priyadarshinee, P., Raut, R. D., Jha, M. K., & Gardas, B. B. (2017). Understanding and predicting the determinants of cloud computing adoption: A two staged hybrid SEM-Neural networks approach. *Computers in Human Behavior*, *76*, 341-362.
265. Qin, P., Liu, M., Su, L., Fei, Y., & Tan-Soo, J. S. (2022). Electricity consumption in the digital era: Micro evidence from Chinese households. *Resources, Conservation and Recycling*, *182*, 106297.
266. Rachinger, M., Rauter, R., Müller, C., Vorraber, W., & Schirgi, E. (2018). Digitalization and its influence on business model innovation. *Journal of manufacturing technology management*, *30*(8), 1143-1160.
267. Rahim, N. I. M., Iahad, N. A., Yusof, A. F., & Al-Sharafi, M. A. (2022). AI-Based chatbots adoption model for higher-education institutions: A hybrid PLS-SEM-Neural network modelling approach. *Sustainability*, *14*(19), 12726.
268. Ramachandran, K. M., & Tsokos, C. P. (2020). *Mathematical statistics with applications in R*. Academic Press.
269. Ramayah, T. J. F. H., Cheah, J., Chuah, F., Ting, H., & Memon, M. A. (2018). *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using smartPLS 3.0. An updated guide and practical guide to statistical analysis*.
270. Rasskazova, A., & Yurgenson, V. (2021). Determinants of Digitalization in Developed Countries. In *IMS* (pp. 334-342).
271. Rath, B. N., Panda, B., & Akram, V. (2023). Convergence and determinants of ICT development in case of emerging market economies. *Telecommunications Policy*, *47*(2), 102464.
272. Raut, R. D., Priyadarshinee, P., Gardas, B. B., & Jha, M. K. (2018). Analyzing the factors influencing cloud computing adoption using three stage hybrid SEM-ANN-ISM (SEANIS) approach. *Technological Forecasting and Social Change*, *134*, 98-123.
273. Rawlings, J. O., Pantula, S. G., & Dickey, D. A. (Eds.). (1998). *Applied regression analysis: a research tool*. New York, NY: Springer New York.
274. Reis, J., & Melão, N. (2023). *Digital transformation: A meta-review and guidelines for future research*. Heliyon.
275. Reis, J., Amorim, M., Melão, N., Cohen, Y., & Rodrigues, M. (2020). Digitalization: A literature review and research agenda. In *Proceedings on 25th International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management-IJCIEOM: The Next Generation of Production and Service Systems 25* (pp. 443-456). Springer International Publishing.
276. Ringle, C. M., Sarstedt, M., Sinkovics, N., & Sinkovics, R. R. (2023). A perspective on using partial least squares structural equation modelling in data articles. *Data in Brief*, *48*, 109074.
277. Ringle, Christian M., Wende, Sven, & Becker, Jan-Michael. (2022). *SmartPLS 4. Oststeinbek: SmartPLS*. <https://www.smartpls.com>
278. Rodríguez-Castelán, C., & Pierola, D. (2022). *Determinants and Welfare Impacts of Mobile Internet Adoption in African Countries*. World Bank Group.
279. Rong, K. (2022). Research agenda for the digital economy: an IBCDE framework. *Journal of Digital Economy*, *1*(1), 20-31.
280. Sadorsky, P. (2012). Information communication technology and electricity consumption in emerging economies. *Energy Policy*, *48*, 130-136.

281. Sahu, N., Deng, H., & Mollah, A. (2018). Investigating the critical success factors of digital transformation for improving customer experience. In *International Conference on Information Resources Management, CONF-IRM 2018 Proceedings*, (pp.1.13).
282. Saidi, K., & Mongi, C. (2018). The effect of education, R&D and ICT on economic growth in high income countries. *Economics Bulletin*, 38(2), 810-825.
283. Saidi, K., Toumi, H., & Zaidi, S. (2017). Impact of information communication technology and economic growth on the electricity consumption: Empirical evidence from 67 countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 8, 789-803.
284. Salahuddin, M., & Alam, K. (2016). Information and Communication Technology, electricity consumption and economic growth in OECD countries: A panel data analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 76, 185-193.
285. Salehan, M., & Kim, D. J. (2013). Information and Communication Technologies (ICT): Driver of Cultural Change and Technological Advancement. In *Pacific Asia Conference on Information Systems, PACIS 2013 Proceedings*.
286. Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Hair, J. F. (2021). Partial least squares structural equation modeling. In *Handbook of market research* (pp. 587-632). Cham: Springer International Publishing.
287. Sarstedt, M., Ringle, C. M., Cheah, J. H., Ting, H., Moisescu, O. I., & Radomir, L. (2020). Structural model robustness checks in PLS-SEM. *Tourism Economics*, 26(4), 531-554.
288. Sarstedt, M., Ringle, C. M., Smith, D., Reams, R., & Hair Jr, J. F. (2014). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): A useful tool for family business researchers. *Journal of family business strategy*, 5(1), 105-115.
289. Savalei, V., & Bentler, P. M. (2006). Structural equation modeling. *The handbook of marketing research: Uses, misuses, and future advances*, 330, 36.
290. Sawng, Y. W., Kim, P. R., & Park, J. (2021). ICT investment and GDP growth: Causality analysis for the case of Korea. *Telecommunications Policy*, 45(7), 102157.
291. Schneider, S., & Kokshagina, O. (2021). Digital transformation: What we have learned (thus far) and what is next. *Creativity and innovation management*, 30(2), 384-411.
292. Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & analgesia*, 126(5), 1763-1768.
293. Schumpeter, J. A. (1939). *Business cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. Vol. 2, New York: Mcgraw-hill.
294. Seber, G. A., & Lee, A. J. (2003). *Linear regression analysis* (Vol. 330). John Wiley & Sons.
295. SG Andrae, A. (2020). New perspectives on internet electricity use in 2030. *Engineering and Applied Science Letter*, 3(2), 19-31.
296. Shahadat, M. H., Nekmahmud, M., Ebrahimi, P., & Fekete-Farkas, M. (2023). Digital Technology Adoption in SMEs: What Technological, Environmental and Organizational Factors Influence SMEs' ICT Adoption in Emerging Countries? *Global Business Review*, 09721509221137199.
297. Shahbaz, M., Rehman, I. U., Sbia, R., & Hamdi, H. (2016). The role of information communication technology and economic growth in recent electricity demand: fresh

- evidence from combine cointegration approach in UAE. *Journal of the knowledge economy*, 7, 797-818.
298. Sharma, A., & Banerjee, A. (2022). Socio-Economic Determinants of Digital Divide in India. *Demography India*, 51(1), 78-92.
 299. Sharma, C. (2018). Exporting, access of foreign technology, and firms' performance: Searching the link in Indian manufacturing. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 68, 46-62.
 300. Sharma, V., Rai, S., & Dev, A. (2012). A comprehensive study of artificial neural networks. *International Journal of Advanced research in computer science and software engineering*, 2(10).
 301. Shewa, G. A., & Ugwuowo, F. I. (2022). A new hybrid estimator for linear regression model analysis: Computations and simulations. *Scientific African*, e01441.
 302. Shi, R., & McLarty, J. W. (2009). Descriptive statistics. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 103(4), S9-S14.
 303. Shukla Shubhendu, S., & Vijay, J. (2013). Applicability of artificial intelligence in different fields of life. *International Journal of Scientific Engineering and Research*, 1(1), 28-35.
 304. Sibley, D. F. (2009). A cognitive framework for reasoning with scientific models. *Journal of Geoscience Education*, 57(4), 255-263.
 305. Simoes, N., Palan, N., & Crespo, N. (2021). Is the World Flat or Not (Yet)?: Trade Globalization and Digitalization. In *Handbook of Research on Institutional, Economic, and Social Impacts of Globalization and Liberalization* (pp. 1-28). IGI Global.
 306. Skare, M., & Soriano, D. R. (2021). How globalization is changing digital technology adoption: An international perspective. *Journal of Innovation & Knowledge*, 6(4), 222-233.
 307. Sohaib, O., Hussain, W., Asif, M., Ahmad, M., & Mazzara, M. (2019). A PLS-SEM neural network approach for understanding cryptocurrency adoption. *IEEE Access*, 8, 13138-13150.
 308. Solaimani, S., & Swaak, L. Critical Success Factors in a Multi-Stage Adoption of Artificial Intelligence: A Necessary Condition Analysis. Available at: SSRN 4234144.
 309. Song, Z., Wang, C., & Bergmann, L. (2020). China's prefectural digital divide: Spatial analysis and multivariate determinants of ICT diffusion. *International journal of information management*, 52, 102072.
 310. Srari, J. S., & Lorentz, H. (2019). Developing design principles for the digitalisation of purchasing and supply management. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(1), 78-98.
 311. Stahle, L., & Wold, S. (1989). Analysis of variance (ANOVA). *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 6(4), 259-272.
 312. Stimson, J. A., Carmines, E. G., & Zeller, R. A. (1978). Interpreting polynomial regression. *Sociological Methods & Research*, 6(4), 515-524.
 313. Stremousova, E., & Buchinskaia, O. (2019, May). Assessment of the main technological and economic capabilities for the transition to a digital economy. In *International Scientific Conference Contemporary Issues in Business, Management and Economics Engineering*.

314. Strong, A. I. (2016). Applications of artificial intelligence & associated technologies. *Science* [ETEBMS-2016], 5(6).
315. Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. *arXiv preprint arXiv:1906.02243*.
316. Stuermer, M., Abu-Tayeh, G., & Myrach, T. (2017). Digital sustainability: basic conditions for sustainable digital artifacts and their ecosystems. *Sustainability science*, 12, 247-262.
317. Ta, V. A., & Lin, C. Y. (2023). Exploring the Determinants of Digital Transformation Adoption for SMEs in an Emerging Economy. *Sustainability*, 15(9), 7093.
318. Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using Multivariate Statistics*. Boston, MA: Pearson Education.
319. Takase, K., & Murota, Y. (2004). The impact of IT investment on energy: Japan and US comparison in 2010. *Energy Policy*, 32(11), 1291-1301.
320. Tan, G. W. H., Ooi, K. B., Chong, S. C., & Hew, T. S. (2014). NFC mobile credit card: the next frontier of mobile payment? *Telematics and Informatics*, 31(2), 292-307.
321. Tangi, L., Janssen, M., Benedetti, M., & Noci, G. (2021). Digital government transformation: A structural equation modelling analysis of driving and impeding factors. *International Journal of Information Management*, 60, 102356.
322. Tejedo-Romero, F., Araujo, J. F. F. E., Tejada, Á., & Ramírez, Y. (2022). E-government mechanisms to enhance the participation of citizens and society: Exploratory analysis through the dimension of municipalities. *Technology in Society*, 70, 101978.
323. Teng, X. (2019, April). Discussion about artificial intelligence's advantages and disadvantages compete with natural intelligence. *Journal of Physics: Conference Series*, 1187(3), p. 032083. IOP Publishing.
324. Ter Braak, C. J. F., & Looman, C. W. N. (1995). *Regression*. In Data analysis in community and landscape ecology (pp. 29-77). Cambridge University Press.
325. The Digital Economy and Society Index (DESI) (2020). <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/digital-economy-and-society-index-desi>
326. The Digital Economy and Society Index (DESI) (2023). DESI 2023 dashboard for the Digital Decade. <https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/charts>
327. The Network Readiness Index (2022). *Stepping into the new digital era. How and why digital natives will change the world?* https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/reports/nri_2022.pdf
328. Thompson, C. B. (2009). *Descriptive data analysis*. *Air medical journal*, 28(2), 56-59.
329. Tilson, D., Lyytinen, K., & Sørensen, C. (2010). Research commentary—Digital infrastructures: The missing IS research agenda. *Information systems research*, 21(4), 748-759.
330. Topuz, S. G., & Dogan, E. (2016). Techno-Logy & Human Development. *Asian Economic and Financial Review*, 6(12), 729.
331. Tornero, J. M. P. (2004). *Promoting digital literacy*. Understanding Digital Literacy [OL].

332. Torres-García, A. A., Garcia, C. A. R., Villasenor-Pineda, L., & Mendoza-Montoya, O. (Eds.). (2021). *Biosignal Processing and Classification Using Computational Learning and Intelligence: Principles, Algorithms, and Applications*. Academic Press.
333. Trevisan, A. H., Lobo, A., Guzzo, D., de Vasconcelos Gomes, L. A., & Mascarenhas, J. (2023). Barriers to employing digital technologies for a circular economy: A multi-level perspective. *Journal of Environmental Management*, 332, 117437.
334. Trinugroho, I., Pamungkas, P., Wiwoho, J., Damayanti, S. M., & Pramono, T. (2022). Adoption of digital technologies for micro and small business in Indonesia. *Finance Research Letters*, 45, 102156.
335. Tripathi, S. (2021). Determinants of Digital, Transformation in the Post-Covid-19 Business World. *IJRDO-Journal of Business management*, 7(6), 75-81.
336. Tucker, L. R., & MacCallum, R. C. (1997). *Exploratory factor analysis*. Unpublished manuscript, Ohio State University, Columbus, 1-459.
337. Twi-Brempong, C., Gu, H., Oppong-Baah, T., Owusu, I., Gyamfi, E., Pinas, J., ... & Owusu, J. A. (2019). The Impact of Access to Electricity on E-Commerce Adoption in Ghanaian SMEs, an Empirical Analysis. *Open Journal of Business and Management*, 8(01), 245.
338. Ukwuoma, H. C. (2019). The effect of ICT on economic growth in Nigeria. *International Journal of Management Technology and Engineering*, 9(2), 2292-2302.
339. Ulucak, R., Danish, & Khan, S. U. D. (2020). Does information and communication technology affect CO₂ mitigation under the pathway of sustainable development during the mode of globalization? *Sustainable Development*, 28(4), 857-867.
340. UN E-Government Survey (2016). *E-government in support of sustainable development*.
<https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2016-Survey/Annexes.pdf>
341. Urbach, N., Ahlemann, F., Böhmman, T., Drews, P., Brenner, W., Schaudel, F., & Schütte, R. (2019). The impact of digitalization on the IT department. *Business & information systems engineering*, 61, 123-131.
342. Urbancikova, N., Manakova, N., & Ganna, B. (2017). Socio-economic and regional factors of digital literacy related to prosperity. *Quality Innovation Prosperity*, 21(2), 124-141.
343. Van der Marel, E. (2020). *Globalization isn't in decline: It's changing* (No. 6/2020). ECIPE Policy Brief.
344. Van Heddeghem, W., Lambert, S., Lannoo, B., Colle, D., Pickavet, M., & Demeester, P. (2014). Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012. *Computer Communications*, 50, 64-76.
345. Van Wynsberghe, A. (2021). Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. *AI and Ethics*, 1(3), 213-218.
346. Venturini, S., & Mehmetoglu, M. (2019). plssem: A Stata Package for Structural Equation Modeling with Partial Least Squares. *Journal of Statistical Software*, 88(8), 1-35.
347. Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of business research*, 122, 889-901.

348. Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The journal of strategic information systems*, 28(2), 118-144.
349. Vicente, M. R., & López, A. J. (2006). Patterns of ICT diffusion across the European Union. *Economics Letters*, 93(1), 45-51.
350. Voitau, I. V., & Novikova, I. V. (2019). Economics digitalization as a base for changing the globalization model: trends and challenges. *Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление*, 1(220), 13-20.
351. Vu, K., Hanafizadeh, P., & Bohlin, E. (2020). ICT as a driver of economic growth: A survey of the literature and directions for future research. *Telecommunications Policy*, 44(2), 101922.
352. Walczak, S. (2019). Artificial neural networks. In *Advanced methodologies and technologies in artificial intelligence, computer simulation, and human-computer interaction* (pp. 40-53). IGI global.
353. Wang, C., & Zhang, M. (2022). The road to change: Broadband China strategy and enterprise digitization. *Plos one*, 17(5), e0269133.
354. Wang, J., Dong, K., Dong, X., & Taghizadeh-Hesary, F. (2022a). Assessing the digital economy and its carbon-mitigation effects: The case of China. *Energy Economics*, 113, 106198.
355. Wang, K., Guo, F., Zhang, C., & Schaefer, D. (2022b). From Industry 4.0 to Construction 4.0: Barriers to the digital transformation of engineering and construction sectors. *Engineering, Construction and Architectural Management*, (ahead-of-print).
356. Wang, K., Li, B., Tian, T., Zakuan, N., & Rani, P. (2023). Evaluate the drivers for digital transformation in higher education institutions in the era of industry 4.0 based on decision-making method. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(3), 100364.
357. Wang, S., Cao, A., Wang, G., & Xiao, Y. (2022c). The Impact of energy poverty on the digital divide: The mediating effect of depression and Internet perception. *Technology in Society*, 68, 101884.
358. Wang, S., Tang, Y., Du, Z., & Song, M. (2020). Export trade, embodied carbon emissions, and environmental pollution: An empirical analysis of China's high-and new-technology industries. *Journal of Environmental Management*, 276, 111371.
359. Weisberg, S. (2005). *Applied linear regression* (Vol. 528). John Wiley & Sons.
360. Westerlund, M. (2020). Digitalization, Internationalization and Scaling of Online SMEs. *Technology Innovation Management Review*, 10(4), 48-57.
361. Westerman, G., Calmédjane, C., Bonnet, D., Ferraris, P., & McAfee, A. (2011). Digital Transformation: A roadmap for billion-dollar organizations. *MIT Center for digital business and capgemini consulting*, 1, 1-68.
362. Wetzels, M., Odekerken-Schröder, G., & Van Oppen, C. (2009). Using PLS path modeling for assessing hierarchical construct models: Guidelines and empirical illustration. *MIS quarterly*, 177-195.
363. Wold, H. (1982). Soft modelling: the basic design and some extensions. *Systems under indirect observation*, Part II, 36-37.
364. World Data Bank (2020). *Database*. <https://data.worldbank.org/>
365. World Data Bank (2023). *Database*. <https://data.worldbank.org/>
366. World Development report (2016). *Digital Adoption Index*. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016/Digital-Adoption-Index>

367. Yuan, K. H., & Bentler, P. M. (2006). 10 structural equation modeling. *Handbook of statistics*, 26, 297-358.
368. Yudatama, U., Hidayanto, A. N., Nazief, B. A., & Phusavat, K. (2019). Data to model the effect of awareness on the success of IT Governance implementation: A partial least squares structural equation modeling approach (PLS-SEM). *Data in brief*, 25, 104333.
369. Zafeiris, D., Rutella, S., & Ball, G. R. (2018). An artificial neural network integrated pipeline for biomarker discovery using Alzheimer's disease as a case study. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 77-87.
370. Zhang, G., Wang, T., Wang, Y., Zhang, S., Lin, W., Dou, Z., & Du, H. (2023). Study on the Influencing Factors of Digital Transformation of Construction Enterprises from the Perspective of Dual Effects—A Hybrid Approach Based on PLS-SEM and fsQCA. *Sustainability*, 15(7), 6317.
371. Zhang, K. H. (2014). How does foreign direct investment affect industrial competitiveness? Evidence from China. *China Economic Review*, 30, 530-539.
372. Zhang, K., Li, W., Han, Y., Geng, Z., & Chu, C. (2021). Production capacity identification and analysis using novel multivariate nonlinear regression: Application to resource optimization of industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124469.
373. Zhang, L., Mu, R., Zhan, Y., Yu, J., Liu, L., Yu, Y., & Zhang, J. (2022). Digital economy, energy efficiency, and carbon emissions: Evidence from provincial panel data in China. *Science of The Total Environment*, 852, 158403.
374. Zheng, J., & Wang, X. (2020). Can mobile information communication technologies (ICTs) promote the development of renewables?-evidence from seven countries. *Energy Policy*, 112041.
375. Zhou, D., Peng, J., & Gao, X. (2021). Examining export trade and corporate innovation: A multiphase difference-in-differences method. *China Journal of Accounting Research*, 14(2), 207-230.

БИОГРАФИЈА

Ивана Петковски (рођ. Величковска), рођена је 27.04.1993. у Бору. Основне академске студије завршила је на Техничком факултету у Бору, Универзитету у Београду, смер Инжењерски менаџмент, 2016. године, остваривши изузетан општи успех током студија са просечном оценом од 9.68 (девет и 68/100). Мастер академске студије завршила је такође на Техничком факултету у Бору, 2017. године, на истом смеру, а просечна оцена коју је постигла износи 9.88 (девет и 88/100). Уписала је докторске академске студије 2017. године, на Техничком факултету у Бору, Универзитету у Београду, смер Инжењерски менаџмент, где је током студија постигла просечну оцену од 10.00 (десет и 00/100).

У периоду од 2018. до 2020. године, била је запослена на Математичком институту САНУ у звању истраживач-приправник. Током овог периода, била је активно укључена у пројекат III 044006, финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, под називом: „Развој нових информационо-комуникационих технологија коришћењем напредних математичких метода, са применама у медицини, телекомуникацијама, енергетици, заштити националне баштине и образовању“. Од 2020. године запослена је у звању истраживач-сарадник у истој институцији.

Ивана Петковски је активна и у организационим активностима. Од 2015. године, члан је Уређивачког одбора часописа „Engineering Management“, Интернационалног студентског часописа за теорију и праксу менаџмента, са ISSN бројем онлајн издања 2466-2860. Поред тога, члан је Организационог одбора међународне конференције „International Conference on Science, Technology and Management in Energy“ - eNeRgetics и међународне конференције „International Conference Path to a Knowledge Society-Managing Risks and Innovation“ - PaKSoM.

Ивана Петковски је аутор и коаутор бројних научних радова који су публиковани у националним часописима, и интернационалним часописима као и на међународним конференцијама, и публиковани у одговарајућим зборницима.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Ивана Петковски
Број индекса 3/2017

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Структурирање фактора развоја дигиталног друштва применом машинског учења

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Бору, 14.03.2024. год

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Ивана Петковски
Број индекса 3/2017
Студијски програм: Инжењерски менаџмент
Наслов рада: Структурирање фактора развоја дигиталног друштва применом машинског учења
Ментор: Проф. др Исидора Милошевић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Бору, 14.03.2024. год

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Структурирање фактора развоја дигиталног друштва применом машинског учења

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство - некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство - некомерцијално - без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство - без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство - делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Бору, 14.03.2024. год

1. **Ауторство.** Дозвољаваће умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство - некомерцијално.** Дозвољаваће умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство - некомерцијално - без прерада.** Дозвољаваће умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима.** Дозвољаваће умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство - без прерада.** Дозвољаваће умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство - делити под истим условима.** Дозвољаваће умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.