



Kauno technologijos universitetas

Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

**Pasaulio šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo žemėlapiu
modeliavimas**

Baigiamasis magistro projektas

Julius Ilgūnas

Projekto autorius

doc. dr. Mantas Landauskas

Vadovas

prof. dr. Jurgita Bruneckienė

Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

**Pasaulio šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo žemėlapiu
modeliavimas**

Baigiamasis magistro projektas

Didžiųjų verslo duomenų analitika (6213AX001)

Julius Ilgūnas

Projekto autorius

doc. dr. Mantas Landauskas

Vadovas

doc. dr. Tomas Iešmantas

Recenzentas

prof. dr. Jurgita Bruneckienė

Vadovė

prof. dr. Vaidas Gaidelys

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Julius Ilgūnas

Pasaulio šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo žemėlapiu modeliavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Juliaus Ilgūno, baigiamasis projektas tema „Pasaulio šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo žemėlapiu modeliavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Ilgūnas Julius. Pasaulio šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo žemėlapiu modeliavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Mantas Landauskas / vadovė prof. dr. Jurgita Bruneckienė; Kauno technologijos universitetas, matematikos ir gamtos mokslų fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Taikomoji Matematika (Matematikos mokslai)

Reikšminiai žodžiai: Gyvybingumas, Modeliavimas, Indeksas, Žemėlapis.

Kaunas, 2020. 80 p.

Santrauka

Vietovė, kurioje žmonės gyvena, gali skirtingai klestėti ir vystytis ekonominiu ar socialiniu aspektu bei stipriai veikti jos gyventojų sveikatą, pragyvenimą, galimybes. Reikalinga nustatyti veiksniai, kurie padeda tam tikroms valstybėms išsilaikyti, suteikti gyventojams palankias sąlygas bei ateityje vystytis ir tobulėti. Kitaip tariant – nustatyti pasaulio šalių gyvybingumą.

Nustatyti gyvybingumą lemiantys veiksniai, kurie apibrėžia šalį pagal ekonomiką ir augimą, žmogiškąjį kapitalą, aplinkosaugą, išsilavinimą, inovacijas, populiaciją ir sveikatą, infrastruktūrą ir tinklaveiką, miesto vystymąsi ir nusikalstamumą. Panaudojus patvirtinančios faktorinės analizės metodą, kiekvienam veiksmui suteikti įverčiai. Jie yra panaudoti pasaulio šalims suklasterizuoti ir sudaryti bendram gyvybingumo indeksui.

Kad šaliai būtų išmatuotas bendras šalių gyvybingumas, reikalinga sudaryti indeksą. Ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas yra išreikštas pagal jį lemiančių veiksnių adityvią išraišką, o jo reikšmė, kiekvienai pasaulio šaliai, gauta panaudojus genetinio algoritmo ir dalelių spiečiaus optimizavimo metodus. Indeksas buvo skaičiuojamas 113 pasaulio šalių 2007 m., 2012 m. ir 2017 m. Didžiausius įvertinimus, turėjo dauguma šalių iš Europos, Jungtinės Amerikos Valstijos, Japonija, Singapūras, Jungtiniai Arabų Emyratai. Tuo tarpu mažiausi buvo tarp Afrikos valstybių. Didžiausią progresą, gyvybingumo prasme, padarė Albanija, Tadžikistanas bei Jungtiniai Arabų Emyratai, o mažiausią Kuveitas, Salvadoras ir Omanas.

Gyvybingumo indeksas toliau modeliuotas 2017 m., naudojant tiesinės regresijos, geografiškai svorinės regresijos (GWR) ir dirbtinio neuroninio tinklo (ANN) metodus. GWR modelio rezultatai parodė, kad indekso prognozė yra kiek tikslesnė, negu naudojant ANN ar tiesinę regresiją bei egzistuoja reikšminga geografinių koordinatų įtaka gyvybingumui.

Ilgūnas Julius. Modeling the economic-social viability map of world countries. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Mantas Landauskas / supervisor prof. dr. Jurgita Bruneckiene; The Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Applied Mathematics (Mathematical Sciences)

Keywords: Vitality, Modelling, Index, Geographical information mapping.

Kaunas, 2020. 80 p.

Summary

The area, in which people live, can economically or socially prosper and develop in a different manner and have a strong impact on the health, livelihoods and opportunities of its population. It is necessary to identify the factors that help certain countries to survive, to benefit the population conditions and to develop and improve in the foreseeable future. In other words – to determine the viability of the world countries.

The factors that determines the viability have been identified as economy and growth, human capital, the environment, education, innovation, population and health, infrastructure and networking, tourism, urban development and crime. Using confirmatory factor analysis, estimates are given for each factor. They are for the benefit of the world country clustering and for making a common vitality index.

An index is needed to measure the overall vitality of a country. Economic the social vitality index is expressed in terms of the additive expression of the factors that determine it and its value, for each world country, is obtained by using genetic algorithm and particle optimization techniques. The index was calculated for 113 world countries in 2007, 2012 and 2017. Most countries from Europe, United States, Japan, Singapore, United Arab Emirates had the highest index value. Meanwhile, the lowest were among African countries. Albania, Tajikistan and the United Arab Emirates have made the most progress in terms of vitality and Kuwait, El Salvador and Oman made the least progress.

The vitality index was further modeled in 2017 using linear regression, geographically weighted regression (GWR) and artificial neural network (ANN) methods. The results of the GWR model showed that the index prediction is slightly more accurate than using ANN or linear regression and there is a significant influence of geographical coordinates towards the vitality.

Turinys

ĮVADAS	5
1. LITERATŪROS APŽVALGA	7
1.1. Vietovių vertinimas	7
1.2. Ekonominis-socialinis gyvybingumas	10
1.3. Šalių ekonominį-socialinį gyvybingumą lemiantys veiksniai	12
1.4. Šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo vertinimas indeksu	17
1.4.1. Gyvybingumo indekso skaičiavimas mokslinėje literatūroje	17
1.4.2. Indekso sudarymo etapai	20
2. MEDŽIAGOS IR TYRIMŲ METODAI	22
2.1. Patvirtinančioji faktorinė analizė	22
2.1.1. CFA tikslas ir prielaidos	22
2.1.2. CFA modelio sudarymas	23
2.1.3. Identifikuojamas ir tinkamas CFA modelis	24
2.2. Evoliuciniai optimizavimo algoritmai	26
2.2.1. Genetinis algoritmas	26
2.2.2. Dalelių spiečiaus optimizavimas	27
2.3. Savaimė besiorganizuojantys vaizdavimai	29
2.4. Geografiškai svorinė regresija	31
2.5. Dirbtinis neuroninis tinklas	33
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS	36
3.1. Duomenų apžvalga	36
3.2. CFA panaudojimas duomenų dimensionalumui mažinti	37
3.3. Gyvybingumo indekso apskaičiavimas naudojant GA ir PSO	39
3.3.1. Gyvybingumo vertinimo su GA ir PSO rezultatai	39
3.3.2. Ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas.	42
3.4. Pasaulio šalių gyvybingumo klasterizavimas naudojant SOM	45
3.5. Geografiškai svorinės regresijos modelis	48
3.6. Dirbtinio neuroninio tinklo modelis	55
3.6.1. ANN struktūra ekonominiam-socialiniam gyvybingumui	55

3.6.2. Ekonominio-socialinio gyvybingumo modelių rezultatų palyginimas tarp ANN, GWR ir tiesinės regresijos	57
3.7. Sudarytos metodikos rezultatų aptarimas	59
IŠVADOS	61
LITERATŪRA	63
PRIEDAI	67

Iliustracijų sąrašas

1.	Ekonominio-socialinio gyvybingumo rodikliai ir rodiklių grupės	16
2.	JAV gyvybingumo indeksas 2016 m. [7]	19
3.	SOM tinklo struktūra [2]	30
4.	Dirbtinio neuroninio tinklo struktūra: a) vieno sluoksnio neuroninis tinklas, b) daugiau sluoksnių turintis gilus neuroninis tinklas [30]	33
5.	Tyrimų eiga	36
6.	Kintamųjų, įtakojančių ekonominį-socialinį gyvybingumą, CFA modelis	37
7.	GA tikslo funkcijos reikšmė per 100 iteracijų 2017 m. duomenims. a) 2007 m. duomenims, b) 2012 m. duomenims, 2017 m. duomenims	41
8.	10 gyvybingiausių ir mažiausiai gyvybingiausių šalių 2007 m.	43
9.	10 gyvybingiausių ir mažiausiai gyvybingiausių šalių 2012 m.	44
10.	10 gyvybingiausių ir mažiausiai gyvybingiausių šalių 2017 m.	44
11.	Stebėjimų pasiskirstymas SOM tinklo mazguose	46
12.	Dendrograma SOM tinklo mazgų klasterizavimui	46
13.	Klasterizuoti SOM tinklo mazgai	47
14.	Pasaulio šalių klasteriai 2017 m.	48
15.	Ekonomikos ir augimo įtaka gyvybingumui 2017 m.	51
16.	Išsilavinimo įtaka gyvybingumui 2017 m.	52
17.	Inovacijų įtaka gyvybingumui 2017 m.	52
18.	Populiacijos ir sveikatos įtaka gyvybingumui 2017 m.	53
19.	Infrastruktūros ir tinklaveikos įtaka gyvybingumui 2017 m.	53
20.	Miesto vystymosi įtaka gyvybingumui 2017 m.	54
21.	Nusikalstamumo įtaka gyvybingumui 2017 m.	54
22.	ANN modelio paslėptųjų sluoksnių skaičiaus nustatymas	56
23.	ANN geriausio modelio struktūra, su paklaida: 3,221189, kuri pasiekta per 6840 žingsnių	56
24.	ANN modelio (su koordinatėmis) paslėptųjų sluoksnių skaičiaus nustatymas	57
25.	ANN geriausio modelio (su koordinatėmis) struktūra, su paklaida: 1,543277, kuri pasiekta per 69398 žingsnių	58
26.	Prognozavimo rezultatai. a) ANN modelis, b) ANN modelis su koordinatėmis, c) Tiesinės regresijos modelis, d) GWR modelis	59
27.	Gyvybingumo indeksas pasaulyje 2007 m.	72

28. Gyvybingumo indeksas pasaulyje 2012 m.	73
29. Gyvybingumo indeksas pasaulyje 2017 m.	74

Lentelių sąrašas

1. Naudojami suderinamumo indeksai CFA analizėje	25
2. CFA modelio rezultatai 2007 m., 2012 m. ir 2017 m.	39
3. GA ir PSO tikslo funkcijos geriausios reikšmės kiekvienais metais	41
4. Nežinomų parametrų reikšmės, gautos su GA ir PSO algoritmais kiekvienais metais	42
5. Paprastos tiesinės regresijos rezultatai	49
6. VIF koeficiento reikšmės prieš ir po žmogiškojo kapitalo kintamojo pašalinimo .	50
7. Paprastos tiesinės regresijos rezultatai, pašalinus žmogiškojo kapitalo ir aplinko- saugos kintamuosius	51
8. Geografiškai tiesinės regresijos rezultatai	51
9. Ekonominio-socialinio gyvybingumo modelių MSE ir MAPE reikšmės	58

ĮVADAS

Įvairios šalys, kurios yra sudarytos iš skirtingų žmonių, kultūrų, kalbų, požiūrių, gali skirtingai klestėti ir vystytis ekonominiu ar socialiniu aspektu. Vieta, kurioje žmonės gyvena, gali smarkiai veikti jų sveikatą, pragyvenimą, galimybes. Dažnu atveju šalys yra lyginamos tarpusavyje ir bandoma atsakyti, kuo viena ar kita šalis išsiskiria nuo likusių ir kas tam turi įtakos.

Ekonomikoje dažnai yra stebimi skirtumai tarp gyventojų, tokie kaip atlyginimas, turtas ar išsilavinimas. Tačiau taip pat yra svarbu ištirti šiuos skirtumus tarp įvairių vietų. Egzistuoja įvairių indikatorių, kurie sugeba įvertinti šalis ar kitokias vietas. Tokie indikatoriai, kaip bendras vidaus produktas, žmogaus socialinės raidos indeksas ar pasaulinis konkurencingumo indeksas padeda nustatyti labiau ekonomiškai ir socialiai išsivysčiusias valstybes. Reikalinga nustatyti, kokie indikatoriai padeda tam tikroms valstybėms išsilaikyti, suteikti gyventojams palankias sąlygas bei ateityje toliau vystytis ir tobulėti. Kitaip tariant, reikia ištirti šalių gyvybingumą ir tai nulemiančius veiksnius.

Kad būtų išmatuotas šalies ekonominis-socialinis gyvybingumas, reikalinga sudaryti bendrą indeksą vietai [1]. Vietovėms sudaromi indeksai remiasi tiesinėmis priklausomybėmis. Todėl, vertinant ekonominį-socialinį gyvybingumo indeksą bei tai įtakojančius veiksnius būtų galima panaudoti patvirtinančią faktoriinę analizę arba aprašyti tiesinę funkciją, kurios nežinomi parametrai būtų gaunami panaudojus optimizavimo algoritmus.

Tiek gyvybingumą, tiek jam įtakos darančius indikatorius galima vaizdžiai pateikti žemėlapyje. Iš tokios formos būtų matoma, kaip skiriasi viena vietovė nuo kitos. Galima lyginti kaip šalyse kasmet kito tam tikras indikatorius arba stebėti kaip kai kurios šalys susigrupuoja ar yra panašios į savo kaimynes. Šalių grupavimui būtų tikslinga panaudoti savaime besiorganizuojančių vaizdavimų metodą [2].

Tolimesniam pasaulio šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo modeliavimui galimi įvairūs regresijos ir mašininio mokymo metodai. Iš daugelio esamų metodų, geografiškai svorinė regresija yra aktualiausia [3]. Skirtingai nuo paprastos tiesinės regresijos, šiuo atveju matytusi, kaip stipriai tam tikras veiksnys įtakoja ekonominį-socialinį gyvybingumą kiekvienoje valstybėje atskirai. Šio metodo rezultatus taip pat galima pavaizduoti žemėlapyje. Šį metodą būtų galima palyginti su dažniau naudojamu metodu, kaip dirbtiniu neuroniniu tinklu.

Darbo tikslas: sukurti metodiką, leidžiančią įvertinti pasaulio šalių gyvybingumą bei nustatyti tai įtakojančios veiksniai.

Uždaviniai:

- pateikti vietovės ekonominio-socialinio gyvybingumo sampratą ir jos teorines interpretacijas;
- sudaryti ir apskaičiuoti pasaulio šalių gyvybingumo indeksą;
- nustatyti iš kokių rodiklių susideda gyvybingumas pasaulio šalims;
- sukurti regresijos bei neuroninių tinklų modelius, ekonominiam-socialiniam gyvybingumui įvertinti;
- palyginti bei suklasterizuoti pasaulio šalis pagal gyvybingumą.

1 LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Vietovių vertinimas

Vietovė gali būti įvardijama, kaip rajonas, miestas, regionas, šalis arba kitaip apibrėžta teritorija. Yra sugalvotas ne vienas rodiklis, kuris sugeba įvertinti konkrečią vietovę. Tokie rodikliai paprastai susideda iš kitų įvairių indikatorių. Todėl jie apibendrintai parodo kokia yra vietovės padėtis pagal ekonominę situaciją, žmonių išsilavinimą, sveikatą, gyvenimo kokybę ar technologinį pažangumą.

Vienas iš tokių naudojamų rodiklių yra ekonominės laisvės indeksas (angl. *Index of Economic Freedom*). Šis indeksas nusako pagrindinę, kiekvieno žmogaus, teisę kontroliuoti savo darbą ir nuosavybę. Ekonomiškai laisvoje visuomenėje asmenys gali laisvai dirbti, gaminti, vartoti ir investuoti, bet kokiais būdais. Vyriausybės leidžia laisvai judėti darbo jėgai, kapitalui ir prekėms, sulaikant jas nuo laisvės apribojimo. Šis indeksas yra sudarytas iš 12 indikatorių, kurie kartu yra sugrupuoti į 4 ekonominės laisvės grupes:

- **Įstatymas** – susideda iš nuosavybės teisės, vyriausybės vientisumo ir teismų veiksmingumo indikatorių.
- **Vyriausybės dydis** – šioje grupėje yra vyriausybės išlaidų, mokesčių naštos ir fiskalinės sveikatos indikatoriai.
- **Reguliavimo efektyvumas** – apima verslo laisvės, darbo laisvės ir pinigų laisvės indikatorius.
- **Atviros rinkos** – sudarytos iš prekybos laisvės, laisvės investuoti ir finansinės laisvės.

Pasitelkus šių indikatorių informaciją buvo vertinama dauguma pasaulio valstybių nuo 1995 m. Kiekviena indikatorių grupė bei bendras indikatorius vertinamas skalėje nuo 0 iki 100. Šiuo metu geriausiai įvertintos valstybės yra Honkongas, Singapūras, Naujoji Zelandija, Šveicarija, Australija ir Airija. Šių valstybių įvertinimas yra aukštesnis nei 80.

Ekonominės laisvės indeksas padeda efektyviai įvertinti ekonominę padėtį kiekvienoje šalyje. Tačiau, šis rodiklis neatsižvelgia į valstybės gyventojų padėtį. Šiuo tikslu yra pasiūlytas žmogaus socialinės raidos indeksas (angl. *Human Development Index*), kuris įvertina valstybių socialinę ir ekonominę padėtį. Kaip ir ekonominės laisvės indeksas, šis rodiklis susideda iš tam tikrų atskirų indikatorių. Kad būtų atspindėta valstybės socialinė padėtis, indeksas susideda

iš gyvenimo trukmės, išsilavinimo ir bendrųjų nacionalinių pajamų indeksų. Kiekvienoje valstybėje žmonių raida yra vertinama skalėje nuo 0 iki 1. 2019 m. Norvegija, Šveicarija, Airija, Vokietija ir Honkongas buvo aukščiausią indekso reikšmę turėjusios valstybės (daugiau kaip 0.938).

Įvertinti valstybę padeda ir trečio tipo rodiklis – pasaulinis konkurencingumo indeksas. Pasaulio ekonomikos forumo paramos fondas kasmet vertina pasaulio šalių ekonominį konkurencingumą naudodamas šį rodiklį. Šis indeksas susideda iš daug įvairių mažesnių rodiklių, kurie yra sugrupuoti net į 12 grupių:

- **Institucijos.** Tai yra rodikliai, kurie apibūdina šalies institucinę aplinką.
- **Infrastruktūra.** Įvertinama kiekvienos valstybės infrastruktūros būklė. Nuo 1 iki 7 balų reitingu yra vertinama kelių, geležinkelio, transporto, oro uosto kokybė. Prie šios grupės taip pat prisideda elektros tiekimo kokybė.
- **Makroekonomika.** Ši grupė susideda iš vyriausybės biudžeto, skolos, infliacijos bei valstybės kredito reitingo. Šioje dalyje yra įvertinama, kaip stabili yra valstybių makroekonominė aplinka.
- **Sveikata ir pagrindinis išsilavinimas.** Į šią grupę įeina šalies gyventojų dalis arba skaičius, kurie yra užsikrėtę tokiais ligomis, kaip maliarija, tuberkuliozė, ŽIV ir AIDS, taip pat žmonių gyvenimo trukmė ir kūdikių mirtingumas. Prie viso to dar yra įtraukiami pagrindinio išsilavinimo rodikliai.
- **Aukštesnis išsilavinimas.** Į šią grupę įtraukiami rodikliai apie vidurinio bei aukštesniojo išsilavinimo kokybę ir studentų dalį. Darbo paruošimas irgi prisideda prie grupės.
- **Rinkos veiksmingumas.** Grupė susideda iš rodiklių apie valstybių konkurencingumą. Apimamas konkurencingumas tiek nacionaliniu, tiek tarptautiniu mastu. Į grupę taip pat įeina paklausos sąlygų kokybė bei prekių ir paslaugų importas.
- **Darbo rinkos efektyvumas.** Nusako darbdavio ir darbuotojo ryšius, pasitikėjimą įmonėje. Įvertinama darbuotojo gaunamo atlyginimo už sugebėjimus, atlikto darbą kokybę.
- **Finansų rinkos vystymasis.** Susideda iš finansinių paslaugų kokybės, įperkamumo, paskolų prieinamumo bei pasitikėjimo bankais.

- **Technologinis pasiruošimas.** Grupėje atsispindi naujausių technologijų prieinamumas, naudojimas įmonėse. Tai pat nurodoma interneto kokybė bei žmonių dalis, kurie užsisakė interneto paslaugas.
- **Rinkos dydis.** Grupė susideda iš vidaus bei užsienio rinkų indekso, bendrojo vidaus produkto ir eksporto kiekvienai valstybei.
- **Verslo kompleksškumas.** Tai grupė, apimanti vietinių tiekėjų kiekį ir prekių bei paslaugų kokybę. Įvertinama vietinių įmonių veiklos ir strategijų kokybė.
- **Inovacijos** Įvertinama kiekvienos šalies galimybė vystyti inovacijoms. Nusakoma įvairių mokslinių tyrimų institucijų kokybė bei mokslininkų, tyrėjų skaičius. Taip pat, įvertinama kaip vyriausybė bei įmonės finansuoja į mokslinę veiklą.

Pasaulio ekonomikos forumo kiekvienais metais leidžiamose knygose „Global Competitiveness Report“ [4] pažymėtina, kad visos šios grupės tarpusavyje nėra visiškai nepriklausomos. Viena grupė gali būti linkusi sustiprinti kitą, o silpnumas vienoje srityje gali padaryti neigiamą įtaką kitoms.

Paskutiniai konkurencingumo indekso rezultatai yra paskelbti 2018 m. Kiekviena indekso reikšmė yra vertinama nuo 1 iki 7, t.y., nuo prasčiausio įvertinimo iki geriausio. Didžiausius įvertinimus gavo Šveicarija, Jungtinės Amerikos Valstijos, Singapūras, Olandija ir Vokietija. Visos valstybės yra įvertintos daugiau kaip 5,5.

Šie paminėti trys indeksai, t.y., ekonominės laisvės, žmogaus socialinės raidos ir pasaulio konkurencingumo indeksai, yra populiarūs bei plačiai naudojami, kai norima įvertinti bei palyginti šalis viena su kita. Jie yra sudaryti iš atskirų, mažesnių indeksų, kurie taip pat gali būti sugrupuojami į labiau apibendrintas grupes. Kiekviena grupė gali atskleisti tam tikrą konkretaus rodiklio sudėtinę dalį. Jeigu yra daug mažesnių indikatorių, juos sugrupuojant galima palengvinti rezultatų interpretaciją. Visos šių populiarių indeksų rodiklių grupės ir jų sudedamosios dalys turi tarpusavyje panašumų, nors kiekvienas indeksas siekia atskleisti skirtingą situaciją apie valstybę.

Šiame darbe siekiama nustatyti kiekvienos šalies gyvybingumą. Pagal prieš tai minėtų rodiklių pavyzdį, reikia nustatyti pagrindinius indikatorius, kurie galėtų tai įvertinti. Taip pat, tikslinga visus indikatorius sugrupuoti, kad būtų galima aiškiau ir glausčiau paaiškinti iš ko susideda gyvybingumas. Tačiau prieš tai reikia sužinoti, ką gyvybingumas apskritai pasako apie valstybę.

1.2 Ekonominis-socialinis gyvybingumas

Ekonominis ar socialinis gyvybingumas nėra taip plačiai naudojamas, kaip prieš tai minėti rodikliai. Nėra sukurta bendro indekso, kuris įvertintų šalis visame pasaulyje bei būtų skelbiamas kasmet. Literatūroje, kurioje atliekamas ekonominis ar socialinis gyvybingumo tyrimas, yra nagrinėjamos mažesnės vietovės, kaip apskritys, savivaldybės ar rajonai.

Pietų Afrikos „North West“ universitete buvo nagrinėjamas miesto centrų gyvybingumas [5]. Su gyvybingumo indeksu buvo siekiama išmatuoti miestų ekonominę, socialinę, fizinę, aplinkos ir institucinę padėtį. Buvo tikimasi, kad tokie faktoriai atspindės erdvinę įtaką miestų centrams. Pabrėžiama, kad besivystančiose šalyse pagrindiniai miestų įvertinimo indikatoriai yra inžinerinių paslaugų prieinamumas, užimtumo lygis ir viešojo transporto prieinamumas. Išsivysčiusiose šalyse, didesnis dėmesys yra skiriamas pragyvenimo lygiui bei aplinkos kokybei ir prieinamumui. Bėgant laikui šių indikatorių svarba po truputi kito. Pastaruoju metu didesnis dėmesys yra skiriamas kokybiniais rodikliams. Nors kai kurie kiekybiniai matai, kaip ekonominis augimas ar produkcija išliko svarbūs, tokie rodikliai kaip tvarumo, konkurencingumo ir aplinkos kokybė, tapo svarbesni vertinant miestus. Šiame straipsnyje, miesto struktūrą yra bandoma suprasti kaip organinę esybę. Su tokiu sukurtu indeksu buvo vertinama, kaip toks „organizmas“ sugeba išlikti gyvas ir kartu efektyviai dirbti [5]. Todėl, gyvybingumo indeksas šiuo atveju, su pasirinktais indikatoriais, įvertins miesto centro galimybę išlikti gyvam, būti gyvybingu ir pakankamai funkcionuoti, kad būtų patenkinami visi visuomenės pagrindiniai poreikiai bei tobulėtų žmonių gyvenimo kokybė ilgą laiką.

Gyvybingumas, taip pat, buvo tiriamas Jungtinės Karalystės miestams. Pagal nustatytus aštuonis „gyvybės ženklus“, kurie formuoja miesto ekonomiką ir daro įtaką gyventojų paklausai, sudarytas miestų gyvybingumo indeksas, kuris įvertina 13-os didžiausių šalies miestų patrauklumą nekilnojamo turto investuotojams [6]. Šiuo atveju, indeksas buvo panaudotas kaip įrankis, padedantis identifikuoti ilgalaikės strateginės investicijos pasiūlymus, tarp šalies pagrindinių rinkų. Gyvybingumo indeksas buvo sukurtas, remiantis informaciją apie miestų gyventojų skaičių, augimą, jungiamumo kokybę (internetinis ryšys, greitis, viešasis transportas, išlaidos transportui), žmogiškąjį kapitalą, inovacijas, išlaidų konkurencingumą, sektorių koncentraciją, tvarumą (įdarbinimo ir aplinkosaugos prasme) ir pasiūlą. 2019 m. tyrime, miestai, kurie turėjo didesnį gyvybingumo indeksą, turėjo didesnę investicijų apimtį, geresnę likvidumą, bet mažesnę pelningumą. Todėl, investuotojai, kurie rinktųsi mažesnę pelningumą, yra kompensuojami didesniu miesto gyvybingumu. Apskaičiuotas gyvybingumo indeksas kito tarp 0 ir 1. Didžiausią

reikšmę turėjo Londonas (0,83), o likę 12 miestų padalinti į dvi dalis: didesnės rinkos (indeksas kito nuo 0,51 iki 0,67) ir vidutinės rinkos (indeksas kito nuo 0,28 iki 0,45) miestus [6].

Kituose tyrimuose, gyvybingumą buvo siekiama nustatyti Jungtinėse Amerikos Valstijose. Literatūroje galima rasti metodikų, kuriomis įvertinamas gyvybingumas visose šalies apskrityse [7]. Yra pabrėžiama, kad tarp šių vietovių egzistuoja nemaži skirtumai įvairių indikatorių atžvilgiu. Tačiau, jie nėra labai netikėti, nes savaime suprantama, kad miesto regionai yra turtingesni ir labiau klestintys, negu kaimo regionai. Svarbesnis pastebėjimas buvo toks, kad apskritys, kurioms sunkiau sekasi, per paskutinius dešimtmečius nepadarė didelio progreso, kad bandytų pasivyti labiau klestinčias apskritis. Todėl, buvo norima sužinoti, kokie faktoriai padeda geresnėms apskritims labiau išsilaikyti. Gyvybingumo indekse, jie įtraukė vidutines namų ūkio pajamas, skurdo lygį, gyvenimo trukmę, užimtumo ir gyventojų santykį, laisvus gyvenamuosius būstus ir nedarbo lygį. Šie indikatoriai buvo įtraukti, nes jų duomenys buvo prieinami valstijoms per ilgesnį laikotarpį ir jie yra apibūdinami, kaip pagrindinės ekonominės sėkmės ir gyvenimo kokybės aspektai vietovėse, kurios nėra tiesiogiai stebimos. Kita pasirinkimo priežastis yra, kad tarp daugiau ir mažiau klestinčių apskričių yra dideli skirtumai. Pavyzdžiui, didžiausia rodiklio reikšmė vidutinėse ūkio pajamose bei nedarbingumo lygyje tarp visų apskričių buvo dvigubai didesnė, negu mažiausia [7]. Taip buvo gautas gyvybingumo indeksas, kuris taip pat buvo lyginamas su kitais ekonominiais bei socialiniais indikatoriais. Buvo pastebima, kad apskritys su didesniu žmogiškuoju kapitalu, įvairesnėmis ekonomikomis, mažesnėmis gamybos apimtims, didesniu gyventojų tankumu ir labiau novatoriška veikla turėjo didesnį gyvybingumo indeksą 2016 m.

Kitame JAV tyrime, buvo detaliau nagrinėjamas Džordžijos valstijos ekonominis gyvybingumas [8]. Šio tyrimo tikslas buvo sukurti indeksą, kuris padėtų įvertinti valstijos apskričių išteklių prioriteto teikimą ir paskirstymą, ekonominį progresą bei politikos pasirinkimą ir jos sėkmę. Ekonominiam gyvybingumui indeksui sudaryti, panaudoti šie kintamieji: bendro užimtumo augimas, populiacijos augimas, skurdo lygis, darbo užmokesčio augimas, nedarbingumo lygis ir pajamos vienam gyventojui. Ekonominis gyvybingumas buvo tirtas 1980 m. ir 2006 m. duomenims. Gauti rezultatai parodė, kad per šį laikotarpį, daugumoje apskričių ekonominio gyvybingumo indeksas sumažėjo. Indekso reikšmė kito nuo 0 iki 4, o per 26 metus Džordžijos valstijos vidutinė reikšmė sumažėjo nuo 2 iki 1.85.

Dar viename tyrime, buvo siekiama įvertinti kaimo gyvenviečių gyvybingumą Olandijoje [9]. Šios analizės priežastis buvo tokia, kad daugumoje Vakarų Europos valstybių laikoma, kad

kaimo regionų bei agrikultūros sektoriaus svarba vis mažėja. Todėl, buvo norima atsižvelgti į šių vietovių socialinę-ekonominę perspektyvą. Kiekybiniu matu buvo įvertintas mažų gyvenviečių bei negyvenamų zonų gyvybingumas. Indeksas buvo įvertintas įtraukus būsto, užimtumo, demografijos bei infrastruktūros lygio sąlygas. Gauti rezultatai vis dėlto parodė, kad kaimo vietovių struktūrinės charakteristikos bei vystymasis nesiskyrė nuo kitų vietovių Olandijoje.

Ekonominis gyvybingumas gali tapti svarbiu faktoriumi sprendžiant kitokio pobūdžio problemas. Gyvybingumą įmanoma vertinti ne visuotiniu aspektu, bet tik tam tikra dalimi, kuri būtų susijusi su konkrečia problema. Daugumoje literatūros šaltinių galima rasti tokį pritaikymą. Pavyzdžiui, kai buvo norima įvertinti atominės energijos produkciją ir suvartojimą, ekonominis gyvybingumas buvo apibūdinamas, kaip ekonominis potencialas pradėti naudoti naujas technologijas ir užtikrinti jų tęstinumą, kad būtų išlaikytos kitos vertybės [10]. Taip pat, ekonominis gyvybingumas, gali tapti svarbiu faktoriumi, norint priimti arba atmesti pasiūlytą atliekų minimizavimo matą, nes svarbu, kad toks matas būtų ekonomiškai patrauklus [11].

Iš pateiktos literatūros aiškėja, kad gyvybingumas nėra visiškai vienodai nustatomas kiekvienu tyrimo atveju. Yra vertinamos tik tai tam tikros vietovės, paprastai šalies viduje. Ekonominį gyvybingumą galima pritaikyti analizuojant tik tam tikros srities problemas, neatskleidžiant bendros vietovės padėties. Todėl, gyvybingumą įtakojančių rodiklių parinkimas labai priklauso nuo vietovės, kuri bus pasirinkta nagrinėti bei joje norimos analizuoti problemos. Kadangi šiame darbe norima nagrinėti viso pasaulio valstybes, reikia ja kuo labiau apibendrinti, kad atitiktų bendrą ekonominio-socialinio gyvybingumo esmę.

1.3 Šalių ekonominį-socialinį gyvybingumą lemiantys veiksniai

Vertinant ekonominį-socialinį gyvybingumą pasaulio valstybėms, reikia atrinkti kuo labiau jas apibūdinančius rodiklius. Kaip pabrėžia „National Issues Forums“ institutas [12] gyvybinga visuomenė turėtų būti apibūdinama tokiais aspektais: valstybė ekonomiškai klesti ir auga, žmonių gyvenimas yra patogus bei saugus, pastebimas populiacijos augimas, geros kokybės infrastruktūra, žemas nusikalstamumas, gyventojai patenkinti savo darbu bei sąlygomis, valstybė yra lanksti, inovatyvi, gebanti prisitaikyti prie kintančių sąlygų. Trumpai tariant, tai turėtų būti rodikliai parodantys, kaip „gyvai“ jaučiasi visuomenė tam tikroje valstybėje.

Pagal tokią logiką bei remiantis literatūros šaltiniais, kur buvo tiriamas gyvybingumas, galima surasti labiau atitinkančius rodiklius, kuriuos surenka pasaulio valstybės. Verta paminėti, kad ne visi gyvybingumą apibūdinantys rodikliai yra renkami šalies mastu. Kai kurie rodikliai gali

būti prieinami tik konkrečioms miestams ar valstybių apskrityms. Egzistuoja nemažai mažesnių šalių, kurios nekaupia duomenų taip dažnai, kaip didesnės ar žinomesnės šalys. Todėl, žemiau yra išvardinti tik tie rodikliai, kurie yra dažniau renkami kuo didesnio skaičiaus šalių. Taip būtų galima nagrinėti bent 10 metų laikotarpį. Iš „The World Bank“ (WB) ir pasaulinio konkurencingumo indekso (GCI) duomenų bazių galima atsirinkti daugumą, socialinių-ekonominių gyvybingumą apibūdinančių rodiklių (1 pav.).

Yra ne tik svarbu pasirinkti tinkamus rodiklius, juos reikia įtraukti į grupes, kurios glausčiau apibūdintų tam tikrą ekonominio-socialinio gyvybingumo dalį. Taigi, tam tikslui buvo sudarytos rodiklių grupės:

- **Ekonominiai rodikliai.** Ekonomikos ir augimo faktoriui yra priskiriami rodikliai, kurie yra susiję su šalies ekonomine veikla. Literatūroje, vertinant miestų centrų gyvybingumą, BVP ir eksporto rodikliai buvo naudojami apibūdinti visuomenės gerovei bei ekonominiam aktyvumui [5]. Gene F. Summers [13] pabrėžia, kad visuomenės ekonominis gyvybingumas yra susijęs su efektyviu išteklių panaudojimu, išlaidų ir visuomenės gebėjimu prisitaikyti prie kintančių sąlygų. Taigi, vienas iš pagrindinių rodiklių šioje grupėje gali būti bendras vidaus produktas, nes žinoma, kad tai yra svarbus rodiklis, norint išmatuoti ekonominį efektyvumą šalyje. Taip pat, ekonominei aplinkai apibūdinti galima pridėti kasmet pasaulio šalims renkamus eksporto, importo, infliacijos, pridėtinės vertės bei su konkurencingumu susijusius rodiklius.
- **Žmogiškojo kapitalo rodikliai.** Visuomenė išliks gyvybinga, jeigu bus pakankamai gerai paruoštų ir motyvuotų darbininkų, kuriems taip pat suteikiamos palankios sąlygos darbui. Anot A.Carrier ir M.Gunter [14] Virdžinijos valstijos, ekonominis gyvybingumas priklauso nuo kvalifikuotos darbo jėgos, nes darbuotojai su tinkamu parengimu padidina produktyvumą bei galimybę atsirasti naujiems darbdaviams tam tikroje vietovėje. Tokie rodikliai, kaip darbo jėga bei įdarbinimo lygis buvo naudojami tyrimuose vertinant miesto arba kaimo vietovių gyvybingumą [5, 9, 15]. Taip pat, buvo naudojamas nedarbingumo lygio rodiklis [7]. Pasaulio konkurencingumo indekso duomenų bazėje yra su darbu susijusių kokybinių rodiklių, kaip darbuotojų paruošimas, darbo užmokestis, produktyvumas ir samdymo bei atleidimo praktika. Taigi, tokie rodikliai padėtų įvertinti šalies žmogiškąjį kapitalą.
- **Aplinkosaugos rodikliai.** Aplinkosauga yra aktuali tema kiekvienai valstybei. Šalies įvaizdis, gyventojų pasitenkinimas bei sveikata gali priklausyti nuo aplinkos sąlygų.

Vietovės, kuriose yra didesnė oro tarša, prastesnis atliekų tvarkymas, šiukšlinimas, gali pasirodyti nepatrauklios gyvenimui. Daugelis žmonių, gyvenantys šiose vietose, gali nerimauti dėl savo sveikatos ir ateities. Ateityje, aplinkosaugos judėjimas turėtų būti paremtas bendrai pagal gyventojų ir gamtos poreikius [16]. Atsinaujinančios energijos pagaminimas bei vartojimas prisideda sprendžiant šias problemas. Taigi, šioje grupėje būtų galima įtraukti šiuos rodiklius, pateiktus „The World Bank“: šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas, atsinaujinančios energijos pagaminimas ir sunaudojimas.

- **Išsilavinimo rodikliai.** Visoms visuomenėms, mokyklos bei kitos ugdymo įstaigos yra labai svarbios. Jos ne tik suteikia išsilavinimą, bet ir gali elgtis kaip socialiniai ir kultūriniai centrai, nes tai yra vietos sporto, teatro, muzikos ir kitoms veikloms [17]. Kad šalis progresuotų, jos gyventojams turi būti suteiktos palankios sąlygos įgyti kokybišką išsilavinimą. Gyvybingoje valstybėje didžioji dauguma žmonių turėtų būti įgiję vidurinę ir aukštąją išsilavinimą. Pasauliniam konkurencingumo indeksui sudaryti, pateikiami duomenys apie šalių išsilavinimo kokybę bei kokia gyventojų dalis įgijo pradinį, vidurinį ar aukštąją išsilavinimą. Tokie rodikliai tiktų vertinant gyvybingumą.
- **Inovacijų rodikliai.** Ši grupė skiria dėmesį tam, kaip šalyje yra pritaikomos naujos įvairiose veiklose. Įmonės turėtų kurti naujus produktus, paslaugas su naujausiomis prieinamomis technologijomis, taip užtikrinant tolesnę veiklos augimą ir konkurencingos aplinkos palaikymą. Kad valstybė neatsiliktų nuo viso pasaulio, ji turi vystyti mokslo ir tiriamąją veiklą bei novatorišką verslumą [18]. Inovacijos sustiprinimui prisideda didesnis šalies investavimas į mokslinius tyrimus, nes didesnis kokybiškų institucijų skaičius reiškia, kad pačioje šalyje gali būti kuriamos naujos technologijos.
- **Populiacijos ir sveikatos rodikliai.** Svarbu atskleisti, kokia yra bendra gyventojų sveikata šalyje. Ilgesnė gyvenimo trukmė bei didesnis gimstamumo lygis visuomet labai teigiamai apibūdina valstybę. Dėl to ne vienas tyrimas siekiant nustatyti vietovės gyvybingumą naudojo tokius rodiklius, kaip populiacijos skaičius, augimas, amžius, gyvenimo trukmė, gimstamumas ir mirtingumas [5, 7, 15]. Gyventojų sveikata gali turėti įtakos valstybės ekonominiam augimui ir išsilavinimui, nes sergant darbuotojams sumažėja produktyvumas, o sveikesni moksleiviai aktyviai lanko mokymo įstaigas ir efektyviau mokinasi [19]. Stebint šalies populiacijos raidą, mažėjantis gyventojų skaičius gali reikšti didesnę emigraciją, vadinasi daugėja gyventojų, kurie nenori savo ateities sieti su valstybe.
- **Turizmo rodikliai.** Kiekvienai šaliai turizmo sektorius yra svarbus. Jis prisideda prie

ekonominio augimo, generuojant pajamas, sukuriant darbo vietas, tuo pačiu gerinant šalies įvaizdį ir patrauklumą. Vertinant gyvybingumą būtų galima pridėti „The World Bank“ duomenų bazėje esančius rodiklius apie valstybių tarptautines išlaidas ir pajamas turizmui.

- **Infrastruktūros ir tinklaveikos rodikliai.** Kiekvienoje valstybėje infrastruktūra daro svarbų poveikį ekonomikos augimui bei vietiniam konkurencingumui. Įvairiuose tyrimuose [20] padarytos išvados, kad infrastruktūra leidžia įmonėms generuoti papildomą produktyvumą, sumažinti gamybos sąnaudų kainą, padidinti darbuotojų produktyvumą. Infrastruktūra sukuria naujas darbo vietas, ypač statybos sektoriuje. Taip pat, turi teigiamą įtaką išsilavinimui ir sveikatai, kurios tuo pačiu teigiamai įtakoja ekonomikos augimą. Todėl nenuostabu, kad stipriose ir išsivysčiusiose šalyse egzistuoja kokybiška infrastruktūra. Automobilių keliai ir geležinkelis leidžia patogiai pasiekti bet kurią šalies vietą. Uostai bei oro uostai leidžia be vargo susisiekti tarp svarbiausių pasaulio miestų. Prie infrastruktūros prisideda įvairi tinklaveika, kaip elektros, telefono, mobilieji ir interneto ryšiai. Šiais laikais be visų šių išvardintų paslaugų kasdieninis gyvenimas būtų neįsivaizduojamas.
- **Miesto vystymosi rodikliai.** Miesto plėtra bei dabar esama padėtis yra svarbus faktorius, apibūdinantis visuomenės gyvybingumą. Kanadoje, British Columbia valstijoje, D. Alexander ir kiti tyrėjai tikrino ryšį tarp miestų padėties, gyvenimo kokybės ir ekonominio gyvybingumo pabrėždami, kad miestai gali atrodyti labiau išsisklaidę arba kompaktiški [21]. Kompaktiškuose miestuose esamas didesnis gyventojų tankumas, geresnis žemės ploto panaudojimas ir daugiau galimybių žmonėms pasiekti parduotuves, paslaugas, įvairias miesto vietas nesinaudojant nuosavu transportu. Toks miestų išsivystymas gali įtakoti geresnį valstybės gyvybingumą, todėl įtraukiami populiacijos tankio ir gyventojų skaičiaus mieste rodikliai.
- **Nusikalstamumo rodikliai.** Įvairūs rodikliai apie nusikalstamumą gali padėti įvertinti vietovės ekonominį-socialinį gyvybingumą. Malaizijoje atliktas tyrimas apie ryšį tarp nusikalstamumo ir ekonominio augimo parodė, kad geresnė ekonominė būklė šalyje ne visuomet reiškia, kad egzistuoja mažiau nusikalstamos veiklos [22]. Tam pasiekti, šalies vyriausybė turėtų siekti ne tik ekonominio augimo, bet ir pasirūpinti, kad būtų sukurta daugiau darbo vietų, padidinti atlyginimai, gyventojai aprūpinti svarbiausiais poreikiais bei užtikrinta, kad būtų sugriežtinamas įstatymų pažeidimas nusikalstamai veiklai efektyviai kontroliuoti. Gyventojams yra svarbu jaustis saugiams savo pačių šalyje. Vertinant

gyvybingumą, tyrimuose buvo naudojamas nusikaltimų skaičiaus 100000 gyventojui rodiklis. Pasaulio konkurencingumo indekso duomenų bazėje galima rasti nusikalstamumo lygio rodiklį daugumai pasaulio šalių bei būtų galima įtraukti patirtas išlaidas dėl nusikalstamumo, nelegalius mokėjimus, kyšius ir pasitikėjimą policija.



1 pav. Ekonominio-socialinio gyvybingumo rodikliai ir rodiklių grupės

Įtraukus visus paminėtus rodiklius nuspręsta, kad pagal tai bus vertinamas bendras socialinis ir ekonominis gyvybingumas pasaulio šalims. Literatūroje, gyvybingumas paprastai yra tiriamas miestams ar apskritims, bet rečiau visai valstybei ar žemynui. Iš prieš tai pateiktų literatūros pavyzdžių, tikrai Jungtinėms Amerikos Valstijoms buvo galima rasti informacijos apie gyvybingumo tyrimą valstybės mastu. Kitoms šalims ar žemynams, kaip Europa, Azija, Afrika tokios analizės nebuvo rasta arba buvo sprendžiamos kitokio pobūdžio problemos. Todėl, tolimesnei analizei šie pasirinkti rodikliai buvo atsižvelgiami į tai, kaip gyvybingumas buvo tiriamas įvairiose vietovėse literatūroje ir su kokiais rodikliais galima būtų geriau apibūdinti šalies bei jos gyventojų padėtį. Taigi, panaudojus visus paminėtus rodiklius, kitas žingsnis būtų gauti indeksą, su kuriuo galima apibūdinti bendrą šalies ekonominį-socialinį gyvybingumą.

1.4 Šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo vertinimas indeksu

Socialinį-ekonominį gyvybingumą vietovei patogiu apibūdinti naudojant apibrėžtą indeksą. Visi kaip ekonominės laisvės ar žmogaus socialinės raidos indeksas, gyvybingumo indeksas galėtų apibendrintai įvertinti, palyginti bei reitinguoti įvairias vietas.

Sukurtą indeksą po to būtų galima analizuoti bei modeliuoti įvairiais statistiniais, duomenų tyrimo ar mašininio mokymo metodais. Tokiu būdu galėtume turėti platesnes įžvalgas apie tai, kas turi įtakos gyvybingumui, lyginant pasaulio valstybes bei jas įtakojančius veiksnius.

Kaip jau minėta, bendro sutartinio indekso miestams, pasaulio valstybėms ar kitoms vietovėms apibūdinančio gyvybingumą pateikta nėra. Literatūroje, tyrėjai iš pasirinktų rodiklių patys sukūrė geriausiai rezultatus atspindintį matą, kuris buvo išreikštas balais arba procentais. Taip pat, pastebima, kad tyrimuose gyvybingumas buvo matuojamas nevienoduose intervaluose, pavyzdžiui: nuo 0 % iki 100 % [5], nuo -4.78 iki 3,29 [7] ir nuo 3 iki 30 [15]. Taigi, verta panagrinėti kokiais būdais ar metodais literatūroje buvo sudaromas gyvybingumas.

1.4.1. Gyvybingumo indekso skaičiavimas mokslinėje literatūroje

Literatūroje galima rasti kelis pavyzdžius, kur buvo skaičiuojamas ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas bei pateikta gauta reikšmė tiriamoms vietovėms.

Pietų Afrikos „North West“ universitete buvo apskaičiuotas gyvybingumo indeksas Northern Cape provincijos miestų centrams [5]. Tyrėjai sudarė indeksą iš keturių indikatorių grupių: gerovės, pasitenkinimo, aprašomojo socialinio ir erdvinių indikatorių. Gyvybingumo indeksas bendrai buvo aprašomas formule:

$$\begin{aligned}
\text{Gyvybingumo indeksas} &= \frac{1}{4} \text{ Gerovės indikatoriaus balas} \\
&+ \frac{1}{4} \text{ Pasitenkinimo indikatoriaus balas} \\
&+ \frac{1}{4} \text{ Aprašomojo socialinio indikatoriaus balas} \\
&+ \frac{1}{4} \text{ Erdvinio indikatoriaus balas}
\end{aligned} \tag{1.1}$$

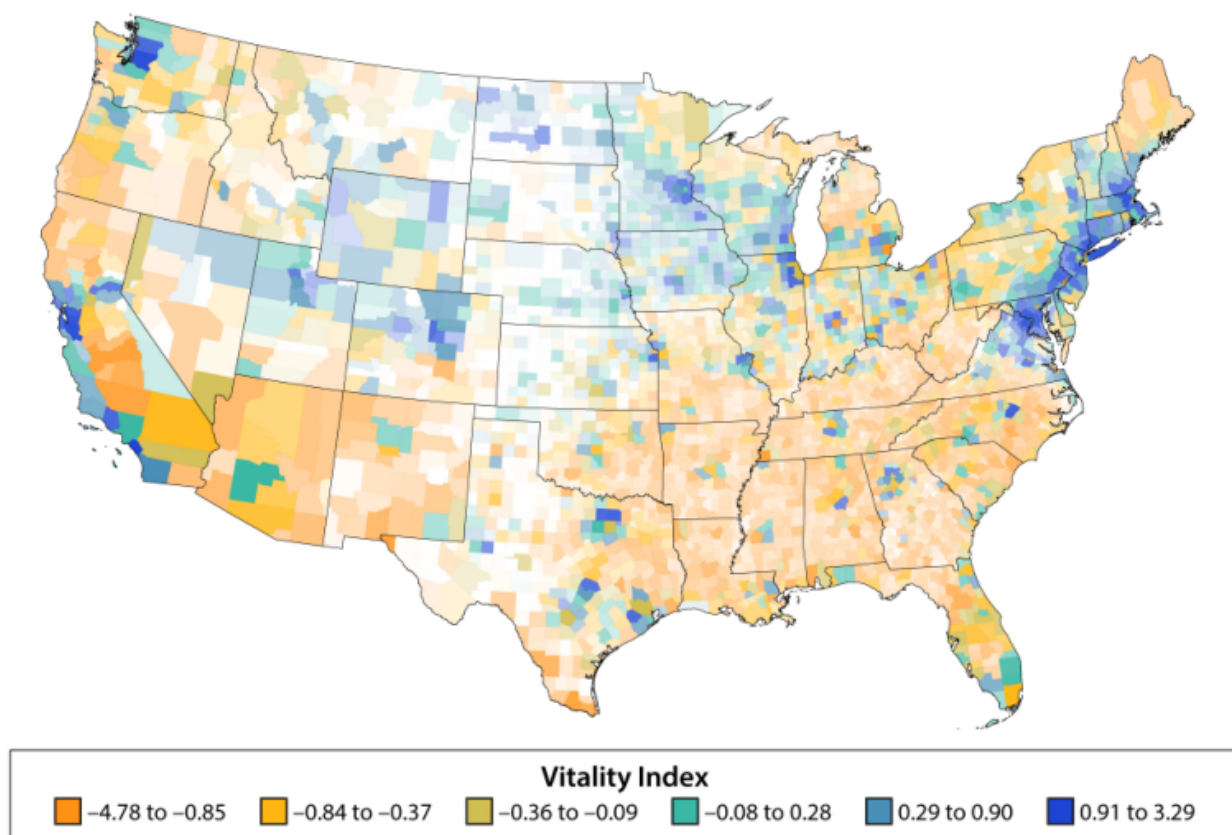
Iš (1.1) formulės, matome, kad gyvybingumas buvo įvertintas pagal visų keturių indikatorių grupių balus. Balų reikšmėms gauti, kiekvienoje grupėje tiriamos vietovės buvo įvertintos pagal kvartilių sistemą. Pirmiausiai, miestų centrams priskiriamas įvertinimas nuo 1 iki 4 pagal konkretaus rodiklio reikšmės dydį. Surikiavus rodiklių reikšmes visiems miestams didėjančia tvarka, įvertinimą „1“ gautų reikšmės iki 1-ojo kvartilio, „2“ – iki 2-ojo kvartilio, „3“ – iki 3-ojo kvartilio ir „4“ – nuo 3-ojo kvartilio. Toliau, konkrečiam miesto centrui, gaunamas visų įvertinimų vidurkis indikatorių grupėje, o gauta reikšmė yra indikatorių grupės balas. Turint n grupių, kiekvienas miestas daugiausiai gali gauti $(n \cdot 4)$ balų. Galiausiai, gautą gyvybingumo indeksą galima išreikšti procentiškai ir reitinguoti vietoves, priskiriant rangą. Analizuotiems Northern Cape miestų centrams, indeksas kito nuo 41,60 % iki 77,71 %.

Jungtinių Amerikos Valstijų apskritims, gyvybingumo indeksas buvo apskaičiuotas kitu būdu [7]. Indekso reikšmei gauti buvo panaudota patvirtinančioji faktorinė analizė. Šio statistinio metodo pagalba sukurtas indeksas, kuris apibūdina ekonominio aktyvumo bei gerovės rodiklių bendrą pokytį. Norimiems rezultatams gauti buvo pasirinkti šeši kintamieji: vidutinės namų ūkio pajamos, skurdo lygis, gyvenimo trukmė, užimtumo ir gyventojų santykis, laisvi gyvenamieji būstai ir nedarbo lygis. Pritaikytas metodas apima kintamųjų svorių bei pačio gyvybingumo mato įvertinimą [23]. Jeigu gyvybingumo faktorinis kintamaisiais yra ξ , procesas aprašomas formule:

$$y_{ij} = \mu_j + \lambda_j \xi_i + \delta_{ij}. \tag{1.2}$$

Formulės (1.2) išraiška primena tiesinę regresiją, nes y_{ij} yra vertinamas kintamasis, μ_j – konstanta, λ_j – faktorinio kintamojo svoris arba regresoriaus koeficientas, o δ_{ij} – įvertinimo paklaida. Raide i žymimos šalies valstijos, o j – visi vertinimui naudojami kintamieji. Apskaičiuotam indeksui taikoma prielaida, kad jo vidurkis yra lygus nuliui, o standartinis nuokrypis – vienetui, nes patys kintamieji yra standartizuoti tokiu būdu. Taip pat, leidžiama, kad šio metodo gautos paklaidos koreliuotų, nes kai kurie kintamieji, kaip nedarbo lygis ir užimtumas, gali atspindėti

darbo paklausos šokus, todėl jie turi panašią informaciją. Patvirtinančioji faktorinė analizė panaudojo nagrinėjamų šešių kintamųjų koreliacijas taip, kad būtų sukurtas vienintelis matas, kuris apibūdina bendrą pokytį tarp visų kintamųjų. Dėl to, kad kai kurie rodikliai, kaip vidutinės ūkio pajamos, turėjo stiprią koreliaciją su kitais rodikliais, jie taip pat stipriai koreliuoja su gyvybingumo matu. Tokiu būdu, kai kurie kintamieji turi didesnę įtaką gyvybingumo indekso sudarymui, negu kiti. Jungtinių Amerikos Valstijų atveju, 2016m. didžiausią įtaką gyvybingumui turėjo vidutinės ūkio pajamos (0,50 koef. reikšmė), skurdo lygis (0,27) ir gyvenimo trukmė (0,15).



2 pav. JAV gyvybingumo indeksas 2016 m. [7]

JAV apskričių tyrime, gyvybingumo indekso reikšmė kito nuo -4,78 iki 3,29. Kadangi, buvo taikoma prielaida, kad indekso vidurkis yra lygus nuliui, teigiamas reikšmes turinčios valstijos pasižymi geresniu gyvybingumu, o neigiamas – prastesniu. Kaip ir buvo tikėtasi, didžiausią gyvybingumo indekso reikšmę turėjo apskritys, kurios buvo arti svarbiausių Jungtinių Amerikos Valstijų miestų, kaip Niujorkas, Filadelfija, Los Andželas, San Fransiskas, Čikaga ir t.t. Šalies žemėlapyje (2 pav.) pastebima, kad gyvybingiausios vietovės yra rytinėje ir vakarinėje pakrantėje, o žemyno viduje kitokia padėtis. Šiaurinėje šalies dalyje egzistuoja didesnis, nei

vidutinis gyvybingumas, bet jis nėra toks didelis dėl mažesnio populiacijos skaičiaus. Tačiau, dauguma apskričių turi mažesnį nei vidutinį gyvybingumą pietinėje šalies dalyje. Neskaitant didžiausių miestų, visos apskritys Arkanzaso, Kentukio, Misisipės ir Vakarų Virdžinijos valstijos turi žemus indekso įvertinimus. Dėl to, kad didesnė JAV dalis žemėlapyje turi geltoną atspalvį, galima daryti išvadą, kad dauguma gyvybingų apskričių aplink miestus turi nedidelę teritoriją, lyginant su didesnėmis kaimo vietovėmis, kuris turi mažą indekso reikšmę. Taigi, žemėlapyje aiškiai atsiskiria kaimo ir miesto vietovės.

Paminėta, kad šis metodas nebuvo vienintelis būdas apskaičiuoti gyvybingumo indeksą, bet vis dėlto buvo pasirinktas vietoje tokių metodų, kaip vienodo svorinio indekso (angl. *Equally weighted index*), pagrindinių komponenčių analizės (angl. *Principal component analysis*) ir tiriančiosios faktorinės analizės (angl. *Exploratory factor analysis*). Patvirtinančioji faktorinė analizė atrodė kaip patrauklus metodas, nes nėra tikėtina, kad naudojami kintamieji turės vienodą įtaką vietovės gyvybingumui. Konkrečiam kintamam bus priskirtas tam tikras svoris pagal tai, kaip jis koreliuoja su kitais analizėje naudojamais kintamaisiais bei pačiu gyvybingumu.

Įvertinus pasaulio valstybes, gyvybingumo indeksą būtų galima pavaizduoti tokiu pačiu principu, kaip (2 pav.), t.y. naudojant *heatmap* vaizdavimą žemėlapiams. Visame pasaulyje, panašiai, kaip JAV apskričių tyrime, gyvybingesnės turėtų būti tos šalys, kurios yra turtingesnės, modernesnės, su didesniu populiacijos skaičiumi. Žemėlapyje tik galima pavaizduoti kaip situacija atrodė vienu laiko momentu. Todėl, įdomu panagrinėti, kaip gyvybingumas kito įvairiose vietose ilgesniu laikotarpiu. Taip būtų galima sužinoti net tik, kokios valstybės yra gyvybingiausios pasaulyje, bet ir tai kokios šalys daro didesnę progresą, ypač tarp mažiau populiarių valstybių.

1.4.2. Indekso sudarymo etapai

Šiame darbe, vienas iš uždavinių yra apskaičiuoti ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksą. Tai yra vienas iš tinkamiausių būdų vertinti pasaulio šalių gyvybingumą, nes indeksas yra apibrėžtas, kaip tam tikros srities kiekybinio ar kokybinio vertinimo dirbtinai sukurtas instrumentas, kuris yra sudarytas iš subindikatorių ir, kuriuo remiantis, nagrinėjami objektai gali būti ranguojami [1]. Teoriškai, indeksas gali būti apskaičiuojamas atliekant šiuos žingsnius:

1. **Modelio sudarymas ir rodiklių parinkimas.** Sudaromas modelis, kuriame identifikuojami ir apibrėžiami veiksniai, susiję su nagrinėjama problema. Parenkami su nustatytais veiksniais susiję kuo tinkamesni ir aktualesni rodikliai. Atsižvelgiama, kad rodikliuose

būtų patikimi ir pakankamai kokybiški duomenys t.y. nebūtų trūkstamų reikšmių, būtų kuo daugiau stebinių ar pateikiamas kuo ilgesnis laikotarpis. Vertinant vietas, duomenys turi būti sudaryti taip, kad tarpusavyje būtų lyginamos tos pačios vietovės bei jų duomenys prieinami visu laikotarpiu. Kintamieji, kuriose yra trūkstamos informacijos, pašalinami.

2. **Rodiklių standartizavimas.** Tarp kai kurių rodiklių, reikšmių skalė gali smarkiai skirtis. Siekiant išvengti stiprios nelygybės tarp reikšmių, pritaikomas standartizavimas. Dažniausiai yra naudojamas standartinio nuokrypio nuo vidurkio metodas, kuriame reikšmė yra atimama iš vidurkio ir padalinama iš standartinio nuokrypio. Pritaikius metodą, rodiklių reikšmių vidurkis bus lygus nuliui, o standartinis nuokrypis – vienetui.
3. **Svorio koeficientų apskaičiavimas.** Kiekvienas veiksnys, apibūdinantis nagrinėjamą problemą, turi skirtingą įtaką arba svorį. Svorio koeficientai gali būti nustatomi pagal ekspertinę nuomonę arba panaudojus statistinius ir matematinius metodus. Visiems rodikliams ir/arba juos apibūdinantiems veiksniams yra suteikiami vienodo arba skirtingo dydžio svoriniai koeficientai. Nuo suteiktų svorių koeficientų dydžio priklauso ir pats indekso dydis.
4. **Indekso apskaičiavimas.** Šiame žingsnyje yra užrašoma funkcija, pagal kurią yra suskaičiuojamas indeksas. Dažniausiai, tokia funkcija gali turėti adityvią išraišką arba remtis daugialype tiesine regresija (1.3).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k. \quad (1.3)$$

5. **Indekso patikimumo analizė.** Indekso dydis gali kisti dėl pasirinktų veiksnių, svorio koeficientų suteikimo, kitų skaičiavimų. Todėl, verta patikrinti sudaryto indekso patikimumą. Indeksas gali tapti nepatikimas atsiradus modelio, duomenų kokybės ar skaičiavimo metodų neapibrėžtumams. Indekso patikimumui patikrinti gali būti panaudota koreliacinė analizė. Jeigu koreliacijos koeficientas, tarp indekso ar koeficientų reikšmių, yra didelis, rezultatai yra mažiau jautrūs skirtingiems skaičiavimo metodams, kurie atliekami per visą laikotarpį.

2 MEDŽIAGOS IR TYRIMŲ METODAI

Šiame skyriuje bus pateikti visi šiai analizei naudojami metodai, kuriuos panaudoti apskaičiuojant pasaulio šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksui ir metodai, kurie buvo skirti sudarant modelius apibūdinančius apskaičiuotą ekonominį-socialinį gyvybingumą.

2.1 Patvirtinančioji faktorinė analizė

2.1.1. CFA tikslas ir prielaidos

Vienas iš gyvybingumo indekso apskaičiavimo būdų literatūroje, buvo naudojant patvirtinančiąją faktorinę analizę. Pasaulio šalių gyvybingumui apskaičiuoti taip pat pasirinkta panaudoti šį metodą.

Faktorinė analizė yra skirta ištirti ryšį, tarp latentinių ir stebimų kintamųjų. Kintamieji yra vadinami latentiniais, jeigu jų negalima tiesiogiai išmatuoti, pavyzdžiui – tolerancija, depresijos stiprumas, gyvenimo kokybė, šešėlinės ekonomikos apimtis, verslumas, ligos stadija [24]. Faktorinė analizė gali būti tiriančioji (EFA – angl. *Exploratory factor analysis*) arba patvirtinančioji (CFA – angl. *Confirmatory factor analysis*). EFA atveju susiejamas ryšys tarp pasirinktų latentinių faktorių ir visų stebimųjų kintamųjų, kad sužinotume kurie kintamieji yra stipriausiai susiję su tam tikrais faktoriais. Atlikus analizę, kiekvienam gautam faktoriui yra sugalvojamas vardas, kad būtų apibūdinami į jį įeinantys kintamieji. Tuo tarpu, atliekant CFA, faktorių pavadinimai jau yra sugalvoti, todėl nurodomi visi esantys ryšiai tarp faktorių ir juos apibūdinančių kintamųjų. Šios analizės tikslas yra patikrinti ar sudaryti ryšiai yra tinkami pateiktiems duomenims.

Faktorinei analizei atlikti, duomenims yra keliami kai kurie praktiniai reikalavimai. Tiesa, pabrėžiama, kad realiame gyvenime tiriami kintamieji gali kai kurių prielaidų netenkinti, todėl faktorinė analizė yra atspari saikingiems pažeidimams [24].

- Tiriami kintamieji turi būti intervaliniai, su normaliu pasiskirstymu. Vadinasi, turėtų būti ne per mažas skaičius įgyjamų unikalų reikšmių (bent penkios reikšmės).
- Duomenyse neturi būti išskirčių. Jų buvimas gali iškreipti koreliacijas tarp kintamųjų, kurios CFA yra būtinos norint įvertinti ryšių tinkamumą.
- Duomenys turi turėti pakankamai stebėjimų. Šis skaičius turėtų būti nuo 100. Taip pat, sakoma, kad stebėjimų turėtų būti 10 kartų arba bent 60 vienetų daugiau nei kintamųjų.

2.1.2. CFA modelio sudarymas

CFA modelis gali būti aprašomas lygtimis arba pavaizduotas diagrama. Visai kaip tiesinėje regresijoje, modelio lygtys, yra aprašomos tiesinėmis priklausomybėmis. Jeigu turime latentinius faktorius y_1, \dots, y_n ir stebimus kintamuosius x_1, \dots, x_n , tiesinė priklausomybė tarp dviejų kintamųjų y_1 ir x_1 užrašoma lygtimi:

$$x_1 = \lambda_1 y_1 + e_1, \quad (2.1)$$

čia λ_1 vadinamas faktoriniu svoriu, o e_1 – liekamąja paklaida. Taip pat, $e_1 \sim \mathcal{N}(0, \sigma_1^2)$, o σ_1^2 yra nežinoma liekamosios paklaidos dispersija. Analogiškai būtų galima užrašyti kitus ryšius, pavyzdžiui x_2 priklausomybę su faktoriumi y_1 ir x_3, x_4 priklausomybes su y_2 . Sudarius visas lygtis, pagal (2.1) formą, užrašoma lygčių sistema. Kadangi latentiniai faktoriai nėra matuojami, negalima išspręsti lygčių sistemos. Todėl, sistemai yra pritaikomi papildomi apribojimai. Reikia, kad latentinis faktorius turėtų konkrečią dispersiją (pavyzdžiui lygią vienetui) arba po vieną faktorinį svorį kiekvienam faktoriui prilyginti vienetui. Pritaikius apribojimą, kai $\lambda_1 = 1$ ir $\lambda_3 = 1$, lygčių sistema atrodytų taip:

$$\begin{cases} x_1 = y_1 + e_1, \\ x_2 = \lambda_2 y_1 + e_2, \\ x_3 = y_2 + e_3, \\ x_4 = \lambda_4 y_2 + e_4. \end{cases} \quad (2.2)$$

Sudarytą lygčių sistemą (2.2) taip pat galima perrašyti matricine forma:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \lambda_2 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \lambda_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{pmatrix}. \quad (2.3)$$

Iš matricinės išraiškos (2.3) seka apibendrintas CFA modelio užrašymas kai turime k latentinių faktorių ir n stebimų kintamųjų:

$$X = \Lambda \xi + e. \quad (2.4)$$

(2.4) formulėje X yra visų stebimų kintamųjų vektorius, Λ – $n \times k$ dimensijos latentinių faktorių svorių matrica, ξ – latentinių faktorių vektorius ir e – liekamųjų paklaidų vektorius. Toks modelis yra taikomas, kai kintamųjų reikšmės yra standartizuotos. Visi stebimi kintamieji turi nulinius vidurkius, o liekamųjų paklaidų ir latentinių kintamųjų dispersijos yra vienetinės. Standartizuojant yra lengviau pamatyti kokius kintamuosius faktoriai veikia stipriau arba silpniau.

Egzistuoja reikalavimai, nurodantys kiek kintamųjų turėtų būti CFA modelyje. Vienas faktorius negali būti susijęs tik su vienu kintamuoju, nes tarp jų būtų tiesiog galima padėti lygybės ženklą. Kad būtų tikslingiau nagrinėjamos koreliacijos tarp kintamųjų, rekomenduojami bent trys ar keturi kintamieji vienam faktoriui. Didžiausias kintamųjų skaičius priklauso tikrai nuo uždavinio bei visiems kintamiesiems gali egzistuoti tikrai vienas latentinis faktorius.

2.1.3. Identifikuojamas ir tinkamas CFA modelis

Modelis yra identifikuojamas tada, kai duomenų aibė yra pakankama modelio parametrų įvertinti. Pavyzdžiui, sprendžiant lygčių sistemą, kurioje du indikatoriai yra apibrėžiami pagal vieną faktorių, reikia rasti keturis nežinomus parametrus (faktorius svorį β , faktorius dispersiją $\mathbf{D}\mathbf{Y}$ ir liekamųjų paklaidų dispersijas σ_1^2, σ_2^2), kurie išsprendžiami iš trijų lygčių. Kadangi nežinomų parametrų skaičius yra didesnis negu lygčių skaičius, toks modelis yra neidentifikuojamas. Bendrai, galioja taisyklė, kad jeigu turimas modelis su k indikatorių, jis yra identifikuojamas tik tada, kai nežinomų parametrų skaičius neviršija $k(k+1)/2$.

Sudarius ir identifikavus CFA modelį, reikia patikrinti ar jis yra tinkamas duomenims. Iš kiekvieno modelio galima išreikšti latentinių faktorių kovariacijų matricą Φ ir liekamųjų paklaidų matricą Θ . Indikatorių kovariacijų matrica Σ yra sudaryta iš populiacijos matuojamų kintamųjų kovariacijos, o kovariacijų matrica Σ_M yra kintamųjų kovariacijų matrica, kai teisingos modelių priklausomybės: $\Sigma_M = \Lambda\Phi\Lambda' + \Theta$. Modelio lygčiai išspręsti reikia rasti parametrų įverčius $\hat{\Sigma}_M$ ir $\hat{\Sigma}$. CFA modelis yra tinkamas, jeigu sudarytos kintamųjų priklausomybės yra visiškai teisingos, t.y. $\Sigma_M = \Sigma$. Modelio tinkamumą padeda įvertinti χ^2 statistikos reikšmė. Ji yra skaičiuojama pagal formulę $\chi^2 = (n-1)F(\hat{\Sigma}_M, \hat{\Sigma})$, kur n yra imties dydis. Maža χ^2 reikšmė reiškia, kad modelis yra tinkamas duomenims. Bendru atveju, yra tiriama statistinė hipotezė apie kintamųjų ir modelio kovariacijų matricų lygybę:

$$\begin{cases} H_0 : \Sigma_M = \Sigma, \\ H_1 : \Sigma_M \neq \Sigma. \end{cases}$$

Jeigu χ^2 statistikos p-reikšmė yra didesnė, negu reikšmingumo lygmuo α , CFA modelis yra tinkamas duomenims. Tiesa, ne visuomet pakanka ištirti šią hipotezę, norint patikrinti modelio tinkamumą duomenims, nes nėra nustatoma statistiškai nereikšmingų kintamųjų, kurių faktorinis svoris yra lygus arti nulio, tiktai padaroma išvada, kad jų pakanka. Jeigu duomenyse yra daug stebėjimų ir sudarytas modelis yra sudėtingesnis, šalia χ^2 statistikos yra siūloma naudoti kitus suderinamumo indeksus, kaip normuotas χ^2 (NC), kvadratinė šaknis iš vidutinės aproksimacijos paklaidos (RMSEA), kvadratinė šaknis iš standartizuotos vidutinės liekanos (SRMR), pataisytas modelio suderinamumo indeksas (AGFI), prieaugų suderinamumo indeksas (IFI), Takerio-Luiso indeksas (TLI), sąlyginis suderinamumo indeksas (CFI). Šie suderinamumo indeksai gali tik apibūdinti vidutinį modelio tinkamumą duomenims, jie negali atskleisti ar reikalingi visi nustatyti sąryšiai iš koreliacijos. Indeksų tinkamumo reikšmės pateiktos lentelėje žemiau (1 lentelė).

1 lentelė. Naudojami suderinamumo indeksai CFA analizėje

Suderinamumo indeksas	Gera reikšmė	Priimtina reikšmė
<i>NC</i>	$NC \leq 2$	$NC \leq 3$
<i>RMSEA</i>	$RMSEA \leq 0.05$	$RMSEA \leq 0.08$
<i>SRMR</i>	$SRMR \leq 0.05$	$SRMR \leq 0.08$
<i>AGFI</i>	$AGFI \geq 0.95$	$AGFI \geq 0.90$
<i>IFI</i>	$IFI \geq 0.95$	$IFI \geq 0.90$
<i>TLI</i>	$TLI \geq 0.95$	$TLI \geq 0.90$
<i>CFI</i>	$CFI \geq 0.95$	$CFI \geq 0.90$

Sudarius tinkamą CFA modelį, kiekvienam kintamajam galima surasti latentinio faktoriaus svorį. Sudarius svorių ir kintamųjų reikšmių tiesinę kombinaciją, apskaičiuojamas latentinio faktoriaus įvertis, kuris gali būti apibrėžiamas kaip tam tikras indeksas, o jo reikšmės galima pritaikyti tolimesniam modeliavimui.

2.2 Evoliuciniai optimizavimo algoritmai

Optimizavimas yra reikalingas sprendžiant uždavinius, kur norima rasti minimalią arba maksimalią reikšmę. Tam tikram uždaviniui apibrėžiama tikslo funkcija bei nurodomi apribojimai, o algoritmas iteraciniu būdu suranda funkcijos sprendinį su kuriuo gaunama optimali reikšmė. Realiame gyvenime optimizuojami įvairūs verslo, mokslo, inžineriniai uždaviniai. Dažniausiai yra naudojami tradiciniai optimizavimo algoritmai, kaip gradientinis arba stochastinis gradientinis nusileidimas. Egzistuoja tam tikri algoritmai, vadinami evoliuciniais, kurie skirtingai nuo tradicinių algoritmų laikui bėgant vis vystosi ir nėra statiški. Todėl, šiame darbe pasirinkta nagrinėti evoliucinius algoritmus.

2.2.1. Genetinis algoritmas

Genetinis algoritmas (GA – angl. *Genetic algorithm*) yra atsitiktine tvarka parentas evoliucinis algoritmas. Esamiems tikslo funkcijos sprendiniams pritaikomi atsitiktiniai pokyčiai, kad būtų gaunami nauji sprendiniai. Algoritmas yra parentas Čarlzo Darvino evoliucijos teorija, kad „išlieka stipriausi“ [25]. Optimizavimas naudojant GA vyksta tokia tvarka:

1. **Inicializacija.** Pirmiausiai, turima uždavinio sprendinių aibė λ , kuri yra vadinama populiacija. Kiekvienas sprendinys, turi genotipą, kuris yra sudarytas iš n genų, apibūdinančių tinkamumą išgyventi. Kiekvienas genotipas yra atvaizduojamas dvejetainė eilute, kur kiekvienas skaičius yra tam tikro parametro reikšmė.
2. **Atranka.** Kiekvienam populiacijos nariui pagal genotipus yra apskaičiuojama tinkamumo reikšmė. Tada, pagal nustatytą slenkstį yra atrenkami geriausi nariai, kurie turi didžiausias reikšmes. Iš visų atrinktųjų, pagal tinkamumo reikšmių eiliškumą arba atsitiktinai yra pasirenkami du nariai, kurie vadinami tėvais.
3. **Rekombinacija.** Iš dviejų tėvų yra gaunami du palikuonys, kurių genotipai yra tėvų genotipų kombinacijos. Kiekvienas palikuonis gauna tam tikrą skaičių genų iš tėvų su atsitiktinę tikimybę p_c . Vadinasi, vienu atveju palikuonis gali gauti pusę genų iš vieno ir kitą pusę iš kito tėvo. Kitu atveju, daugiau genų gaunama iš vieno tėvo, negu iš kito. Galiausiai iš dviejų palikuonių atsitiktinai yra pasirenkamas tik vienas.
4. **Mutacija.** Palikuonis su maža tikimybe p_m gali patirti mutaciją. Tai reiškia, kad kai kurios genų reikšmės gali pakisti. Pavyzdžiui, jeigu genotipas yra sudarytas iš dvejetainių reikšmių, viename iš genų vienetą gali pavirsti nuliu arba atvirkščiai.

Genetinis algoritmas veikia iteraciniu būdu, kaskart atrinkdamas pačius tinkamiausius sprendinius iš visos populiacijos. Gaunami palikuonys paveldi tėvų savybes, o patys palikuonys jau yra vadinami kaip sekanti karta. Jeigu tėvai turi geresnį tinkamumo įvertinimą, jų palikuonys turės geresnę galimybę išgyventi negu tėvai. Šitas procesas tęsis tol, kol pabaigoje visa populiacija bus sudaryta iš pačių tinkamiausių sprendinių.

Algoritmas yra nutraukiamas, jeigu populiacijos elementai sukongvergo į minimumą. Vadinasi, gaunami nauji palikuonys, kurie reikšmingai nesiskiria nuo praėjusios kartos. Tikrai tuomet galima sakyti, kad algoritmas surado uždavinio sprendinį.

2.2.2. Dalelių spiečiaus optimizavimas

Dalelių spiečių galima suprasti kaip didelį skaičių elementų ar individų, kurie sąveikauja tarp savęs. Spiečiuje nėra jokio vadovo ar kitokios valdančiosios jėgos, kad pavienėms dalelėmis būtų nurodyta kaip elgtis. Dalelių spiečiaus optimizavimo algoritmas (PSO – angl. *Particle swarm optimization*) yra įkvėptas gamtos, nes jis remiasi tam tikra struktūra, elgesiu ir gyvenimo būdu tarp paukščių, bičių žuvų bei vabzdžių spiečiaus. Pavyzdžiui įvairūs vabzdžių spiečiai, kaip skruzdėlių kolonijos, turi dirbti kartu, kad išgyventų, nes viena skruzdė nėra pakankamai protinga ar stipri. Dalelių spiečiaus principas remiasi stigmergijos principu, kuris reiškia, kad dalelės sąveikauja per netiesioginę koordinaciją [26].

Pagrindinis šio modelio principas yra savaiminis organizavimas, kuris apibūdina sudėtingų sistemų dinamiką ir siekia išspręsti optimizavimo problemas naudojant daleles, kurios komunikuoja ir dalinasi informacija tarpusavyje. PSO algoritmas sugeba išspręsti uždavinius, kurių apibrėžtas modelis turi didelį skaičių lokalių minimumų arba maksimumų. Dalelės, iš atsitiktinai nustatytų, skirtingų funkcijos taškų, pradeda optimalaus sprendinio paiešką. Spiečiuje, kiekviena dalelė įgauna potencialaus sprendinio reikšmę, o visos dalelės, ieškodamos optimalaus sprendinio po visą erdvę, vis keičia savo poziciją pagal savo ir kitų kaimyninių dalelių patirtį. Paieškos metu, surandamas geriausias kiekvienos dalelės sprendinys ir globalus sprendinys.

Šio metodo stiprumas slypi jo paprastume, nes jį lengva aprašyti bei reikalinga nustatyti tik kelis parametrus, kad sprendinys greitai sukongverguotų [27]. Tarkime, kad turime spiečių su p dalelių. Dalelės pozicija x_k^i žymi galimą sprendimo tašką erdvėje D . Kiekvienai dalelei i , pozicija x_{k+1}^i yra atnaujinama pagal formulę:

$$x_{k+1}^i = x_k^i + v_{k+1}^i. \quad (2.5)$$

Formulėje (2.5) ν_{k+1}^i yra vadinamas pseudo-greičiu, kuris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\nu_{k+1}^i = w_k \nu_k^i + c_1 r_1 (p_k^i - x_k^i) + c_2 r_2 (g_k - x_k^i). \quad (2.6)$$

Čia k yra suprantamas, kaip pseudo-laiko matas. Taškas p_k^i yra i dalelės geriausio sprendinio pozicija per k žingsnių, atspindinti dalelių pažintinį indėlį pseudo-greičio vektoriui. Taškas g_k yra tarp visų dalelių geriausia globalaus sprendinio pozicija per k žingsnių, kuri šiuo atveju apibūdina socialinį dalelių indėlį pseudo-greičio vektoriui. Funkcijos reikšmės, gautos pagal pozicijas p_k^i ir g_k yra žymimos f_{best}^i ir f_{best}^g . Kintamieji r_1 ir r_2 yra tolygiai pasiskirstę atsitiktiniai skaičiai iš intervalo $[0,1]$. c_1 ir c_2 yra pažintinio ir socialinio svorio parametrai. Pasiūlyta, kad jų reikšmės būtų lygios 2, nes (2.6) formulėje, $c_1 r_1$ ir $c_2 r_2$ vidurkis bus lygus 1, o tai padės algoritmui, nes dalelės sugebės tinkamiau atsiskirti nuo grupės ir taip ieškoti sprendinių didesniame plote. Kintamasis w_k , dar vadinamas inercija, inicializacijos pradžioj yra lygus vienetui bei kiekvieno žingsnio metu reikšmė yra mažinama, nes ieškomų sprendinių plotas vis mažėja. Kiekvienos iteracijos metu, w_k yra dinamiškai mažinamas pagal w_d reikšmę. Didžiausias galimas pseudo-greitis ν_{k+1}^{max} kiekvienu žingsniu yra mažinamas pagal v_d reikšmę. d yra iteracijų skaičius, kai nėra g_k pagerėjimo. Iteracijų skaičius k naudojamas stebėti bendras spiečiaus iteracijas, o t yra spiečiaus iteracijų skaičius nuo paskutinio g_k pagerėjimo. Dalelių spiečiaus optimizavimo algoritmo procesas yra atliekamas pagal šiuos žingsnius:

Inicializacija.

1. Nustatomos konstantų c_1 , c_2 , k_{max} , ν_0^{max} , w_0 , v_d , w_d ir d reikšmės.
2. Dalelės yra atsitiktinai pasiskirsčiusios pradinėse pozicijose $x_0^i \in D$, $i = 1, \dots, p$.
3. Atsitiktinai inicializuojami dalelių pseudo-greičiai ν_0^i , su apribojimu, kad $0 \leq \nu_0^i \leq \nu_0^{max}$, $i = 1, \dots, p$.
4. Įvertinamos funkcijos f_0^i reikšmės, pagal koordinates x_0^i .
5. Nustatoma, kad $f_{best}^i = f_0^i$ ir $p_0^i = x_0^i$, $i = 1, \dots, p$.
6. Nustatoma, kad $f_{best}^g = f_{best}^i$ ir $g_0 = x_0^i$, $i = 1, \dots, p$.

Optimizavimas.

1. Atnaujinamas dalelių pseudo-greičio vektorius ν_{k+1}^i pagal (2.6) formulę.
2. Jeigu $\nu_{k+1}^i = \nu_{k+1}^{max}$ bet kuriai dalelei, tada nustatoma didžiausia galima pseudo-greičio reikšmė.

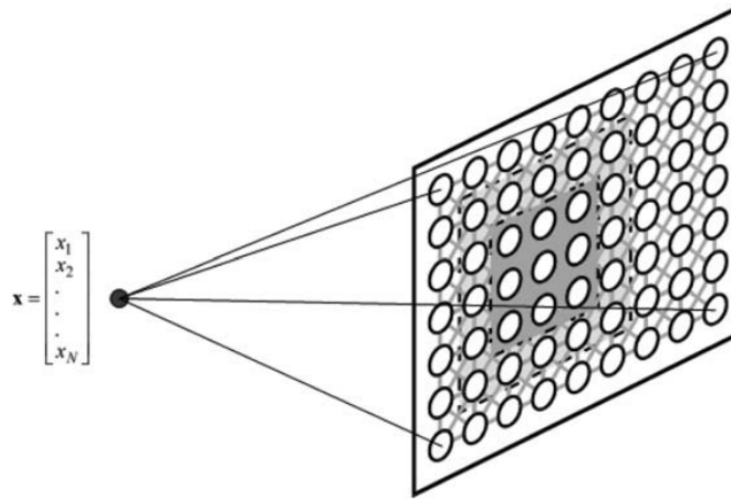
3. Atnaujinamos dalelių pozicijų vektorius x_{k+1}^i pagal (2.5) formulę.
4. Įvertinama funkcijos f_{k+1}^i reikšmė pagal koordinates x_{k+1}^i , $i = 1, \dots, p$.
5. Jeigu $f_{k+1}^i \leq f_{best}^i$, tada $f_{best}^i = f_{k+1}^i$, o $p_{k+1}^i = x_{k+1}^i$, $i = 1, \dots, p$.
6. Jeigu $f_{k+1}^i \leq f_{best}^g$, tada $f_{best}^g = f_{k+1}^i$, o $g_{k+1} = x_{k+1}^i$, $i = 1, \dots, p$.
7. Jeigu f_{best}^g reikšmė pagerėjo po 5 žingsnio, tuomet vėl nustatome $t = 0$, kitu atveju didinamas t .
8. Jeigu maksimalus skaičius funkcijų įvertinimų yra viršytas, baigiama optimizacija.
9. Jeigu $t = d$, tuomet w_{k+1} dauginamas iš $(1 - w_d)$ ir ν_{k+1}^{max} dauginamas iš $(1 - w_d)$.
10. Padidinamas k skaičius ir grįžtama į 1 žingsnį.

Apibendrintai, dalelių spiečių optimizavimas yra lengvai panaudojamas sprendžiant įvairiausio tipo uždavinius. Nustatoma mažiau pradinių parametrų bei sprendinys yra mažiau priklausomas nuo jų reikšmės, negu, kad kituose labiau naudojamuose algoritmuose. Todėl, funkcijos optimali reikšmė gali greitai sukonverguoti.

2.3 Savaimė besiorganizuojantys vaizdavimai

Savaimė besiorganizuojantys vaizdavimai (SOM – angl. *Self-organising maps*) yra dirbtiniu neuroniniu tinklu besiremiantis neprižiūrimo mokymosi metodas. SOM tinklas, skirtingai nuo neuroninio tinklo, susideda tik iš dviejų mazgų sluoksnių – įvesties ir išvesties. Kiekviena duomenų eilutė yra apibūdinama n ilgio įvesties vektoriumi, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Pagrindinis SOM metodo tikslas yra artimus įvesties vektorius, esančius n -matėje erdvėje, pavaizduoti mazguose, kurie patys susiorganizuoja dvimatėje erdvėje. Dėl to, SOM taip pat yra tinkamas būdas sumažinti duomenų dimensionalumą [28].

SOM tinklo struktūroje, elementai įvesties vektoriuje susijungia su kiekvienu mazgu dvimačiame tinkle (3 pav.). Tačiau, patys mazgai nesijungia vienas su kitu. Vadinasi, mazgai nežino savo kaimynų reikšmių bei atnaujina svorių w_{ij} reikšmes tik su įvesties vektoriumi x_1, x_2, \dots, x_n . SOM dar skiriasi nuo dirbtinio neuroninio tinklo tuom, kad atnaujinant svorių reikšmes, SOM pritaiko konkurencingą mokymąsi vietoj atgalinio sklidimo algoritmo (angl. *backpropagation*), naudojantį gradientinio nusileidimo optimizavimą. Tai reiškia, kad tikslai vienintelis mazgas yra aktyvuojamas kiekvienos iteracijos metu. Toks mazgas yra parenkamas atsižvelgiant į



3 pav. SOM tinklo struktūra [2]

panašumą tarp įvesties reikšmių ir mazgų svorių. Tinkamiausias mazgas turi mažiausią Euklido atstumo reikšmę tarp įvesties vektoriaus ir visų mazgų. Taip pat, kiti mazgai, turintys didesnę panašumą, pakeičia savo poziciją tinkle taip, kad būtų kuo arčiau geriausio mazgo. SOM metodui praėjus visas iteracijas, dvimatis tinklas atspindi visą duomenų rinkinį, kur panašūs mazgai yra sugrupuoti skirtingose tinklo vietose.

SOM metodo algoritmas yra atliekamas pagal šiuos žingsnius:

1. **Inicializacija.** Pirmiausiai, parenkamas išvesties sluoksnio arba tinklo dydis. Kiekvienam mazgui tinkle, atsitiktinai parenkamos pradinio svorių vektoriaus $w_i(0)$ reikšmės. Toliau, apibrėžiama kaimynystės funkcija $h_{ci}(t)$. Dažniausiai naudojama (2.7) funkcija,

$$h_{ci}(t) = \exp\left(-\frac{d_{ci}^2}{2\sigma^2(t)}\right), \quad (2.7)$$

kur d_{ci} yra atstumas tarp mazgo ir tinkamiausio mazgo. Taip pat, nurodomas mokymosi greitis $\alpha(0)$ ir kaimynystės spindulys $\sigma(0)$. Duomenų rinkinys yra standartizuojamas. Galiausiai, pasirenkamas maksimalus iteracijų skaičius ir nustatomas iteracijos indeksas $t = 1$.

2. **Pasirinkimas.** Iš duomenų rinkinio atsitiktinai pasirenkamas įvesties vektorius $x(t)$.
3. **Panašumų skaičiavimas.** Suskaičiuojami Euklido atstumai $d_i(t)$ tarp įvesties vektoriaus ir kiekvieno išvesties mazgo svorių vektoriaus.

$$d_i(t) = \|x(t) - w_i(t)\| = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{tj} - w_{tji})^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.8)$$

Tada, surandamas geriausias mazgas $c(t)$, nustatčius minimalią Euklido atstumo reikšmę.

$$c(t) = \min(\|x(t) - w_i(t)\|), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.9)$$

4. **Svorių atnaujinimas.** Atnaujinami geriausio mazgo ir jo kaimynystėje esančių mazgų svoriai pagal (2.10) formulę.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha(t)h_{ci}(t)[x(t) + w_i(t)]. \quad (2.10)$$

Geriausiam mazgui kaimynystės funkcijos $h_{ci}(t)$ reikšmė yra lygi 1.

5. **Parametrų atnaujinimas.** Nustatomas kitas iteracijos skaičius $t = t + 1$. Atnaujinami kaimynystės spindulio $\sigma(0)$ ir mokymosi greičio $\alpha(0)$ parametrai pagal formules:

$$\sigma(t) = \sigma(0) \cdot \exp\left(\frac{-t}{\lambda}\right).$$

$$\alpha(t) = \alpha(0) \cdot \exp\left(\frac{-t}{\lambda}\right).$$

Konstanta λ yra laiko konstanta, skirta sumažinti spindulį ir mokymosi greitį kas iteraciją.

6. Grįžti į 2-ą žingsnį ir kartoti procesą, kol svorių pokytis bus mažesnis nei nustatytas slenkstis arba bus pasiektas maksimalus iteracijų skaičius.

2.4 Geografiškai svorinė regresija

Daugialypės tiesinės regresijos modelyje (2.11) bandoma rasti sąryšius tarp priklausomo kintamojo y ir nepriklausomų kintamųjų x_1, \dots, x_p .

$$y_i = \beta_0 + \sum_k^p \beta_k x_{ik} + \epsilon_i. \quad (2.11)$$

Regresijos modeliui sudaryti, įvertinami nepriklausomų kintamųjų koeficientai $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ ir paklaidos $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$. Tačiau, tarp visų stebinių modelio β koeficientai išlieka tie patys. Kuriant regresijos modelį, naudojant vietovės duomenis, nėra atsižvelgiama į tokį faktą, kad vietovės padėtis taip pat gali daryti įtaką priklausomam kintamajam. Pavyzdžiui, pavaizdavus regresijos modelio paklaidas kiekvienam stebėjimui žemėlapyje, būtų matoma, kad teigiamos paklaidos susigrupuoja vienoje vietoje, o neigiamos kitoje. Vadinasi, modeliuojant vietovę reikia metodo, kuris atsižvelgtų į duomenų erdvinį išsidėstymą bei kitimą.

Geografiškai svorinė regresija (GWR – angl. *Geographically weighted regression*) yra tokio tipo daugialypė tiesinė regresija, kurioje nepriklausomų kintamųjų koeficientai neturi vienintelės

reikšmės, o yra priklausomi nuo stebėjimų geografinių koordinatčių. Kitaip tariant, nepriklausomų kintamųjų regresijos koeficientai sudaro tolygius paviršius, kurie yra įvertinami tam tikruose taškuose erdvėje,

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k^p \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \epsilon_i,$$

kur (u_i, v_i) yra geografinės koordinatės [3].

Regresijos modelio įvertinimui, remiamasi principu, kad kuo geografiškai yra arčiau du taškai, tuo panašesnė nepriklausomųjų kintamųjų įtaka priklausomam kintamajam. Norėdami gauti regresorių įverčius nagrinėjamam taškui i , atliekant uždavinį su paprasta tiesine regresija, reikėtų naudoti tiksliai stebinius, kurie yra geografiškai arčiausiai taško i . Tačiau, jeigu į imtį bus įtraukta daugiau stebinių, sumažės modelio prognozių dispersija, bet padidės šališkumas. Todėl, geografiškai svorinė regresija sumažina tolimesnių stebėjimų svarbą, suteikdama kiekvienam stebėjimui mažėjantį svorį ir atstumą nuo konkretaus stebėjimo. Svoris stebėjimui i lyginant su j gali būti apskaičiuojamas pagal formulę,

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{2h}\right)^2\right),$$

kur d_{ij} yra atstumas tarp vietovių i ir j , o h yra branduolio funkcijos plotas. Visi svoriai i -tajai vietai yra išreikšti svorių matrica $W_{(u_i, v_i)}$.

$$W_{(u_i, v_i)} = \begin{bmatrix} w_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_{i2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & w_{in} \end{bmatrix}.$$

Norint stebėjimams suteikti mažėjančius svorius, modelio parametrai yra įvertinami minimizuojant svorinių mažiausių kvadratų metodą:

$$\sum_{j=1}^n w_{ij}(y_j - \beta_0(u_i, v_i) - \beta_1(u_i, v_i)x_{j1} - \dots - \beta_p(u_i, v_i)x_{jp})^2. \quad (2.12)$$

Atlikus minimizavimą pagal svorinių mažiausių kvadratų metodą (2.12), gaunami koeficientai $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ kiekvienam stebiniui, kurio koordinatės yra (u_i, v_i) . Koeficientų išraiška panaši kaip ir tiesinės regresijos atveju, tačiau geografiškai svorinėje regresijoje prisideda svorių matricos $W_{(u_i, v_i)}$ įtaka (2.13).

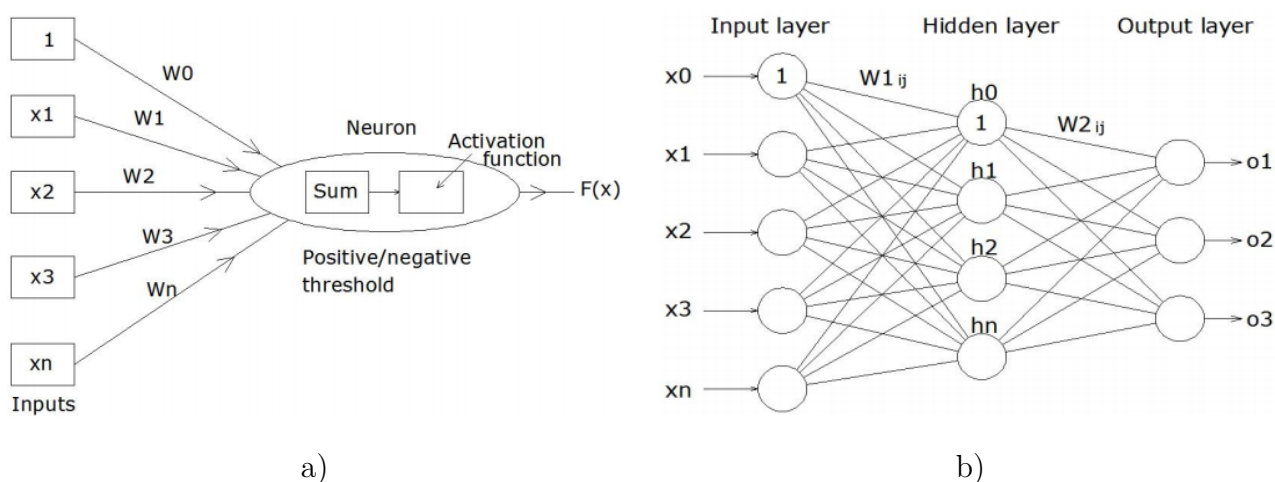
$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W_{(u_i, v_i)} X)^{-1} X^T W_{(u_i, v_i)} Y. \quad (2.13)$$

2.5 Dirbtinis neuroninis tinklas

Dirbtinis neuroninis tinklas (ANN – angl. *Artificial neural network*) yra mašininio mokymosi metodas, kuris remiasi smegenų veikla ir struktūra. Smegenys yra pats sudėtingiausias žmogaus organas, gebantis išmokti naujus dalykus, prisitaikyti prie naujos ar besikeičiančios aplinkos. Jos funkcionalumas ne tik apima kontroliuoti tam tikras kūno dalis, bet ir atlikti sudėtingesnes veiklas, kurios nėra fizinės, kaip galvojimas, įsivaizdavimas, mokymasis, sapnavimas ir t.t. Pavyzdžiui, galime perskaityti ranka parašytą tekstą, kuris yra skirtingas pagal kiekvieną asmenį, atpažinti, kad kamuolys ir apelsinas yra apskritimo formos arba identifikuoti asmenį iš neryškios nuotraukos [29].

Kiekvienos smegenys yra sudarytos iš ląstelių, vadinamų neuronais. Jų visuma sudaro nervų sistemą, kurioje vieni neuronai gauna signalą iš išorinio pasaulio per ataugas, vadinamas dendritais ir jį perduoda kitam neuronui per ilgesnę ataugą, vadinama aksonu. Neuronas, gautą signalą apdoroja ir perduoda kitam neuronui per ryšį vadinama sinapse. Tokia biologinė neurono struktūra įkvėpė ANN metodą.

ANN matematinė struktūra imituoja tikro neurono struktūrą. Vieno sluoksnio neuroninio tinklo struktūroje (4a pav.) stebėjimai x_1, x_2, \dots, x_n yra modelio įvestys (dendritai), kurie yra sudauginami su svorių ryšiu w_1, w_2, \dots, w_n (sinapse). Svoris parodo konkretaus neurono stiprumą. Į modelį taip pat įeina šališkumo reikšmė b , kuri pradžioje yra lygi vienetui. Visos šios dalys yra susumuojamos, o gauta reikšmė yra pateikiama aktyvavimo funkcijai $\Phi()$.



4 pav. Dirbtinio neuroninio tinklo struktūra: a) vieno sluoksnio neuroninis tinklas, b) daugiau sluoksnių turintis gilus neuroninis tinklas [30]

Sudarius tiesinę kombinaciją iš įvesties, svorių ir šališkumo, ANN metodas niekuo nesiskirtų nuo tiesinės regresijos. Kad modelis nebūtų aprašomas vien tiesine lygtimi $z = \sum_{i=1}^n x_i w_i$, reikalinga netiesinė aktyvavimo funkcija $\Phi(z)$. Tuomet, modelis įgautų sudėtingesnę formą ir taip būtų lengviau apibūdinti sudėtingesnio tipo duomenis, kaip paveikslukas, vaizdo įrašas, garso įrašas. Pritaikius aktyvavimo funkciją tiesinei kombinacijai, gaunama išvestis (aksonas), kuri yra galutinis rezultatas arba įvestis į kitą neuroną. Aktyvavimo funkcijos pagalba nusprendžiama, ar tam tikras neuronas turi būti aktyvuotas ar ne. Klasifikavimo uždaviniams dažniausiai yra naudojamos: sigmoidės (2.14), hiperbolinio tangento (2.15), ReLu (2.16), minkštojo maksimumo (angl. *softmax*) (2.17) aktyvavimo funkcijos. Regresijos uždaviniams, kad išvestis įgautų tolydžią reikšmę, yra naudojama ReLu funkcija, kintanti intervale $[0, \infty)$ arba tiesinė funkcija $\Phi(z) = cz$, kintanti intervale $(-\infty, \infty)$.

$$\Phi(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}. \quad (2.14)$$

$$\Phi(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}. \quad (2.15)$$

$$\Phi(z) = \max(0, z). \quad (2.16)$$

$$\Phi(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_j e^{z_j}}. \quad (2.17)$$

Tiktai vieną sluoksnį turintis neuroninis tinklas (4 pav.), vadinamas vienasluoksniu perceptronu. Toks tinklas turi tik vieną įvesties sluoksnį su kuriuo gaunama išvestis. Tačiau, gauta išvestis gali būti panaudojama kaip dar vienas įvesties sluoksnis su kurio pagalba galima gauti sudėtingesnes modelio struktūras. Tokie sluoksniai, esantys tarp pirminės įvesties ir išvesties, yra vadinami paslėptaisiais sluoksniais (angl. *hidden layers*). Kiekvienas neuroninis tinklas turi pločio ir gylio parametrus. Pločiu nurodoma kiek paslėptasis sluoksnis turės neuronų, o gyliu – kiek neuroniniame tinkle bus paslėptųjų sluoksnių. ANN, turintis n paslėptųjų sluoksnių dar yra vadinamas giliu neuroniniu tinklu (4b pav.).

ANN metodas mokinasi iteraciniu būdu, kur visi stebėjimai praeina per vieną epochą. Nustačius tam tikrą skaičių epochų, ANN modelis yra sudaromas pagal šiuos žingsnius:

1. Atsitiktinai nustatomos svorių reikšmės, kurios yra artimos, bet nelygios nuliui

2. Įvesties sluoksniui iš duomenų rinkinio parenkamas stebėjimas su kintamaisiais x_1, x_2, \dots, x_n .
3. Atliekamas priekinis sklidimas, kuris reiškia, kad neuronai yra aktyvuojami iš kairės į dešinę pagal turimas svorių ir šališkumo reikšmes. Stebėjimui yra gaunama prognozuojama reikšmė \hat{y}_i .
4. Prognozė \hat{y}_i yra palyginama su tikra y_i reikšme, suskaičiuojant paklaidą pagal nuostolių funkciją. Regresijos uždaviniams dažniausiai naudojama vidutinė kvadratinė paklaida (angl. *mean squared error*) (2.18). Klasifikavimo uždaviniams, priklausomai nuo išvesties reikšmių skaičiaus M , dažniausiai naudojamos kryžminė (angl. *cross entropy*) (2.19) arba dvejetainė kryžminė (angl. *binary cross entropy*) (2.20) entropijos.

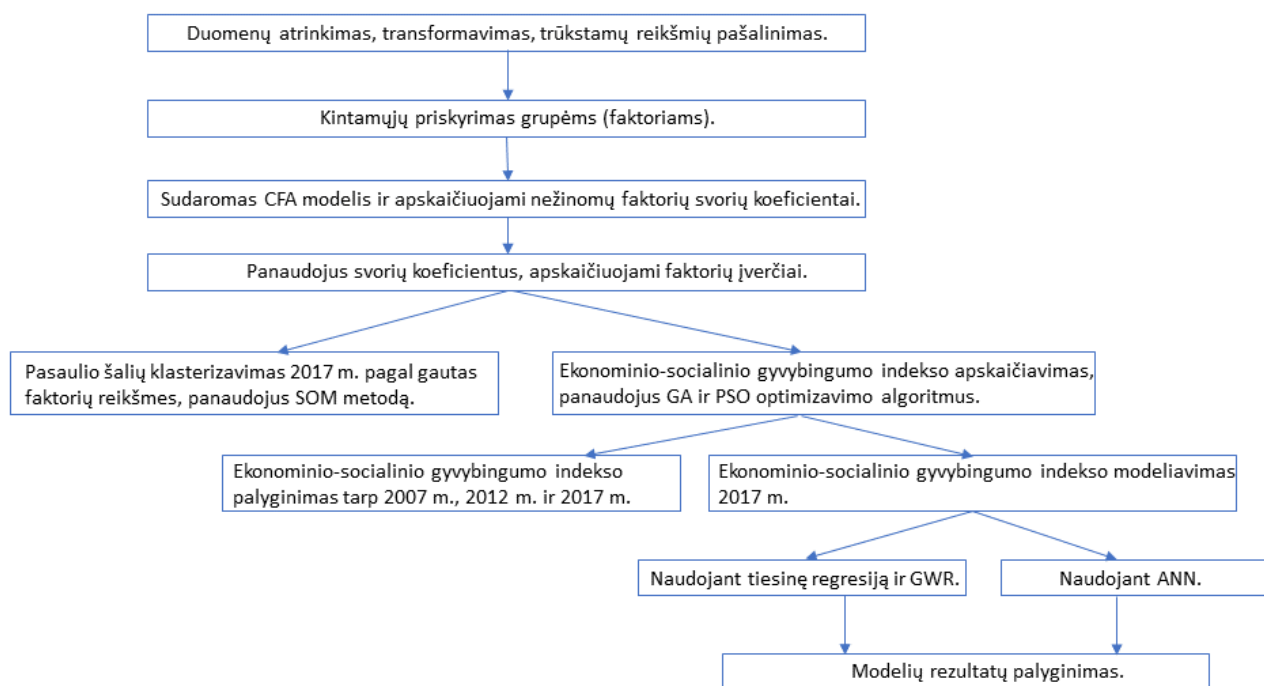
$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2. \quad (2.18)$$

$$- \sum_i^M y_i \log(\hat{y}_i). \quad (2.19)$$

$$- (y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)). \quad (2.20)$$

5. Atliekamas atgalinis sklidimas, kuriame iš dešinės į kairę yra atnaujinami svoriai ir šališkumai pagal tai, koks buvo jų indėlis gautoms paklaidoms. Svoriai yra padidinami, jeigu jie turėjo didesnę įtaką paklaidoms, o svoriai turėję mažesnę įtaką sumažinami.
6. Kartoti žingsnius nuo 1 iki 5, atnaujinant paklaidas ir šališkumus po kiekvieno stebėjimo
7. Jeigu metodas praėjo pro visus duomenų rinkinio stebėjimus, epocha yra užbaigiama ir pradedama kita.

3 TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS



5 pav. Tyrimų eiga

Šioje darbo dalyje, atrinktiems pasaulio šalių duomenims, atliekami tyrimai, susiję su ekonominio-socialinio gyvybingumo indekso sudarymu, jį įtakančių veiksnių nustatymu, pasaulio šalių klasterizavimu bei indekso modeliavimu. Tyrimai atliekami pagal eigą 5 paveiksluke. Kiekvienas etapas įeina į metodikos visumą, leidžiančią įvertinti pasaulio šalių gyvybingumą.

3.1 Duomenų apžvalga

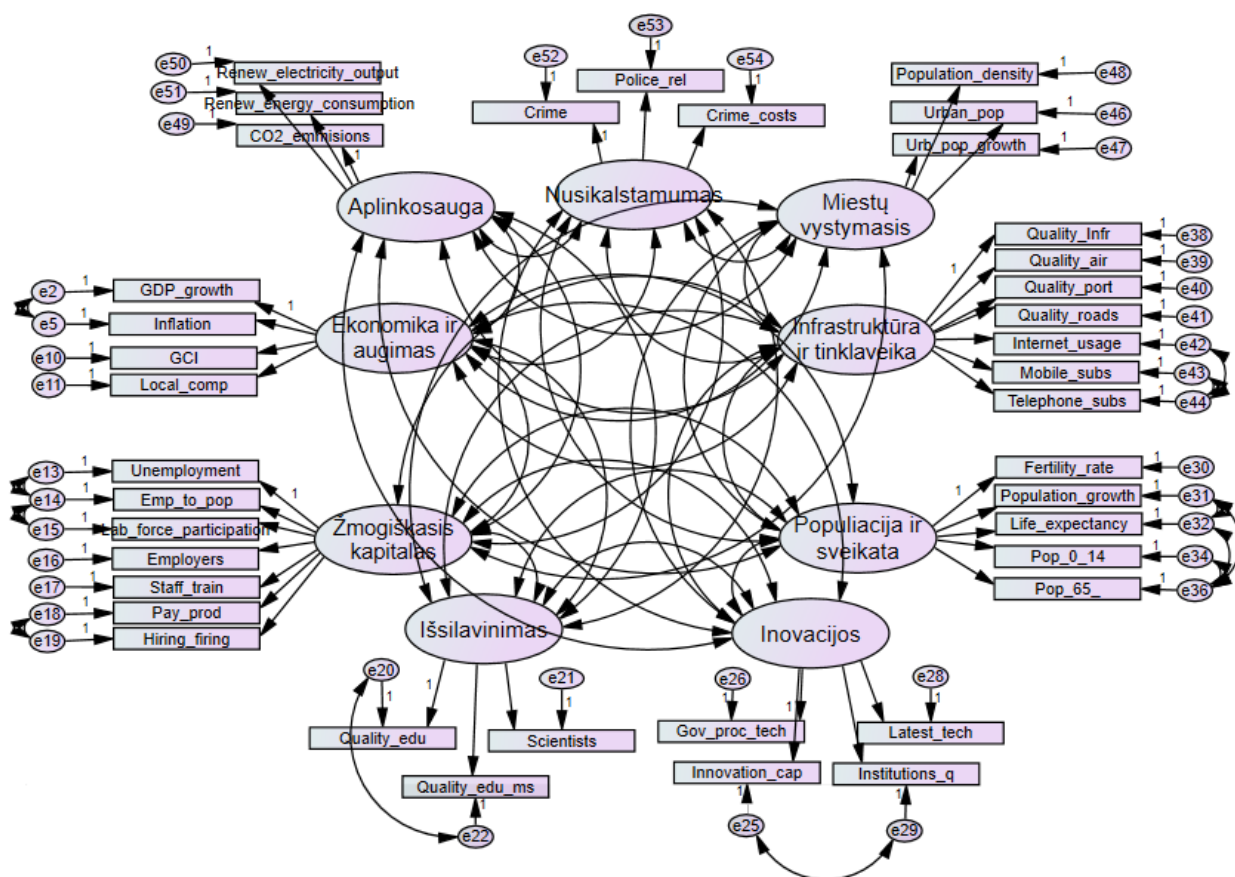
Ekonominiam-socialiniam gyvybingumui tirti, buvo renkami duomenys apie pasaulio šalis. Pagrindiniai duomenų šaltiniai buvo „The World Bank“ ir pasaulinio konkurencingumo indekso (GCI) rodiklių duomenų bazės. Pagal 1 pav., iš viso sąrašo buvo atrinkti kintamieji, kurie yra užfiksuoti iš kuo daugiau pasaulio šalių. Pilnas kintamųjų aprašymas yra pateiktas 1 priede.

Visų rodiklių reikšmės apima nuo 2007 m. iki 2017 m. laikotarpį. Šiame darbe yra nagrinėjami tik trys metai iš viso laikotarpio: pradžia (2007 m.), vidurys (2012 m.) ir pabaiga (2017 m.), todėl analizė yra atliekama su trimis duomenų rinkiniais. Kiekvienais nagrinėjamais metais, duomenų eilutės yra pasaulio šalys, o stulpeliai – šalių rodikliai. Kiekvienai šaliai yra priskirtos koordinatės tam, kad duomenis būtų galima pavaizduoti žemėlapyje ir atlikti geografiškai svorinės regresijos modeliavimą.

3.2 CFA panaudojimas duomenų dimensionalumui mažinti

Patvirtinančioji faktorinė analizė (CFA) yra skirta norint sudaryti modelį bei patikrinti jo tinkamumą, kai tariama, kad egzistuoja vienas ar daugiau nežinomų arba latentinių kintamųjų. Nors mokslinėje literatūroje CFA buvo naudojamas apskaičiuojant ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksą, šiame darbe metodas panaudojamas įvertinant gyvybingumą lemiančių rodiklių grupes. Šiuo tikslu, remiantis 1 pav., CFA modelis buvo sudarytas iš 9 latentinių faktorių: ekonomikos ir augimo, žmogiškojo kapitalo, išsilavinimo, inovacijų, sveikatos, infrastruktūros ir tinklaveikos, miestų vystymosi, aplinkosaugos ir nusikalstamumo. Turizmo faktorius nebuvo įtrauktas, nes su juo susiję duomenys nebuvo prieinami norimoms nagrinėti valstybėms kiekvienais metais. Iš viso į modelį buvo įtraukti 39 indikatoriai.

CFA modelį buvo bandoma sudaryti dviem būdais: naudojant programinės kalbos R biblioteką *lavaan* ir naudojant specializuotą struktūrinių lygčių modeliavimo programą *AMOS*. Galiausiai, nuspręsta naudoti rezultatus, gautus iš *AMOS* programos. Šioje programoje, CFA modelį buvo galima sukurti vizualiai, kaip grafiką (6 pav.). Jame patogu nubrėžti ryšius tarp kintamųjų ir latentinių faktorių. Taip pat, patogu nubrėžti faktorių bei liekamųjų paklaidų kovariacijų ryšius.



6 pav. Kintamųjų, įtakančių ekonominį-socialinį gyvybingumą, CFA modelis

Sudarius CFA modelį, *AMOS* programa pateikia modelio tinkamumo rezultatus. Svarbiausių matų santrauka yra pateikta 2 lentelėje. Pirmiausiai, turima informacija apie modelio identifikuojamumą. NPAR parodo, kiek iš viso modelyje turi būti įvertinta nežinomų parametrų q (faktorių svoriai, liekamųjų paklaidų dispersijos, latentinių faktorių dispersijos ir kovariacijos). DF yra laisvės laipsnių skaičius, gaunamas atėmus $k(k + 1)/2$ iš q skaičiaus, kur k yra visų indikatorių skaičius. Kadangi kiekvienais tiriamais metais taikomas toks pat CFA modelis, NPAR ir DF yra vienodi. Vadinasi, toks modelis yra identifikuojamas ir jį toliau galima tirti.

CMIN yra apskaičiuota χ^2 statistikos reikšmė, kuri reiškia minimalų neatitikimą. Kuo ši reikšmė yra mažesnė, tuo geriau modelis tinka duomenims. Naudojant šią reikšmę, tikrinama hipotezė apie kintamųjų ir modelio kovariacijų matricių lygybę. Tyrime, šios hipotezės p -reikšmė yra mažesnė negu 0,05, vadinasi teoriškai modelis nėra tinkamas duomenims. Sudėtingesniems modeliams, praktikoje yra labiau atsižvelgiama ne į p -reikšmę, o į kitus suderinamumo indeksus. Vienas iš tokių matų yra normuotas χ^2 , kuriame χ^2 statistikos reikšmė yra padalyta iš laisvės laipsnių skaičiaus DF. Tyrime, visais metais ši reikšmė yra didesnė negu 3, o 2012 m. duomenims ji buvo didžiausia – 3,581. Nėra griežtai sutarta, kokia turėtų būti priimtina didžiausia indekso reikšmė. Vieni tyrėjai mano, kad 2, o kiti, kad modelis yra tinkamas prie 5 [31]. Vadinasi, galima teigti, kad pagal normuotą χ^2 CFA modelis yra tinkamas duomenims visais metais. Tačiau, atsižvelgiant į kitus matus, matosi, kad jie nelabai atitinka tinkamą modelį, ypač lyginant juos su orientacinėmis reikšmėmis 1 lentelėje. AGFI reikšmė tiktai siekia daugiausiai 0,447, IFI – 0,768, TLI – 0,733, CFI – 0,765, nors turėtų būti bent 0,9. RMSEA taip pat yra kiek per didelis, o turėtų būti ne didesnis kaip 0,08. Vis dėlto, šie indeksai atskleidžia tik vidutinį modelio tinkamumą duomenims. Galima tiktai teigti, kad modelis nėra tinkamas, jeigu AGFI, IFI, TLI ir CFI reikšmės yra mažesnės negu nulis, o jų geros reikšmės ne visuomet garantuoja modelio tinkamumą. Didesnė RMSEA reikšmė kaip tik gali pasakyti, kad tiriamas modelis yra sudėtingesnis. Geresnis suderinamumas su duomenimis yra tik modelio privalumas, o nuspręsti kuris modelis yra tinkamas, galima tik vadovaujantis logika ir žiniomis apie tiriamą dalyką [24].

Sudarius norimą CFA modelį, yra galimybė apskaičiuoti latentinių faktorių svorius kiekvienam išoriniam kintamajam (2 priedas). Gauti faktoriniai svoriai yra panaudojami adityvioje lygtyje, sudauginus juos su išoriniais kintamaisiais, kad būtų gaunama latentinio faktoriaus reikšmė. CFA tyrime apibrėžti 9 faktoriai yra paverčiami į 9 naujus kintamuosius apibūdinančius šalių ekonomiką ir augimą, žmogiškąjį kapitalą, išsilavinimą, inovacijas, populiaciją ir sveikatą,

2 lentelė. CFA modelio rezultatai 2007 m., 2012 m. ir 2017 m.

Metai	2007	2012	2017
NPAR	126	126	126
CMIN	2235,144	2341,914	2030.676
DF	654	654	654
p - reikšmė	<0,05	<0,05	<0,05
CMIN/DF (NC)	3,418	3,581	3,105
AGFI	0,433	0,429	0,447
IFI	0,749	0,708	0,768
TLI	0,712	0,664	0,733
CFI	0,746	0,703	0,765
RMSEA	0,147	0,152	0,137

infrastruktūrą ir tinklaveiką, miestų vystymąsi, aplinkosaugą ir nusikalstamumą. Taigi, panaudojus CFA metodą, sumažintas duomenų dimensionalumas ir iš 39 kintamųjų tolimesnei analizei bus naudojami tik 9.

3.3 Gyvybingumo indekso apskaičiavimas naudojant GA ir PSO

3.3.1. Gyvybingumo vertinimo su GA ir PSO rezultatai

Ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksą būtų buvę galima apskaičiuoti vėl pritaikius CFA metodą naujiems kintamiesiems. Toks indeksas yra apskaičiuojamas pagal adityvią išraišką, kurioje kiekvienas kintamasis sudauginamas su jam atitinkamu svorio koeficientu. CFA sugebėtų apskaičiuoti faktorinius svorius, kuriuos po to galima sudauginti su kintamaisiais. Tačiau tiesiniai modeliai gali turėti kitokią išraišką. Papildomai įtraukus konstantą, gyvybingumas būtų apskaičiuojamas pagal tiesinės regresijos išraišką (1.3). Tokiu atveju konstanta ir svorio koeficientai būtų nežinomi parametrai, kuriuos reikėtų surasti.

Šiame darbe, nežinomų parametrų radimui, pritaikomi optimizavimo algoritmai. Pasirinktinai naudojami evoliuciniai, genetinis (GA) ir dalelių spiečiaus (PSO), algoritmai. Abiems algoritmams buvo suteikta vienoda gyvybingumo indekso išraiška (3.1) ir tikslo funkcija (3.2).

$$\begin{aligned}
\text{Gyvybingumo indeksas}_i &= a_1 \cdot \text{Ekonomika ir augimas}_i \\
&+ a_2 \cdot \text{Žmogiškasis kapitalas}_i \\
&+ a_3 \cdot \text{Išsilavinimas}_i \\
&+ a_4 \cdot \text{Inovacijos}_i \\
&+ a_5 \cdot \text{Populiacija ir sveikata}_i \\
&+ a_6 \cdot \text{Infrastruktūra ir tinklaveika}_i \\
&+ a_7 \cdot \text{Miesto vystymasis}_i \\
&+ a_8 \cdot \text{Aplinkosauga}_i \\
&+ a_9 \cdot \text{Nusikalstamumas}_i \\
&+ b.
\end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
&\max (|cor(\text{Gyvybingumo indeksas}; \text{Žmogaus socialinės raidos indeksas})| \\
&+ |cor(\text{Gyvybingumo indeksas}; \text{Bendrasis vidaus produktas})| \\
&+ |cor(\text{Gyvybingumo indeksas}; \text{Pasaulinio konkurencingumo indeksas})|).
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Gyvybingumo indekso tiesinėje išraiškoje (3.1) a_1, \dots, a_9 ir b yra nežinomi parametrai, pagal kuriuos yra surandamas gyvybingumo indeksas kiekvienai šaliai i . Toliau, užduodama tikslo funkcija (3.2), su kuria nurodoma, kad gyvybingumo indeksas turi turėti kuo didesnę koreliaciją su plačiau naudojamais indeksais, kaip: žmogaus socialinės raidos indeksas, bendrasis vidaus produktas ir pasaulinio konkurencingumo indeksas. Panaudojus GA ir PSO optimizavimo algoritmus, koreliacijų suma yra maksimizuojama.

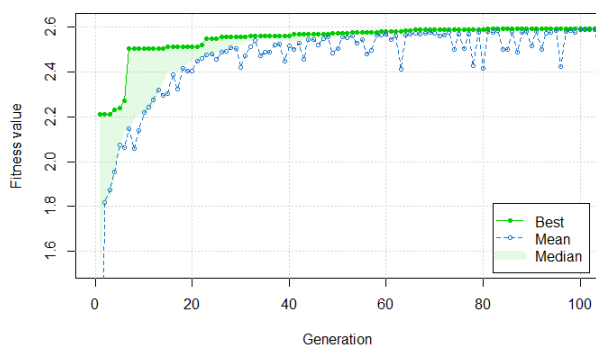
Kiekvienam algoritmui yra duotos tos pačios sąlygos: 500 iteracijų, tikslo funkcijos viršutinis apribojimas – 1000, o apatinis – (-1000). Lentelėje žemiau (3 lentelė) pateikta kaip kito geriausia tikslo funkcijos reikšmė kas 50 iteracijų. Optimizavimas buvo atliktas abiem algoritmais kiekvienais tiriamais metais.

Iš 3 lentelės rezultatų, matome, kad su GA, tikslo funkcija 2007 m., 2012 m. ir 2017 m. įgyjo didžiausią suminę koreliacijos reikšmę. PSO algoritmu gauta mažesnė suminė koreliacija, todėl koreliacija gauta su GA apibrėžia stipresnę teigiamą gyvybingumo indekso ryšį su kitais indeksais, nei PSO. Abiejų algoritmų tikslo funkcijos reikšmė pradžioje kito labai greitai, o toliau labai lėtai arba nusistovėjo. GA atveju, didžiausi pokyčiai įvyko tik iki 40-50 iteracijų, o po to koreliacija pamažu didėjo. PSO atveju, tikslo funkcijos reikšmė labai greitai sukongveravo

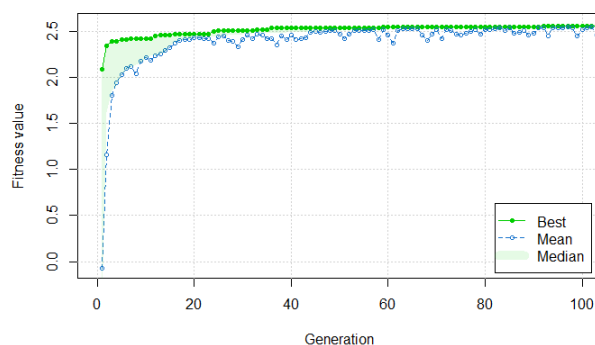
3 lentelė. GA ir PSO tikslo funkcijos geriausios reikšmės kiekvienais metais

Iteracijų sk.	1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
GA (2007)	2,209048	2,571302	2,591870	2,608625	2,612456	2,612786	2,613857	2,614407	2,614980	2,615856	2,616923
PSO (2007)	2.152119	2,579716	2,579716	2,579716	2,579716	2,579716	2,579716	2,579716	2,579716	2,579716	2,579716
GA (2012)	2.089418	2,535058	2,554504	2,561931	2,568111	2,568639	2,577753	2,578961	2,579975	2,583920	2,590587
PSO (2012)	2,065443	2,372001	2,374233	2,374233	2,374233	2,374233	2,374233	2,374233	2,374233	2,374233	2,374233
GA (2017)	2,020568	2,558023	2,571333	2,588674	2,591492	2,594342	2,596065	2,597495	2,598372	2,598927	2,599590
PSO (2017)	1,970378	2,499397	2,499397	2,502068	2,502068	2,502068	2,502068	2,502068	2,502068	2,502068	2,502068

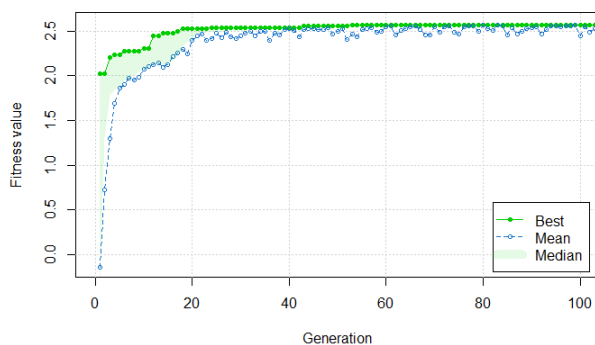
į maksimumą, kartais net po kelių iteracijų. Tačiau, po 500 iteracijų GA metodas pasirodė geriau. Norint sužinoti, kuris algoritmas buvo geresnis būtų užtekę panaudoti tik 100 iteracijų, nes tendencija tikslo funkcijos reikšmei konverguoti matoma vizualiai (7 pav.).



a)



b)



c)

7 pav. GA tikslo funkcijos reikšmė per 100 iteracijų 2017 m. duomenims. a) 2007 m. duomenims, b) 2012 m. duomenims, 2017 m. duomenims

Kiekvienų tiriamų metų duomenims, GA ir PSO algoritmai surado nežinomų parametru a_1, \dots, a_9 ir b reikšmes (4 lentelė). Kiekvienu atveju, šios reikšmės yra įstatomos į (3.1) lygtį, kur apskaičiuojamas ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas kiekvienai šaliai atskirai pagal metus. Kadangi GA pasirodė geriau, su juo gautos reikšmės yra panaudojamos galutinio indekso su-

darymui.

4 lentelė. Nežinomų parametru reikšmės, gautos su GA ir PSO algoritmais kiekvienais metais

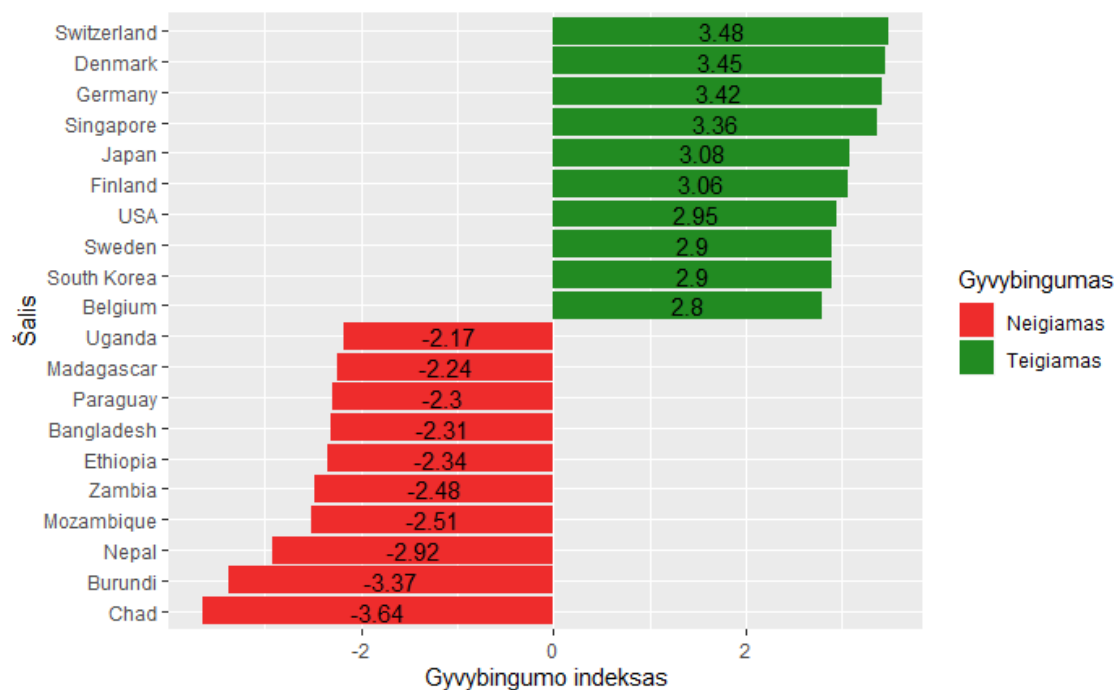
Parametras:	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	b
GA (2007)	-987,7	490	386	-75,6	903,3	277,6	-215,5	25,5	339,6	206,4
PSO (2007)	407,3	-904,3	-545,3	-377,7	387	-629,9	119,4	-14,5	-721,7	567,2
GA (2012)	936,8	-237	741,8	-881,1	-65,9	274,9	-43	44	270	-57,6
PSO (2012)	-175,6	324,5	-141,3	13,2	362,1	-497,9	59,3	-75,9	-35,1	-444,8
GA (2017)	-855,9	-910,4	420,1	886,7	7,9	489,5	-76	31,6	279,8	78,6
PSO (2017)	-680,8	-196	-698,7	208,7	-583,8	-756,1	78,4	-20,1	-149,3	42,7

3.3.2. Ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas.

Apskaičiuotas ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas kito apytiksliai nuo -4500 iki 4500. Paprastumo dėlei, indekso reikšmės dar yra padalinamos iš 1000. Norint sužinoti, kurios šalys turi didžiausias ir mažiausias gyvybingumo indekso reikšmes, patogų jas pavaizduoti pasaulio žemėlapyje (3 priedas). Visu nagrinėjamu laikotarpiu, kaip ir buvo spėjama, gyvybingiausios valstybės yra tarp Šiaurės Amerikos, Europos, Australijos žemynų bei rytinėje Azijos dalyje. Tokios valstybės, kaip Jungtinės Amerikos Valstijos, Japonija ar Vokietija yra labiau ekonomiškai, technologiškai išsivysčiusios, populiareesnės pasaulyje bei turinčios žinomesnes bendroves tarptautiniu mastu. Tuo tarpu mažiausiai gyvybingos valstybės matomos Afrikos ir Pietų Amerikos žemynuose. Gyvybingumo indeksu iš viso įvertinta 113 valstybių, o pasaulio žemėlapyje lengva nepastebėti mažesnių valstybių, kurios galbūt yra gyvybingesnės. Taigi, dar verta pa-nagrinėti iš arčiau, koks buvo šalių gyvybingumas ir kaip jis kito kiekvienais metais (4 priedas).

Didžioji dalis gyvybingiausių šalių 2007 m. buvo iš Europos (8 pav.). Azijos žemyne didelius gyvybingumo indeksus turėjo Singapūras, Japonija ir Pietų Korėja. Iš kitų žemynų, tik Jungtinės Amerikos Valstijos pateko tarp gyvybingiausių pasaulio šalių. Tarp mažiausiai gyvybingiausių šalių, dauguma valstybių buvo iš Afrikos, Pietų Amerikos ir Azijos žemynų. Nuo kitų valstybių labiausiai skyrėsi Čadas, Burundis ir Nepalas, nes jų gyvybingumo indeksas buvo arti arba mažiau -3. Pačios gyvybingiausios pasaulio šalys turėjo indeksą, apytiksliai lygų 3,5.

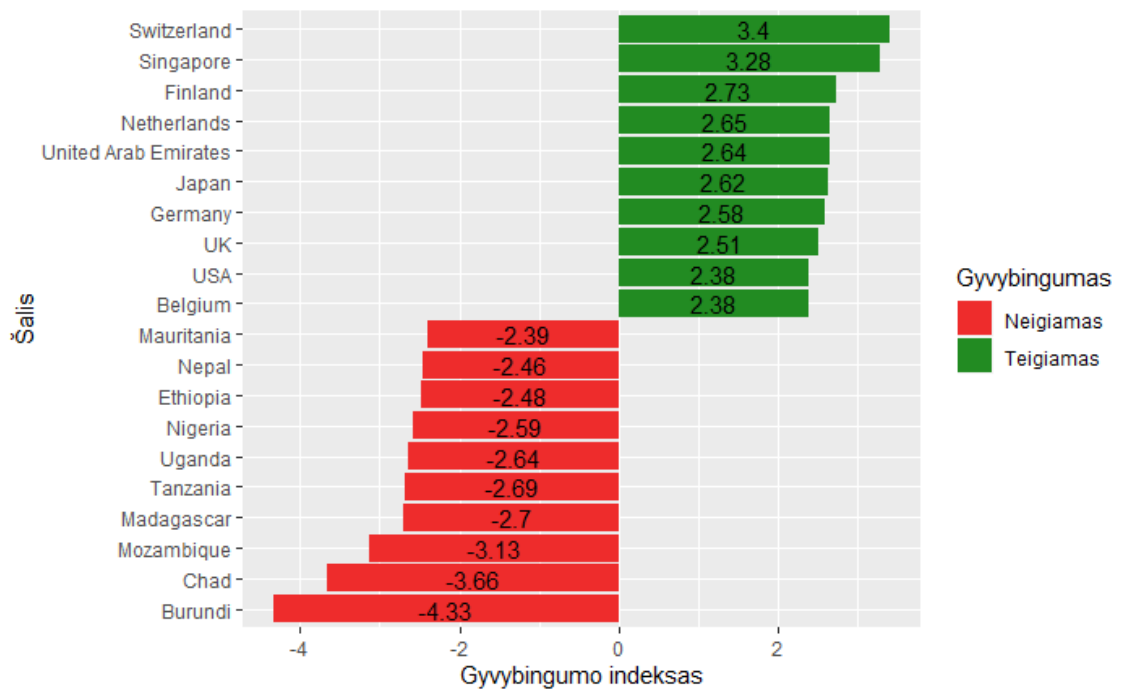
Nemažai šalių, kurios turėjo didelį gyvybingumą 2007 m., taip pat buvo aukštesnėse vietose 2012 m. Ypač tokios šalys, kaip Šveicarija, Singapūras, Suomija, Japonija, Vokietija, JAV, Belgija (9 pav.). Pastebima, kad tarp geriausių pasaulio šalių atsirado Jungtiniai Arabų Emyratai,



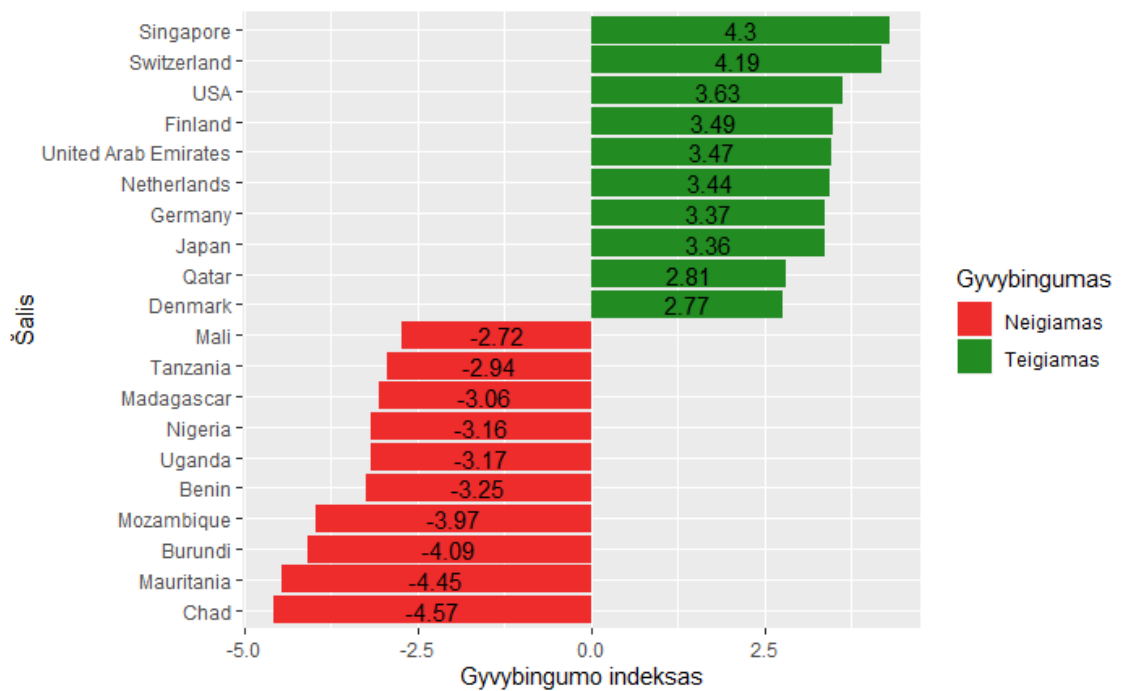
8 pav. 10 gyvybingiausių ir mažiausiai gyvybingiausių šalių 2007 m.

kurio indeksas pakilo nuo 1,23 iki 2,64. Tačiau, ne tik šioje šalyje, bet ir artimose valstybėse, kaip Katarė (pokytis nuo 1,10 iki 2,13) bei Saudo Arabijoje (pokytis nuo 1,07 iki 1,86) pastebimas panašus pagerėjimas. Per pirmus keturis metus matomas didesnis pokytis ir kitose, mažesnėse šalyse: Šri Lankoje (nuo -0,85 iki 0,03), Albanijoje (nuo -1,38 iki -0,51), Bosnijoje ir Hercegovinoje (nuo -1,13 iki -0,49). Žiūrint į mažiausiai gyvybingas valstybes, didžioji dauguma vėl yra iš Afrikos žemyno. Čadas ir Burundis vėl pateko į paskutines vietas, kaip mažiausiai gyvybingos valstybės pasaulyje. Taip pat, nuo 2007 m. iki 2012 m. pastebimas didesnis gyvybingumo indekso sumažėjimas Alžyre (nuo -0,26 iki -2,01), Egipte (nuo -0,3 iki -1,38) bei Kuveite (nuo 1,37 iki -0,22).

Per paskutinius keturis nagrinėjamus metus, aukščiausiai ir žemiausiai 2012 m. įvertintos šalys 2017 m. išliko panašios (10 pav.). Didesnis teigiamas pokytis matomas Jungtinėms Amerikos Valstijoms (nuo 2,38 iki 3,63), kuri 2017 m. buvo trečia gyvybingiausia pasaulio šalis. Taip pat į devintą vietą pakilo Kataras, kurio indeksas vėl padidėjo nuo 2,13 iki 2,81. Gyvybingumo indeksas taip pat labiau pakilo Norvegijoje (nuo 1,34 iki 2,61), Singapūre (nuo 3,28 iki 4,3) bei Lietuvoje (nuo 0,92 iki 1,93). Mažiausiai gyvybingiausios šalys 2017 m. buvo Burundis, Mauritanija ir Čadas, turėję žemesnę negu -4 indekso reikšmę. Kitos šalys, kurių gyvybingumas nuo 2012 m. labiau sumažėjo, buvo: Bosnija ir Hercegovina (nuo -0,49 iki -1,54), Kambodža (nuo -1,1 iki -1,9) ir Saudo Arabija (nuo 1,86 iki 1,07).



9 pav. 10 gyvybingiausių ir mažiausiai gyvybingiausių šalių 2012 m.



10 pav. 10 gyvybingiausių ir mažiausiai gyvybingiausių šalių 2017 m.

Suskaičiavus ekonominį-socialinį gyvybingumo indeksą, nesunkiai pavyko nustatyti kokios pasaulio šalys lyderiauja, o kokios ne. Pagal kiekvieno indekso reikšmę galima sureitinguoti šalis kiekvienais metais. Sureitingavus, tikslinga ne tik patikrinti, kurios šalys yra aukščiausios arba žemiausios, bet ir kurių šalių vieta pamažu kyla į viršų arba leidžiasi. Yra dvi mažiau gyvybingos šalys, kurių gyvybingumas kiekvieną laikotarpį reikšmingai didėjo: Albanija ir Ta-

džikistanas. Albanija, tarp visų 113 šalių, 2007 m. buvo 91 vietoje, o 2017 m. - 55 vietoje. Tadžikistanas, 2007 m. buvo 90 vietoje, o 2017 m. - 60 vietoje. Taip pat, didelį progresą padarė, Jungtiniai Arabų Emyratai (iš 31 į 5 vietą), Kataras (iš 35 į 9 vietą) bei Trinidadas ir Tobagas (iš 66 į 43 vietą). Iš kitos pusės, yra valstybių, kurių gyvybingumas kasmet vis mažėja. Kuveitas, 2007 m. esantis 28 vietoje, 2017 m. nukrito į 69 vietą. Taip pat, kiekvieną laikotarpį, reikšmingai mažėja gyvybingumas Salvadore (iš 73 į 97 vietą), Omane (iš 33 į 57 vietą) ir Mauritanijoj (iš 93 į 112 vietą).

Apibendrintai, galima pasakyti, kad ekonominio-socialinio gyvybingumo indekso rezultatai yra logiški ir netgi tokie, kokių buvo tikimasi. Teoriniai indekso sudarymo etapai pasitvirtino apskaičiuojant gyvybingumo indeksą visu nagrinėjamu laikotarpiu. Apibrėžti veiksniai, kurie įtakoja ekonominį-socialinį gyvybingumą ir jiems atrinkti aktualūs rodikliai. CFA metodas atliko standartizavimą bei duomenų dimensionalumo mažinimą, suteikiant veiksniams konkrečius įverčius. Genetiniu algoritmu gauti svorio koeficientai, pagal kuriuos apskaičiuojamas ekonominis-socialinis gyvybingumas tiesinėje išraiškoje (3.1). Visu laikotarpiu indeksas kito tarp -4.5 ir 4.5 bei matomos panašios didžiausias ir mažiausias reikšmes gavusios šalys. Koreliacijos koeficientas, tarp indeksų skirtingais metais, taip pat buvo aukštas – daugiau už 0,93.

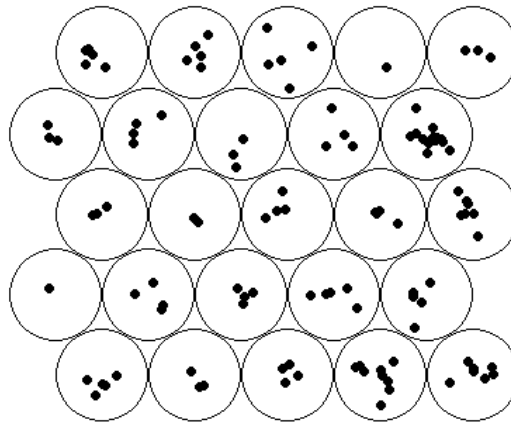
3.4 Pasaulio šalių gyvybingumo klasterizavimas naudojant SOM

Ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas atskleidžia, kurios pasaulio šalys yra gyvybingos. o kurios ne. Rezultatai parodė, kad šalys, esančios Afrikos žemyne labiausiai išsiskyrė iš kitų šalių kituose žemynuose. Todėl, taip pat yra svarbu sužinoti, pagal kokius veiksnius vienos šalys yra panašios į kitas ir pagal kokius skiriasi. Tam tikslui, tikslinga atlikti šalių klasterizavimą.

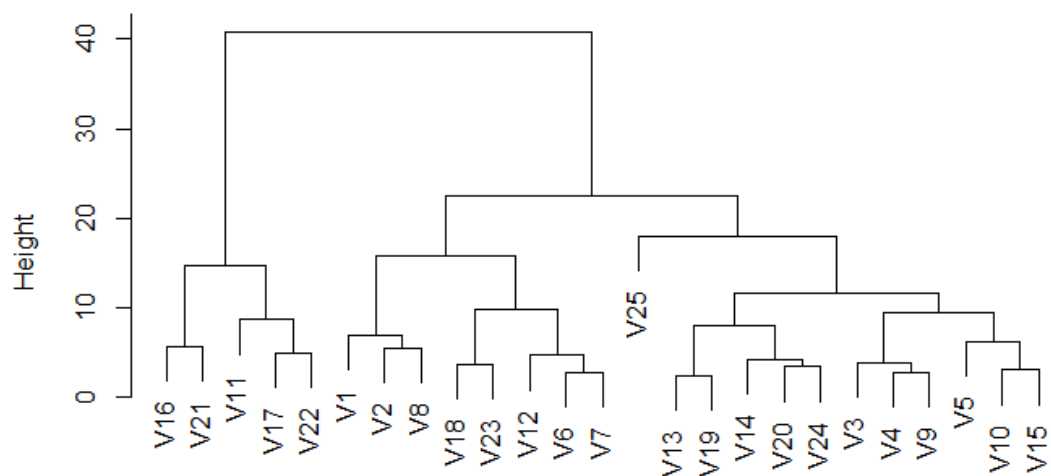
Šiame darbe naudojamas savaime besiorganizuojančių vaizdavimų (SOM) metodas, kuris yra parentas dirbtiniu neuroniniu tinklu. Tyrimo metu, visos 113 šalių buvo paskirstytos tarp 25 mazgų SOM tinkle (11 pav.). Vienam tinklo mazge esančios šalys yra panašiausios viena su kita, o šalys, esančios gretimuose mazguose taip pat turi panašumų.

Visi tinkle esantys mazgai savaime susiorganizuoja taip, kad kuo panašesni mazgai būtų vienas arčiau kito. Todėl, sekantis žingsnis buvo suklastertizuoti pačius SOM tinklo mazgus. Panaudojus hierarchinį klasterizavimo metodą yra galimybė nubrėžti dendrogramą, kuri padeda vizualiai pamatyti tinkamą klasterių skaičių (12 pav.).

Pasirinkti keturi SOM mazgų klasteriai (13 pav.). Kiekviename mazge pavaizduoti visų kintamųjų (ekonomikos ir augimo, žmogiškojo kapitalo, išsilavinimo, inovacijų, populiacijos ir



11 pav. Stebėjimų pasiskirstymas SOM tinklo mazguose

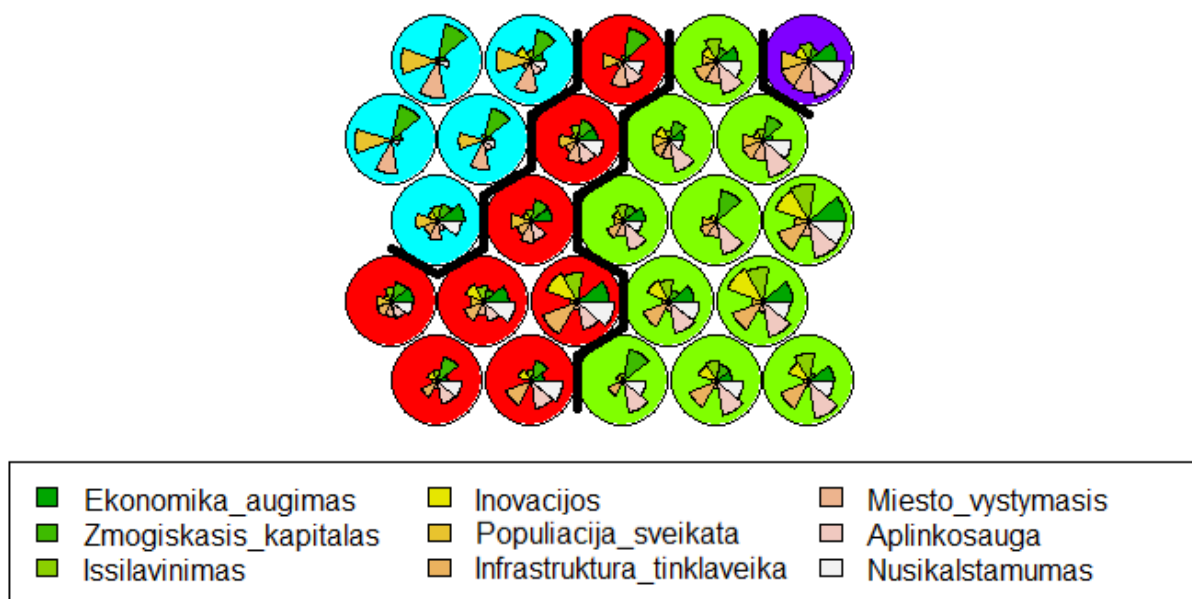


12 pav. Dendrograma SOM tinklo mazgų klasterizavimui

sveikatos, infrastruktūros ir tinklaveikos, miesto vystymosi, aplinkosaugos ir nusikalstamumo) dydžiai panašioms šalims. Jeigu su CFA metodu nebūtų atliktas duomenų dimensionalumo mažinimas, turint daugiau kintamųjų, toks grafikas nebūtų labai praktiškas. Bet, kadangi, kintamųjų yra tik devyni, pagal šių veiksnių skirtumus kiekvieną klasterį galima apibūdinti taip:

- **1 klasteris (raudonos spalvos)** – šalys turi vidutinį ekonominį augimą, žmogiškąjį kapitalą bei truputi silpnesnį išsilavinimą, inovacijas, infrastruktūrą, aplinkosaugą. Šiose šalyse yra saugu gyventi, nes yra mažas nusikalstamumas. Tačiau, miestų bei populiacijos augimas nėra didelis.
- **2 klasteris (žalios spalvos)** – šiose šalyse yra stipriausia ekonomika, žmogiškasis kapitalas, išsilavinimas, inovacijos, infrastruktūra, aplinkosauga bei ganėtinai mažas nusikalstamumas. Tiesa, miestų ir populiacijos augimas nėra pats didžiausias.

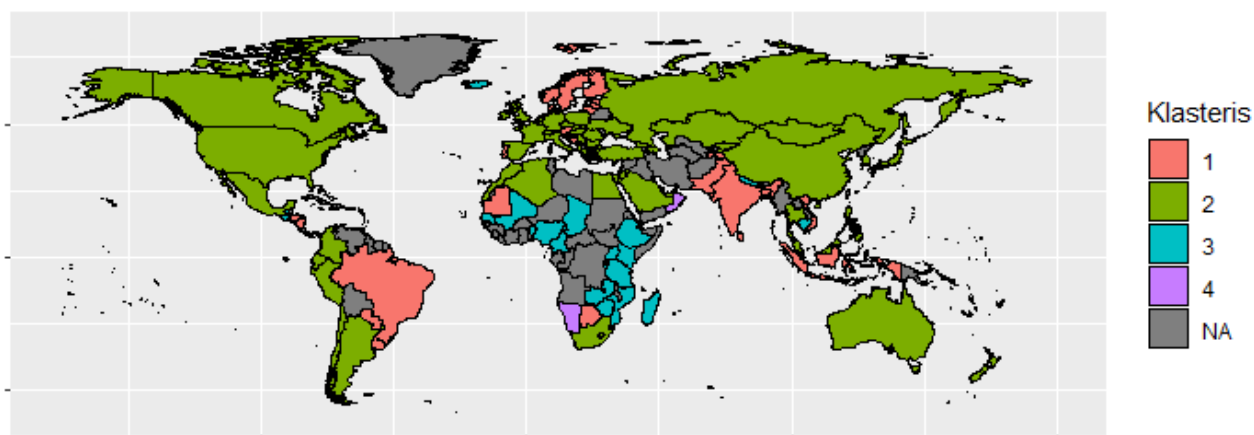
- **3 klasteris (mėlynos spalvos)** – šalys pasižymi silpna ekonomika, žmogiškuoju kapitalu, išsilavinimu, inovacijomis, infrastruktūra, aplinkosauga ir dideliu nusikalstamumu. Šiose šalyse egzistuoja didžiausias populiacijos bei miestų populiacijos augimas.
- **4 klasteris (violetinės spalvos)** – dauguma veiksnių šiame klasteryje turėjo vidutines reikšmes. Šios šalys pasižymi truputi didesne ekonomika, išsilavinimu bei aplinkosauga.



13 pav. Klasterizuoti SOM tinklo mazgai

Atlikus SOM ir klasterinę analizę, galima pastebėti vieną dalyką. Žmogiškojo kapitalo kintamasis buvo didžiausias tose valstybėse, kurios pastebimai ekonomiškai silpnesnės ir mažiau išsivysčiusios. Tačiau, rodikliai, susiję su žmogišku kapitalu turėtų kaip tik būti didesni stipresnėse valstybėse. Taip nutiko, nes CFA analizė priskyre didesnius neigiamus svorius kai kuriems žmogiškojo kapitalo kintamiesiems. Todėl, rezultatų interpretacija išeina atvirkščia – didesnė žmogiško kapitalo reikšmė reiškia prastesnę situaciją valstybėje. Panašiai galima pasakyti apie nusikalstamumą – didesnė reikšmė reiškia, kad yra mažiau nusikalstamumo, bet tai turėjo įtakos patys rodikliai, nes jie sudaryti taip, kad didesnis skaičius reikštų geresnę padėtį.

Visus aprašytus klasterius galima pavaizduoti tą pačią spalva žemėlapyje. Daugiausiai šalių pateko į 2-ą klasterį (63 šalys). Iš žemėlapiu matyt, kad dauguma yra stiprios, išsivysčiusios bei turtingos šalys, kurios, pagrinde, yra Šiaurės Amerikoje, Europoje, Azijoje, bei Australijos žemynuose. 1-ame klasteryje yra mažiau šalių (27 šalys), bet jos labai panašios į 2-ojo klasterio šalis, tačiau kiek ekonomiškai silpnesnės. Į šį klasterį pateko kai kurios Europos valstybės,



14 pav. Pasaulio šalių klasteriai 2017 m.

Pietų Amerikos valstybės, kaip Brazilija, kelios šalys iš Afrikos, Azijos bei Indija ir Indonezija. 3-ame klasteryje buvo 20 šalių, kurios pagal daugumą veiksnių yra pačios silpniausios tarp visų nagrinėjamų valstybių. Jos, pagrinde buvo Afrikos žemyno vidurinėje dalyje bei keletas iš Azijos. Šios šalys labiausiai pasižymėjo didžiausiu populiacijos augimu. Įdomu buvo tai, kad į šį klasterį pateko Islandija. Labiau pasidomėjus, pagal dauguma veiksnių Islandija pasirodė vidutiniškai, bet išsiskyrė didesniu populiacijos augimu. 4-ame klasteryje buvo tik trys valstybės: Bahreinas, Namibija ir Omanas. Jos yra panašios į 1-o klasterio valstybes, bet jose egzistuoja didesnis populiacijos augimas bei truputi stipresnė ekonomika ir aplinkosauga.

3.5 Geografiškai svorinės regresijos modelis

Atliekant geografiškai svorinę regresiją (GWR), nepriklausomų kintamųjų koeficientai yra priklausomi nuo geografinių koordinatų. Todėl galima ne tik sužinoti, koks veiksnys labiausiai veikia ekonominį-socialinį gyvybingumą, bet ir kokiose šalyse jis yra reikšmingesnis.

GWR modelis ekonominiam-socialiniam gyvybingumui buvo sudarytas naudojant gyvybingumą lemiančius veiksnus. Jeigu ekonominis-socialinis gyvybingumas būtų tiriamas pagal visus dešimtis veiksnių įverčius, gautus su CFA metodu, tuo atveju būtų gautas idealus modelis, nes visi gyvybingumą paaiškinantys veiksniai būtų žinomi. Todėl, nepriklausomi kintamieji turėtų būti visiškai nauji arba panaudojami ne visi veiksniai lemiantys ekonominį-socialinį gyvybingumą.

GWR modelis, kaip ir SOM analizėje, bus kuriamas 2017 m. duomenims. Pirmiausiai, galime patikrinti, kai atrodytų paprastos tiesinės regresijos modelis panaudojus visus kintamuosius pagal kuriuos sukurtas gyvybingumo indeksas. Iš 5 lentelės, matome, kad didžiausią teigiamą įtaką gyvybingumui turi infrastruktūra ir tinklaveika, o didžiausią neigiamą – žmogiškasis ka-

pitalas. Kaip jau minėta, CFA metodas žmogiškajam kapitalui suteikė didesnę neigiamą svorį. Todėl šio kintamojo interpretacija tampa sudėtingesnė nei kitų kintamųjų. Taip pat, modelio R^2 ir pataisytas R^2 yra lygus 1. Tai reiškia, kad visi kintamieji tobulai apibūdina gyvybingumą. Tokį modelį sudarius GWR, matytume tuos pačius rezultatus. Todėl, vieną ar kelis iš kintamųjų reikia pašalinti.

5 lentelė. Paprastos tiesinės regresijos rezultatai

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.0786	0.0000	264208539699202.81	0.0000
Ekonomika_augimas	-0.1004	0.0000	-52140127261133.70	0.0000
Zmogiskasis_kapitalas	-0.8667	0.0000	-331453505527108.06	0.0000
Issilavinimas	0.2307	0.0000	277493634608195.09	0.0000
Inovacijos	0.0735	0.0000	74732146368462.45	0.0000
Populiacija_sveikata	0.0030	0.0000	2950076207403.34	0.0000
Infrastruktura_tinklaveika	0.3948	0.0000	533778524110338.06	0.0000
Miesto_vystymasis	-0.4638	0.0000	-533276528643471.44	0.0000
Aplinkosauga	0.3411	0.0000	763566324734588.62	0.0000
Nusikalstamumas	0.2493	0.0000	599092739642035.62	0.0000

Kintamųjų tarpusavio koreliacija gali padėti pasirinkti kintamąjį pašalinimui. Galima braižyti koreliacijos koeficientų lentelę arba apskaičiuoti dispersijos mažėjimo daugiklį (VIF – angl. *Variance inflation factor*), kuris nustato kaip stipriai vienas kintamasis koreliuoja su kitais. Panaudojus visus kintamuosius regresijos analizėje, 6 lentelėje matome, kad žmogiškojo kapitalo VIF reikšmė yra žymiai didesnė negu kitų kintamųjų. Pašalinus šį kintamąjį situacija pagerėja bei kitų kintamųjų VIF reikšmė taip pat sumažėja. Toliau analizė tęsiama be žmogiškojo kapitalo kintamojo.

Pakartojus tiesinę regresiją be žmogiškojo kapitalo kintamojo, modelio R^2 yra lygus 0,99. Tam, kad modeliuojant, būtų efektyviau palyginti įvairūs metodai, reikėtų šiek tiek padidinti modelio neapibrėžtumą. Tai galima padaryti pašalinus dar vieną kintamąjį. Pasirinktinai pašalintas aplinkosaugos kintamasis, be kurio, modelio R^2 sumažėja iki 0,97. Vadinasi, lieka 3% modelio sklaidos, kuri nėra paaiškinama tiesine regresija. Naujos tiesinės regresijos rezultatai pateikti 7 lentelėje. Pritaikant kitus metodus, didžiausias dėmesys bus skiriamas patikrinant, ar koordinacių įtaka padeda pagerinti modelius ir sumažinti neapibrėžtumą.

GWR nuo paprastos tiesinės regresijos skiriasi tuo, kad nepriklausomų kintamųjų koeficientų

6 lentelė. VIF koeficiento reikšmės prieš ir po žmogiškojo kapitalo kintamojo pašalinimo

	VIF		VIF
Ekonomika_augimas	41.47	Ekonomika_augimas	4.06
Zmogiskasis_kapitalas	76.53	Issilavinimas	7.69
Issilavinimas	7.74	Inovacijos	7.24
Inovacijos	10.81	Populiacija_sveikata	9.39
Populiacija_sveikata	11.61	Infrastruktura_tinklaveika	6.01
Infrastruktura_tinklaveika	6.12	Miesto_vystymasis	8.06
Miesto_vystymasis	8.47	Aplinkosauga	1.88
Aplinkosauga	2.23	Nusikalstamumas	1.92
Nusikalstamumas	1.94		

įverčiai skirtingi kiekvienam stebėjimui, nes jie yra įtakojami koordinacių. Šios analizės rezultatai yra pateikti 8 lentelėje. Visi kintamieji, išskyrus populiaciją ir sveikatą bei miesto vystymąsi, didžiąja dalimi, turėjo teigiamą įtaką visoms šalims. Rezultatuose matomi nepriklausomų kintamųjų reikšmių intervalai visoms 113 šalių. Panaudojus GWR metodą, turima unikali galimybė kiekvieną koeficientų reikšmę galima pavaizduoti žemėlapyje ir taip vizualiau pamatyti ekonominiam-socialiniam gyvybingumui įtaką turinčių veiksnių pasiskirstymą bei centrus.

Šiame žemėlapyje, (15 pav.), pavaizduota, kaip ekonomikos ir augimo veiksnys veikia ekonominį-socialinį gyvybingumą kiekvienoje valstybėje. Matoma, kad Europos, Azijos, Okeanijos ir dalies Afrikos žemynuose gyvybingumas yra stipriausiai veikiamas ekonominių pokyčių. Ekonomikos ir augimo veiksniai padidėjus 1 vienetu, ekonominis-socialinis gyvybingumas padidėtų apie 0,4 – 0,5. Šiaurės Amerikoje, Pietų Amerikoje bei šiaurinėje Afrikos dalyje matoma mažesnės koeficiento reikšmės, o pati mažiausia – 0,03. Pats ryškiausias ekonomikos ir augimo veiksnio centras matomas šiaurės, vidurio ir rytų Europos valstybėse.

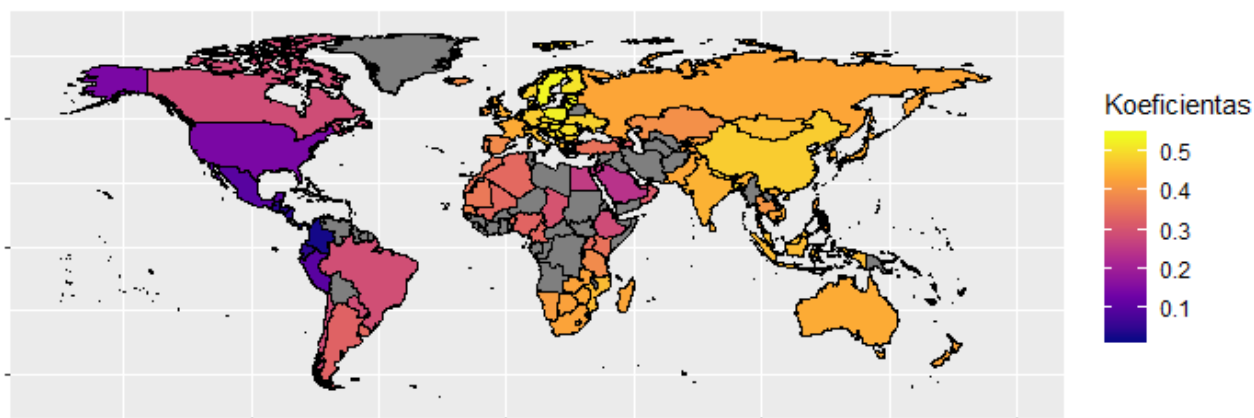
Išsilavinimo įtakos gyvybingumui žemėlapyje (16 pav.), aukščiausios koeficiento reikšmės matyti centrinės Amerikos ir viršutinės Pietų Amerikos dalyje. Šioje srityje matyti išsilavinimo įtakos centras, kuriame, veiksniai padidėjus 1 vienetu, gyvybingumo indeksas padidėtų apie 0,6. Kitose pasaulio vietose, mažesnės koeficiento reikšmės matomos tarp Europos, Azijos ir Okeanijos valstybių. Pietinėse Afrikos šalyse netgi pastebima neigiama išsilavinimo įtaka gyvybingumui. Tačiau ji nėra didelė, nes išsilavinimui padidėjus 1 vienetu, ekonominis-socialinis gyvybingumas sumažėtų tik -0,08.

7 lentelė. Paprastos tiesinės regresijos rezultatai, pašalinus žmogiškojo kapitalo ir aplinkosaugos kintamuosius

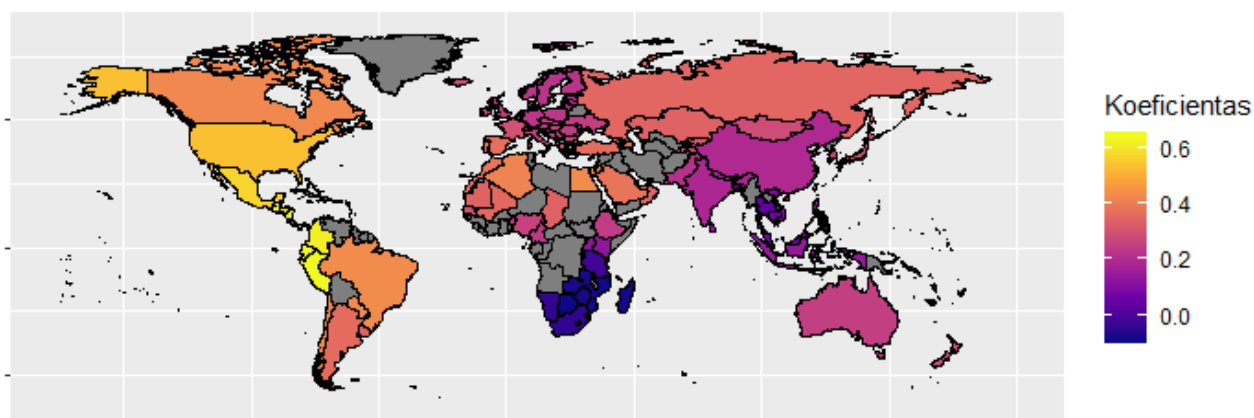
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.0786	0.0299	2.63	0.0098
Ekonomika_augimas	0.4121	0.0597	6.90	0.0000
Issilavinimas	0.3045	0.0831	3.67	0.0004
Inovacijos	0.1992	0.0805	2.47	0.0150
Populiacija_sveikata	-0.2076	0.0918	-2.26	0.0258
Infrastruktura_tinklaveikla	0.6551	0.0698	9.39	0.0000
Miesto_vystymasis	-0.4756	0.0849	-5.60	0.0000
Nusikalstamumas	0.2644	0.0416	6.35	0.0000

8 lentelė. Geografiškai tiesinės regresijos rezultatai

	Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.	Global
Intercept.	-0.04	0.05	0.13	0.22	0.42	0.08
Ekonomika_augimas	0.03	0.32	0.42	0.46	0.54	0.41
Issilavinimas	-0.08	0.23	0.27	0.38	0.64	0.30
Inovacijos	0.09	0.19	0.27	0.33	0.84	0.20
Populiacija_sveikata	-0.57	-0.26	0.02	0.24	0.49	-0.21
Infrastruktura_tinklaveika	0.16	0.52	0.56	0.62	0.77	0.66
Miesto_vystymasis	-0.92	-0.71	-0.59	-0.44	-0.29	-0.48
Nusikalstamumas	0.08	0.18	0.40	0.48	0.59	0.26

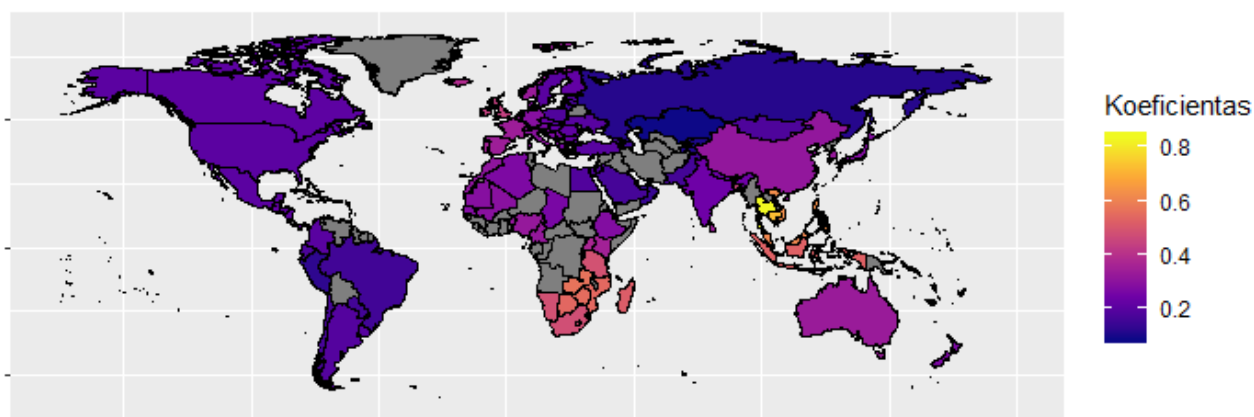


15 pav. Ekonomikos ir augimo įtaka gyvybingumui 2017 m.



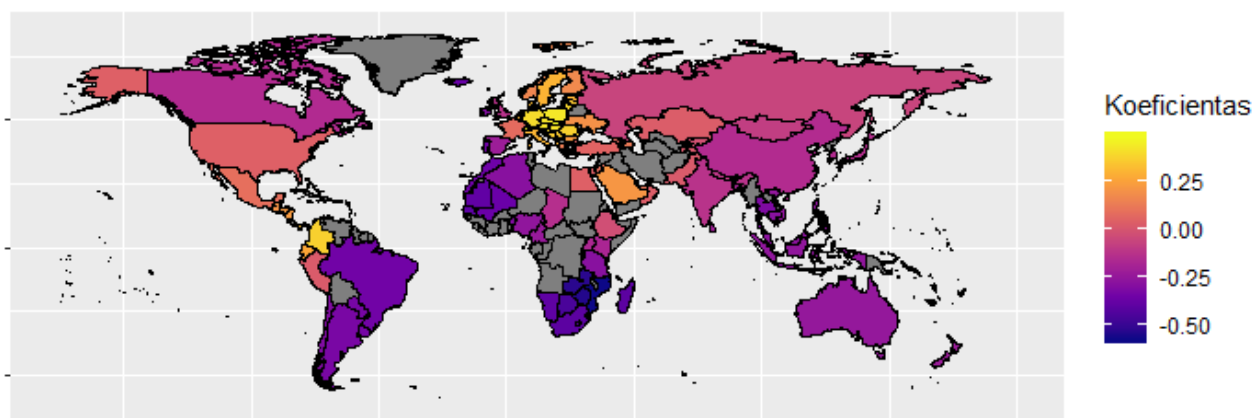
16 pav. Išsilavinimo įtaka gyvybingumui 2017 m.

Inovacijų įtaką ekonominiam-socialiniam gyvybingumui (17 pav.) buvo panaši daugumai pasaulio šalių, o koeficiento reikšmė kito tarp 0,1 ir 0,3. Labiausiai išsiskyrė pietų Azijos šalys, ypač Tailandas. Inovacijoms padidėjus 1 vienetu, šiose vietovėse gyvybingumas padidėtų net iki 0,84. Palyginus su kitoms pasaulio valstybėms tai yra gan didelis skirtumas. Pietų Afrikos valstybėms, taip pat, yra matoma didesnė koeficiento reikšmė.



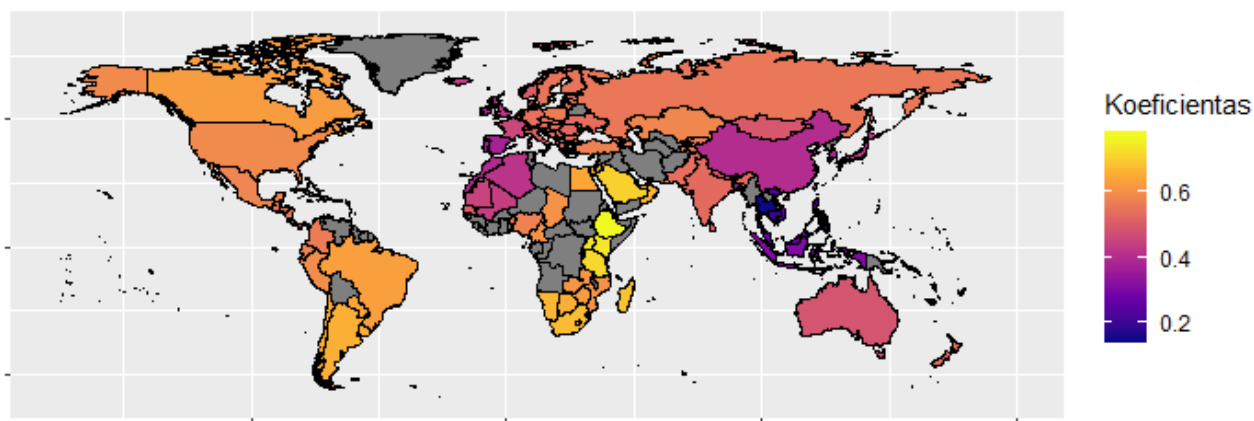
17 pav. Inovacijų įtaka gyvybingumui 2017 m.

Populiacijos ir sveikatos įtaka ekonominiam-socialiniam gyvybingumui buvo teigiama ir neigiama (18 pav.). Šis veiksnys daugumai Europos valstybių bei Kolumbijai turėjo didžiausios teigiamos įtakos. Populiacijai ir augimui padidėjus 1 vienetu, ekonominis-socialinis gyvybingumas padidėtų apie 0,3 – 0,5. Tačiau, Pietų Amerikos, Azijos ir ypač Afrikos šalims, šis veiksnys jau turi neigiamos įtakos. Afrikoje, kintamajam padidėjus 1 vienetu, gyvybingumas sumažėtų iki 0,57. Šiam veiksmui didelės įtakos turi populiacijos augimas, todėl logiška, kad šalyse, kuriose yra daugiausiai pasaulyje žmonių, gyvybingumas, dėl vis dar didėjančios populiacijos, mažės.



18 pav. Populiacijos ir sveikatos įtaka gyvybingumui 2017 m.

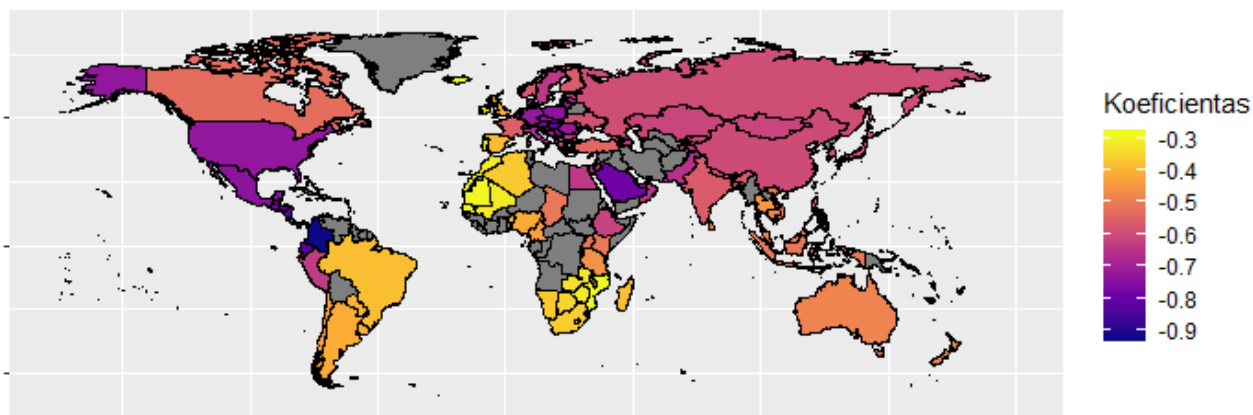
Infrastruktūros ir tinklaveikos įtaka gyvybingumui labiausiai pasireiškė pietryčių Afrikos ir Viduriniųjų Rytų šalims. Šiam veiksniai padidėjus 1 vienetui, ekonominis-socialinis gyvybingumas padidėtų tarp 0,6 – 0,77. Afrikos valstybės pasižymi silpnesne infrastruktūra, todėl nenuostabu, kad šalių gyvybingumas pagerėtų, jeigu sustiprėtų kelių, elektros ar interneto prieinamumas ir kokybė. Silpniausia veiksnio įtaka gyvybingumui buvo pietryčių Azijai. Čia, kintamajam padidėjus 1 vienetui, gyvybingumas padidėtų tik apie 0,2. Koeficiento reikšmė buvo truputi didesnė kai kurioms Europos, Šiaurės Amerikos ir Pietų Amerikos valstybėms (19 pav.).



19 pav. Infrastruktūros ir tinklaveikos įtaka gyvybingumui 2017 m.

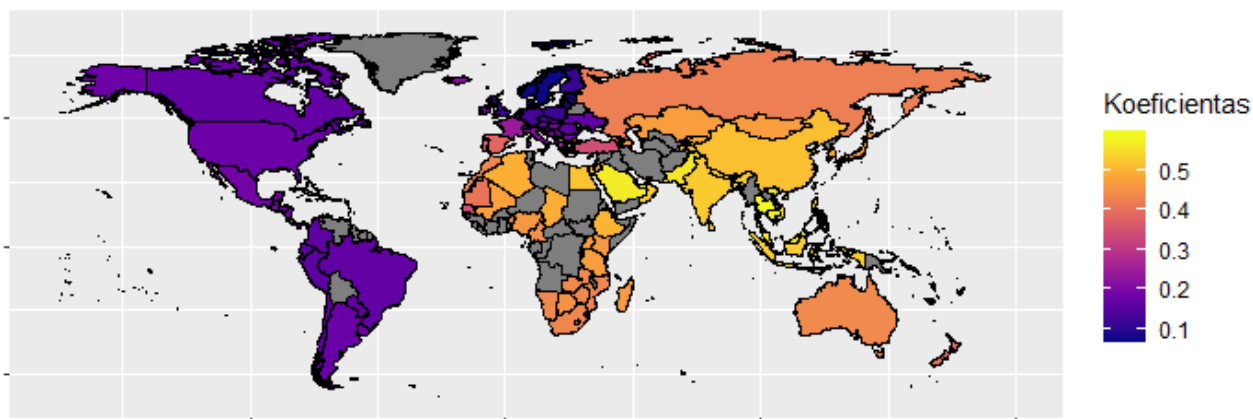
Miesto vystymosi veiksnys turėjo didžiausią neigiamą įtaką ekonominiam-socialiniam gyvybingumui (20 pav.). Didesnė neigiama šio koeficiento reikšmė pastebima Europos, Šiaurės Amerikos, dalyje Pietų Amerikos bei Viduriniųjų Rytų šalyse. Šiose vietovėse koeficiento reikšmei padidėjus 1 vienetui, gyvybingumas sumažėtų apie -0,7 – -0,9. Kadangi šis veiksnys susideda iš populiacijos tankumo ir miestų populiacijos augimo, galima būtų teigti, kad mažesnėse Europos šalyse, kuriose ypač didesnis miestų tankumas bei labiau išsivystę miestai, gyventojų

prieaugis gali pasirodyti kaip neigiamas veiksnys šalies gyvybingumui. Daugumoje Afrikos bei Pietų Amerikos valstybėse, miestų vystymosi veiksnys yra silpnesnis.



20 pav. Miesto vystymosi įtaka gyvybingumui 2017 m.

Nusikalstamumo veiksnio įtaka yra didžiausia Vidurinių Rytų, rytinės Afrikos bei pietų Azijos valstybėse. Šio veiksnio didesnė reikšmė reiškia, kad šalyje yra geresnė situacija dėl nusikalstamumo problemos. Valstybių, kurių nusikalstamumo kintamojo regresijos koeficiento reikšmė apie 0,5 – 0,6, ekonominis-socialinis gyvybingumas yra labiausiai įtakojamas. Europos bei Šiaurės ir Pietų Amerikos valstybėms, nusikalstamumo veiksnys yra silpniausias gyvybingumui – apie 0,1.



21 pav. Nusikalstamumo įtaka gyvybingumui 2017 m.

Apibendrintai, su GWR metodu gauti nepriklausomų kintamųjų regresijos koeficientai, turėjo ryškių skirtumų tarp visų pasaulio valstybių. Koeficientų reikšmės gan reikšmingai kito, nes kai kurios šalys galėjo skirtis skalėje, kurios skirtumas buvo tarp 0,5 ir 1. Palyginus tarpusavyje žemynus, keliuose atvejuose Europa aiškiai atsiskyrė nuo Afrikos, Azijos bei Okeanijos. Čia didesnės įtakos turėjo ypač Ekonomikos ir augimo bei populiacijos ir sveikatos veiksniai.

Taip pat, pastebima, kad Šiaurės ir Pietų Amerika, dažnu atveju, turėjo panašumų, nes tai yra vietovės, kurios yra atskirtos nuo kitų žemynų per vandenynus. Amerikos žemynams didžiausią įtaką turėjo išsilavinimo bei infrastruktūros ir tinklaveikos veiksniai, o mažiausią – inovacijos ir nusikalstamumas. Afrikos dažnai atsiskirdavo nuo kitų žemynų, kurie yra laikomi labiau išsivystę. Čia gyvybingumui didesnę įtaką turėjo ekonominis augimas, inovacijos, infrastruktūra ir tinklaveika bei nusikalstamumas, o mažesnę – miestų vystymasis ir ypač miestų gyventojų augimas. Todėl, Afrikos šalims pagerinus šiuos paminėtus veiksnius, tikėtina, kad bendra situacija reikšmingai pagerėtų. Azijos šalys dažnai turėdavo vidutines regresijos koeficientų reikšmes, išskyrus didesnį koeficientą ekonomikos ir augimo bei nusikalstamumo veiksniams bei mažesnį – inovacijoms. Okeanija buvo panaši į Aziją, dažniausiai turėdama vidutines koeficiento reikšmes. Populiacijos ir sveikatos veiksnys labiausiai įtakojo pasaulių valstybių gyvybingumą, nes jo koeficiento reikšmės kito tarp -0,56 ir 0,48.

3.6 Dirbtinio neuroninio tinklo modelis

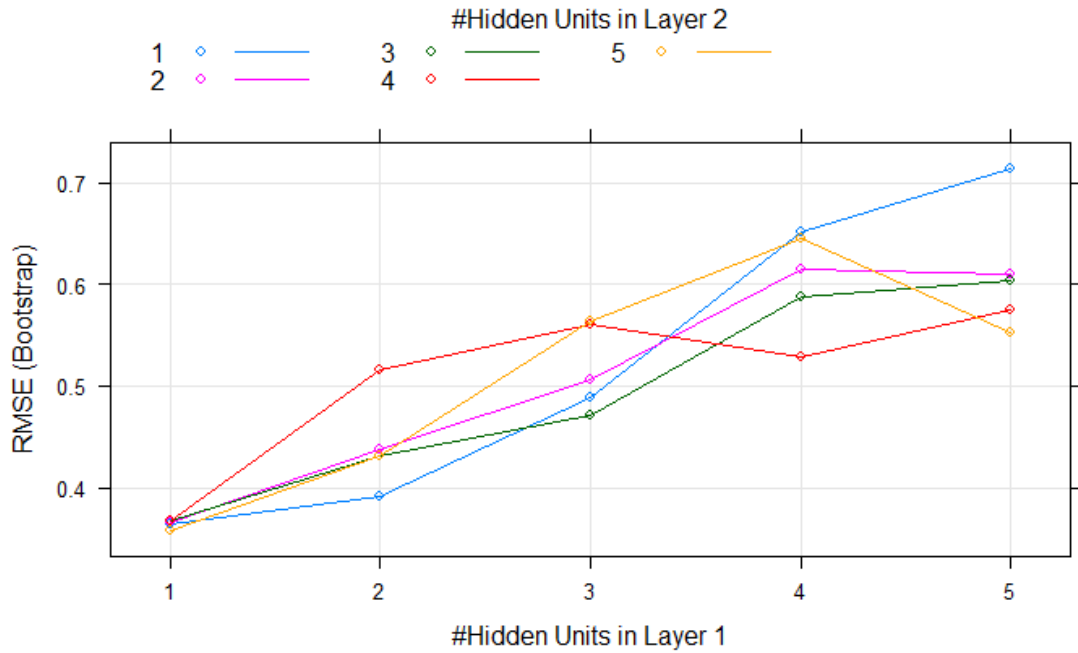
3.6.1. ANN struktūra ekonominiam-socialiniam gyvybingumui

Dar vienas metodas, kuriuo bus bandoma modeliuoti ekonominį-socialinį gyvybingumą yra dirbtinis neuroninis tinklas (ANN). Šiam modeliui bus taikomos tos pačios sąlygos, kaip ir GWR, t.y., įvesčiai priskirti tik 7 kintamieji iš 9, nes kitaip gyvybingumas būtų idealiai apibrėžtas. Kaip ir su GWR, pašalinamas žmogiškojo kapitalo ir aplinkosaugos kintamieji.

Neuroninis tinklas gali būti sudarytas iš daug paslėptųjų sluoksnių bei didelio neuronų skaičiaus kiekviename sluoksnyje. Programinėje kalboje R, yra galimybė patikrinti optimalių neuronų skaičių kiekviename sluoksnyje. Biblioteka *caret* turi funkciją *train()*, kurioje galima nustatyti norimą skaičių paslėptųjų sluoksnių ir taip pat nustatyti neuronų skaičiaus intervalą. Ši funkcija suranda optimalią neuronų kombinaciją, su kuria gaunama mažiausia šaknis iš vidutinės kvadratinės paklaidos (RMSE - angl. *root mean squared error*).

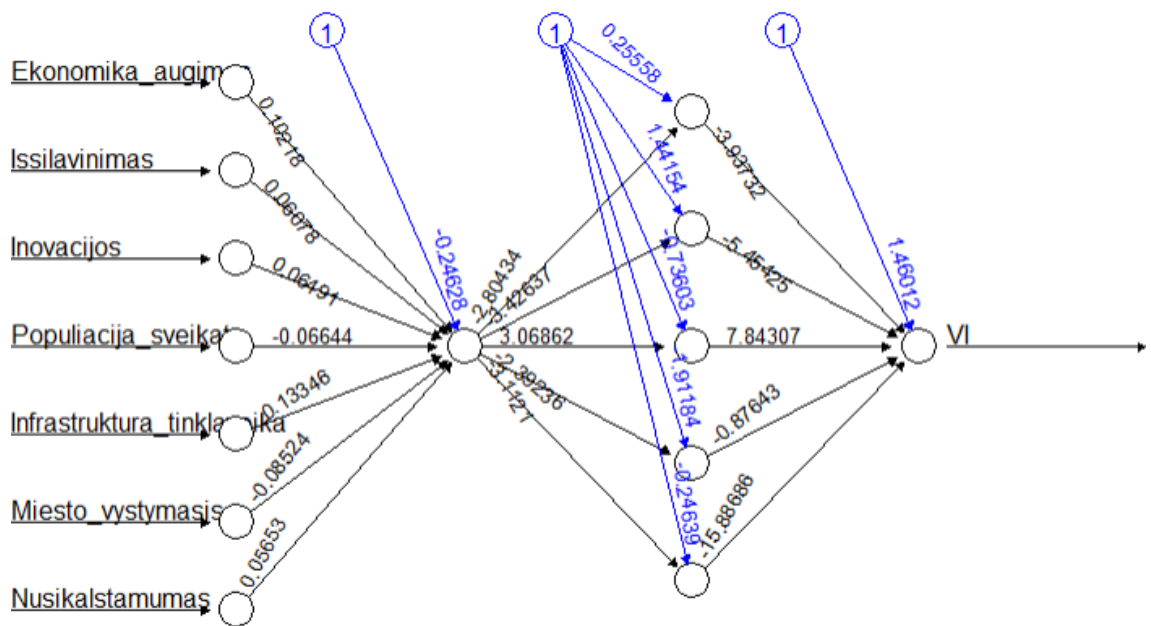
ANN modeliui sukurti yra naudojami tie patys 2017 m. duomenys, kurie buvo panaudoti SOM ir GWR analizėse. ANN analizės metu duomenys padalinti į dvi dalis – apmokymo ir testavimo imtis. 70% duomenų yra apmokymo imtyje, o likę 30% – testavimo. Kadangi stebėjimų skaičius apmokymo imtyje yra 79, ANN modelis neturėtų būti labai sudėtingas. Todėl, paslėptųjų sluoksnių nustatyta tik du, o tinkamą neuronų skaičių suras funkcija *train()*.

Optimalių neuronų skaičiaus modelyje grafikas (22 pav.) atskleidžia, kad pirmajame paslėp-



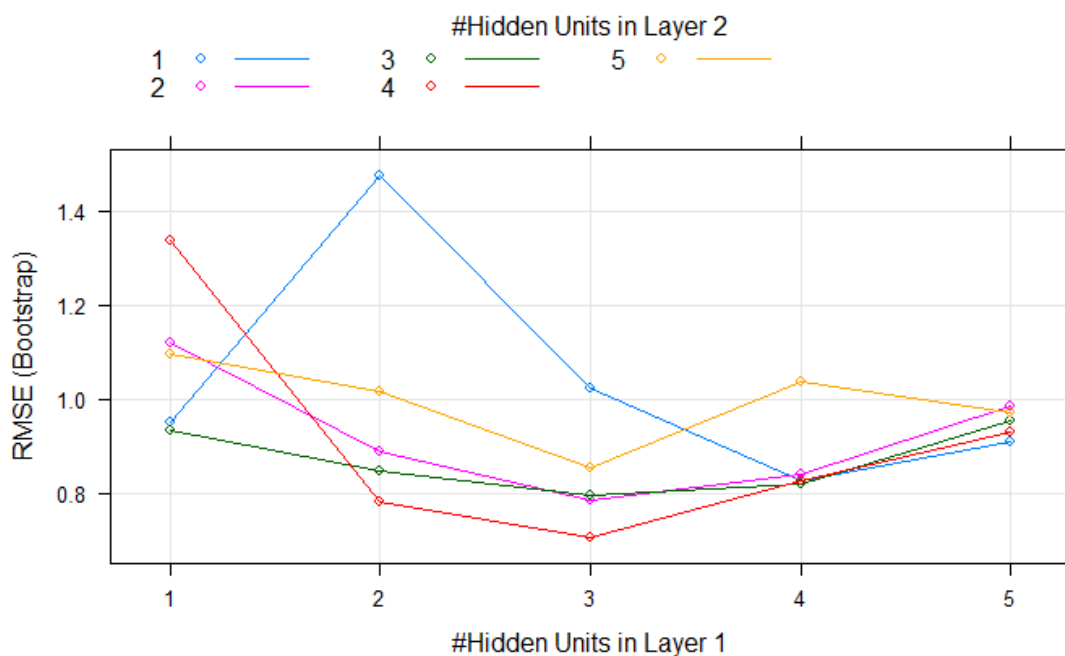
22 pav. ANN modelio paslėptųjų sluoksnių skaičiaus nustatymas

tame sluoksnyje turėtų būti tik vienas neuronas, o antrajame daugiau. Iš arčiau pažiūrėjus, mažiausia paklaida gaunama kai antrame paslėptajame sluoksnyje yra penki neuronai. Taigi, su tokiu neuronų skaičiumi, sudaromas ANN modelis, kuriame pagal septynias įvestis, apskaičiuojama išvesties arba ekonominio-socialinio gyvybingumo reikšmė (23 pav.).



23 pav. ANN geriausio modelio struktūra, su paklaida: 3,221189, kuri pasiekta per 6840 žingsnių

GWR analizė pasižymėjo tuo, kad į modelį buvo įtraukta geografinių koordinatų įtaka. Todėl, įdomu pažiūrėti, kaip neuroninis tinklas prognozuoja ekonominį-socialinį gyvybingumą, kai į įvestį įtrauktos koordinatės. Pirmiausiai, tuo pačiu būdu, kaip ir pirmame modelyje (23 pav.), surandamas optimalus neuronų skaičius paslėptuose sluoksniuose (24 pav.).



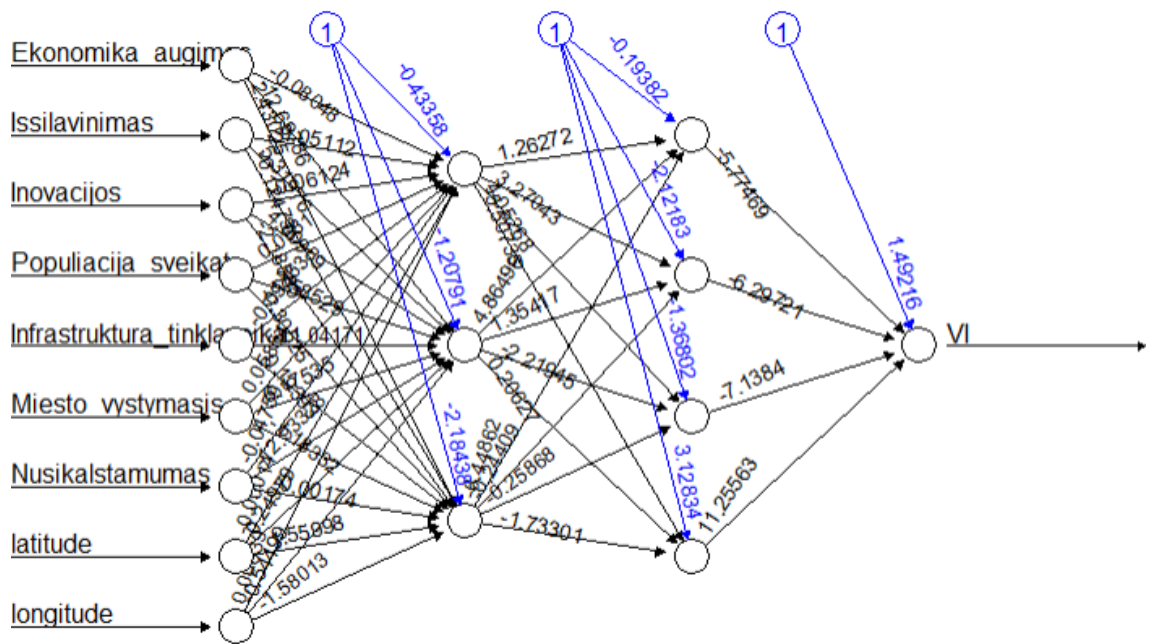
24 pav. ANN modelio (su koordinatėmis) paslėptųjų sluoksnių skaičiaus nustatymas

Modelyje, į kurio įvestį buvo įtrauktos koordinatės (latitudo ir longitudo), reikėjo trijų neuronų pirmame ir keturių neuronų antrame sluoksnyje. Esant tokiai ANN struktūrai, (25 pav.), gaunama mažiausia RMSE reikšmė.

3.6.2. Ekonominio-socialinio gyvybingumo modelių rezultatų palyginimas tarp ANN, GWR ir tiesinės regresijos

Naudojant tą pačią apmokymo imtį, sudaryti visi ekonominio-socialinio gyvybingumo indekso modeliai, kurie tarpusavyje yra lyginami. Modelių tikslumui patikrinti, naudojama testavimo imtis. Kiekvieno modelio tikslumo įvertinimui, apskaičiuojami vidutinės kvadratinės paklaidos (MSE - angl. *mean squared error*) ir vidutinės absoliučios procentinės paklaidos (MAPE - angl. *mean absolute percentage error*) paklaidų matai (9 lentelė).

Iš viso buvo sudaryti keturi modeliai. Pirmi du modeliai buvo sudaryti pagal sudarytas dvi ANN struktūras, kur pirmoje – nenaudojamos koordinatės, antroje – naudojamos. Trečias buvo



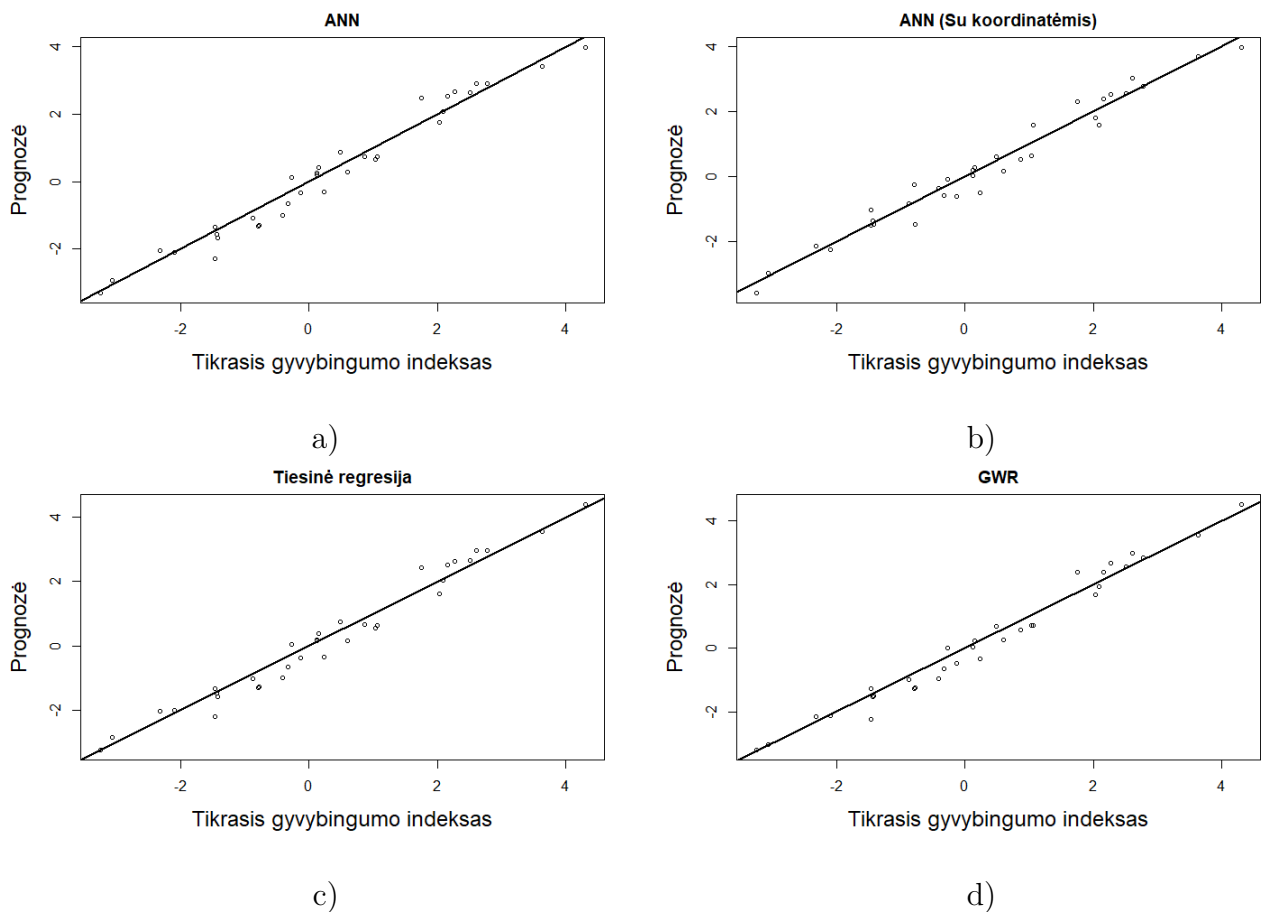
25 pav. ANN geriausio modelio (su koordinatėmis) struktūra, su paklaida: 1,543277, kuri pasiekta per 69398 žingsnių

paprastos tiesinės regresijos modelis, o ketvirtas – GWR modelis. Prognozuojamos ekonominio-socialinio gyvybingumo indekso reikšmės lyginamos su tikromis gyvybingumo reikšmėmis dvimatėje koordinatinių ašyje (26 pav.).

9 lentelė. Ekonominio-socialinio gyvybingumo modelių MSE ir MAPE reikšmės

Modelis	MSE	MAPE
ANN	0.1234463	51.35844
ANN (su koordinatėmis)	0.1109853	48.04978
Tiesinė regresija	0.122383	48.68702
GWR	0.102759	45.98125

Gauti rezultatai parodė, kad visi keturi metodai gan tiksliai prognozuoja ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksą. Tiesa, bendras modelis buvo sudarytas taip, kad tik jo maža dalis nebūtų visiškai paašškinta tiesine regresija, dėl to nieko nuostabaus, kad gaunama gera prognozė. Svarbiau palyginti naudotus metodus tarpusavyje. Iš visų metodų, ANN buvo prasčiausias. Šio metodo MSE reikšmė yra apie 0,123, o MAPE - 51,36, kurios nedaug skyrėsi nuo tiesinės regresijos MSE (0,122), nors MAPE buvo šiek tiek labiau mažesnis (48,69). Vadinasi, užtenka tik tiesinės lygties pakankamai gerai aprašyti gyvybingumo indeksą, o ANN nesurado kitos geresnės struktūros. Tačiau, gauti įdomesni rezultatai, kai į modelį įtraukiama geografinių



26 pav. Progozavimo rezultatai. a) ANN modelis, b) ANN modelis su koordinatėmis, c) Tiesinės regresijos modelis, d) GWR modelis

koordinacių įtaka. Tiek ANN, tiek GWR metodų atveju, gautos tikslesnės prognozės, negu pirmų dviejų paminėtų metodų. Prie ANN modelio įvesties pridėjus ilgumos (angl. *longitude*) ir platumos (angl. *latitude*) kintamuosius, gaunamos mažesnės MSE (0,111) ir MAPE (48,05) reikšmės. GWR metodas netgi geriau pasirodė. Gauta MSE reikšmė buvo lygi 0,103, o MAPE – 45,98. Iš turimų rezultatų, galima teigti, kad geografinės koordinatės turi reikšmingą įtaką, modeliuojant tam tikrą vietovės veiksnį. Šiame tyrime, geografiškai svorinė regresija buvo tinkamiausias metodas modeliuojant bei prognozuojant ekonominių-socialinį gyvybingumą.

3.7 Sudarytos metodikos rezultatų aptarimas

Metodika, įvertinanti pasaulio šalių gyvybingumą, prasidėjo nuo gyvybingumą lemiančių veiksnių identifikavimo ir jiems aktualių rodiklių parinkimo. Toliau, yra atsižvelgiama, kad rodiklių duomenys būtų kokybiški, t.y., prieinami visoms nagrinėjamos pasaulio šalims, visu nagrinėjamu laikotarpiu, be trūkstančių reikšmių. Sudaromas tvarkingas duomenų rinkinys, pagal kurį detaliau nagrinėjamas pasaulio šalių gyvybingumas.

Visų, prieš tai atliktų tyrimų etapų visuma (5 pav.), įeina į pasaulio šalių gyvybingumo vertinimo metodiką. Svarbiausias uždavinys buvo sudaryti ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksą visoms nagrinėjamos šalims. Indeksui sudaryti, šioje metodikoje pritaikomi CFA, GA ir PSO metodai. Gyvybingumo indekso sudarymo metu, kartu apskaičiuojami jį lemiančių veiksnių įverčiai. Gyvybingumą lemiantys veiksniai yra detaliau nagrinėjami, naudojant klasterizavimo metodus. Šioje metodikoje naudojamas SOM klasterizavimo metodas. Sudarytas ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas toliau yra lyginamas tarp pasaulio šalių, įvairiais laikotarpiais bei modeliuojamas. Indekso modeliavimui, yra tinkami ANN ir GWR metodai. Kiekvienam metodui turi būti priskiriamos koordinatės, nes erdvinė įtaka yra reikšminga pasaulio šalių gyvybingumui.

Taigi, šio darbo uždaviniai apibrėžė pasaulio šalių gyvybingumo vertinimo metodiką, kurie yra realizuoti. Gauta ekonominio-socialinio gyvybingumo indekso reikšmė, kuri gali būti pritaikyta modeliavimui.

IŠVADOS

Atlikus literatūros apžvalgos analizę, nustatyta, kad ekonominis-socialinis gyvybingumas apibūdina valstybę, kuri yra ne tik ekonomiškai ir socialiai stipri, bet ir yra patenkinti visuomenės poreikiai, didėja populiacija, gyventojai yra patenkinti darbo sąlygomis, valstybė gali nesunkiai prisitaikyti prie kintančių sąlygų. Tai yra samprata, apibūdinanti valstybės sugebėjimą išlikti gyvai ir ilgą laiką efektyviai funkcionuoti. Bendro indekso, įvertinančio pasaulio šalių gyvybingumą dar nėra sukurta.

Ekonominis-socialinis gyvybingumas yra išreikštas adityvia išraiška, kurios nežinomi parametrai surasti panaudojus genetinį ir dalelių spiečiaus optimizavimo algoritmus. Nustatyta, kad kiekvienai šaliai gautas ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas, apytiksliai kito intervale nuo -4,5 iki 4,5, pagal kurį logiškai ir intuityviai identifikuotos daugiau ir mažiau gyvybingos valstybės. Didžiausius gyvybingumo įvertinimus (daugiau nei 2), turėjo dauguma šalių iš Europos, Jungtinės Amerikos Valstijos, Japonija, Singapūras, Jungtiniai Arabų Emyratai. Tuo tarpu mažiausi (mažiau nei -2) buvo tarp Afrikos valstybių.

Įvairūs indeksai, skirti įvertinti šalis pagal bendrą veiksnį, dažnai susideda iš kitų rodiklių. Nustatytos ekonominį-socialinį gyvybingumą lemiančios rodiklių grupės, apibrėžiančios šalies ekonomiką ir augimą, žmogiškąjį kapitalą, aplinkosaugą, išsilavinimą, inovacijas, populiaciją ir sveikatą, infrastruktūrą ir tinklaveiką, miesto vystymąsi ir nusikalstamumą. Rodikliai, esantys šiose grupėse, dažniausiai yra kito rodiklio procentinė dalis arba kokybinis įvertinimas. Tinkamesniui indeksui sudaryti neturėtų būti absoliučių reikšmių, todėl tokie rodikliai, kaip BVP augimas, populiacijos augimas, infrastruktūros kokybė yra tinkamesni gyvybingumui sudaryti.

Kadangi bendras ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas nėra sukurtas, šiame darbe jis buvo sudarytas. Tam tikslui buvo panaudota patvirtinančioji faktorinė analizė ir genetinis bei dalelių spiečiaus optimizavimo algoritmai. Apskaičiuoti rodiklių grupių įverčiai, kurie buvo panaudoti gyvybingumo modeliavimui. Gyvybingumas toliau modeliuotas naudojant tiesinės regresijos, GWR ir ANN metodus. Paaiškėjo, kad geografiškai svorinė regresija prognozuoja kiek tiksliau nei ANN ar tiesinė regresija. GWR modelio rezultatai parodė, kad egzistuoja reikšminga koordinačių įtaka gyvybingumui.

Ekonominis-socialinis gyvybingumas buvo tirtas 2007m., 2012 m. ir 2017 m. Kiekvienais metais indeksas suskaičiuotas bei lyginamas tarp 113 pasaulio šalių. Gyvybingumas kito skirtingai tarp visų pasaulio šalių. Didžiausią progresą padarė Albanija, Tadžikistanas bei Jungtiniai Arabų

Emyratai. Tuo tarpu gyvybingumas labiausiai mažėjo Kuveite, Salvadore bei Omane. Pasaulio šalių klasterizavimas 2017 m. taip pat parodė, kad Afrikos šalys smarkiai skiriasi nuo daugumos kitų šalių, nes šiose vietovėse egzistuoja silpnas ekonominis ir socialinis išsivystymas.

LITERATŪRA

- [1] BRUNECKIENĖ, Jurgita, *Regionų plėtros vertinimas indeksu*, Kaunas: Technologija, 2013.
- [2] YIN, H., *The Self-Organizing Maps: Background, Theories, Extensions and Applications*, The University of Manchester, UK, 2008. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/227313166_The_Self-Organizing_Maps_Background_Theories_Extensions_and_Applications
- [3] M.P. DE BELLEFON, J.M. FLOCH, *Handbook of Spatial Analysis, Chapter 9. Geographically Weighted Regression*, Insee, 2018
- [4] SCHWAB, K. *The global competitiveness report 2019*. Geneva: World Economic Forum, 2019. Prieiga per: http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf
- [5] DREWES, J. E., ASWEGEN, M. van, *Determining the vitality of urban centres*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 142, 2010. Prieiga per: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SW10/SW10002FU1.pdf>
- [6] LIN, S., *M&G UK City Vitality Index*, CFA Associate Property Research, UK, 2019. Prieiga per: <https://www.mandg.co.uk/-/media/literature/uk/institutional/mg-real-estate-vitality-index-brochure-09-19.pdf>
- [7] NUNN, R., PARSONS, J. ir kiti. *The Geography of Prosperity*, 2018, Washington DC: The Hamilton Project. Prieiga per: https://www.hamiltonproject.org/papers/the_geography_of_prosperity
- [8] KANE, Sharon P., *Calculating Georgia's Economic Vitality Index*, The University of Georgia, Center for Agribusiness and Economic Development, 2009. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/260348729_Calculating_Georgia's_Economic_Vitality_Index_Prepared_by
- [9] KOOMEN, E., *INDICATORS OF RURAL VITALITY: A GIS-based analysis of socio-economic development of the rural Netherlands*, VU University Amsterdam, 2011. Prieiga per: <https://pdfs.semanticscholar.org/e9f8/5006c1826cd24486c72a616e3dea4e489941.pdf>

- [10] TAEBI, B. *Radioactivity in the Environment*, Volume 19, 2013, Pages 259-280.
- [11] CHEREMISINOFF, P. N., *Waste Minimization and Cost Reduction for the Process Industries*, New Jersey, USA: Noyes Publications, 1995, ISBN: 0-8155-1388-7
- [12] NATIONAL ISSUES FORUMS, *Economic Vitality: How can we improve our communities?*, Dayton, Ohio, 2016. Prieiga per: <https://www.nifi.org/en/catalog/regional-issue-guides/economic-vitality-how-can-we-improve-our-communities>
- [13] SUMMERS, Gene F. ir kiti, *Community Economic Vitality: Major Trends and Selected Issues*. North Central Regional Center for Rural Development, Ames, Iowa, 1988. Prieiga per: <https://eric.ed.gov/?id=ED306059>
- [14] CARRIER, A. ir GUNTER, M., *CRITICAL WORKPLACE SKILLS FOR VIRGINIA'S ECONOMIC VITALITY*, Demographics and Workforce Group, Weldon Cooper Center, University of Virginia, 2010. Prieiga per: https://demographics.coopercenter.org/sites/demographics/files/Critical-Workplace-Skills-for-Virginia_0.pdf
- [15] YUST, Becky L., MEMKEN Jean A.,(2000) *Housing as an Indicator of Rural Vitality: The Methodology*, *Housing and Society*, 27:1, 7-15, DOI:10.1080/08882746.2000.11430441
- [16] SELZER, L., *Environmental Sustainability and Economic Vitality: We Can Have Both*, The Conservation Fund, 2016 Prieiga per: <https://www.conservationfund.org/blog/partnerships/1200-environmental-sustainability-and-economic-vitality-we-can-have-both>
- [17] LYSON, Thomas A., *The Importance of Schools to Rural Community Viability*, Cornell University, 2005 Prieiga per: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED493383.pdf>
- [18] ABELTINA, A., *The role of innovation in economic development*, *Ekonomika ir vadyba: aktualijos ir perspektyvos*. 2007. 2 (9). 5–9, Prieiga per: http://www.su.lt/bylos/mokslo_leidiniai/ekonomika/7_9/abeltina.pdf
- [19] MEXICAN COMMISSION ON MACROECONOMICS AND HEALTH, *INVESTING IN HEALTH FOR ECONOMIC DEVELOPMENT*, Puebla, México, 2004. Prieiga per: <http://origin.who.int/macrohealth/action/sintesis15novingles.pdf>

- [20] PALEI, T., *Assessing The Impact of Infrastructure on Economic Growth and Global Competitiveness*, *Procedia Economics and Finance* 23, 168-175, 2015. Prieiga per <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115003226>
- [21] ALEXANDER, D., TOMALTY, R., ANIELSKI, M. *BC sprawl report 2004: Economic vitality and livable communities*. [Vancouver, B.C.]: Smart Growth BC., 2004. Prieiga per: <https://viurrspace.ca/handle/10613/4984>
- [22] MULOK, D., KOGID, M. ir kiti, *The Relationship between Crime and Economic Growth in Malaysia: Re-Examine Using Bound Test Approach*, Universiti Malaysia Sabah, 2016. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/309737921_The_Relationship_between_Crime_and_Economic_Growth_in_Malaysia_Re-Examine_Using_Bound_Test_Approach
- [23] NUNN, R., PARSONS, J. ir kiti. *The Geography of Prosperity. TECHNICAL APPENDIX – FRAMING PAPER*, 2018, Washington DC: The Hamilton Project. Prieiga per: https://www.hamiltonproject.org/papers/the_geography_of_prosperity
- [24] ČEKANAVIČIUS, V., MURAUSKAS, G., *Statistika ir jos taikymai. III*, TEV, Vilnius, 2009
- [25] MIJWEL, Maad, M., *Genetic Algorithm Optimization by Natural Selection*, Baghdad University, Baghdad, Iraq, 2016. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/322041362_Genetic_Algorithm_Optimization_by_Natural_Selection
- [26] CORNE, D., REYNOLDS, A. ir BONABEU, E., *Swarm Intelligence*, Handbook of Natural Computing, 2012. Prieiga per: https://www.macs.hw.ac.uk/~dwcorne/Teaching/SIchapterforHandbook_NC.pdf
- [27] SCHUTTE, Jaco, F., KOH, B. ir kiti, *Evaluation of a Particle Swarm Algorithm For Biomechanical Optimization*, National Institute of Health, 2007
- [28] CHATTOPADHYAY, M., DAN, Pranab K. ir MAJUMDAR, S., *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND SELF ORGANIZING MAP FOR VISUAL CLUSTERING OF MACHINE-PART CELL FORMATION IN CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM*, Kolkata, India, 2011. Prieiga per: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1201/1201.5524.pdf>

- [29] KUKREJA, H., BHARATH, N., *AN INTRODUCTION TO ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*, International Journal Of Advance Research And Innovative Ideas In Education, Jain University, Bangalore, 2016
- [30] KULDEEP, S., Dr.ANITHA, G. S., *Neural Network Approach for Processing Substation Alarms*, International Journals of Power Electronics Controllers and Converters, India, 2015.
- [31] MARSH, H.W. ir HOCEVAR, D., *Application of confirmatory factor analysis to the study of self-oncept: First- and higher-order factor models and their invariance across groups*. Psychological Bulletin, 97, 562-582, 1958

PRIEDAI

1 priedas. Ekonominio-socialinio gyvybingumo tyrimui naudojamų kintamųjų sąrašas

Kintamasis	Reikšmė	Aprašymas
GDP	Jungtinių Valstijų doleris	Bendras vidaus produktas
GDP_growth	Kasmetinis %	Bendrojo vidaus produkto augimas
Exports	% nuo BVP	Eksportas
Imports	% nuo BVP	Importas
Inflation	Kasmetinis %	Infliacija
Agro_forest_fish_VA_GDP	% nuo BVP	Žemės ūkio, miškininkystės ir žvejybos sektorių pridėtinė vertė
Industry_VA_GDP	% nuo BVP	Promonės sektoriaus pridėtinė vertė
Manufacturing_VA_GDP	% nuo BVP	Gamybos sektoriaus pridėtinė vertė
Services_VA_GDP	% nuo BVP	Paslaugų sektoriaus pridėtinė vertė
GCI	Indekso reikšmė	Pasaulinis konkurencingumo indeksas
Local_comp	Nuo 1 iki 7	Vietinis konkurencingumas
Labor_force	Bendras sk.	Darbo jėgos lygis
Unemployment	% nuo darbo jėgos	Nedarbingumo lygis
Emp_to_pop	% visos populiacijos nuo 15 m.	Darbo santykis su gyventojų skaičiumi
Lab_force_participation	% visos populiacijos nuo 15 m.	Darbo jėgos dalyvavimas
Employers	% nuo bendro užimtumo	Darbdavių sk.
Staff_train	Nuo 1 iki 7	Darbuotojų paruošimo kokybė
Pay_prod	Nuo 1 iki 7	Darbo užmokestis ir produktyvumas
Hiring_firing	Nuo 1 iki 7	Samdymo ir atleidimo praktika
Quality_edu	Nuo 1 iki 7	Išsilavinimo kokybė
Primary_edu	Nuo 1 iki 7	Pradinis išsilavinimas
Secondary_edu	Nuo 1 iki 7	Vidurinis išsilavinimas

Tertiary_edu	Nuo 1 iki 7	Aukštasis išsilavinimas
Quality_edu_ms	Nuo 1 iki 7	Išsilavinimo kokybė matematikos ir kitų mokslų srityje
Innovation_cap	Nuo 1 iki 7	Inovacijų pajėgumas
Gov_proc_tech	Nuo 1 iki 7	Vyriausybės pažangių technologinių produktų pirkimai
Institutions_q	Nuo 1 iki 7	Institucijų kokybė
Latest_tech	Nuo 1 iki 7	Naujausios technologijos
Scientists	Nuo 1 iki 7	Mokslininkų skaičius
Fertility_rate	Gimimų sk. 1 moteriai	Gimstamumo rodiklis
Population_growth	Kasmetinis %	Populiacijos augimas
Life_expectancy	Amžius	Gyvenimo trukmė
Mortality_infant	1000 kūdikių	Kūdikių mirtingumas
Pop_0_14	% nuo visos populiacijos	Populiacijos dalis nuo 0 iki 14 metų.
Pop_15_65	% nuo visos populiacijos	Populiacijos dalis nuo 15 iki 65 metų.
Pop_65_	% nuo visos populiacijos	Populiacijos dalis nuo 65 metų.
Tourism_expenditures	% nuo viso importo	Tarptautinės turizmo išlaidos
Tourism_receipts	% nuo viso eksporto	Tarptautinės turizmo pajamos
Quality_Infr	Nuo 1 iki 7	Infrastruktūros kokybė
Quality_air	Nuo 1 iki 7	Oro uostų kokybė
Quality_port	Nuo 1 iki 7	Uostų kokybė
Quality_roads	Nuo 1 iki 7	Kelių kokybė
Internet_servers	Per 10000000 žmonių	Interneto serverių sk.
Internet_usage	% nuo visos populiacijos	Interneto naudojimas
Mobile_subs	Per 100 žmonių	Mobilias paslaugas užsisakiusių sk.
Telephone_subs	Per 100 žmonių	Telefono paslaugas užsisakiusių sk.

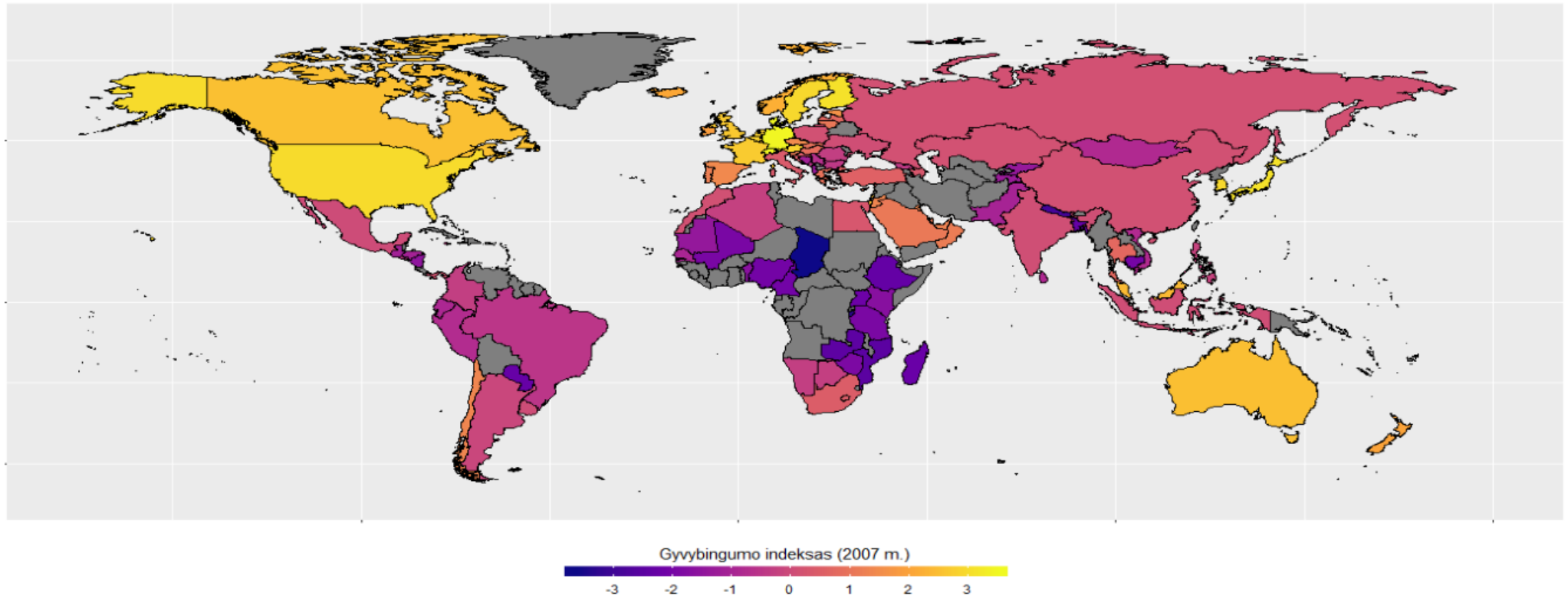
Electricity_access	% nuo visos populiacijos	Elektros prieinamumas
Urban_pop	% nuo visos populiacijos	Gyventojų sk. mieste
Population_density	Žmonių sk. per kv. km.	Populiacijos tankumas
Pop_largest_city	% nuo miesto populiacijos	Populiacijos sk. didžiausiame mieste
Urb_pop_growth	Kasmetinis %	Gyventojų sk. mieste augimas
CO2_emmissions	CO ₂ tonos asmeniui	CO ₂ dujų išmetimas
Renew_energy_consumption	% nuo visos energijos suvartojimo	Atsinaujinančios energijos pagaminimas
Renew_electricity_output	% nuo viso elektros pagaminimo	Atsinaujinančios energijos sunaudojimas
Crime	Nuo 1 iki 7	Nusikalstamumo lygis
Police_rel	Nuo 1 iki 7	Pasitikėjimas policija
Crime_costs	Nuo 1 iki 7	Verslo išlaidos dėl nusikalstamumo ar smurto
Bribes	Nuo 1 iki 7	Neteisėti mokėjimai ir kyšiai

2 priedas. Faktorių svoriai kintamiesiems 2007 m., 2012 m. ir 2017 m.

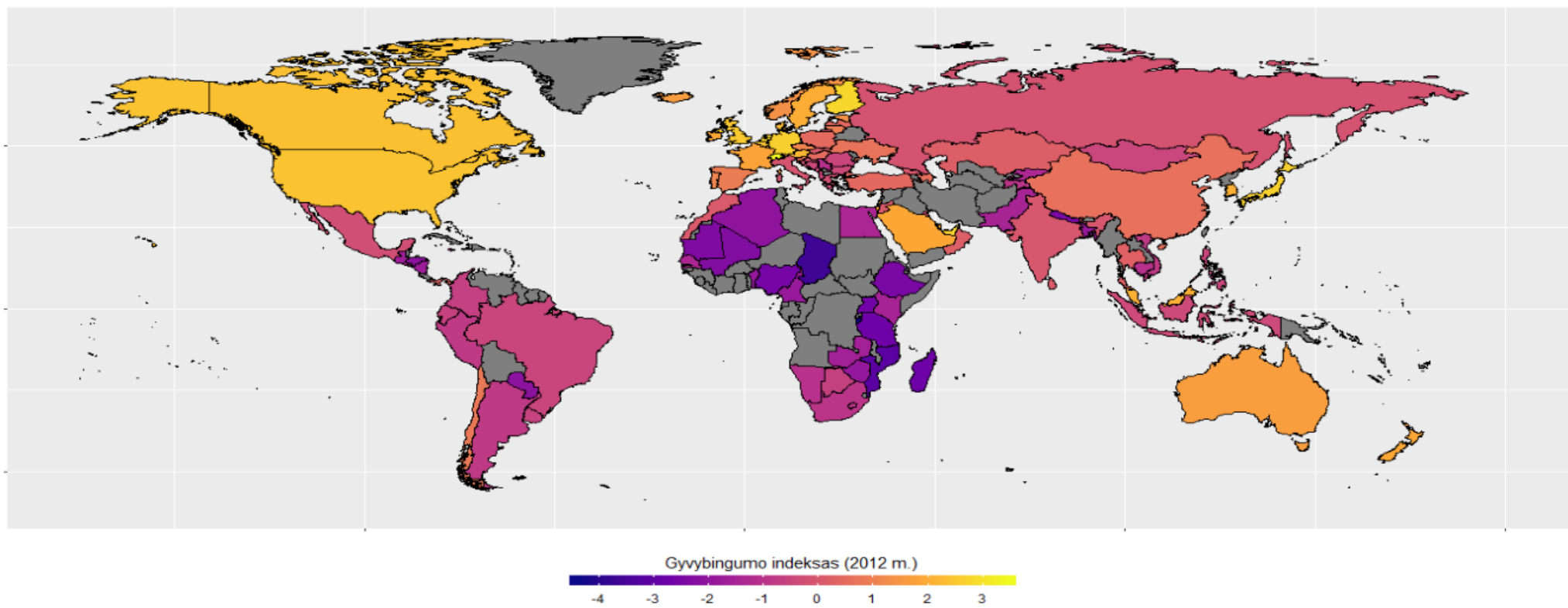
Kintamieji	2007	2012	2017	Faktorius
GDP_growth	0	-0.001	0	Ekonomika ir augimas
Inflation	0.001	-0.001	0	Ekonomika ir augimas
GCI	-0.408	0.233	-0.065	Ekonomika ir augimas
Local_comp	-0.04	0.038	-0.008	Ekonomika ir augimas
Unemployment	-0.001	0.631	0.006	Žmogiškasis kapitalas
Emp_to_pop	-0.002	0.627	0.006	Žmogiškasis kapitalas
Lab_force_participation	0.002	-0.691	-0.006	Žmogiškasis kapitalas
Employers	0.004	0.147	-0.002	Žmogiškasis kapitalas
Staff_train	0.395	-0.393	-0.724	Žmogiškasis kapitalas
Pay_prod	0.066	-0.244	-0.267	Žmogiškasis kapitalas
Hiring_firing	-0.024	-0.348	0.031	Žmogiškasis kapitalas
Quality_edu	0.071	0.194	0.244	Išsilavinimas
Quality_edu_ms	0.029	0.028	0.08	Išsilavinimas
Scientists	0.187	0.059	0.043	Išsilavinimas
Gov_proc_tech	-0.131	-0.051	0.009	Inovacijos
Latest_tech	-0.243	-0.171	0.036	Inovacijos
Institutions_q	-0.13	-0.07	0.019	Inovacijos
Innovation_cap	-0.092	-0.076	0.033	Inovacijos
Fertility_rate	0.054	0.219	0.087	Populiacija ir sveikata
Population_growth	0.157	0.16	0.25	Populiacija ir sveikata
Life_expectancy	-0.033	-0.034	-0.049	Populiacija ir sveikata
Pop_0_14	0.14	0.075	0.07	Populiacija ir sveikata
Pop_65_	0.13	0.054	0.046	Populiacija ir sveikata
Quality_Infr	1.033	0.661	0.6	Infrastruktūra ir tinklaveika
Quality_air	-0.006	0.074	0.077	Infrastruktūra ir tinklaveika
Quality_port	-0.005	0.061	0.041	Infrastruktūra ir tinklaveika

Quality_roads	-0.014	0.079	0.112	Infrastruktūra ir tink-laveika
Internet_usage	0	0.001	0.001	Infrastruktūra ir tink-laveika
Mobile_subs	0	0	0	Infrastruktūra ir tink-laveika
Telephone_subs	0	0.001	0.001	Infrastruktūra ir tink-laveika
Urban_pop	-0.682	-0.523	-0.257	Miesto vystymasis
Population_density	-0.002	-0.002	-0.001	Miesto vystymasis
Urb_pop_growth	1.059	6.85	5.986	Miesto vystymasis
CO2_emmissions	-0.039	-0.013	-0.017	Aplinkosauga
Renew_electricity_output	4.414	3.049	3.436	Aplinkosauga
Renew_energy_consumption	-19.094	-11.512	-12.648	Aplinkosauga
Crime	0.25	0.405	0.45	Nusikalstamumas
Police_rel	0.154	0.121	0.125	Nusikalstamumas
Crime_costs	0.408	0.353	0.346	Nusikalstamumas

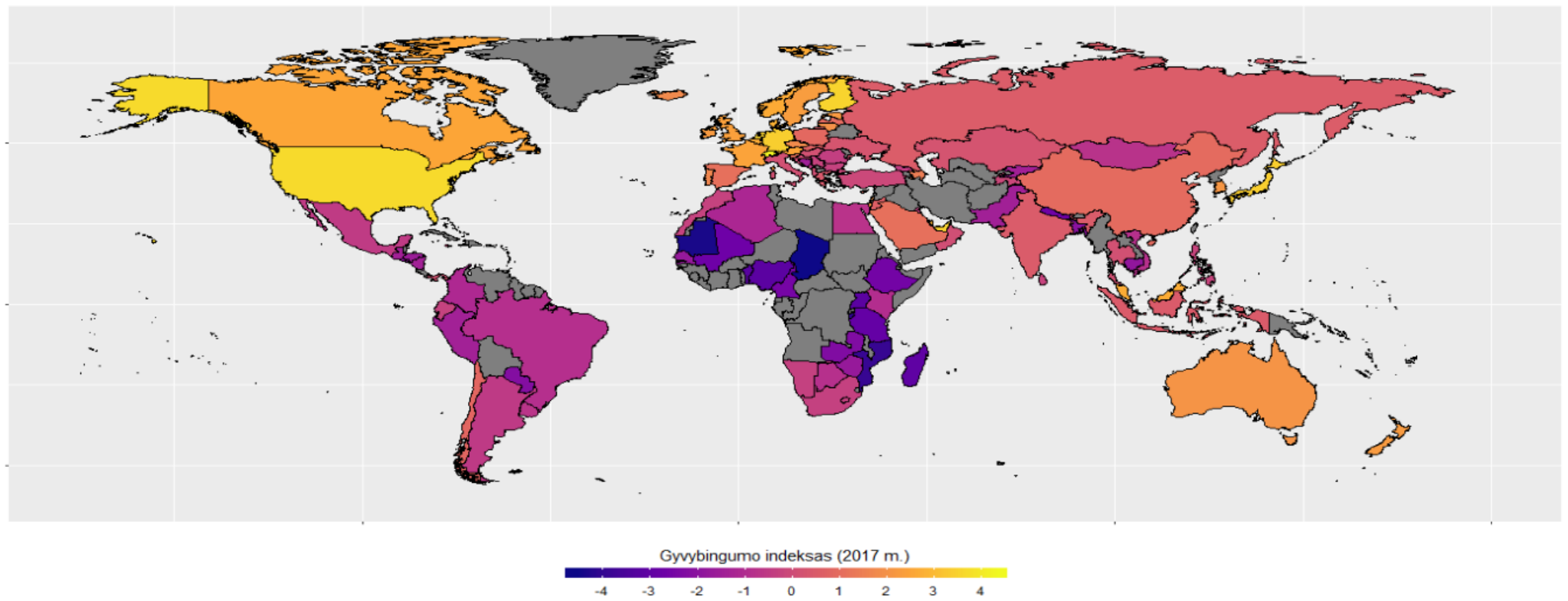
3 priedas. Ekonominio-socialinio gyvybingumo indeksas 2007 m., 2012 m. ir 2017 m.



27 pav. Gyvybingumo indeksas pasaulyje 2007 m.



28 pav. Gyvybingumo indeksas pasaulyje 2012 m.



29 pav. Gyvybingumo indeksas pasaulyje 2017 m.

4 priedas. Pasaulio šalių ekonominio-socialinio gyvybingumo indekso reikšmės, pokyčiai bei šalių vietos ir pokyčiai.

Šalis	Indeksas 2007	Vieta (2007)	Indeksas 2012	Vieta (2012)	Indeksas 2017	Vieta (2017)	Indekso pokytis 2007-2012	Indekso pokytis 2012-2017	Vietos pokytis 2007- 2012	Vietos pokytis 2012- 2017	Bendras pokytis 2007-2017
Albania	-1.380	91	-0.514	66	0.103	55	0.867	0.617	25	11	36
Algeria	-0.257	65	-2.078	99	-1.190	84	-1.821	0.889	-34	15	-19
Argentina	-0.130	63	-0.862	78	-0.584	73	-0.732	0.278	-15	5	-10
Australia	2.469	17	1.657	24	2.031	25	-0.812	0.374	-7	-1	-8
Austria	2.789	11	2.134	14	2.505	16	-0.656	0.371	-3	-2	-5
Azerbaijan	0.311	50	0.569	40	1.423	31	0.257	0.854	10	9	19
Bahrain	0.972	39	1.559	26	1.046	35	0.586	-0.513	13	-9	4
Bangladesh	-2.312	107	-1.870	95	-2.089	98	0.441	-0.218	12	-3	9
Belgium	2.804	10	2.384	9	2.643	12	-0.419	0.259	1	-3	-2
Benin	-1.667	95	-1.923	97	-3.249	109	-0.255	-1.326	-2	-12	-14
Bosnia and Herzegovina	-1.126	88	-0.488	65	-1.544	91	0.638	-1.056	23	-26	-3
Botswana	-0.308	67	-0.674	74	-0.870	79	-0.366	-0.196	-7	-5	-12
Brazil	-0.534	75	-0.526	68	-0.877	80	0.008	-0.350	7	-12	-5
Bulgaria	-0.473	74	-0.439	63	-0.320	64	0.034	0.119	11	-1	10
Burundi	-3.367	112	-4.334	113	-4.093	111	-0.967	0.241	-1	2	1

Cambodia	-2.032	100	-1.096	83	-1.896	96	0.936	-0.799	17	-13	4
Cameroon	-2.080	103	-1.882	96	-2.549	101	0.198	-0.667	7	-5	2
Canada	2.493	16	2.334	11	2.512	15	-0.159	0.179	5	-4	1
Chad	-3.642	113	-3.664	112	-4.570	113	-0.022	-0.906	1	-1	0
Chile	1.349	29	0.778	35	0.795	41	-0.570	0.016	-6	-6	-12
China	0.117	56	0.601	39	0.918	38	0.483	0.318	17	1	18
Colombia	-0.316	68	-0.701	75	-1.115	83	-0.385	-0.414	-7	-8	-15
Croatia	0.444	48	-0.153	57	0.074	56	-0.597	0.228	-9	1	-8
Cyprus	1.038	37	1.008	32	0.917	39	-0.029	-0.092	5	-7	-2
Czech Republic	1.453	25	1.071	30	1.792	27	-0.382	0.722	-5	3	-2
Denmark	3.451	2	2.227	12	2.775	10	-1.224	0.548	-10	2	-8
Dominican Republic	-0.772	79	-1.121	84	-1.425	85	-0.350	-0.304	-5	-1	-6
Ecuador	-0.905	84	-0.652	73	-0.321	65	0.253	0.332	11	8	19
Egypt, Arab Rep.	0.298	51	-1.383	89	-0.770	76	-1.681	0.613	-38	13	-25
El Salvador	-0.453	73	-1.376	87	-2.054	97	-0.923	-0.678	-14	-10	-24
Estonia	1.602	24	1.377	28	2.157	22	-0.225	0.780	-4	6	2
Ethiopia	-2.338	108	-2.477	106	-2.598	102	-0.140	-0.120	2	4	6
Finland	3.062	6	2.728	3	3.491	4	-0.334	0.763	3	-1	2
France	2.683	13	1.789	22	2.434	17	-0.894	0.645	-9	5	-4
Gambia, The	-0.821	81	-0.934	79	-1.054	82	-0.114	-0.120	2	-3	-1
Georgia	-0.437	72	-0.050	54	-0.481	71	0.387	-0.431	18	-17	1

Germany	3.421	3	2.575	7	3.365	7	-0.846	0.790	-4	0	-4
Greece	0.905	41	-0.302	61	0.399	48	-1.207	0.701	-20	13	-7
Guatemala	-1.148	89	-1.692	93	-1.463	89	-0.545	0.230	-4	4	0
Honduras	-1.096	87	-2.122	100	-1.628	92	-1.026	0.495	-13	8	-5
Hungary	0.852	42	0.469	41	0.150	52	-0.383	-0.319	1	-11	-10
Iceland	2.080	21	1.610	25	1.744	28	-0.470	0.134	-4	-3	-7
India	0.074	58	-0.068	55	0.484	46	-0.142	0.552	3	9	12
Indonesia	0.046	60	-0.398	62	0.451	47	-0.445	0.849	-2	15	13
Ireland	1.849	23	1.860	20	2.186	21	0.012	0.325	3	-1	2
Israel	2.528	15	1.772	23	2.095	23	-0.756	0.324	-8	0	-8
Italy	0.375	49	-0.116	56	0.127	53	-0.492	0.243	-7	3	-4
Jamaica	-0.421	71	-0.606	71	-0.037	58	-0.185	0.569	0	13	13
Japan	3.082	5	2.617	6	3.358	8	-0.465	0.741	-1	-2	-3
Jordan	1.328	30	0.022	50	0.596	44	-1.306	0.574	-20	6	-14
Kazakhstan	0.150	53	0.142	48	0.229	50	-0.009	0.087	5	-2	3
Kenya	-1.700	96	-1.528	91	-0.954	81	0.172	0.575	5	10	15
Korea, Rep.	2.899	8	2.021	15	2.088	24	-0.878	0.067	-7	-9	-16
Kuwait	1.367	28	-0.215	59	-0.405	69	-1.582	-0.190	-31	-10	-41
Kyrgyz Republic	-1.417	92	-1.331	86	-1.457	88	0.086	-0.126	6	-2	4
Latvia	0.703	44	0.403	44	0.919	37	-0.300	0.516	0	7	7
Lesotho	-2.071	102	-2.287	102	-1.734	93	-0.216	0.553	0	9	9

Lithuania	1.038	38	0.922	33	1.933	26	-0.116	1.011	5	7	12
Luxembourg	2.408	18	1.944	18	2.593	14	-0.464	0.650	0	4	4
Madagascar	-2.238	105	-2.698	110	-3.056	106	-0.460	-0.359	-5	4	-1
Malaysia	2.381	19	2.012	16	2.653	11	-0.369	0.641	3	5	8
Mali	-1.956	99	-2.336	103	-2.723	104	-0.381	-0.386	-4	-1	-5
Malta	1.446	26	1.412	27	1.037	36	-0.034	-0.374	-1	-9	-10
Mauritania	-1.433	93	-2.389	104	-4.449	112	-0.956	-2.060	-11	-8	-19
Mauritius	0.673	45	0.711	36	1.532	30	0.038	0.822	9	6	15
Mexico	-0.015	62	-0.295	60	-0.546	72	-0.280	-0.251	2	-12	-10
Mongolia	-0.821	82	-0.520	67	-0.789	77	0.301	-0.270	15	-10	5
Montenegro	-0.589	76	-0.440	64	-0.627	74	0.149	-0.187	12	-10	2
Morocco	0.115	57	0.016	51	-0.322	66	-0.100	-0.338	6	-15	-9
Mozambique	-2.511	110	-3.126	111	-3.966	110	-0.615	-0.840	-1	1	0
Namibia	-0.319	69	-1.047	82	-0.380	68	-0.727	0.666	-13	14	1
Nepal	-2.923	111	-2.457	105	-2.680	103	0.466	-0.223	6	2	8
Netherlands	2.774	12	2.648	4	3.441	6	-0.126	0.792	8	-2	6
New Zealand	1.980	22	1.879	19	2.206	20	-0.101	0.326	3	-1	2
Nicaragua	-1.526	94	-1.759	94	-1.435	86	-0.233	0.324	0	8	8
Nigeria	-2.059	101	-2.586	107	-3.157	107	-0.527	-0.571	-6	0	-6
Norway	2.198	20	1.340	29	2.612	13	-0.858	1.271	-9	16	7
Oman	1.150	33	0.158	47	0.073	57	-0.992	-0.085	-14	-10	-24

Pakistan	-1.054	86	-1.488	90	-1.472	90	-0.435	0.016	-4	0	-4
Panama	0.210	52	0.308	45	0.199	51	0.098	-0.109	7	-6	1
Paraguay	-2.296	106	-2.126	101	-2.237	99	0.170	-0.110	5	2	7
Peru	-0.760	78	-0.849	76	-1.436	87	-0.088	-0.587	2	-11	-9
Philippines	-0.224	64	-0.547	69	-0.263	61	-0.323	0.284	-5	8	3
Poland	0.119	55	0.446	42	0.860	40	0.328	0.414	13	2	15
Portugal	1.198	32	1.067	31	1.685	29	-0.131	0.617	1	2	3
Qatar	1.106	35	2.138	13	2.812	9	1.031	0.675	22	4	26
Romania	-0.332	70	-0.555	70	-0.432	70	-0.223	0.122	0	0	0
Russian Federation	0.140	54	-0.182	58	0.506	45	-0.322	0.688	-4	13	9
Saudi Arabia	1.074	36	1.856	21	1.069	33	0.781	-0.786	15	-12	3
Senegal	-0.971	85	-1.379	88	-1.793	95	-0.408	-0.414	-3	-7	-10
Serbia	-0.649	77	-1.123	85	-0.305	63	-0.475	0.818	-8	22	14
Singapore	3.364	4	3.282	2	4.300	1	-0.082	1.018	2	1	3
Slovak Republic	0.929	40	0.009	52	0.672	42	-0.920	0.663	-12	10	-2
Slovenia	1.143	34	0.613	38	1.075	32	-0.530	0.462	-4	6	2
South Africa	0.455	47	-0.973	81	-0.372	67	-1.428	0.602	-34	14	-20
Spain	1.419	27	0.872	34	1.058	34	-0.547	0.186	-7	0	-7
Sri Lanka	-0.849	83	0.030	49	-0.276	62	0.879	-0.306	34	-13	21
Sweden	2.896	9	1.979	17	2.266	19	-0.916	0.286	-8	-2	-10
Switzerland	3.476	1	3.401	1	4.194	2	-0.075	0.793	0	-1	-1

Tajikistan	-1.289	90	-0.950	80	-0.152	60	0.339	0.797	10	20	30
Tanzania	-1.945	98	-2.693	109	-2.945	105	-0.748	-0.252	-11	4	-7
Thailand	0.721	43	0.221	46	0.118	54	-0.499	-0.104	-3	-8	-11
Trinidad and Tobago	-0.289	66	-0.014	53	0.604	43	0.275	0.618	13	10	23
Turkey	0.565	46	0.417	43	-0.133	59	-0.148	-0.550	3	-16	-13
Uganda	-2.171	104	-2.642	108	-3.173	108	-0.471	-0.531	-4	0	-4
Ukraine	0.064	59	0.636	37	0.272	49	0.571	-0.363	22	-12	10
United Arab Emirates	1.280	31	2.641	5	3.471	5	1.362	0.829	26	0	26
United Kingdom	2.639	14	2.513	8	2.346	18	-0.126	-0.167	6	-10	-4
United States	2.954	7	2.382	10	3.625	3	-0.573	1.244	-3	7	4
Uruguay	0.018	61	-0.629	72	-0.732	75	-0.647	-0.103	-11	-3	-14
Vietnam	-0.790	80	-0.854	77	-0.870	78	-0.063	-0.016	3	-1	2
Zambia	-2.484	109	-1.596	92	-2.322	100	0.888	-0.727	17	-8	9
Zimbabwe	-1.907	97	-1.952	98	-1.765	94	-0.045	0.186	-1	4	3