

Zura Sansyzbayeva

**STARPTAUTISKU ILGTSPĒJĪGU TRANSPORTA KORIDORU
MODELĒŠANAS SISTĒMA TO ATTĪSTĪBAS SĀKUMPOSMĀ**

**FRAMEWORK FOR INTERNATIONAL SUSTAINABLE
TRANSPORT CORRIDORS MODELING AT THE EARLY STAGES
OF THEIR DEVELOPMENT**

Promocijas darba kopsavilkums

zinātnes doktora grāda
zinātnes doktors (*Ph.D.*) iegūšanai

Nozaru grupa – inženierzinātnes un tehnoloģijas
Nozare - būvniecības un transporta inženierzinātnes
Apakšnozare – telemātika un loģistika

Summary of the Doctoral Thesis

for obtaining the scientific degree “Doctor of Science (*PhD*)”

Scientific group - Engineering and Technology
Scientific area - Civil Engineering and Transport
Scientific subarea - Telematics and Logistics

Zinātniskie vadītāji:

Dr.sc.ing., profesors Mareks Mezītis
Dr.habil.sc.ing., profesors Igors Kabaškins

RĪGA – 2024

UDK 519.2:656

Pa 954

Transporta un sakaru institūts
Transport and Telecommunication Institute

Sansyzbayeva, Z.

Starptautisku ilgtspējīgu transporta koridoru modelēšanas sistēma
to attīstības sākumposmā, 2024. 54 lpp.

Framework for International Sustainable Transport Corridors
Modeling at the Early Stages of their Development, 2024. 54 p.

Iesniegtajā materiālā saglabāts autora stils un noformējums.
In the submission kept the author's style and design.

ISBN 978-9934-622-07-6

© Zura Sansyzbayeva, 2024
© Transporta un sakaru institūts, 2024

**PROMOCIJAS DARBS IESNIEGTS
TRANSPORTA UN SAKARU INSTITŪTĀ
ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA (Ph.D.) IEGŪŠANAI
INŽENIERZINĀTNĒS UN TEHNOLOĢIJĀS**

OFICIĀLIE RECENZENTI:

Dr.sc.ing. Boriss Mišņevs,
profesors, Transporta un sakaru institūts, Latvija

Dr. Darius Bazaras,
profesors, Viļņas Ģedimina Tehniskā universitāte, Lietuva

Dr. Anatoli Beifert,
ES projektu centra vadītājs, Vismāras Lietišķo zinātņu
universitāte, Vācija

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2024. gada 2. jūlijā plkst.
15:00 Transporta un sakaru institūta promocijas padomē: Lauvas iela 2,
130.aud., Rīga, Latvija, tālr. (+371) 7100594, fakss: (+371) 7100535.

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts
Transporta un sakaru institūtā zinātnes doktora grāda (*Ph. D.*) iegūšanai
inženierzinātnēs un tehnoloģijās. Promocijas darbs iepriekš nav iesniegts
nevienu citā promocijas padomē.

Z. Sansyzbayeva

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, 4 nodaļas,
nobeigums, literatūras saraksts, 26 attēli 15 tabulas, kopā 163 lappuses.
Literatūras sarakstā ir 152 nosaukumi.

Saturs

Anotācija	5
1. PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE UN MOTIVĀCIJA	6
2. PROBLĒMAS FORMULĒJUMS UN PĒTĪJUMA MĒRĶI	6
3. PĒTĪJUMA OBJEKTS UN PRIEKŠMETS	8
4. PĒTĪJUMA METODOLOĢIJA U METODES	8
5. DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀT	9
6. PĒTĪJUMA PRAKTISKĀ NOZĪME UN REALIZĀCIJA .	9
7. PĒTĪJUMA APROBĀCIJA	10
8. PROMOCIJAS DARBA STRUKTŪRA	11
9. AIZSTĀVĒŠANAI IZVIRZĪTĀS TĒZES	13
10. PROMOCIJAS DARBA NODAĻU KOPSAVILKUMS ..	14
11. SECINĀJUMI	23
AUTORA PUBLIKĀCIJU BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKTS ...	24

Anotācija

Promocijas darbu “Starptautisku ilgtspējīgu transporta koridoru modelēšanas sistēma to attīstības sākumposmā” izstrādāja Zura Sansyzbayeva, profesora, Dr.sc.ing. Mareka Meziša, un profesora, Dr.habil.sc.ing. Igora Kabaškina vadībā.

Promocijas darbā tiek pētīta starptautisko transporta koridoru ITC ekosistēma un tās galvenās sastāvdaļas no sistēmiskā viedokļa.

Uz Kazahstānas piemēra tiek aplūkotas transporta maršrutu transformācijas par transporta koridoriem izpētes problēmas ierobežotas sākotnējās informācijas apstākļos. Transporta koridoru izpētei tiek piedāvāta integrēta makromodelēšanas sistēma, kas balstīta uz Petri tīkliem. Tiek piedāvāts modelēšanas pamatkomponents, kurš var tikt paplašināts un pielāgots multialternatīviem un multimodāliem koridoriem. Ierosināts paplašināt pamatmodeli, kas ļautu modelēt transporta koridorus to attīstības sākumposmā, ņemot vērā, ka šajā izveides sākumposmā ir ierobežota informācija par to darbību. Tiek ierosināts paplašināt pamatmodeli, ņemot vērā transporta koridoru ilgtspējas vides, sociālos un ekonomiskos komponentus.

Piedāvāto modeļu, kas apvienoti integrētā transporta koridoru makromodelēšanas sistēmā (IMS), izmantošanas iespējas ilustrētas par piemēru izmantojot jauno Vidējo (Transkaspijas) transporta koridoru, kas šķērso Kazahstānas teritoriju.

Promocijas darbā tiek pētīta inteligēnto transporta sistēmu (ITS) ietekme uz transporta maršrutu transformāciju par transporta koridoriem un aprakstīta ITS integrācija ITC ekosistēmā. Tiek parādīta ITS loma un ietekme uz starptautisko transporta koridoru ilgtspējas faktoriem un to transformāciju par zaļajiem koridoriem. Tiek aplūkoti viedās mobilitātes jautājumi attiecībā uz starptautisko transporta koridoru autotransporta segmentiem un uz Kazahstānas piemēra parādīti efektīvi risinājumi šajā jomā.

Promocijas darba galvenie rezultāti prezentēti 14 starptautiskās zinātniskās konferencēs un publicēti 31 zinātniskā rakstā (11 raksti ir indeksēti Scopus un Web of Science). Promocijas darba apjoms ir 163 lappuses. Darbs sastāv no 6 nodaļām un ietver 26 attēlus un 15 tabulas. Darbā izmantoti 152 bibliogrāfiskie avoti.

1. PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE UN MOTIVĀCIJA

Globalizācijas laikmetā nevar pārvērtēt starptautisko transporta koridoru kā pasaules tirdzniecības un ekonomikas attīstības pamatelementu nozīmi. Sarežģītais transporta komunikāciju tīkls veido mūsu savstarpēji saistītās pasaules pamatu, veicinot tirdzniecību, komerciju un plašāku sociāli ekonomisko progresu. Šā pētījuma pamatā ir akūta nepieciešamība izprast un optimizēt šos koridorus, īpašu uzmanību pievēršot Kazahstānai - valstij, kas atrodas svarīgu Eirāzijas tirdzniecības ceļu krustcelēs.

Kazahstānas unikālais ģeogrāfiskais novietojums, kas savieno lielākās Eiropas un Āzijas ekonomikas, padara šo valsti par stratēģiski svarīgu pasaules transporta tīkla mezglu. Tomēr tās transporta koridoru potenciāls vēl nav pilnībā izmantots. Joprojām pastāv tādi izaicinājumi kā infrastruktūras ierobežojumi, politiku saskaņošana, tehnoloģiju integrācija un sociālekonomiskā plānošana, kas kavē netraucētu tirdzniecības un komercijas plūsmu. Turklāt dinamiskā ģeopolitiskā situācija un mainīgās starptautiskās tirdzniecības vajadzības pieprasa veikt šo koridoru pārvērtēšanu un stratēģisku uzlabošanu.

Šī darba mērķis ir novērst šīs nepilnības, analizējot transporta koridoru ekosistēmu un izstrādājot integrētu makromodelēšanas sistēmu, lai izpētītu galveno transporta maršrutu transformāciju par daudzpusīgiem ilgtspējīgiem transporta koridoriem. Darbā analizētas koridoru attīstības problēmas, sākot no infrastruktūras evolūcijas un beidzot ar normatīvo regulējumu un tehnoloģiju attīstību, kas sniedz attīstības zinātnisko pamatojumu, lai izstrādātu stratēģijas, kas ne tikai uzlabotu šo koridoru efektivitāti un kapacitāti, bet arī saskaņotu tos ar ilgtspējīgas attīstības mērķiem, tādējādi veicinot reģionālo izaugsmi, integrāciju un vispārējo labklājību.

2. PROBLĒMAS FORMULĒJUMS UN PĒTĪJUMA MĒRĶI

Starptautiskie transporta koridori ir svarīgākie globālās tirdzniecības kanāli, kas savieno valstis un reģionus, lai atvieglotu preču plūsmu visā pasaulē. Šo transporta koridoru efektivitāte un uzticamība ir izšķiroši svarīga netraucētai un rentablai loģistikas darbībai. Tomēr starptautisko transporta koridoru modelēšana un optimizācija joprojām ir sarežģīts uzdevums.

Esošās modelēšanas pieejas saskaras ar ierobežojumiem, lai kompleksi aptvertu sarežģītumus vairāku valstu transporta tīklos. Tādus faktorus kā atšķirīga infrastruktūras kvalitāte, robežšķērsošanas noteikumi, administratīvās procedūras un intermodālās pārejas transporta maršrutos ir

grūti skaitliski novērtēt un precīzi modelēt. Tas var ierobežot stratēģisko analīzi un uz pierādījumiem balstītu lēmumu pieņemšanu.

Saistībā ar Kazahstānas tranzīta transporta stratēģijas izstrādi ir identificēti trīs galvenie pašreizējās metodoloģiskās pieejas ierobežojumi:

1. Jaunu starptautisku transporta koridoru veidošanu kavē visaptverošu datu trūkums par to dažādajām sastāvdaļām, kas ierobežo jau esošo modeļu, kuri balstās uz noteiktiem statistikas un transporta rādītājiem, pielietojumu

2. Šie jaunveidojamie koridori integrē vairākus valstu segmentus, tostarp alternatīvus maršrutu variantus, kas vēl vairāk apgrūtina tradicionālo metodoloģisko pieeju izmantošanu modeļu veidošanā.

3. Daudzos pašreizējos transporta modeļos prioritāte tiek piešķirta valsts segmentu ekonomiskās darbības rādītājiem, nepietiekami ņemot vērā pieaugošo ilgtspējības kritēriju nozīmi. Šis scenārijs rada nepieciešamību pāriet uz inovatīvām modelēšanas metodēm, kas ņem vērā ilgtspējības ietekmi atbilstoši mūsdienu attīstības prasībām.

Tādējādi galvenā problēma, kuras atrisināšanai veltīts šis pētījums, ir efektīvas metodoloģijas trūkums starptautisko transporta koridoru holistiskai modelēšanai makro un mikro līmenī. Esošo pieeju ierobežojumi ir radījuši nepieciešamību uzlabot modelēšanas metodes.

Ilgspējīgu transporta koridoru efektīvu analīzi un plānošanu kavē vairākas problēmas:

- Trūkst kompleksu modeļu, kas pilnībā integrētu ekonomiskos, vides un sociālos aspektus dinamiskā sistēmā. Esošie modeļi ir sadrumstaloti un koncentrējas tikai uz atsevišķiem rādītājiem.
- Nespēja modelēt sarežģīto mijiedarbību starp loģistikas procesiem, infrastruktūras ierobežojumiem un ilgtspējības faktoriem koridoros. Tas ierobežo prognozēšanas analīzi.
- Trūkst standartizētu sistēmu ilgtspējīgas attīstības galveno rezultatīvo rādītāju (KPI) skaitliskam novērtējumam koridoru modeļos tiešajiem aprēķiniem.
- Grūtības iesaistīt ieinteresētās puses, jo trūkst interaktīvu, vizuāli intuitīvu modelēšanas platformu.
- Nepietiekama datu detalizācija esošajos modeļos, kas neļauj analizēt neefektivitāti mikrolīmenī konkrētos koridora punktus.
- Intelīgentās transporta sistēmas ir kļuvušas par daudzsološu risinājumu koridoru ilgtspējības un efektivitātes uzlabošanai. Tomēr trūkst visaptverošas sistēmas, kas palīdzētu integrēt ITS “zaļajos” transporta koridoros (GTC). Turklāt pašreizējās koridoru

infrastrukturā stratēģijās joprojām nav pietiekami izpētīti tādi darbības aspekti kā transporta atbalsts reāllaikā.

Lai novērstu šos ierobežojumus, ir formulēti šādi pētījuma uzdevumi:

1. Izstrādāt starptautisko transporta koridoru modelēšanas metodoloģiju to attīstības sākumposmā ierobežotu ievades datu apstākļos.
2. Izstrādāt drošu un pielāgojamu metodoloģiju starptautisko transporta koridoru modelēšanai makrolīmenī, lai holistiskā koridora modelī iekļautu galvenos ilgtspējas rādītājus, kas saistīti ar ekonomiskajiem, vides un sociālajiem faktoriem.
Izstrādāt stabilu un pielāgojamu metodoloģiju starptautisko transporta koridoru makrolīmeņa modelēšanai, lai visaptverošā koridora modelī iekļautu ar ekonomiskajiem, vides un sociālajiem faktoriem saistītus ilgtspējas pamatrādītājus.
3. Izstrādāt integrētu modeļa sistēmu, lai simulētu un salīdzinātu esošo un plānoto transporta koridoru, kas šķērso Kazahstānu, darbību dažādos scenārijos.
4. Izstrādāt stratēģiskas rekomendācijas un ceļa karti transporta maršrutu pārveidošanai par "zaļajiem" transporta koridoriem, kas atbalsta reģionālo un globālo ekonomisko integrāciju.

3. PĒTĪJUMA OBJEKTS UN PRIEKŠMETS

Pētījuma mērķis: Izstrādāt integrētu modelēšanas sistēmu un metodoloģiju starptautisko transporta koridoru holistiskai modelēšanai makrolīmenī koridoru attīstības sākumposmā ar ierobežotiem ievades datiem.

Pētījuma objekts: starptautiskie transporta koridori ar uzsvāru uz ilgtspējīgas attīstības faktoru integrāciju.

Pētījuma priekšmets: Integrēta starptautisko transporta koridoru modelēšanas sistēma, lai analizētu to efektivitāti, ilgtspējību un vispārējo veiktspēju attīstības sākumposmā.

4. PĒTĪJUMA METODOLOĢIJA UN METODES

Pētījumā izmantotas metodoloģiskās pieejas no tādām jomām kā matemātika, statistika, operāciju izpēte, modelēšana ar Petri tīkliem, sistēmu inženierija un citas.

Galvenās pētījumā izmantotās metodes ir literatūras apskats, taksonomijas izstrāde, matemātiskā modelēšana, datu analīze, gadījumu

izpēte, eksperimenti, veiktspējas novērtējums, ierobežojumu noteikšana un citas.

5. DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Promocijas darba zinātniskā novitāte slēpjas holistiskā pieejā starptautisko transporta koridoru izpratnei un analīzei, ar ievērojamu uzsvaru uz ilgtspējas, modelēšanas precizitātes un ekonomiskās stratēģijas integrāciju Kazahstānas centrālā ģeogrāfiskā un ekonomiskā stāvokļa kontekstā.

Zinātniskās novitātes galvenie aspekti ir:

1. Integrēta modelēšanas sistēma, kas apvieno dažādas metodes, pamatojoties uz Petri tīklu rīkiem. Integrētā sistēma ļauj holistiski novērtēt un salīdzināt transporta koridorus dažādos scenārijos ar dažādiem ietekmējošiem faktoriem.
2. Metodoloģija starptautisku ilgtspējīgu transporta koridoru modelēšanai to attīstības sākumposmā ar ierobežotiem ievades datiem.
3. Metodoloģija starptautisku transporta koridoru modelēšanai, ņemot vērā ilgtspējas faktorus, akcentējot ne tikai vides, bet arī ekonomiskos un sociālos aspektus.
4. Izmantojot Kazahstānu kā piemēru makromodelēšanai, iespējams veikt analīzi, ko var vispārināt starptautiskā kontekstā, vienlaikus sniedzot ieskatu konkrētajos valsts segmentos.

6. PĒTĪJUMA PRAKTISKĀ NOZĪME UN REALIZĀCIJA

Pētījuma praktisko nozīmību pamato šādi apgalvojumi:

- Integrētā modelēšanas sistēma un Evaluation Petri Nets (E-nets) izmantošana makromodelēšanai sniedz lēmumu pieņēmējiem drošu rīku ilgtspējīgu transporta koridoru plānošanai, attīstībai un optimizācijai. Tas ļauj pieņemt labāk pamatotus lēmumus, kuros ņemta vērā vides ilgtspējība, kā arī ekonomiskā un darbības efektivitāte.
- Rekomendācijas ilgtspējīgas prakses īstenošanai un ieguldījumiem “zaļajās” tehnoloģijās kalpo par paraugu, pēc kura vadīties valsts institūcijām, lai nodrošinātu, ka nākotnes transporta koridori ne tikai atbilst pašreizējām vajadzībām, bet arī ir elastīgi un pielāgojami nākotnes izaicinājumiem

- Uz jaunā Vidējā (Transkaspijas) transporta koridora piemēra, kas šķērso Kazahstānas teritoriju, parādīts, kā piedāvātos modeļus var pielietot praksē, lai novērtētu un uzlabotu reālu transporta projektu ilgtspējību.
- Promocijas darbā tiek pētītas inteligentās transporta sistēmas un mobilās pakalpojumu stacijas (MSS), uzsverot to potenciālu ilgtspējīgu transporta risinājumu sasniegšanā. Piedāvātās praktiskās atziņas var tieši izmantot transporta koridoru operatori un ieinteresētās puses, lai integrētu ITS un MSS, veicinot starptautisko transporta koridoru “zaļo” transformāciju.
- ITS ekoloģisko priekšrocību novērtēšanas matemātiskais pamats ir reāls rīks, lai novērtētu un optimizētu tehnoloģiju izmantošanu transporta koridoros, veicinot to pārveidi par zaļajiem koridoriem.
- Nozares ieinteresētās puses var izmantot pētījumu rezultātus, lai ieviestu tehnoloģiskās inovācijas, kas uzlabo transporta koridoru uzraudzību, pārvaldību un ekspluatāciju.
- Akadēmiskajām institūcijām un pētniekiem promocijas darbā ir izklāstītas modelēšanas metodes un ilgtspējas rādītāji kā jomas, kuras būtu jāturpina attīstīt un pētīt.
- Pētījums veicina globālos ilgtspējīgas attīstības centienus, jo īpaši transporta nozarē. Demonstrējot integrēto struktūru un tehnoloģisko inovāciju praktisku pielietojumu, lai izveidotu videi draudzīgākus transporta koridorus, promocijas darbā piedāvāta starptautiskās sadarbības un attīstības ceļa karte, kas līdzsvaro ekonomisko izaugsmi ar vides un sociālo atbildību.

7. PĒTĪJUMA APROBĀCIJA

Pētījuma provizoriskie rezultāti un secinājumi tika prezentēti šādās konferencēs Marokā, Latvijā, Polijā un Kazahstānā.

1. The International Symposium on Green Technologies and Applications (ISGTA 2023), December 27-29, 2023, Casablanca, Morocco.
2. The 23rd International Multidisciplinary Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Digital Twins - From Development to Application (RelStat-2023), October 19-21, 2023, Riga, Latvia.
3. The 11th International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions, Astana, Kazakhstan, March 16, 2023.

4. The 10th International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions, Nur-Sultan, March 17, 2022.
5. The 8th International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions, Nur-Sultan, Kazakhstan, March 20, 2020.
6. Transcomp - The 22nd International Conference on Computer Systems Aided Science, Industry, and Transport, December 3-6, 2018, Zakopane, Poland.
7. The 4th International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy, Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2016.
8. The 3rd International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy, Astana, Kazakhstan, 2015.
9. Scientific-Practical Conference on Designing Modular Educational Programs from a Competency Perspective, Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2014.
10. International Scientific-Practical Conference on Innovative Solutions to Transport and Energy Problems, Astana, Kazakhstan, 2014.
11. Republican Scientific Conference "Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects for Development", Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2010.
12. Republican Scientific-Practical Conference "Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects for Development", Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2007.
13. Republican Scientific-Practical Conference "Science and Education in the Strategy of Regional Development", Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan, 1999.
14. Republican Scientific-Practical Conference "Mechanical Engineering in a Market Economy. Problems and Prospects", Taraz State University, Taraz, Kazakhstan, 1999.

8. PROMOCIJAS DARBA STRUKTŪRA

Promocijas darbs sastāv no 6 nodaļām, ietverot ievadu un nobeigumu. Darba apjoms ir 163 lappuse un ietver 26 attēlus un 15 tabulas. Literatūras sarakstā ir 152 nosaukumi.

1. nodaļa ir ievads. Tajā izklāstīta pētījuma motivācija. Nodaļā precizēta pielietojuma joma, raksturota pētījuma aktualitāte un novitāte. Noformulēts galvenais pētījuma jautājums un mērķi. Nodaļā sniegta informācija par veiktā pētījuma aprobāciju un publikācijām, kurās atspoguļoti pētījuma galvenie rezultāti.

2. nodaļā ir analizēta transporta koridora koncepcija, kā piemēru izmantojot Kazahstānu. Nodaļā sniegts pārskats par transporta maršrutu evolūciju par sarežģītiem ekonomiskajiem koridoriem, kas veicina tirdzniecību un attīstību. Tiek analizēta transporta koridoru ekosistēma. Apskatītas modelēšanas metodes koridoru transformācijas optimizācijai, kā arī piedāvāta integrēta sistēma, kas apvieno modeļus un datus. Ilgtspējīga attīstība tiek uzsvērtā kā galvenais koridoru attīstības priekšnoteikums. Nodaļā aplūkota Kazahstānas stratēģiskā loma, kas pieprasa īstenot nepārtrauktus uzlabojumus, lai saglabātu tās vietu Eiropas un Āzijas globālajos ekonomikas tīklos. Transporta koridoriem caur Kazahstānu, piemēram, Transkaspijas maršrutam, ir izšķiroša nozīme Eirāzijas tirdzniecībā. Analīzē uzsvērtā efektivitātes, ilgtspējas un partnerības nozīme, lai Kazahstāna kļūtu par nozīmīgu loģistikas centru, kas savieno Eiropu un Āziju.

3. nodaļā tiek pētīta starptautisko transporta koridoru makromodelēšana, izmantojot Petri tīklus koridora attīstības sākumposmā ar ierobežotiem ievades datiem. Šajā nodaļā tiek piedāvāta jauna starptautisko transporta koridoru makromodelēšanas metodoloģija, izmantojot Evaluation Petri Nets (E-nets). E-nets – tie ir uzlaboti Petri tīklu modeļi, kas ir labi pielietojami tādu sarežģītu, dinamisku sistēmu kā starptautiskie loģistikas tīkli attēlošanai. Piedāvātā pieeja ietver galvenos laika, izmaksu un loģistikas veiktspējas parametrus E-nets sistēmā, lai atspoguļotu reālos ierobežojumus, kas ietekmē koridoru efektivitāti. Noformulēti matemātiskie pārveidojumi, lai skaitliski noteiktu attiecību starp šiem parametriem un E-nets pārējas kavējumiem. Modelēšanas metode ir mērogojama, kas ļauj veikt analīzi no plaša koridora perspektīvas līdz pat konkrētām valstīm, kas pārstāv atsevišķus starptautisko transporta koridoru segmentus.

E-nets atvieglo operatīvo modelēšanu un optimizāciju, identificējot vājās vietas un novērtējot uzlabošanas stratēģijas. Apskatītas transporta koridoru modelēšanā izmantojamo e-nets stiprās un vājās puses. Parādīts, ka šai metodoloģijai ir ievērojams potenciāls loģistikas sistēmu analīzes un starptautisko tirdzniecības maršrutu stratēģiskās plānošanas uzlabošanai. Lielāko Eiropas un Āzijas koridoru piemēri parāda šīs pieejas praktisko pielietojamību. Piedāvātā koncepcija nodrošina efektīvu instrumentāriju

pētniekiem un plānotājiem, kas cenšas izprast un optimizēt sarežģītus starptautiskus transporta tīklus.

4. nodaļā aprakstīta ilgtspējīgu transporta koridoru modelēšanas sistēma, izmantojot Petri tīklus. Šajā nodaļā izklāstīta jauna pieeja starptautisko transporta koridoru ilgtspējības modelēšanai un novērtēšanai, izmantojot Petri tīklus. Tiek piedāvāta jauna metodoloģiska pieeja starptautisko transporta koridoru modelēšanai, izmantojot E-nets, lai transporta koridoru novērtēšanā iekļautu vides, sociālos un ekonomiskos rādītājus. Nodaļā ir sīki izklāstīta uz E-nets balstītu modeļu izveide un demonstrēts to pielietojums koridoru darbības ilgtspējas modelēšanā un optimizēšanā. Izmantojot tematiskus pētījumus un modelēšanu, tiek demonstrēts E-tīklu potenciāls kā visaptverošs un elastīgs instruments politikas veidotājiem un pētniekiem, lai analizētu un paaugstinātu starptautisko transporta koridoru ilgtspējību.

5. nodaļā tiek analizēta ITS un viedās mobilitātes risinājumu integrācija ilgtspējīgai attīstībai starptautiskajos transporta koridoros. Šajā nodaļā sniegts pētījums par ITS un mobilo pakalpojumu staciju (Mobile Service Stations MSS) integrāciju transporta koridoros, lai veicinātu “zaļo” transformāciju. Raksturots matemātiskais modelis, lai novērtētu ITS labvēlīgo ietekmi uz vidi, samazinot emisijas un uzlabojot transporta tīklu efektivitāti. Nodaļā analizēta MSS kā stratēģiska risinājuma ieviešana, lai nodrošinātu nepārtrauktus un ilgtspējīgus transporta pakalpojumus, īpašu uzmanību pievēršot Kazahstānas gadījumā izpētei. Izmantojot kvantitatīvo analīzi un praktiskus secinājumus, nodaļā ir uzsvērta tehnoloģisko inovāciju un stratēģiskās infrastruktūras attīstības sinerģija, lai panāktu ilgtspējīgus transporta risinājumus.

6. nodaļā Nobeigumā ir apkopoti veiktā pētījuma rezultāti un izdarīti būtiskākie secinājumi. Apskatīti praktiskās īstenošanas rezultāti. Nobeigumā ir uzskaitīti atrisinātie pētījuma jautājumi un sniegtas rekomendācijas turpmākai izpētei.

9. AIZSTĀVĒŠANAI IZVIRZĪTĀS TĒZES

Aizstāvēšanai izvirzīti šādi apgalvojumi:

- Integrēta modelēšanas sistēma var tikt izmantota, lai analizētu starptautisko transporta koridoru attīstību to sākumposmos, kā arī to efektivitāti un ilgtspēju ar visām tās sastāvdaļām - vides, sociālo un ekonomisko.
- Petri tīklu (E-nets) pielietojumu var izmantot starptautisko transporta koridoru makromodelēšanā agrīnos koridoru attīstības

posmos ar ierobežotiem ievades datiem un ņemot vērā ilgtspējības faktorus.

- .Inteliģento transporta sistēmu (ITS) integrācija transporta koridoru ekosistēmā rada pamatu transporta maršrutu pārveidošanai par transporta koridoriem un to turpmākajai “zaļajai” transformācijai.

10. PROMOCIJAS DARBA NODAĻU KOPSAVILKUMS

10.1. 1.nodaļa. Ievads.

Darba 1. nodaļā sniegts vispārējs ieskats kompleksa pētījuma veikšanai par ilgtspējīgu transporta koridoru attīstību, īpaši pievēršoties Kazahstānas stratēģiskajai lomai globālajā transporta tīklā. Nodaļā sniegts promocijas darba izstrādes pamatojums, izklāstīta pētījuma nozīme, apskatīta pieejamā literatūra, identificēti trūkumi, izvirzīti pētījuma mērķi un raksturota izmantotā metodoloģija. Nodaļā ir pamatota ilgtspējīgu transporta koridoru attīstības aktualitāte un izklāstīts promocijas darba mērķis - sniegt jaunas atziņas un metodoloģijas šajā jomā.

Nodaļas sākumā tiek uzsvērta starptautisko transporta koridoru izšķirošā nozīme globālās tirdzniecības un ekonomiskās attīstības veicināšanā globalizācijas laikmetā. Uzsvērta Kazahstānas unikālais ģeogrāfiskais stāvoklis, uzstājoties kā galvenajam mezglam starp lielākajām ekonomikām, kas padara to par stratēģisku vērtību globālajā transporta tīklā.

Neskatoties uz stratēģisko atrašanās vietu, Kazahstāna saskaras ar problēmām, kas neļauj pilnībā izmantot tās transporta koridoru potenciālu. Šīs problēmas saistītas ar infrastruktūras ierobežojumiem, politiku saskaņošanu, tehnoloģisko integrāciju un sociālekonomisko plānošanu. Dinamiskā ģeopolitiskā vide un mainīgās tirdzniecības vajadzības rada nepieciešamību stratēģiski stiprināt šos koridorus.

Plašais literatūras apskats ietver pašreizējos zinātniskos pētījumus ilgtspējīgu transporta koridoru jomā, uzsverot pieaugošās bažas par vides ilgtspēju un vajadzību pēc efektīvām transporta sistēmām. Šajā nodaļā aplūkotas dažādas pieejas transporta koridoru ilgtspējīgai attīstībai un pārvaldībai, kas norāda uz pieaugošo interesi par šo jomu, ko rosina vides aizsardzības apsvērumi.

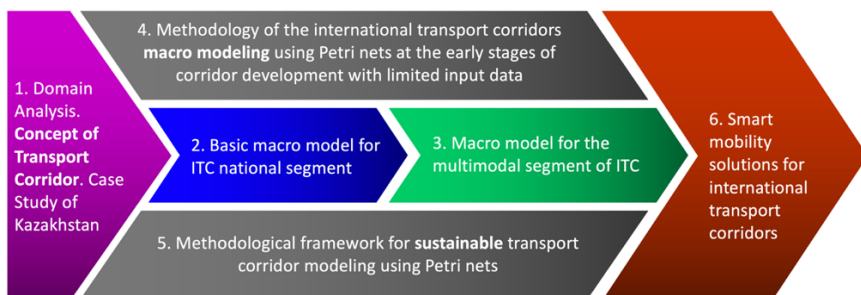
Pārskatā atzīts holistisku modeļu trūkums “zaļo” transporta koridoru efektivitātes novērtēšanai, kas norāda uz kompleksu vides, ekonomisko un sociālo aspektu integrācijas trūkumu.

Nodaļā identificēti esošo starptautisko transporta koridoru modelēšanas un optimizācijas metodoloģiju ierobežojumi, īpaši atzīmējot

visaptverošu datu trūkumu un sarežģītību, kas saistīta ar vairāku nacionālo segmentu un ilgtspējības kritēriju integrēšanu.

Lai risinātu šīs problēmas, promocijas darbā izvirzīts mērķis izstrādāt jaunu metodoloģiju starptautisko transporta koridoru modelēšanai to attīstības sākumposmā, kas iekļauj ilgtspējīgas attīstības galvenos rezultātīvos rādītājus (KPI) holistiskā modelī. Mērķis ir sniegt stratēģiskas rekomendācijas transporta maršrutu transformācijai par “zaļajiem” koridoriem, kas atbalsta reģionālo un globālo ekonomisko integrāciju.

Promocijas darbā tiek piedāvāts izstrādāt integrētu modeļa sistēmu starptautisko transporta koridoru holistiskai modelēšanai, koncentrējoties uz ilgtspējību un ekonomisko stratēģiju Kazahstānas kontekstā (1. attēls). Tajā izklāstīta inovatīva pieeja, izmantojot Petri tīklus kā rīku starptautisko transporta koridoru efektivitātes, ilgtspējas un vispārējās veiktspējas modelēšanai un analīzei.



1. att. Integrēta modelēšanas sistēma starptautisko transporta koridoru modelēšanai

Provizoriskie rezultāti un secinājumi tika izplatīti, uzstājoties ar prezentācijām dažādās konferencēs, demonstrējot pētījuma ieguldījumu gan teorētiskajā izpratnē, gan praktiskajā pielietojumā efektīvāku, drošu un ilgtspējīgāku transporta tīklu izstrādē.

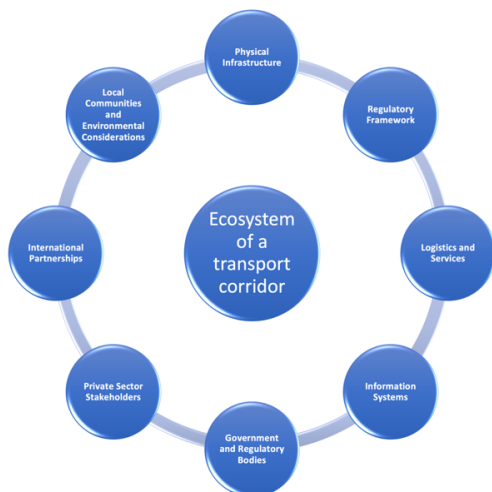
10.2. 2.nodaļa. Transporta koridora koncepcija. Kazahstānas gadījuma izpēte

Promocijas darba 2. nodaļā sniegts vispusīgs pētījums par transporta koridoru jēdzienu, pievēršot uzmanību to evolūcijai, nozīmei un sarežģītajai ekosistēmai, ko tie ietver, īpaši uzsverot Kazahstānas stratēģisko lomu šajos tīklos.

Nodaļa sākas ar transporta maršrutu transformācijas par koridoriem apskatu, uzsverot to evolūciju no pamata maršrutiem, kas atvieglo vienkāršu preču un cilvēku pārvietošanos, līdz sarežģītiem tīkliem, kas kalpo kā nozīmīgas globālās tirdzniecības un ekonomiskās attīstības artērijas. Šī pāreja iedalīta posmos: transporta maršruts, transporta koridors, tirdzniecības koridors un ekonomikas koridors. Katrs posms saistīts ar sarežģītības, funkcionalitātes un stratēģiskās nozīmes pieaugumu, uzsverot koridoru nozīmi ekonomiskās izaugsmes, reģionālās integrācijas un plašākas sociālekonomiskās sadarbības veicināšanā.

Nodaļā uzsvērts, ka globalizācijas laikmetā transporta un sakaru sistēmas ir galvenie elementi, kas savieno ekonomikas, atvieglo tirdzniecību un veicina reģionālo izaugsmi. Nodaļā aplūkotas šo koridoru izveides un pārvaldības problēmas un sekas mūsdienu sarežģītajā globālajā vidē, uzsverot, ka trūkst saskaņotu vadlīniju koridoru projektu plānošanai, projektēšanai un ietekmes analīzei.

Tiek detalizēti pētīta transporta koridoru ekosistēma, kurā identificēti galvenie komponenti, tostarp fiziskā infrastruktūra, tiesiskais regulējums, loģistikas pakalpojumi, tehnoloģijas un informācijas sistēmas, kā arī iesaistīto ieinteresēto personu loks (2. attēls). Aprakstā uzsvērtā nepieciešamība pēc efektīvas koordinācijas un sadarbības starp šiem elementiem, lai veicinātu reģionālo savienojamību, ekonomisko izaugsmi un starptautisko tirdzniecību



2. att. Starptautisko transporta koridoru ekosistēma

Nodaļā, kas veltīta Kazahstānai, ir aprakstīta tās stratēģiskā pozīcija globālajos un reģionālajos transporta tīklos. Tajā aplūkots Kazahstānas potenciāls kā sauszemes tiltam starp lielākajām ekonomikām, jo īpaši starp Eiropu un Āziju, izmantojot dažādus transporta koridorus, tostarp Ziemeļu, Vidējo (Transkaspijas) un Dienvidu koridoru (3. attēls). Analizētas problēmas un iespējas, ar kurām Kazahstāna saskaras, izmantojot savas ģeogrāfiskās un stratēģiskās priekšrocības, lai palielinātu savu lomu pasaules tirdzniecībā.



3. att. Jaunie transporta koridori starp Eiropu un Āziju

Nodaļā apskatīta nepieciešamība izmantot transporta koridoru makromodelēšanu kā lēmumu pieņemšanas rīku, un uzsvērtā tā nozīme ierobežotās sākotnējās informācijas apstākļos. Nodaļā tiek piedāvāta integrēta makromodelēšanas sistēma, kas balstīta uz Petri tīkliem, lai atbalstītu transporta koridoru izpēti un optimizāciju to attīstības sākumposmā. Sistēma ļauj iekļaut vides, sociālās un ekonomiskās ilgtspējas komponentus, nodrošinot integrētu pieeju transporta koridoru ilgtspējas novērtēšanai un uzlabošanai.

Nodaļas nobeigumā sniegts kopsavilkums par transporta koridoru transformācijas potenciālu vispusīgas ekonomiskās attīstības veicināšanā un modelēšanas metožu izšķirošo nozīmi šo pārveidojumu optimizēšanā. Tajā uzsvērts ilgtspējības stratēģiskais imperatīvs koridoru attīstībā un Kazahstānas nozīmīgā loma globālajos ekonomiskajos tīklos, atbalstot pastāvīgas stratēģiskās partnerības un inovatīvas pieejas.

10.3. 3.nodaļa. Starptautisko transporta koridoru makromodelēšanas metodoloģija, izmantojot Petri tīklus koridoru attīstības sākumposmos ar ierobežotiem ievades datiem

Darba 3.nodaļa ir veltīta starptautisko transporta koridoru makromodelēšanas metodoloģijai, izmantojot Petri tīklus koridoru attīstības sākumposmos ar ierobežotiem ievades datiem.

Nodaļas sākumā tiek uzsvērtā transporta un loģistikas izšķirošā loma globālajā tirdzniecībā un nepieciešamība izveidot efektīvus ITC dinamisku ģeopolitisko pārmaiņu apstākļos. Nodaļā aprakstīta makromodelēšana kā stratēģisks instruments transporta koridoru analīzei un plānošanai, lai uzlabotu to efektivitāti, samazinātu izmaksas un risinātu loģistikas problēmas.

Identificētas būtiskas nepilnības esošajās metodoloģijās, piemēram, nespēja pilnībā aptvert starptautisko transporta koridoru sarežģītību, tostarp to multimodālo raksturu, datu kvalitāti un saskaņošanu starp reģioniem, kā arī datu integrācijas trūkums reāllaikā. Šo problēmu atrisināšanai nodaļā argumentēti pamatota nepieciešamība izstrādāt precīzākas makromodelēšanas metodes.

Nodaļā ir ierosināta kompleksa makromodelēšanas sistēma, kas nodrošina mērogojamību un scenāriju plānošanu, uzlabojot stratēģisko plānošanu un riska pārvaldību. Tāda pieeja ir īpaši vērtīga jauniem transporta koridoriem, kur vēsturiskie dati var būt nepietiekami.

Nodaļas pamatā ir makromodeļa izstrāde, izmantojot Evaluation Petri nets (E-nets) - matemātisku modeli, kas piemērots sarežģītu, paralēlu un asinhronu procesu modelēšanai, kuri raksturīgi transporta koridoriem. Šajā nodaļā aprakstīti E-nets modeļa izveides posmi, tostarp galveno darbības rādītāju (KPI) definēšana, datu vākšana, loģistikas veiktspējas indeksa (LPI) datu iekļaušanas un pārejas aizkavēšanas funkcijas izstrāde.

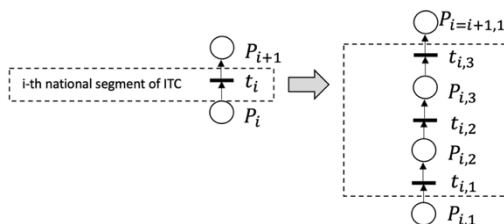
Vienkāršs E-net modelis ieviests kā vienkāršots makromodelis, lai attēlotu ITC galvenos komponentus (4. attēls). E-net ir strukturēts ap komponentu kopumu, ko apzīmē ar $N = (P, T, A, M)$, kur P apzīmē vietu tīklā, T simbolizē pārejas, A – loku kopu, kas savieno vietas un pārejas, M - tīkla sākotnējo stāvokli vai marķējumu.

Elementārais E-tīkla modelis kalpo kā makromodelis, lai vienkāršotu starptautisko transporta koridoru sarežģītību. Tas sadala koridoru trīs galvenajos komponentos: sākuma pozīcija P1 iezīmē kravas tranzīta sākumu no vienas valsts, starpposma pāreja t1 aptver visu tranzīta procesu valsts iekšienē, bet noslēdzošā pozīcija P2 iezīmē mezglu, kurā transports iziet, lai pārietu uz nākamo ceļa posmu. Šī augsta līmeņa

abstrakcija atvieglo makroanalīzi, koncentrējoties uz vispārējo loģistikas veikspēju, nevis uz mikrolīmeņa detaļām.

Element of the network (EN)	Graph of EN	Marking of the graph
T – simple transition		$(1,0) \rightarrow (0,1)$
M – multiplication		$(1,0,0) \rightarrow (0,1,1)$
I – Integration		$(1,0,0) \rightarrow (0,0,1)$ $(0,1,0) \rightarrow (0,0,1)$

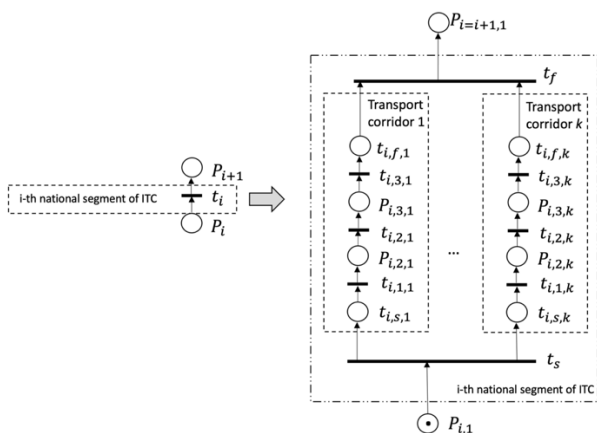
4.att. E-net bāzes elementi



5.att. Elementārā E-net modeļa pārveidošana par makromodeli ITC nacionālajam segmentam

Šajā nodaļā aprakstīta elementārā E-net modeļa transformācija par sarežģītāku ITC makromodeli, kurā iekļauti laika, izmaksu un LPI faktori (5. attēls). Tāda transformācija ļauj veikt detalizētāku koridoru darbības analīzi, īpašu uzmanību pievēršot loģistikas efektivitātei, rentabilitātei un optimizācijai. Metodoloģijas pamatā ir pārvadājuma ātruma un izmaksu kā galveno faktoru izmantošana, ko papildina LPI, kas ņem vērā loģistikas nianšes. Šī pieeja vērsta uz līdzsvara nodrošināšanu starp detalizētu analīzi un stratēģisku abstrakciju, padarot modeli par praktisku instrumentu ieinteresētajām pusēm.

Lai modelētu transporta koridora posmu daudzās alternatīvas jeb tā multimodalitāti, tiek piedāvāta metodoloģiska pieeja elementārā Petri tīkla pārveidošanai, veidojot noteikto komplekso modeli (6. attēls).



6. att. Elementārā E-net modeļa pārveidošana makromodelī ITC nacionālajam segmentam ar alternatīviem transporta koridoriem

10.4. 4..odaļa. Ilgtspējīgu transporta koridoru modelēšanas metodoloģiskais pamats, izmantojot Petri tīklus

4. nodaļā ir izklāstīta ilgtspējīgu transporta koridoru modelēšanas metodoloģija, kura izmantota Petri tīklu universālo raksturu, lai atspoguļotu ilgtspējas daudzšķautņaino raksturu.

Sajā nodaļā “zaļie” transporta koridori ir definēti kā multimodāli transporta tīkli, kas veidoti, ņemot vērā ilgtspējīgas attīstības principus. Šie koridori versti uz ietekmes samazināšanu uz apkārtējo vidi, integrējot progresīvās tehnoloģijas, atjaunojamo enerģiju un videi draudzīgu praksi, pārveidojot tos par efektīviem un ilgtspējīgiem loģistikas un darbības ceļiem.

Atzīmējot tradicionālo transporta maršrutu transformācijas par ilgtspējīgiem koridoriem dinamisko raksturu, modelēšana raksturota kā galvenais šīs transformācijas rīks. Tā ietver sistēmisku pieeju, izmantojot Petri tīklus, lai modelētu, analizētu un prognozētu rezultātus, kas atvieglo ilgtspējīgu transporta koridoru holistisku stratēģiju izstrādi.

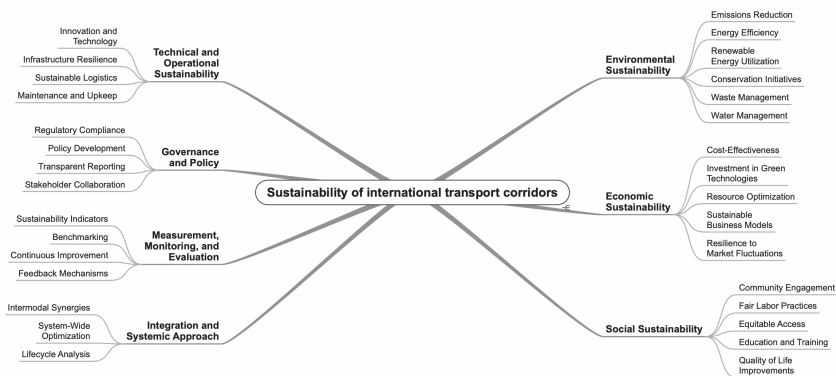
Tiek ieviesta kompleksa metodoloģiskā bāze, kurā izklāstīti secīgi soļi Petri tīkla (E-net) modeļa izstrādei, kurā integrēti ilgtspējas rādītāji. Šī sistēma aptver tīkla dekompozīciju, ilgtspējas taksonomiju, E-net izveidi, parametrizāciju, modelēšanu, analīzi un uzlabošanas stratēģijas. Tajā uzsvēta arī modeļa elastība, pielāgošanās spēja un tā spēja nepārtraukti pilnveidoties.

Nodaļas galvenais ieguldījums ir ilgtspējīgas attīstības faktoru holistiska integrācija transporta koridoru modelēšanā. Tas tiek panākts, standartizējot ITC ilgtspējas taksonomiju (7. attēls) un kvantitatīvi nosakot galvenos darbības rādītājus dinamiskajā simulācijas modelī. Modelis kalpo kā vizuāla platforma ieinteresētajām personām, lai tās varētu saprast, identificēt trūkumus, pārbaudīt dažādus uzlabošanas scenārijus un pielāgot sistēmu dažādiem koridoriem.

Tiek ieviesta visaptveroša metodoloģiskā sistēma, kurā izklāstīti Petri tīkla modeļa (E-net) izstrādes posmi, kurā integrēti ilgtspējas rādītāji. Šī sistēma ietver tīkla dekompozīciju, ilgtspējas taksonomiju, E-tīkla konstrukciju, parametrizāciju, simulāciju, analīzi un uzlabošanas stratēģijas. Tajā uzsvēta arī modeļa elastība, pielāgošanās spējas un spēja to nepārtraukti pilnveidot.

Nodaļas galvenais ieguldījums ir ilgtspējības faktoru holistiska integrēšana transporta koridoru modelēšanā. Tas ir panākts, standartizējot ITC ilgtspējas taksonomiju (7. attēls) un dinamiskajā simulācijas modelī kvantitatīvi nosakot galvenos rezultatīvos rādītājus. Modelis kalpo par vizuālu platformu, kas ieinteresētajām pusēm ļauj saprast, identificēt

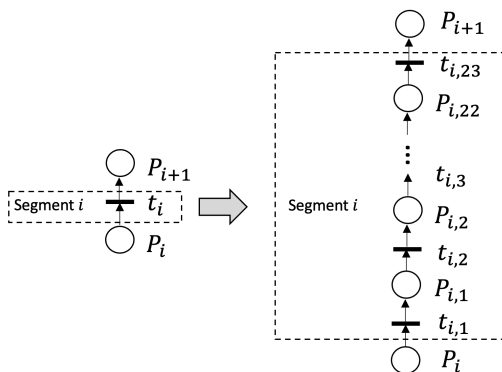
trūkumus, testēt dažādus uzlabojumu scenārijus un pielāgot sistēmu dažādiem koridoriem.



7. att. Transporta koridoru ilgtspējas taksonomija

Šajā nodaļā modelēšana tiek apskatīta kā neatņemama ilgtspējīgu transporta koridoru attīstības, sarežģītu sistēmu vienkāršošanas, prognozēšanas informācijas sniegšanas un lēmumu pieņemšanas atbalsta sastāvdaļa. Tiek uzsvērta modelēšanas nozīme, lai nodrošinātu, ka transporta koridori ir ne tikai efektīvi, bet arī videi draudzīgi, sociāli iekļaujoši un ekonomiski izdevīgi.

Ilgspējīgu starptautisko transporta koridoru modelēšanai piedāvāti 23 KPI, kas aptver vides, sociālo un ekonomikas jomu. Šie rādītāji ir kvantitatīvi izmērāmi mērķi un kontroles rādītāji koridoru darbības un ilgtspējības novērtēšanai. Piedāvāta metodoloģija elementārā E-net pārveidošanai modelī, kas ņem vērā visus norādītos KPI (8. att.).



8. att. Elementāra E-Net pārveide par kompleksu ilgtspējīgas ITC modeli.

Nodaļā ir iekļauts gadījuma pētījums, kurā izstrādātā metodoloģija tiek piemērota konkrētam transporta koridoram, demonstrējot tā praktisko pielietojumu Kazahstānas piemērā.

10.5. 5. nodaļa: Viedās mobilitātes risinājumu integrācija ilgtspējīgai ITC attīstībai

Piektā nodaļa ir veltīta viedo mobilitātes risinājumu integrācijai, īpašu uzmanību veltot inteligēntajām transporta sistēmām un mobilajām pakalpojumu stacijām (MSS) ITC autotransporta segmentos, lai veicinātu to ilgtspējīgu attīstību.

Nodaļas sākumā uzsvērta MSS un ITS izšķirošā loma transporta koridoru “zaļās” transformācijas procesā. Tajā sniegts jauns matemātisks modelis ITC vides ieguvumu novērtēšanai, lai samazinātu emisijas un uzlabotu transporta tīkla efektivitāti. Nodaļā uz Kazahstānas ITC piemēra ir aplūkota MSS stratēģiskā izvietošana, lai nodrošinātu nepārtrauktus un ilgtspējīgus transporta pakalpojumus.

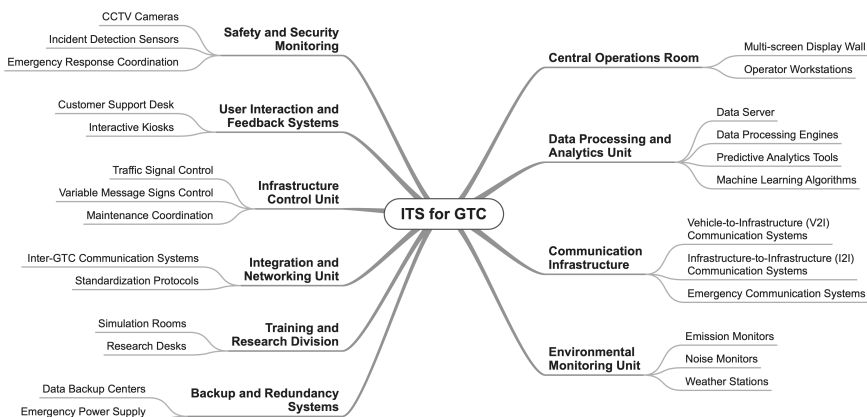
Nozīmīga nodaļas daļa ir veltīta tam, kā ITS var pārveidot transporta koridorus par “zaļajiem” transporta koridoriem. Nodaļā ir parādītas, kā, integrējot progresīvus sensorus, datu analīzes un automatizācijas tehnoloģijas, ITS var uzlabot satiksmes plūsmu, samazināt emisijas un uzlabot vispārējo drošību. Apskatīts ITS potenciāls pārvarēt tradicionālos šķēršļus, ar kuriem saskaras transporta koridori, tādējādi veicinot pāreju uz ilgtspējīgu attīstību (9. attēls).

Tiek ieviesta GTCs koncepcija kā par videi draudzīgiem un efektīviem maršrutiem, kas optimizēti, lai samazinātu ietekmi uz vidi. Atšķirībā no parastajiem koridoriem, GTCs ir paredzēti ilgtspējīgu transporta veidu, ekoloģiski tīras infrastruktūras un inovatīvu tehnoloģiju integrācijai. Šajā nodaļā detalizēti aprakstīta tradicionālo koridoru pārveidošana par GTCs, uzsvērta tehnoloģisko inovāciju un infrastruktūras attīstības sinerģiju.

Centrālo vietu GTCs ekosistēmā ieņem digitālais līmenis, kurā ITS ir galvenā loma operāciju optimizēšanā un ilgtspējības uzlabošanā. Šajā nodaļā ir aprakstīti šī digitālā līmeņa komponenti, kas ilustrē, kā ITS darbojas kā GTCs centrālā vadības komponente, izmantojot reāllaika datus, lai pārvaldītu ceļu satiksmi, samazinātu emisijas un uzlabotu drošību.

Sniegta kompleksa matemātiska sistēma, lai modelētu pāreju no tradicionālajiem transporta koridoriem uz GTCs, ietverot sistēmas komponentu, transformācijas funkciju un ilgtspējīgas attīstības parametru, tostarp oglekļa dioksīda pēdas nospieduma, atjaunojamās enerģijas

izmantošanas avotu un ilgtspējas rādītāju definēšanu. Mērķis ir līdz minimumam samazināt ietekmi uz apkārtējo vidi, vienlaikus saglabājot pakalpojumu efektivitāti un kvalitāti.



9. att. ITS izmantošanas taksonomija STK (ITC) pārveidošanai GTCs

Nodaļā ir arī aplūkota MSS galvenā loma starptautisko autotransporta koridoru efektivitātes un ilgtspējas uzlabošanā. MSS nodrošina būtiskus pakalpojumus, piemēram, degvielas uzpildi, tehniskās apkopes un loģistikas atbalstu, veicinot netraucētu kravas transporta un komerciālo transportlīdzekļu darbību lielos attālumos. Pamatojoties uz piedāvāto matemātisko modeli, tiek veikts reāls gadījuma pētījums Kazahstānas transporta koridora fragmentam. MSS izstrādes rezultātā tika iegūts Kazahstānas Republikas izgudrojuma patents.

Piedāvāta detalizēta tehnoloģiska ceļa karte ITC pārveidošanai par GTC, uzsvāru liekot uz videi draudzīgu tehnoloģiju un inteliģento satiksmes vadības sistēmu stratēģisku ieviešanu. Nodaļā aplūkota šo koncepciju praktiskā īstenošana, pamatojoties uz empīriskiem datiem un gadījumu izpēti.

11. Secinājumi

Darba 6. nodaļā ir apkopoti iepriekšējās nodaļās gūtie rezultāti un sniegti kompleksi secinājumi un praktiskas rekomendācijas starptautisko ilgtspējīgu transporta koridoru attīstībai un optimizācijai.

Nodaļā ir apkopotas atziņas, kas iegūtas promocijas darba pētījumā par tradicionālo transporta maršrutu pārveidošanu par ilgtspējīgiem

transporta koridoriem. Tajā atkārtoti uzsvēta integrētas modelēšanas sistēmas nozīme un Kazahstānas stratēģiskā loma globālajos tīklos, uzsverot Petri tīklu (E-nets) novērtēšanas efektivitāti makromodelēšanai un ITS un MSS integrācijā.

Galvenais secinājums ir tehnoloģiju un infrastruktūras stratēģiskās attīstības neaizstājamā loma ilgtspējīgu transporta risinājumu izveidošanā. Nodaļā uzsvēta tehnoloģisko inovāciju un stratēģiskās plānošanas sinerģija, pārveidojot tradicionālos transporta koridorus par “zaļiem”, efektīviem un ilgtspējīgiem maršrutiem.

Nodaļā ir ieskicētas vairākas turpmāk veicamo pētījumu jomas, tostarp ITS un MSS turpmāka integrēšana transporta koridoros, “zaļo” transporta koridoru sociālekonomiskās ietekmes uz reģionālo attīstību izpēte, kā arī koridoru ilgtspējīgai attīstībai nepieciešamās politikas un normatīvā regulējuma izpēte.

Tajā uzsvērts, cik svarīgi ir novērtēt transporta koridoru noturību pret klimata pārmaiņām un izpētīt adaptīvus pasākumus, lai uzlabotu ilgtspējību mainīgos vides apstākļos.

Izklāstīti praktiski pasākumi pētījuma rezultātu ieviešanai, kas ietver daudzpusīgu pieeju, kurā apvienotas politikas inovācijas, tehnoloģiskais progress, sadarbība ar ieinteresētajām pusēm un nepārtraukta pilnveide. Rekomendāciju mērķis ir palīdzēt Kazahstānai un citām valstīm uzlabot savu transporta koridoru ilgtspējību un efektivitāti, veicinot ekonomisko izaugsmi, reģionālo integrāciju un vides ilgtspējību.

AUTORA PUBLIKĀCIJU BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS

Pētījuma rezultāti ir publicēti šādos žurnālos un konferenču materiālos (11 indeksēti Scopus un Web of Science):

1. Kabashkin I. and Sansyzbayeva Z. (2024) Methodology for International Transport Corridor Macro-Modeling Using Petri Nets at the Early Stages of Corridor Development with Limited Input Data. *Modelling*, 5(1):238-264. <https://doi.org/10.3390/modelling5010013>
2. Kabashkin, I., and Sansyzbayeva Z. (2024) Methodological Framework for Sustainable Transport Corridor Modeling Using Petri Nets. *Sustainability* 16, no. 2: 489. <https://doi.org/10.3390/su16020489> (Scopus)
3. Sansyzbayeva, Z. (2024). The Role of Mobile Service Stations in the International Road Transport Corridors. In: Kabashkin, I., Yatskiv, I., Prentkovskis, O. (eds) *Reliability and Statistics in Transportation and*

- Communication. *RelStat 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 913. Springer, Cham pp. 96-107. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53598-7_9 (Scopus)
4. Suleimenov, T.B., Sultanov, T.T., Tlepiyeva, G.M., Sansyzbajeva, Z.K. (2023). Development of logistics services for dry ports in the Eurasian international transport corridors of the Republic of Kazakhstan. *AIP Conference Proceedings*, 2624(1), 040003. <https://doi.org/10.1063/5.0145609> (Scopus)
 5. Mezitis, M., Panchenko, V., Yatsko, S., ...Sidorenko, A., Sansyzbajeva, Z. (2021) Selection of mathematical model of on-board capacity energy storage as element of hybrid traction unit of motor car rolling stock. *Journal of measurements in engineering*. June 2021, volume 9, issue 2, pp. 71–86. <https://doi.org/10.21595/jme.2021.21818> (Scopus)
 6. Strautmanis, G., Filimonikhin, G., Mezitis, M., ...Strautmane, V., Sansyzbajeva, Z. (2021) Modelling of transient and steady-state modes of a vertical rotor with an automatic balancing device. *Journal of Vibroengineering*. 23(3), pp. 759–769. <https://doi.org/10.21595/jve.2021.21804> (Scopus)
 7. Mezitis, M., Muhitovs, R., Arpabekov, M., Sansyzbajeva, Z. Togizbayeva, B., Assiltayev, A. (2020) Optimization of Transport Logistical Flows Between Railway and Urban Passenger Transportation Systems. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure.*, Part F1382, pp. 28–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_5
 8. Mateichyk, V., Tsuman, M., Weigang, G., Sansyzbajeva, Z., Grytsuk, Y. (2020) The Information and Analytical System for Monitoring Roadside Pollution by Traffic Flows. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure.*, Part F1382, pp. 352–359. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_44. (Scopus)
 9. Sultanov, T., Suleimenov, T., Tlepiyeva, G., Sansyzbajeva, Z. (2019) Development of transit potential in conditions of integration of the Republic of Kazakhstan into the world transport system. Volume 149, pp. 430-435. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.158> (Scopus)
 10. Ischuka, O., Lomotko, D., Freimane, J., Sansyzbajeva, Z. (2019) Main directions of improvement of the method for calculation of idle time of cars at technical stations. *Procedia Computer Science*. 149, pp. 475–482. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.165> (Scopus)
 11. Mihailovs, F., Sansyzbajeva, Z., Mezitis, M. (2017) Simulation of the Interaction of Railway Station and Harbor. *Procedia Computer Science*. 104, pp. 222–226. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.117> (Scopus)

Patents:

1. Safonov, V.V., Balabaev, O.T., Gumarov, G.S., Abishev, K.K., Sarzhanov, D.K., Sansyzbayeva, Z.K., & Tyurin, I.Y. (2018). Mobile workshop for repair and maintenance of transport equipment. Patent number: 176416 U1. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39259500>

Pētījuma rezultāti ir publicēti šādos žurnālos un konferenču materiālos (nav indeksēti Scopus):

12. Kabashkin, I. and Sansyzbayeva, Z. Methodology of Transport Corridor Modeling Using Petri Nets. Encyclopedia. (2024) Available online: <https://encyclopedia.pub/entry/53791> (accessed on 07 February 2024).
13. Sansyzbayeva, Z., & Esenkan, G. (2023). Organization of freight transportation using digital technologies in the transport network. In: J.D. Kurmangaliyeva, U.Sh. Kokaev, & T.T. Sultanov (Eds.), Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions: Proceedings of the XI International Scientific-Practical Conference, Astana, March 16, 2023, pp. 146-150.
14. Volkova, E.M., Sansyzbayeva, Z., & Togizbayeva, B.B. (2022). Principles for assessing the efficiency of transport-hub nodes in urban transport systems. In: G.T. Merzadinova, T.B. Suleimenov, & T.T. Sultanov (Eds.), Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions: Proceedings of the X International Scientific-Practical Conference, Nur-Sultan, March 17, 2022, pp. 189-191.
15. Arpavekov, M., Sansyzbayeva, Z., Mezitis, M., & Assiltayev, A. (2020). Development of activities for the opening of the rail bus route "r/s Nur-Sultan – r/s Nurly-Zhol". In: G.T. Merzadinova, T.B. Suleimenov, & T.T. Sultanov (Eds.), Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions: Proceedings of the VIII International Scientific-Practical Conference, Nur-Sultan, March 20, 2020, pp. 15-18.
16. Sarzhanov, D.K., Balabaev, O.T., Abishev, K.K., Gumarov, G.S., Sansyzbayeva, Z., Mönkeev, A., & Turalhanov, A.E. (2016). Development of a mobile workshop for the repair and maintenance of passenger cars. International Journal of Applied and Fundamental Research, (7), part 3, pp. 372-375.
17. Sansyzbayeva, Z. (2016). Some features of the selection and evaluation of rolling stock. In: Proceedings of the IV International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy:

- Paths to Innovative Solutions, Astana, dedicated to the 20th anniversary of L.N. Gumilyov Eurasian National University, pp. 555-559.
18. Sansyzbajeva, Z. (2015). Existing approaches and features of evaluating the efficiency of car exploitation. In Proceedings of the III International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy and the Ways of Their Innovative Solutions. Astana, 2015, pp. 172-176.
 19. Sansyzbajeva, Z. (2014). Some problems in the development of modular educational programs within the Bologna process. In Proceedings of the Scientific-Practical Conference on Designing Modular Educational Programs from a Competency Perspective. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2014, pp. 152-163.
 20. Sansyzbajeva, Z., & Balgabekov, T.K. (2014). The influence of repair workers on the efficiency of an automobile enterprise. In Proceedings of the International Scientific-Practical Conference on Innovative Solutions to the Problems of Transport and Energy (pp. 205-208). Astana, 2014, pp. 205-208.
 21. Sansyzbajeva, Z. (2014). Some issues in improving the operations of auto enterprises. Herald of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Natural and Technical Sciences Series, (2)99, 217-221.
 22. Sansyzbajeva, Z. (2012). Some problems of higher education in the context of globalization. In Proceedings of the Round Table on Modern Problems of Higher and Postgraduate Education in the Republic of Kazakhstan, Astana, 2012, pp. 85-93.
 23. Sansyzbajeva, Z. (2010). On some problems of freight auto transport enterprise specialization. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2010, pp. 383-386.
 24. Ibrahimov, Z.I., & Sansyzbajeva, Z. (2008). The role of new technologies in education according to the credit system. In Proceedings of the 9th Scientific-Methodological Conference of the L.N. Gumilyov Eurasian National University on Scientific-Methodological and Practical Aspects of the Credit System of Education, Astana, February 8, 2008, pp. 51-53.
 25. Arpabekov, M.I., Baubek, A.A., & Sansyzbajeva, Z. (2007). Constructive analysis of loading devices of belt conveyors. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and

- Prospects of Development, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2007, pp. 187-188.
26. Arpabekov, M.I., Bobeev, A.B., & Sansyzbajeva, Z. (2007). Lever compensating coupling with flexible leads. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2007, pp. 197-199.
 27. Arpabekov, M.I., Baubek, A.A., & Sansyzbajeva, Z. (2007). Problems of improving the environmental indicators of internal combustion engines. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2007, pp. 176-186.
 28. Sansyzbajeva, Z., Arpabekov, M.I., & Baubek, A.A. (2007). The process of purchasing services in the enterprise market. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2007, pp. 200-202.
 29. Sansyzbajeva, Z., & Sigacheva, N.P. (1999). Interaction of market participants in transport services. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Science and Education in the Strategy of Regional Development, S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 1999, pp. 57-58.
 30. Sansyzbajeva, Z., & Sigacheva, N.P. (1999). The role of the business plan in searching for investors and attracting investment funds. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Mechanical Engineering in the Conditions of Market Economy: Problems and Prospects. Taraz State University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, 1999, pp. 48-49.
 31. Sansyzbajeva, Z., & Sigacheva, N.P. (1999). The role of information in the marketing activities of a company. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Mechanical Engineering in the Conditions of Market Economy: Problems and Prospects. Taraz State University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, 1999, pp. 49-51.

**THE PROMOTION WORK PRESENTED TO THE
TRANSPORT AND TELECOMMUNICATION INSTITUTE TO
OBTAIN THE SCIENTIFIC DEGREE – DOCTOR OF SCIENCE IN
ENGINEERING AND TECHNOLOGY (PhD)**

OFFICIAL REVIEWERS:

Dr.sc.ing. Boriss Misnevs,
Professor, Transport and Telecommunication Institute, Latvia

Dr. Darius Bazaras,
Professor, Vilnius Gediminas Technical University Lithuania

Dr. Anatoli Beifert,
Head of EU Project Centre, Wismar University of Applied
Sciences, Germany

The defence of the thesis will be held on the 2 July 2024 at 15:00 o'clock at the Promotion Council of Transport and Telecommunication Institute on award of a PhD degree to the address: 2, Lauvas iela, conference hall 130, Riga, Latvia, tel. +371 67100594, fax: +371 67100535.

CONFIRMATION

I confirm that I developed the promotion work that is presented to the promotion council of Transport and Telecommunication Institute to obtain the scientific degree of Doctor of Science in Engineering and Technology (PhD). The promotion work has not ever been presented to any other promotional council to the scientific degree.

Z.
Sansyzbayeva

The Doctoral Thesis has been written in English. It consists of an Introduction; 4 Chapters; Conclusion; 26 figures; 15 tables; the total number of pages is 163. The Bibliography contains 152 titles.

Contents

Abstract	31
1. RELEVANCE AND MOTIVATION OF THE RESEARCH	32
2. PROBLEM STATEMENT AND RESEARCH OBJECTIVES	32
3. OBJECT AND SUBJECT OF THE RESEARCH	34
4. METHODOLOGY AND THE METHODS	34
5. SCIENTIFIC NOVELTY OF THE RESEARCH	35
6. PRACTICAL VALUE AND IMPLEMENTATION OF THE RESEARCH	35
7. APPROBATION OF THE RESEARCH	36
8. STRUCTURE OF THE THESIS	38
9. STATEMENTS PUT FORWARD FOR DEFENSE	39
10. SUMMARY OF THESIS CHAPTERS	40
11. CONCLUSIONS	49
PUBLICATIONS WITH AUTHOR'S PARTICIPATION	50

ABSTRACT

The thesis "Framework for International Sustainable Transport Corridors Modeling at the Early Stages of their Development" is written by Zura Sansyzbayeva under the supervision of Dr.sc.ing. Professor Marek Mezitis and Dr.habil.sc.ing., Professor Igor Kabashkin.

The dissertation examines the ecosystem of international transport corridors and its main components from a systemic perspective.

Using the example of Kazakhstan, the problems of the study the transformation of transport routes into transport corridors in conditions of limited initial information are considered. To study transport corridors, an integrated macro modeling framework based on Petri nets is proposed. A basic modeling component is proposed that can be extended and scaled for multi-alternative and multi-modal corridors. An extension of the basic model is proposed to allow modeling of transport corridors at the initial stages of their development with limited information about their functioning at the initial stage of their creation. An extension of the basic model is proposed to take into account the environmental, social and economic components of the sustainability of transport corridors.

The possibilities of using the proposed models, combined into an integrated framework for macro modeling of transport corridors, are illustrated in a case study of the new Middle (Trans-Caspian) Transport Corridor passing through the territory of Kazakhstan.

The dissertation examines the impact of intelligent transport systems on the transformation of transport routes into transport corridors and describes the integration of ITS into the ICT ecosystem. The role and influence of ITS on the factors of sustainability of international transport corridors and their transformation into green corridors is shown. The issues of smart mobility are considered in relation to the automobile segments of international transport corridors and effective solutions in this area are shown using the example of Kazakhstan.

Main results of this thesis are presented at 14 international scientific conferences and published in 31 scientific papers (11 papers indexed in Scopus and Web of Science). The thesis consists of 6 chapters and includes 163 pages, 26 figures, 15 tables and 152 references in the bibliography.

1. RELEVANCE AND MOTIVATION OF THE RESEARCH

In the era dominated by globalization, the significance of international transport corridors as pivotal elements in global trade and economic development cannot be overstated. The intricate web of transport communications forms the backbone of our interconnected world, facilitating trade, commerce, and broader socio-economic progress. This research is motivated by a compelling need to understand and optimize these corridors, with a specific focus on Kazakhstan – a nation that stands at the crossroads of significant Eurasian trade routes.

Kazakhstan's unique geographical positioning as a nexus between major economies makes it a strategic linchpin in the global transport network. However, the full potential of its transport corridors is yet to be realized. Challenges such as infrastructural limitations, policy harmonization, technological integration, and socio-economic planning persist, impeding the seamless flow of trade and commerce. Moreover, the dynamic geopolitical landscape and the evolving demands of international trade necessitate a reevaluation and strategic enhancement of these corridors.

This thesis aims to bridge these gaps by analyzing of ecosystem of transport corridor and developing it Integrated Modeling Framework (IMF) for exploring the transformation of basic transport routes into multifaceted sustainable transport corridors. It seeks to analyze the complexities of corridor development, from infrastructural evolution to regulatory frameworks and technological advancements for development scientific background to devise strategies that not only enhance the efficiency and capacity of these corridors but also align them with sustainable development goals, thereby contributing to regional growth, integration, and shared prosperity.

2. PROBLEM STATEMENT AND RESEARCH OBJECTIVES

International transport corridors are critical channels for global trade, interconnecting nations, and regions to facilitate the flow of goods worldwide. The efficiency and reliability of these corridors is pivotal to ensuring smooth and cost-effective logistics operations. However, modeling and optimizing international transport corridors remains a complex challenge.

Existing modeling approaches face limitations in comprehensively capturing the intricacies of multi-country transport networks. Factors like varying infrastructure quality, border regulations, administrative procedures,

and intermodal transitions along transport routes are difficult to quantify and simulate accurately. This can restrict strategic analysis and evidence-based decision making.

In the context of developing Kazakhstan's transit transport strategy, three principal limitations in current methodological approach are identified:

1. The formation of new international transport corridors is hindered by a scarcity of comprehensive data on their various components, limiting the applicability of pre-existing models that rely on established statistical and transport indicators.

2. These emerging corridors integrate multiple national segments, including options for alternative routes, which further complicates the use of conventional methodological approaches in model construction.

3. Many current transport models prioritize economic performance metrics of national segments, insufficiently addressing the growing importance of sustainability criteria. This scenario necessitates a shift towards innovative modeling techniques that incorporate sustainability impacts, aligning with modern developmental requisites.

Therefore, the key problem this research aims to address is the lack of an effective methodology for holistic modeling of international transport corridors across macro and micro levels. The limitations of current approaches motivated the need for an enhanced technique.

Several issues hamper the effective analysis and planning of sustainable transport corridors:

- Lack of comprehensive models that fully integrate economic, environmental, and social dimensions in a dynamic framework. Existing models are fragmented and focus only on isolated metrics.
- Inability to simulate complex interactions between logistics processes, infrastructure constraints, and sustainability factors along corridors. This limits predictive analysis.
- Lack of standardized frameworks to quantify sustainability key performance indicators (KPIs) within corridor models for direct computation.
- Difficulty in engaging stakeholders due to the absence of interactive, visually intuitive modeling platforms.
- Inadequate data granularity in current models that prevents micro-level analysis of inefficiencies at specific points along the corridor.
- Intelligent Transport Systems (ITS) have emerged as a promising solution to enhance the sustainability and efficiency of corridor operations. Yet there is a lack of comprehensive frameworks to guide the integration of ITS into Green Transport Corridors (GTC).

Additionally, operational aspects like real-time support of transport remain under-explored in existing corridor infrastructure strategies.

To address these limitations, the following research objectives are formulated:

1. To develop methodology for international transport corridors modelling at the early stages of their development.
2. To develop a robust and adaptable methodology for macro level modeling of international transport corridors to incorporate sustainability KPIs related to economic, environmental, and social factors in a holistic corridor model.
3. To develop an integrated modelling framework to simulate and compare the efficiency of current and proposed transport corridors traversing Kazakhstan under different scenarios.
4. To formulate strategic recommendations and development roadmap for transforming transport routes into green transport corridors that support regional and global economic integration.

3. OBJECT AND SUBJECT OF THE RESEARCH

Goal: Development of integrated modeling framework and methodology for holistic modeling of international transport corridors across macro levels at the early stages of corridor development with limited input data.

Object of Study: The object of study is international transport corridors, specifically analyzed through a holistic systems approach that integrates sustainability metrics within their structural and operational frameworks.

Subject of Study: The integrated modeling framework of international transport corridors utilizing simulation for analyze their efficiency, sustainability, and overall performance.

4. METHODOLOGY AND THE METHODS OF THE RESEARCH

This research adopts methodology from such fields as mathematics, statistics, operations research, modelling with Petri nets, system engineering and others.

The main methods used in research are literature review, taxonomy development, mathematical modeling, data analysis, case studies,

experimentation, performance evaluation, identification of limitations and others.

5. SCIENTIFIC NOVELTY OF THE RESEARCH

The scientific novelty of this thesis lies in its holistic approach to understanding and analysis international transport corridors, with a significant emphasis on integrating sustainability, modeling precision, and economic strategy within the context of Kazakhstan's pivotal geographic and economic position.

The key aspects of scientific novelty are:

1. An integrated modelling framework combining various techniques on the base of Petri net tools. The integrated framework enables holistic assessment and comparison of transport corridors under different scenarios with different factors of influence.
2. Methodology for international sustainable transport corridors modelling at the early stages of their development with limited input data.
3. Methodology for international transport corridors modelling considering sustainability factors, emphasizing not only the environmental but also the economic and social dimensions.
4. Using Kazakhstan as a case study for macro-modeling approach allowing for an analysis that can be generalized to an international context while also providing insights into the specific segments within a country.

6. PRACTICAL VALUE AND IMPLEMENTATION OF THE RESEARCH

The following statements highlight the practical importance of the research:

- The integrated modeling framework and the use of Evaluation Petri Nets (E-nets) for macro-modeling offer policymakers a robust tool for planning, developing, and optimizing sustainable transport corridors. This allows for more informed decision-making that accounts for environmental sustainability alongside economic and operational efficiency.
- Recommendations provided for adopting sustainable practices and investing in green technologies provide a blueprint for governmental agencies to follow, ensuring that future transport corridors not only meet current needs but are also resilient and adaptable to future challenges.

- The case study of the new Middle (Trans-Caspian) Transport Corridor passing through Kazakhstan illustrates how the proposed models and frameworks can be practically applied to assess and enhance the sustainability of real-world transport projects.
- The dissertation's exploration of Intelligent Transport Systems and Mobile Service Stations (MSS) highlights their transformative potential in achieving sustainable transport solutions. The practical insights offered can be directly applied by transport corridor operators and stakeholders to integrate ITS and MSS, promoting green transformation and operational efficiency.
- The mathematical framework for assessing the environmental benefits of ITS provides a tangible tool for evaluating and optimizing the use of technology in transport corridors, facilitating their transition into green corridors.
- Industry stakeholders can leverage the research findings to adopt technological innovations that enhance the monitoring, management, and operation of transport corridors.
- For academic institutions and researchers, the dissertation presents modeling techniques and sustainability metrics as areas for further development and exploration.
- The research contributes to the global effort towards sustainable development, particularly in the transport sector. By demonstrating the practical application of integrated frameworks and technological innovations in creating greener transport corridors, the dissertation offers a roadmap for international cooperation and development that balances economic growth with environmental and social responsibility.

7. APPROBATION OF THE RESEARCH

The preliminary results, inferences and findings of the research were presented at the following conferences in Morocco, Latvia, Poland and Kazakhstan:

1. The International Symposium on Green Technologies and Applications (ISGTA 2023), December 27-29, 2023, Casablanca, Morocco.
2. The 23rd International Multidisciplinary Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Digital Twins - From Development to Application (RelStat-2023), October 19-21, 2023, Riga, Latvia.

3. The 11th International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions, Astana, Kazakhstan, March 16, 2023.
4. The 10th International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions, Nur-Sultan, March 17, 2022.
5. The 8th International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions, Nur-Sultan, Kazakhstan, March 20, 2020.
6. Transcomp - The 22nd International Conference on Computer Systems Aided Science, Industry, and Transport, December 3-6, 2018, Zakopane, Poland.
7. The 4th International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy, Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2016.
8. The 3rd International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy, Astana, Kazakhstan, 2015.
9. Scientific-Practical Conference on Designing Modular Educational Programs from a Competency Perspective, Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2014.
10. International Scientific-Practical Conference on Innovative Solutions to Transport and Energy Problems, Astana, Kazakhstan, 2014.
11. Republican Scientific Conference "Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects for Development", Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2010.
12. Republican Scientific-Practical Conference "Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects for Development", Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2007.
13. Republican Scientific-Practical Conference "Science and Education in the Strategy of Regional Development", Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan, 1999.
14. Republican Scientific-Practical Conference "Mechanical Engineering in a Market Economy. Problems and Prospects", Taraz State University, Taraz, Kazakhstan, 1999.

8. STRUCTURE OF THE THESIS

The thesis consists of 6 chapters including the introduction and conclusions. It contains 163 pages, 26 figures, and 15 tables. The list of references contains 152 titles.

The chapter 1 give introduction to the motivation behind the research. In addition, the scope is specified, and relevance is highlighted along with novelty. The main research question is stated, and tasks are formulated. Besides, the papers published within the framework of the research are listed.

The chapter 2 analyzes tie concept of transport corridor and case study of Kazakhstan. The chapter provides an overview of the evolution of transport routes into complex economic corridors, facilitating trade and development. It analyzes the ecosystem of a transport corridor, encompassing infrastructure, regulations, logistics, and stakeholders. Modeling techniques to optimize corridor transformation are discussed, with a proposed integrated framework combining models and data. Sustainability is emphasized as a key imperative in corridor development. The chapter examines Kazakhstan's strategic role, necessitating continuous improvements to maintain its position in global economic networks. Transport corridors through Kazakhstan like the Trans-Caspian route are pivotal for Eurasian trade. The analysis underscores the importance of efficiency, sustainability, and partnerships in developing Kazakhstan into a major logistics hub connecting Europe and Asia.

The chapter 3 investigates the international transport corridors macro modeling using petri nets at the early stages of corridor development with limited input data. This chapter proposes a novel methodology for macro modeling of international transport corridors using Evaluation Petri Nets (E-nets). E-nets are advanced Petri net models well-suited for representing complex, dynamic systems like multinational logistics networks. The proposed approach incorporates key parameters of time, cost, and logistics performance into the E-net framework to capture real-world constraints affecting corridor efficiency. Mathematical transformations are formulated to quantify the relationships between these parameters and the E-net transition delays. The modeling technique is scalable, enabling analysis from a broad corridor perspective down to specific country-segments. E-nets facilitate responsive simulation and optimization by identifying bottlenecks and evaluating improvement strategies. The strengths and limitations of E-nets for transport corridor modeling are discussed. Overall, this methodology offers significant potential for enhancing logistics systems analysis and strategic planning for international trade routes. Case studies of major

Europe-Asia corridors demonstrate the practical applicability of the approach. The framework presented provides an effective toolkit for researchers and planners seeking to understand and optimize complex multinational transport networks.

The chapter 4 describes the framework for sustainable transport corridors modeling using Petri nets. This chapter introduces a novel approach for modeling and evaluating the sustainability of international transport corridors using Petri nets. It outlines the development of Evaluation Petri nets (E-Nets), a methodological innovation designed to incorporate environmental, social, and economic indicators into the assessment of transport corridors. The chapter details the formulation of these E-Nets, demonstrating their application in simulating and optimizing corridor performance for sustainability. Through case studies and simulations, it showcases the potential of E-Nets in providing a comprehensive, flexible tool for policymakers and researchers to analyze and enhance the sustainability of international transport networks.

The chapter 5 the integrating smart mobility solutions for sustainability in international transport corridors are analyzed. This chapter presents a comprehensive investigation into the integration of Intelligent Transport Systems and Mobile Service Stations within transport corridors to promote green transformation. It introduces a novel mathematical framework to assess the environmental benefits of ITS in reducing emissions and enhancing efficiency in transport networks. Additionally, it explores the deployment of MSS as a strategic solution for ensuring continuous and sustainable transport services, with a focus on a case study in Kazakhstan. Through quantitative analysis and practical insights, the chapter highlights the synergy between technological innovation and strategic infrastructure development in achieving sustainable transport solutions.

The conclusions in chapter 6 summarize the conducted research and highlight the most significant findings. Results are discussed about practical implementation. Besides, open research questions are listed and recommendations for further research are made.

9. STATEMENTS PUT FORWARD FOR DEFENSE

The following statements are put forward for defense:

- Integrated modeling framework can be used for the analysis of early-stage development of international transport corridors and their efficiency and sustainability with all its components - ecological, social and economic.

- Application of Evaluation Petri Nets (E-nets) can be used in macro-modeling of international transport corridors at the early stages of corridor development with limited input data and considering sustainability factors.
- The integration of intelligent transport systems into the transport corridor ecosystem creates the basis for the transformation of transport routes into transport corridors and for their subsequent green transformation.

10. SUMMARY OF THESIS CHAPTERS

10.1. Chapter 1. Introduction.

Chapter 1 of the dissertation sets the stage for a comprehensive study on the development of sustainable transport corridors, particularly focusing on Kazakhstan's strategic role in the global transport network. Chapter lays the foundational groundwork for the dissertation, outlining the significance of the study, reviewing existing literature, identifying gaps, and setting the research objectives and methodology. The chapter establishes the urgency of developing sustainable transport corridors and presents the dissertation's goal to contribute novel insights and methodologies to this field.

The chapter begins by highlighting the critical role of international transport corridors in facilitating global trade and economic development in the era of globalization. It emphasizes Kazakhstan's unique geographic position as a pivotal junction between major economies, making it a strategic asset in the global transport network.

Despite its strategic location, Kazakhstan faces challenges in fully realizing the potential of its transport corridors. These include infrastructural limitations, policy harmonization, technological integration, and socio-economic planning. The dynamic geopolitical landscape and evolving trade demands necessitate a strategic enhancement of these corridors.

An extensive literature review outlines current academic inquiries into sustainable transport corridors, underscoring the growing concern for environmental sustainability and the need for efficient transport systems. This section reviews various approaches to sustainability in transport corridor development and management, indicating a burgeoning interest in this area spurred by environmental concerns.

The review acknowledges the scarcity of holistic models for evaluating the effectiveness of green transport corridors, highlighting a gap

in integrating environmental, economic, and social dimensions comprehensively.

The chapter identifies limitations in existing methodologies for modeling and optimizing international transport corridors, particularly noting the lack of comprehensive data and the complexity introduced by integrating multiple national segments and sustainability criteria.

To address these challenges, the dissertation sets forth objectives to develop a new methodology for international transport corridors modeling at the early stages of their development, incorporating sustainability Key Performance Indicators (KPIs) in a holistic model. The aim is to formulate strategic recommendations for transforming transport routes into green corridors that support regional and global economic integration.

The dissertation proposes to develop an integrated modeling framework for the holistic modeling of international transport corridors, emphasizing sustainability and economic strategy within Kazakhstan's context (Fig.1). It introduces an innovative approach utilizing Petri nets as a tool for simulating and analyzing the efficiency, sustainability, and overall performance of international transport corridors.

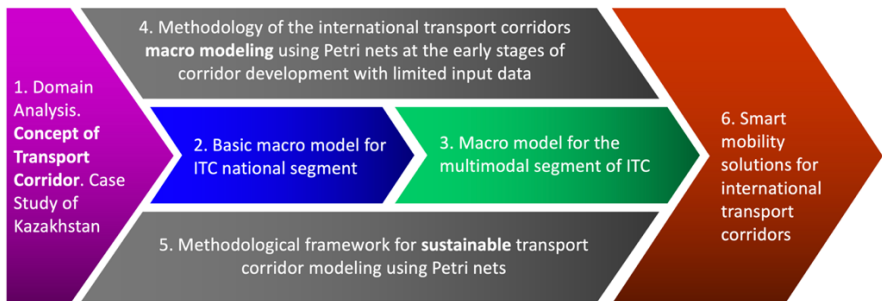


Fig. 1. Integrated modeling framework for the modeling of international transport corridors

Preliminary results and findings were disseminated through presentations at various conferences, showcasing the research's contributions to both theoretical understanding and practical applications in developing more efficient, reliable, and sustainable transport networks.

10.2. Chapter 2. Concept of Transport Corridor. Case Study of Kazakhstan

Chapter 2 of the dissertation provides a comprehensive exploration of the concept of transport corridors, focusing on their evolution, significance,

and the complex ecosystem they encompass, with a particular emphasis on Kazakhstan's strategic role within these networks.

The chapter begins by tracing the transformation of transport routes into corridors, highlighting their evolution from basic paths facilitating simple movements of goods and people to intricate networks that serve as vital arteries for global trade and economic development. This transition is categorized into stages: transport route, transport corridor, trade corridor, and economic corridor. Each stage represents an increase in complexity, functionality, and strategic importance, emphasizing the corridors' role in fostering economic growth, regional integration, and broader socio-economic collaboration.

Transport and communication systems are underscored as pivotal elements in the globalization era, connecting economies, facilitating trade, and promoting regional growth. The chapter discusses the challenges and implications of developing and managing these corridors in today's complex global landscape, emphasizing the lack of coherent guidance for planning, design, and impact analysis of corridor projects.

A detailed examination of the transport corridor ecosystem is provided, identifying key components including physical infrastructure, regulatory frameworks, logistics services, technology and information systems, and the range of stakeholders involved (Fig.2). The narrative stresses the need for effective coordination and collaboration among these elements to enhance regional connectivity, economic growth, and international trade.

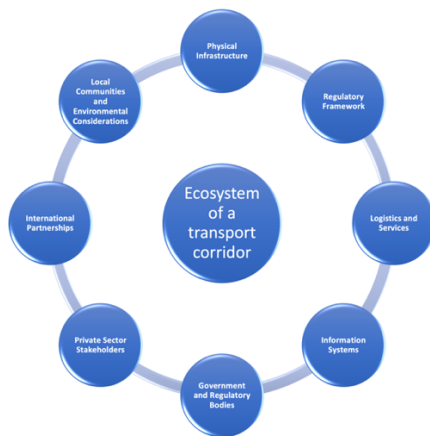


Fig. 2. Ecosystem of international transport corridors

Focusing on Kazakhstan, the chapter delineates its strategic position within the global and regional transport networks. It explores Kazakhstan's potential to act as a land bridge between major economies, particularly between Europe and Asia, via various transport corridors, including the Northern, Middle (Trans-Caspian), and Southern Corridors (Fig.3). The analysis addresses the challenges and opportunities faced by Kazakhstan in leveraging its geographical and strategic assets to enhance its role in global trade.



Fig. 3. New transport corridors between Europe and Asia

The necessity of macro modeling for transport corridors is introduced as a tool for decision-making, emphasizing its relevance in conditions of limited initial information. The chapter proposes an integrated macro modeling framework based on Petri nets, designed to support the study and optimization of transport corridors at the early stages of their development. This framework allows for the inclusion of environmental, social, and economic sustainability components, providing a comprehensive approach to assessing and enhancing the sustainability of transport corridors. Chapter concludes by summarizing the transformative potential of transport corridors in promoting broad-based economic development and the critical importance of modeling techniques in optimizing these transformations. It highlights the strategic imperative of sustainability in corridor development and Kazakhstan's pivotal role in global economic networks, advocating for continuous strategic partnerships and innovative approaches.

10.3. Chapter 3. Methodology of the international transport corridors macro modeling using Petri nets at the early stages of corridor development with limited input data

Chapter 3 of the dissertation focuses on the methodology of macro-modeling international transport corridors, specifically using Petri nets at the early stages of development with limited input data.

The chapter begins by emphasizing the critical role of transport and logistics in global trade and the need for efficient ITCs amidst dynamic geopolitical changes. It introduces macro-modeling as a strategic tool for analyzing and planning transport corridors to enhance their efficiency, reduce costs, and address logistical challenges.

It identifies significant gaps in existing methodologies, such as the inability to fully capture the complexities of ITCs, including their multimodal nature, the quality and harmonization of data across regions, and the lack of real-time data integration. The chapter argues for the development of more precise macro-modeling methods to address these challenges.

The chapter proposes a comprehensive macro-modeling framework that allows for scalability and scenario planning, enhancing strategic planning and risk management. This approach is particularly valuable for new transport corridors, where historical data may be scarce.

The core of the chapter is the development of a macro-model using Evaluation Petri nets (E-nets), a mathematical framework suited for modeling the complex, parallel, and asynchronous processes inherent in transport corridors. The chapter outlines the steps to create an E-net model, including identifying key performance indicators (KPIs), gathering data, developing transition delay functions, and incorporating logistics performance index (LPI) data.

An elementary E-net model is introduced as a simplified macro-model to represent the key components of ITCs (Fig. 4). E-nets is structured around a set of components denoted by $N = (P, T, A, M)$, where P represents the places within the network, T symbolizes the transitions, A is the set of arcs connecting the places and transitions, M signifies the initial state or marking of the network.

The elementary E-net model serves as a macro-model to simplify the intricacies of international transport corridors. It distills the corridor into three essential components: the starting node P_1 marks the inception of cargo transit from one country, the intermediate processing t_1 captures the comprehensive transit process within a country, and the concluding node P_2 denotes the juncture where goods exit to enter the next leg of their journey.

This high-level abstraction is conducive to macro-analysis, focusing on overarching logistics performance rather than micro-level details.

Element of the network (EN)	Graph of EN	Marking of the graph
T – simple transition		$(1,0) \rightarrow (0,1)$
M – multiplication		$(1,0,0) \rightarrow (0,1,1)$
I – Integration		$(1,0,0) \rightarrow (0,0,1)$ $(0,1,0) \rightarrow (0,0,1)$

Fig. 4. Basic element of E-net

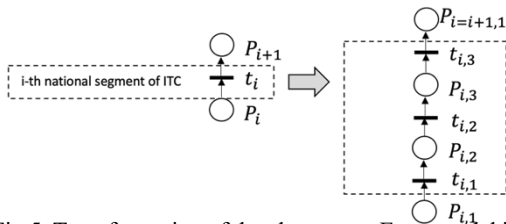


Fig.5. Transformation of the elementary E-net model into macro model for the national segment of ITC

The chapter describes the transformation of the elementary E-net model into a more complex ITC macro-model, incorporating time, cost, and LPI factors (Fig. 5). This transformation allows for a more detailed analysis of the corridor's performance, focusing on efficiency, cost-effectiveness, and logistics optimization. The methodology's justification centers on using transport speed and costs as primary factors, supplemented by the LPI to capture logistical nuances. This approach aims to provide a balance between detailed analysis and strategic abstraction, making the model a practical tool for stakeholders.

To model the multi-alternative nature of transport corridor segments or its multimodality, a methodological approach to transforming an elementary Petri net is proposed, forming the specified complex model (Fig. 6).

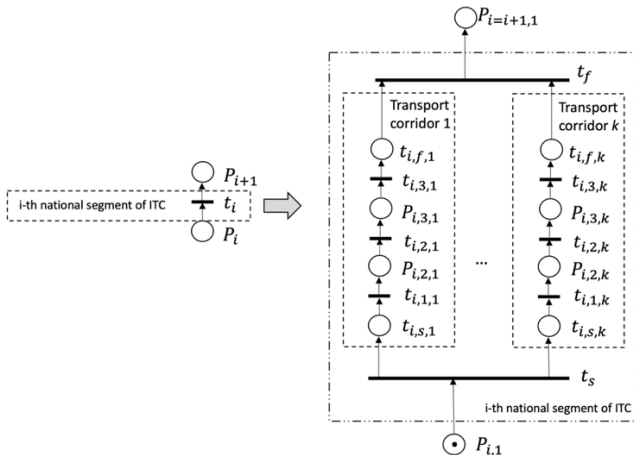


Fig. 6. Transformation of the elementary E-net model into macro model for the national segment of ITC with alternative transport corridors.

10.4. Chapter 4. Methodological framework for sustainable transport corridor modeling using Petri nets

Chapter 4 introduces a methodology for modeling sustainable transport corridors, leveraging the versatility of Petri nets to capture the multifaceted nature of sustainability.

The chapter sets the stage by defining green transport corridors as multimodal transport networks designed with sustainability at their core. These corridors aim to minimize environmental impacts through the integration of advanced technologies, renewable energy, and eco-friendly practices, transforming them into efficient and sustainable pathways for logistics and operations.

Emphasizing the dynamic nature of transforming traditional transport pathways into sustainable corridors, the chapter advocates modeling as a crucial tool. This encompasses a systematic approach using Petri nets to simulate, analyze, and predict outcomes, facilitating the development of holistic strategies for sustainable transport corridors.

A comprehensive methodological framework is introduced, outlining the steps to develop a Petri net model (E-Net) that integrates sustainability indicators. This framework includes network decomposition, sustainability taxonomy, E-Net construction, parameterization, simulation, analysis, and improvement strategies. It also emphasizes the model's flexibility, adaptability, and its capacity for continuous refinement.

A key contribution of the chapter is the holistic integration of sustainability factors into the transport corridor modeling. This is achieved by standardizing a taxonomy of ITC sustainability (Fig. 7) and quantifying KPIs within the dynamic simulation model. The model serves as a visual platform, enabling stakeholders to understand, identify inefficiencies, test various improvement scenarios, and customize the framework across different corridors.

The chapter posits modeling as an indispensable component of developing sustainable transport corridors, simplifying complex systems, offering predictive insights, and supporting decision-making. It underscores the importance of modeling in ensuring transport corridors are not only efficient but also environmentally friendly, socially inclusive, and economically beneficial.

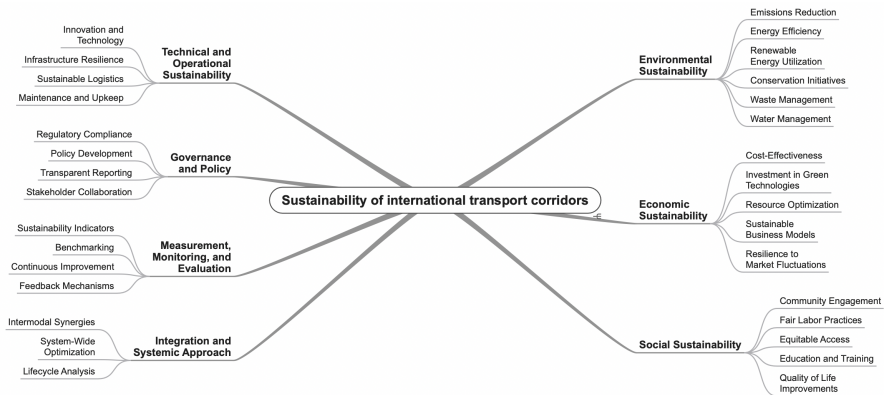


Fig. 7. Taxonomy of sustainability of transport corridors.

The 23 relevant KPIs are proposed for modeling sustainable international transport corridors, covering environmental, social, and economic domains. These indicators provide quantifiable targets and benchmarks for assessing the performance and sustainability of the corridors. The methodology of transformation elementary E-net to the model that takes into account all specified KPIs is proposed (Fig.8).

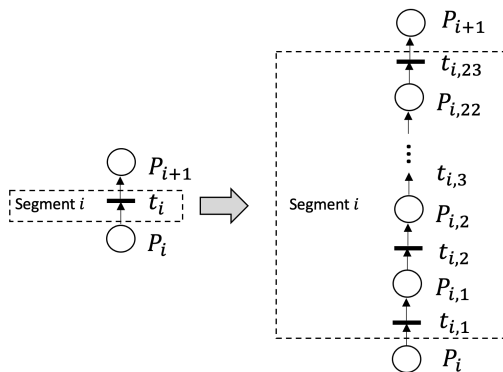


Fig. 8. Transformation of elementary E-Net to complex model of sustainable ITC.

The chapter includes a case study applying the developed methodology to a specific transport corridor, demonstrating its practical application for case study of Kazakhstan.

10.5. Chapter 5. Integrating Smart Mobility Solutions for Sustainability in ITC

Chapter 5 delves into the integration of Smart Mobility Solutions, focusing on intelligent transport systems and mobile service stations (MSS) for auto transport segments of ITC, to foster its sustainability.

The chapter begins by emphasizing the crucial role of ITS and MSS in the green transformation of transport corridors. It presents a novel mathematical framework for assessing the environmental benefits of ITS, aiming to reduce emissions and enhance transport network efficiency. Additionally, it explores the strategic deployment of MSS to ensure continuous and sustainable transport services, using Kazakhstan as a case study.

A significant portion of the chapter is dedicated to illustrating how ITS can revolutionize transport corridors into Green Transport Corridors (GTCs). By integrating advanced sensors, data analytics, and automation technologies, ITS are shown to improve traffic flow, reduce emissions, and enhance overall safety. The discussion extends to the potential of ITS in overcoming traditional barriers faced by corridors, thereby promoting a shift towards sustainability (Fig. 9).

The concept of GTCs as eco-friendly and efficient pathways optimized to minimize environmental footprints is introduced. Unlike conventional corridors, GTCs are designed to integrate sustainable transport modes, eco-friendly infrastructure, and innovative technologies. This section elaborates on the transformation of traditional corridors into GTCs, highlighting the synergistic relationship between technological innovation and infrastructure development.

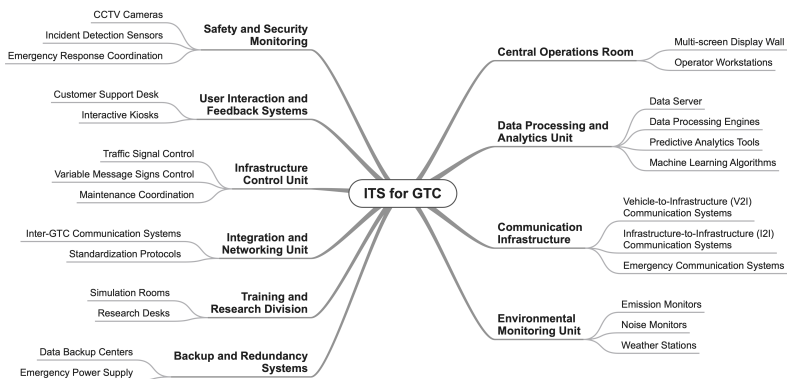


Fig. 9. Taxonomy of ITS application for ITC transformation to GTC.

Central to the GTC ecosystem is the digital layer, where ITS play a pivotal role in streamlining operations and enhancing sustainability. The chapter outlines the components of this digital layer, illustrating how ITS function as the "brain" of GTCs by utilizing real-time data for traffic management, emission reduction, and safety improvements.

A comprehensive mathematical framework is presented for modeling the transition from traditional Transport Corridors to GTCs. This framework involves defining system components, transformation functions, and sustainability parameters, including carbon footprint, renewable energy usage, and sustainability metrics. The objective is to minimize environmental impacts while maintaining efficiency and service quality.

The chapter also addresses the pivotal role of MSS in enhancing the efficiency and sustainability of international road transport corridors. MSS provide essential services such as refueling, maintenance, and logistics support, facilitating the smooth operation of freight and commercial vehicles over long distances. Based on the proposed mathematical model, a real case study for a fragment of the transport corridor of Kazakhstan is considered. As a result of MSS development a patent of the Republic of Kazakhstan for the invention was received.

A detailed technological roadmap is proposed for the transformation of TCs into GTCs, emphasizing the strategic adoption of eco-friendly technologies intelligent traffic management systems. The chapter discusses the practical implementation of these concepts through empirical evidence and case studies.

11. CONCLUSIONS

Chapter 6 of the dissertation brings the study to a conclusion, synthesizing the findings from the previous chapters and offering comprehensive conclusions and actionable recommendations for the development and optimization of international sustainable transport corridors.

The chapter consolidates the insights gathered through the dissertation's exploration of transforming basic transport routes into sustainable corridors. It reiterates the significance of an integrated modeling framework and the strategic role of Kazakhstan in global networks, highlighting the effectiveness of Evaluation Petri Nets (E-nets) for macro-modeling and the integration of ITS and MSS.

A major conclusion is the indispensable role of technology and strategic infrastructure development in achieving sustainable transport solutions. The chapter underscores the synergies between technological innovations and strategic planning in transforming traditional transport corridors into green, efficient, and sustainable pathways.

The chapter outlines several areas for future research, including the further integration of ITS and MSS within transport corridors, exploring the socio-economic impacts of green transport corridors on regional development, and examining policy and regulatory frameworks necessary to support sustainable corridor development.

It emphasizes the importance of assessing the resilience of transport corridors to climate change and exploring adaptive measures to enhance sustainability under varying environmental conditions.

Practical steps for implementing the research findings are provided, suggesting a multifaceted approach that combines policy innovation, technological advancement, stakeholder engagement, and continuous learning. The recommendations aim to guide Kazakhstan and other countries in enhancing the sustainability and efficiency of their transport corridors, contributing to economic growth, regional integration, and environmental sustainability.

PUBLICATIONS WITH AUTHOR'S PARTICIPATION

The results of the research were published in the following journals and conference proceedings (11 indexed by Scopus and Web of Science):

12. Kabashkin I. and Sansyzbayeva Z. (2024) Methodology for International Transport Corridor Macro-Modeling Using Petri Nets at the Early Stages of Corridor Development with Limited Input Data. *Modelling*. 5(1):238-264. <https://doi.org/10.3390/modelling5010013>
13. Kabashkin, I., and Sansyzbayeva Z. (2024) Methodological Framework for Sustainable Transport Corridor Modeling Using Petri Nets. *Sustainability* 16, no. 2: 489. <https://doi.org/10.3390/su16020489> (Scopus)
14. Sansyzbayeva, Z. (2024). The Role of Mobile Service Stations in the International Road Transport Corridors. In: Kabashkin, I., Yatskiv, I., Prentkovskis, O. (eds) *Reliability and Statistics in Transportation and Communication. RelStat 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 913. Springer, Cham pp. 96-107. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53598-7_9 (Scopus)

15. Suleimenov, T.B., Sultanov, T.T., Tlepiyeva, G.M., Sansyzbajeva, Z.K. (2023). Development of logistics services for dry ports in the Eurasian international transport corridors of the Republic of Kazakhstan. AIP Conference Proceedings, 2624(1), 040003. <https://doi.org/10.1063/5.0145609> (Scopus)
16. Mezitis, M., Panchenko, V., Yatsko, S., ...Sidorenko, A., Sansyzbajeva, Z. (2021) Selection of mathematical model of on-board capacity energy storage as element of hybrid traction unit of motor car rolling stock. Journal of measurements in engineering. June 2021, volume 9, issue 2, pp. 71–86. <https://doi.org/10.21595/jme.2021.21818> (Scopus)
17. Strautmanis, G., Filimonikhin, G., Mezitis, M., ...Strautmane, V., Sansyzbajeva, Z. (2021) Modelling of transient and steady-state modes of a vertical rotor with an automatic balancing device. Journal of Vibroengineering. 23(3), pp. 759–769. <https://doi.org/10.21595/jve.2021.21804> (Scopus)
18. Mezitis, M., Muhitovs, R., Arpabekov, M., Sansyzbajeva, Z. Togizbayeva, B., Assiltayev, A. (2020) Optimization of Transport Logistical Flows Between Railway and Urban Passenger Transportation Systems. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure., Part F1382, pp. 28–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_5
19. Mateichyk, V., Tsuman, M., Weigang, G., Sansyzbajeva, Z., Grytsuk, Y. (2020) The Information and Analytical System for Monitoring Roadside Pollution by Traffic Flows. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure., Part F1382, pp. 352–359. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_44. (Scopus)
20. Sultanov, T., Suleimenov, T., Tlepiyeva, G., Sansyzbajeva, Z. (2019) Development of transit potential in conditions of integration of the Republic of Kazakhstan into the world transport system. Volume 149, pp. 430-435. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.158> (Scopus)
21. Ischuka, O., Lomotko, D., Freimane, J., Sansyzbajeva, Z. (2019) Main directions of improvement of the method for calculation of idle time of cars at technical stations. Procedia Computer Science. 149, pp. 475–482. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.165> (Scopus)
22. Mihailovs, F., Sansyzbajeva, Z., Mezitis, M. (2017) Simulation of the Interaction of Railway Station and Harbor. Procedia Computer Science. 104, pp. 222–226. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.117> (Scopus)

Patent:

1. Safonov, V.V., Balabaev, O.T., Gumarov, G.S., Abishev, K.K., Sarzhanov, D.K., Sansyzbayeva, Z.K., & Tyurin, I.Y. (2018). Mobile workshop for repair and maintenance of transport equipment. Patent number: 176416 U1. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39259500>

The results of the research were published in the following journals and conference proceedings (not indexed by Scopus):

12. Kabashkin, I. and Sansyzbayeva, Z. Methodology of Transport Corridor Modeling Using Petri Nets. Encyclopedia. (2024) Available online: <https://encyclopedia.pub/entry/53791> (accessed on 07 February 2024).
13. Sansyzbayeva, Z., & Esenkan, G. (2023). Organization of freight transportation using digital technologies in the transport network. In: J.D. Kurmangaliyeva, U.Sh. Kokaev, & T.T. Sultanov (Eds.), Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions: Proceedings of the XI International Scientific-Practical Conference, Astana, March 16, 2023, pp. 146-150.
14. Volkova, E.M., Sansyzbayeva, Z., & Togizbayeva, B.B. (2022). Principles for assessing the efficiency of transport-hub nodes in urban transport systems. In: G.T. Merzadinova, T.B. Suleimenov, & T.T. Sultanov (Eds.), Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions: Proceedings of the X International Scientific-Practical Conference, Nur-Sultan, March 17, 2022, pp. 189-191.
15. Arpavekov, M., Sansyzbayeva, Z., Mezitis, M., & Assiltayev, A. (2020). Development of activities for the opening of the rail bus route "r/s Nur-Sultan – r/s Nurly-Zhol". In: G.T. Merzadinova, T.B. Suleimenov, & T.T. Sultanov (Eds.), Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions: Proceedings of the VIII International Scientific-Practical Conference, Nur-Sultan, March 20, 2020, pp. 15-18.
16. Sarzhanov, D.K., Balabaev, O.T., Abishev, K.K., Gumarov, G.S., Sansyzbayeva, Z., Mönkeev, A., & Turalhanov, A.E. (2016). Development of a mobile workshop for the repair and maintenance of passenger cars. International Journal of Applied and Fundamental Research, (7), part 3, pp. 372-375.
17. Sansyzbayeva, Z. (2016). Some features of the selection and evaluation of rolling stock. In: Proceedings of the IV International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy: Paths to Innovative Solutions, Astana, dedicated to the 20th anniversary of L.N. Gumilyov Eurasian National University, pp. 555-559.

18. Sansyzbajeva, Z. (2015). Existing approaches and features of evaluating the efficiency of car exploitation. In Proceedings of the III International Scientific-Practical Conference on Current Problems of Transport and Energy and the Ways of Their Innovative Solutions. Astana, 2015, pp. 172-176.
19. Sansyzbajeva, Z. (2014). Some problems in the development of modular educational programs within the Bologna process. In Proceedings of the Scientific-Practical Conference on Designing Modular Educational Programs from a Competency Perspective. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2014, pp. 152-163.
20. Sansyzbajeva, Z., & Balgabekov, T.K. (2014). The influence of repair workers on the efficiency of an automobile enterprise. In Proceedings of the International Scientific-Practical Conference on Innovative Solutions to the Problems of Transport and Energy (pp. 205-208). Astana, 2014, pp. 205-208.
21. Sansyzbajeva, Z. (2014). Some issues in improving the operations of auto enterprises. Herald of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Natural and Technical Sciences Series, (2)99, 217-221.
22. Sansyzbajeva, Z. (2012). Some problems of higher education in the context of globalization. In Proceedings of the Round Table on Modern Problems of Higher and Postgraduate Education in the Republic of Kazakhstan, Astana, 2012, pp. 85-93.
23. Sansyzbajeva, Z. (2010). On some problems of freight auto transport enterprise specialization. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2010, pp. 383-386.
24. Ibrahimov, Z.I., & Sansyzbajeva, Z. (2008). The role of new technologies in education according to the credit system. In Proceedings of the 9th Scientific-Methodological Conference of the L.N. Gumilyov Eurasian National University on Scientific-Methodological and Practical Aspects of the Credit System of Education, Astana, February 8, 2008, pp. 51-53.
25. Arpabekov, M.I., Baubek, A.A., & Sansyzbajeva, Z. (2007). Constructive analysis of loading devices of belt conveyors. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2007, pp. 187-188.

26. Arpabekov, M.I., Bobeev, A.B., & Sansyzbajeva, Z. (2007). Lever compensating coupling with flexible leads. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2007, pp. 197-199.
27. Arpabekov, M.I., Baubek, A.A., & Sansyzbajeva, Z. (2007). Problems of improving the environmental indicators of internal combustion engines. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2007, pp. 176-186.
28. Sansyzbajeva, Z., Arpabekov, M.I., & Baubek, A.A. (2007). The process of purchasing services in the enterprise market. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Modern Architecture, Construction, and Transport: Problems and Prospects of Development, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 2007, pp. 200-202.
29. Sansyzbajeva, Z., & Sigacheva, N.P. (1999). Interaction of market participants in transport services. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Science and Education in the Strategy of Regional Development, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 1999, pp. 57-58.
30. Sansyzbajeva, Z., & Sigacheva, N.P. (1999). The role of the business plan in searching for investors and attracting investment funds. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Mechanical Engineering in the Conditions of Market Economy: Problems and Prospects. Taraz State University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, 1999, pp. 48-49.
31. Sansyzbajeva, Z., & Sigacheva, N.P. (1999). The role of information in the marketing activities of a company. In Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on Mechanical Engineering in the Conditions of Market Economy: Problems and Prospects. Taraz State University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, 1999, pp. 49-51