

Energetska Učinkovitost in Prehod na Alternativne Pogone v Prometnem Sektorju: Analiza Stališč Podjetij v Sloveniji

Energy Efficiency and Transition to Alternative Fuels in the Transport Sector: Analysis of the Points of View of the Slovenian Companies

Erika Blekač[†]

Faculty of Electrical Engineering
and Computer Science
University of Maribor
Maribor, Slovenia
erika.blekac@student.um.si

Irena Lovrenčič Držanič

Faculty of Electrical Engineering
and Computer Science
University of Maribor
Maribor, Slovenia
irena.lovrencic@um.si

Laura Horvat

Faculty of Electrical Engineering
and Computer Science
University of Maribor
Maribor, Slovenia
laura.horvat3@um.si

Giannis Gialelis

Electrical and Computer
Engineering Department
University of Patras
Patras, Greece
gialelis@ece.upatras.gr

Ines Kožuh

Faculty of Electrical Engineering
and Computer Science
University of Maribor
Maribor, Slovenia
ines.kozuh@um.si

Faculty of Social Sciences

University of Ljubljana
Ljubljana, Slovenia
ines.kozuh@fdv.uni-lj.si

Povzetek

Članek izpostavlja negativen vpliv mestnega prometa na okolje in zdravje ter nujnost trajnostne urbane mobilnosti (hoja, kolesarjenje, zeleni javni prevoz, manj osebnih vozil). Predstavlja concept mednarodnega projekta ADCCAM2ZERO, ki uvaja multimodalne, deljene in digitalne rešitve (digitalni dvojčki, ekonomija delitve) ter sistem trgovanja z emisijami. V empiričnem delu predstavimo rezultate analize raziskovalne študije, ki smo jo izvedli v okviru projekta in v kateri smo preverjali stališča predstavnikov podjetij v prometnem sektorju v Sloveniji ter njihovo pripravljenost na prehod k alternativnim pogonom.

Ključne besede

trajnostna urbana mobilnost, energetska učinkovitost, alternativni pogoni, pametna mobilnost, deljena mobilnost

Abstract

*Article Title Footnote needs to be captured as Title Note
[†]Author Footnote to be captured as Author Note

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2025, 6–10 October 2025, Ljubljana, Slovenia
© 2025 Copyright held by the owner/author(s).
http://doi.org/DOI_RECEIVED_AFTER_REVIEW

The article highlights the negative impact of urban transport on the environment and health and the necessity of sustainable urban mobility (walking, cycling, green public transport, fewer passenger vehicles). It is the concept of the international project Adccam2zero, which introduces multimodal, shared and digital solutions (digital twins, division economy) and the emission trading system. In the empirical part, we present the results of analyzing a research study, which we conducted within the project, in which we checked the views of representatives of companies in the transport sector in Slovenia and their readiness to transition to alternative drive.

Keywords

sustainable urban mobility, energy efficiency, alternative powertrains, smart mobility, shared mobility

1 Uvod

Promet močno vpliva na trajnost in kakovost življenja v mestih. Mestna območja se soočajo z onesnaženjem zraka, gnečo, zasedenostjo javnega prostora s prometom ter povečano obolenostjo in smrtnostjo zaradi prometnih nesreč in onesnaženosti. Uporaba fosilnih goriv dodatno podaljšuje škodljive učinke mestnega prometa s prispevanjem h globalnim podnebnim spremembam [1].

Prometni sektor je eden največjih onesnaževalcev in povzročiteljev emisij CO₂. Prispeva skoraj četrtino svetovnih emisij CO₂, povezanih z energijo, pri čemer naj bi se ta delež do leta 2050 povečal na 30 % [2, 3]. Povzroča onesnaženost zraka, slabše zdravje ter neučinkovito rabo virov, kot so visoke cene

nafta in prometni zastoji. Mestni odločevalci pogosto ne upoštevajo vplivov podnebnih sprememb ali pa zanemarijajo alternativne možnosti prevoza in omrežij. Medtem ko mesta še naprej rastejo in se razvijajo, lahko vključijo trajnostno urbanistično zasnovo in mobilnost. V kolikor uvedejo več hoje, kolesarjenja in zelenega javnega prevoza, se obremenitev tradicionalnega in osebne prometa zniža, kar na dolgi rok pomeni večjo dostopnost in udobje za prebivalce [4].

K naslavljanju tovrstnih vprašanj pripomore tudi mednarodni projekt »Adopting CCAM 2ZERO through ADRION Programmed Partnerships« (ADCCAM2ZERO). Gre za projekt v okviru programa Interreg IPA Adriatic, ki spodbuja trajnostno mestno mobilnost in tako prispeva k širšim ciljem strategij Evropske unije za zeleno, pametno in učinkovito prometno prihodnost. Glavni cilj projekta je preoblikovati načine gibanja po mestih z uvedbo trajnostnih, multimodalnih in digitalno podprtih rešitev mobilnosti. Projekt se osredotoča na zmanjševanje prometnih zastojev, onesnaževanja zraka ter prekomernega zanašanja na zasebna vozila z vključevanjem ekonomije delitve, digitalnih orodij, kot so digitalni dvojčki, ter mehanizmov, kot je trženje z ogljikom [5].

V članku predstavljamo rezultate študije, ki smo jo izvedli v okviru projekta ADCCAM2ZERO, z namenom pridobiti vpogled v trenutne trende in izzive na področju energetske učinkovitosti v prometnem sektorju. Osredotočili smo se na tri raziskovalna vprašanja:

1. Kakšno je trenutno stanje energetske učinkovitosti v prometnem sektorju v Sloveniji?
2. Kako podjetja v Sloveniji ocenjujejo potencialne ukrepe za povečanje energetske učinkovitosti?
3. Kakšno je zanimanje podjetij v Sloveniji za prehod na alternativne pogone?

S tem, ko smo iskali odgovore na omenjena vprašanja, bomo lahko bolje razumeli, kako so slovenska podjetja pripravljena na prehod v trajnostne oblike mobilnosti, in s tem posredno prispevali k oblikovanju ustreznih podpornih politik na področju.

2 Trajnostna Urbana Mobilnost in Pametna Mobilnost

Trajnostni razvoj je bil prvič predstavljen s strani Mednarodne zveze za varstvo narave in naravnih virov (IUCN) v študiji, ki sta jo naročila Program Združenih narodov za okolje (UNEP) in Svetovni sklad za naravo (WWF). V dokumentu so avtorji predlagali svetovno strategijo za ohranjanje narave, ki jo je kasneje populariziralo Brundtlandovo poročilo. Glavni cilj načrta je bil izboljšati socialno, ekonomsko in okoljsko kakovost človeških naselij ter bivalno in delovno okolje vseh ljudi, zlasti mestnega in podeželskega prebivalstva v slabšem položaju. Omenjena poročila trajnost razumejo kot strategijo za spodbujanje razvoja, ki ohranja harmoničen odnos med človekom in naravo v smislu socialne vključenosti, gospodarskega razvoja in okoljskega ravnesja [6].

Trajnostna urbana mobilnost se osredotoča na enostavnost, udobje, cenovno dostopnost in dostopnost potovanja do cilja z minimalnim vplivom na okolje in druge. Mobilnost je bistvena za razvoj in rast. Z razvojem rastejo tudi zahteve in pričakovanja po večji mobilnosti, ki nato omogoča večji in bolj raznolik dostop do storitev, širše osebne stike in večjo ozaveščenost o svetu [4].

Pametna mobilnost je raziskovalno področje, ki se uporablja v prometnih omrežjih tako v urbanističnem kot prometnem načrtovanju. Predstavlja integriran, tehnološko podprt pristop k urbani mobilnosti, ki izboljšuje učinkovitost, dostopnost in trajno mobilnost. Vključuje uporabo komunikacijskih in informacijskih tehnologij za optimizacijo prometnih sistemov, spodbuja okolju

prijazne načine potovanja, zmanjšuje zastoje in emisije ter spodbuja bolj racionalen in vključujoč odnos med prebivalci in njihovim urbanim okoljem [7].

Pametna mobilnost je lahko rešitev za nekatere izzive prometnih sistemov, kot so zastoji, omejena dostopnost, povečane emisije in stroški, saj združuje napredne tehnologije za učinkovitejše, varnejše in trajnostne prometne sisteme [8]. Dodatna rešitev je deljena mobilnost, ki pomeni souporabo vozil namesto lastništva [9]. Njen cilj je čim bolj izkoristiti mobilnostne vire, ki si jih družba lahko realno privošči, pri čemer se uporaba loči od lastništva [10].

Prometni sektor predstavlja skoraj tretjino celotne porabe energije v Evropi in ZDA, pri čemer pomemben delež izhaja iz uporabe osebnih avtomobilov z enim potnikom. Čeprav osebni avtomobili ponujajo prednosti, kot so udobje, razpoložljivost in prilagodljivost, so večino časa parkirani, povprečna zasedenost pa je nizka, okoli 1,5 osebe na avtomobil. Souporaba prevoza, kot sta skupna vožnja ali deljenje avtomobilov, lahko poveča zasedenost vozil, zmanjša število vozil na cestah, zmanjša prometne zastoje, potrebo po parkiriščih in emisije [10].

V mestnih območjih je večina poti kratkih in jih je mogoče opraviti peš. Drugi največji delež poti je srednje dolžine in jih je najbolje opraviti z avtobusom ali kolesom. Najmanjši delež poti je dolgih, kjer je uporaba avtomobila ali metroja primerna. V večjih mestih je optimalno imeti uravnoteženo kombinacijo prometnih načinov, ki odražajo razdalje, ki jih prebivalci običajno prepotujejo. Multimodalna mobilnost pomeni kombiniranje več prometnih načinov znotraj ene poti [11].

S spodbujanjem uporabe javnega prevoza, nemotoriziranih načinov in deljenih mobilnostnih storitev lahko multimodalna mobilnost zmanjša odvisnost od osebnih avtomobilov, ublaži zastoje in izboljša kakovost zraka. Prav tako lahko izboljša dostopnost in prispeva k družbeni pravičnosti [12].

Upravljanje urbane mobilnosti v rastočih mestih zahteva spremljanje prometa za takojšnje sprejemanje odločitev, ki temeljijo na konkretnih podatkih [13]. Tehnologija digitalnih dvojčkov vključuje ustvarjanje virtualne predstavitve fizičnega sistema, ki omogoča simulacijo, spremljanje in optimizacijo realnih procesov [14, 15].

Mestni digitalni dvojčki so virtualne replike mest, ki jih v realnem času informirajo procesi, ki se dogajajo v resničnem mestu prek povezav s podatki v živo. Omogočajo analizo različnih področij, kot so obvladovanje nesreč, prometni nadzor in energetska učinkovitost [16]. Lahko koristijo javni upravi z zmanjšanjem prometnih zastojev ob konicah, identifikacijo lokacij za nove kolesarske steze, izboljšanjem javnega prevoza in ocenjevanjem vpliva novih mobilnostnih rešitev. Digitalni dvojčki mest omogočajo tudi virtualno testiranje različnih scenarijev in možnih rešitev [17].

Kot je bilo že omenjeno, je prometni sektor velik vir emisij, izboljšave učinkovitosti novih vozil pa niso bile zadostne za zmanjšanje skupnih emisij, povezanih s prometom [18]. Urbani javni prevoz lahko sodeluje v sistemu trgovanja z emisijami, s čimer lahko podjetja za javni prevoz pridobijo prihodke in hkrati zmanjšajo svoje emisije [19].

Trgovanje z emisijami, znano tudi kot sistem trgovanja z ogljikom, je politično orodje za spodbujanje zmanjševanja emisij z uporabo tržnega mehanizma. Določa se omejeno število emisijskih kuponov, ki jih delijo med onesnaževalce, ti pa lahko med seboj trgujejo s temi dovoljenji. Ob koncu obračunskega obdobja so podjetja, ki presežejo dovoljeno raven emisij, kaznovana z visokimi globami ali pa morajo kupiti dovoljenja od podjetij, ki so ustvarila manj emisij, kot je dovoljeno [20, 21].

3 Metodologija

3.1 Postopek Zbiranja Podatkov in Vzorec

V okviru projekta ADCCAM2ZERO, ki naslavlja izzive trajnostne in pametne mobilnosti v mestih, smo izvedli empirično raziskavo, ki je bila usmerjena v analizo prometnega sektorja v vseh državah partneric projekta. V Sloveniji smo se pri zbiranju podatkov osredotočili na Štajersko regijo, s poudarkom na občini Hoče-Slivnica, ki je sicer pridružen partner v projektu. Cilj raziskave je bil pridobiti vpogled v prakse, izzive in potencialne podjetij, ki delujejo na področju prevoza oseb, tovarov in komercialnega podjetja, z vidika ustvarjanja pametnih in trajnostnih mobilnostnih rešitev.

Zbiranje podatkov v Sloveniji je potekalo med 28. januarjem in 18. februarjem 2025. Na začetku je bil spletni anketni vprašalnik posredovan izbranim podjetjem iz prometnega sektorja, ki delujejo na območju občine Hoče-Slivnica. V prvi fazi smo kontaktirali 9 podjetij, ki spadajo v sektorje letalske industrije, logistike, prevoznništva in transporta. Zaradi nezadostnega odziva smo nabor potencialnih udeležencev razširili na območje Mestne občine Maribor ter širše območje Podravske regije. V tej fazi smo dodatno kontaktirali 3 podjetja, ki delujejo na področjih mestnega potniškega prometa, prometne mobilnosti, trajnostnega prometa ter prometnega načrtovanja.

V nadaljevanju smo vzorec razširili na celotno območje Slovenije. Identificirana so bila podjetja, ki delujejo na področjih železniškega prometa, avtobusnih prevozov, cestnega tovornega in potniškega prometa, taksi storitev, avtošol, dostavnih storitev ter logistike. V tej fazi je bilo kontaktiranih 141 podjetij. Skupno smo torej vzpostavili stik s 153 podjetji po vsej Sloveniji, ki delujejo v različnih segmentih prometne dejavnosti.

V zadnjem koraku smo 64 podjetjem naknadno poslali opomnik po elektronski pošti, 31 podjetij pa smo dodatno kontaktirali tudi telefonsko. Kljub navedenim prizadevanjem je spletni vprašalnik v celoti izpolnilo 12 podjetij.

3.2 Merski Instrument

Za zbiranje podatkov smo uporabili vprašalnik, ki je zajemal 80 vprašanj. Ta so bila razdeljena v več delov in s tem prilagojena različnim ciljnim javnostim. Anketirance smo tako prosili, da izpolnijo le tista poglavja, ki so se nanašala na njihovo dejavnost. Prvi del vprašalnika je vseboval osnovne podatke o podjetju, kot so naziv, lokacija, sektor in velikost podjetja. V drugem delu so se vprašanja delila glede na klasifikacijo po prometnem sektorju, kot je npr. javni prevoz, cestni promet in zračni promet, sama vprašanja pa so se navezovala na osnovne podatke o delovanju podjetja. Tretji del vprašalnika je vseboval vprašanja o energetske učinkovitosti, četrti del pa je bil namenjen predstavnikom občin ali regijskih oblasti, in je vseboval vprašanja o splošnih demografskih informacij, o trenutnem stanju brezemisijskega prometa, o trenutnem stanju povezane kooperativne avtomatizirane mobilnosti, o splošni mobilnosti, ter odprta vprašanja za priporočila in potrebe.

4 Rezultati

4.1 Sociodemografsko Ozadje Vzorčnih Enot

V raziskavi je sodelovalo 12 podjetij, pri čemer jih je bilo največ iz Maribora ($n=4$). Dve podjetji sta prihajali iz Hoč, po eno pa iz Ljubljane, Murske Sobote, Preserij, Lenarta, Tišine in Rogoze. V raziskavo se je vključilo devet zasebnih in tri javna podjetja.

Glede na velikost je bilo največ mikropodjetij ($n=7$), sledila so velika podjetja ($n=3$), ter po eno malo in srednje veliko podjetje.

Glede na dejavnost v prometnem sektorju je osem podjetij delovalo na področju cestnega prometa, tri v logistiki in eno v javnem prevozu, na področju regionalnega prevoznništva.

4.2 RV1: Trenutno Stanje Energetske Učinkovitosti v Prometnem Sektorju v Sloveniji

Analiza zbranih podatkov je pokazala, da so podjetja v Sloveniji seznanjena z različnimi ukrepi za izboljšanje energetske učinkovitosti, kot so subvencije in nepovratna sredstva za energetske učinkovitost, regulacije, uporaba električnih in brezemisijskih vozil, ekološka vožnja, optimizacija logistike, ter spremljanje in zmanjšanje ogljičnega odtisa. Omenili so tudi ukrepe na področju stavb, kot so izolacija in energetske pasivne zgradbe, učinkovita razsvetljava ter napredni merilni sistemi za spremljanje porabe energije. Glede usposabljanja zaposlenih za energetske učinkovitost dve podjetji nista izvedli nobenega usposabljanja, dve podjetji sta usposabljali zaposlene za ekološko vožnjo, eno podjetje za uporabo inovativnih tehnologij za varčevanje z energijo, šest podjetij pa za varčevanje z energijo na delovnem mestu. Eno podjetje je izvedlo tudi usposabljanje o količinskih opredelitvah prihrankov energije.

Kot ključne izzive v sektorju so predstavniki podjetij navajali predvsem draženje energentov, potrebo po zmanjšanju ogljičnega odtisa, pomanjkanje voznikov, delo na terenu, optimalne nastavitve motorjev ter splošno varčno rabo energije. Na vprašanje, kako ti izzivi vplivajo na njihovo delovanje, je večina podjetij odgovorila negativno, in so sicer izpostavili rast stroškov, ogrožen obstoj podjetja, težko modernizacijo in potrebo po optimizaciji notranjih virov. Nekatera podjetja pa so izpostavila tudi pozitivne učinke, kot so dolgoročne koristi, povečanje obsega storitev in večja odpornost na izzive. Eno podjetje je navedlo nevtralen vpliv, in sicer da se trudijo prilagoditi razmeram in v to smer tudi spodbujajo partnerje in odjemalce. Nekatera podjetja pa na to vprašanje niso podala odgovora.

4.3 RV2: Ocena Potencialnih Ukrepov za Povečanje Energetske Učinkovitosti

Podjetja različno ocenjujejo potencialne ukrepe za povečanje energetske učinkovitosti, pri čemer kot najbolj učinkovite navajajo finančne spodbude in podporno infrastrukturo. Po mnenju podjetij imajo največji potencial za izboljšave novi in enostavnejši viri financiranja za tehnologije z nižjimi emisijami CO₂, ter povečanje števila polnilnih postaj. Približno tretjina anketiranih podjetij ocenjuje, da bi novi viri financiranja za uvedbo novih tehnologij imeli močan ali celo največji učinek. Podobno velja tudi za enostavnejši dostop do financiranja za vozila z nižjimi emisijami, ki ga več kot polovica podjetij vidi kot učinkovit ukrep.

Povečanje števila polnilnih postaj podjetja prav tako ocenjujejo kot pomembno spodbudo, čeprav se nekoliko več podjetij nagiba k oceni, da bi ta ukrep imel le srednji vpliv. Možnost, da se ne bi uvedli novi ukrepi in bi podjetja nadaljevala s poslovanjem kot običajno, pa večina podjetij ocenjuje kot neučinkovito.

4.4 RV3: Zanimanje Podjetij v Sloveniji za Prehod na Alternativne Pogone

V podjetjih, vključenih v raziskavo, uporabljajo raznolik vozni park, ki vključuje osebna, tovorna in delovna vozila, avtobuse, motorna kolesa, električna kolesa in večkolesnike. Predstavniki podjetij so najpogosteje navajali osebna in tovorna vozila. Večina vozil je bila kupljena z lastnimi sredstvi, nekatera podjetja pa so uporabila tudi leasing, najem, posojila ter sofinanciranje.

Podjetja za svoja vozila večinoma uporabljajo dizel ($n=8$) in bencin ($n=2$), navedena pa je bilo tudi eno električno vozilo in eno vozilo na utekočinjen naftni plin. Na vprašanje, če razmišljajo o prehodu na alternativne vrste goriva, je pet podjetij odgovorilo z da, štiri z ne, eno je delno naklonjeno spremembi, eno pa se še odloča. Med nadomestnimi gorivi se je pojavljala vodik, ki ga je izbralo pet podjetij. Sledita elektrika ($n=3$) in hibridni pogon ($n=2$), utekočinjen naftni plin in druge možnosti pa so prisotne v manjšem obsegu ($n=1$).

5 Diskusija in Zaključek

Naš namen je bil pridobiti vpogled v trenutne trende na področju energetske učinkovitosti v prometnem sektorju ter v praksi, izzive in potencialne podjetij, ki delujejo na področju prevoza oseb, tovarov in komercialnih storitev v Sloveniji. Posebno pozornost smo posvetili energetske učinkovitosti, prehodu na nizko- in brezemisijske vire ter oceni ukrepov, ki bi lahko pospešili trajnostno mobilnost. S pomočjo spletnega anketnega vprašalnika smo želeli identificirati ključne ovire in spodbude, ki vplivajo na sprejem trajnostnih praks v prometnem sektorju.

Podjetja so seznanjena z ukrepi za energetske učinkovitost (subvencije, električna vozila, optimizacija logistike), vendar jih implementirajo z različno hitrostjo, kar kaže na potrebo po bolj ciljanih usposabljanjih. Največji potencial za izboljšanje energetske učinkovitosti podjetja vidijo v finančnih spodbudah in podporni infrastrukturi, predvsem novih virih financiranja za tehnologije z nižjimi emisijami ter širitvi polnilnih postaj. Ugotovili smo, da je zanimanje za alternativne pogone raznoliko, vendar večina trenutno še vedno uporablja dizel in bencin, kar bi lahko nakazovalo na infrastrukturne in finančne ovire.

Oblikovanje ciljanih finančnih shem in lažja dostopnost do kreditov bi pospešila vlaganja v nizkoemisijske tehnologije. Še ena praktična implementacija bi lahko bila širitev in enotna mreža polnilnih (električnih in vodikovih) postaj znotraj regije ali po celotni Sloveniji, ki bi zmanjšala infrastrukturne prepreke in spodbudila operaterje k prehodu.

Ena izmed najpomembnejših omejitev raziskave je nizek odzivni delež udeležencev (7,8%), ki omejuje reprezentativnost rezultatov in otežuje širšo generalizacijo. Vzorec prevladujejo majhna in mikropodjetja iz cestnega prometa, medtem ko so drugi segmenti podzastopani. Zbiranje podatkov je bilo izvedeno v kratkem časovnem oknu, brez možnosti dolgoročnega spremljanja sprememb praks in mnenj.

V prihodnjih raziskavah na področju energetske učinkovitosti v prometnem sektorju priporočamo, da raziskovalci izvedejo longitudinalno študijo, ki bi spremljala implementacijo ukrepov in spreminjanje stališč sodelujočih podjetij skozi čas. V sklopu raziskave poudarjamo še vključitev dodatnih kvalitativnih metod – na primer intervjuji s predstavniki podjetij, ki bi omogočili globlji vpogled v specifične izzive posameznih segmentov, podjetij ter njihovih oddelkov, ki skrbijo za predstavljeno področje. Razširitev raziskave na vse regije Slovenije bi omogočila primerjavo praks in razvoj nacionalnih smernic za trajnostno mobilnost.

6 Zahvala

Delo je bilo financirano iz projekta ADCCAM2ZERO (Adopting CCAM 2ZERO through ADRION Programmed Partnerships) v okviru programa Interreg IPA ADRION, št. pogodbe IPA-ADRION00215. Izvedbo študije je prav tako podprla Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije, št. pogodbe P5-0399 (programska skupina Internetno raziskovanje).

Literatura

- [1] Hana Brůhová Foltýnová, Eliška Vejchodská, Kristýna Rybová, and Viktor Květoň. 2020. Sustainable urban mobility: One definition, different stakeholders' opinions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102465.
- [2] Aleksy Kwilinski, Oleksii Lyulyov, and Tetyana Pimonenko. 2024. Reducing transport sector CO₂ emissions patterns: Environmental technologies and renewable energy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, 10, 1, 25.
- [3] DNV. 2023. *Transport in Transition*. Pridobljeno iz DNV: <https://www.dnv.com/Publications/transport-in-transition-242808/>
- [4] Debra Lam and Peter Head. 2012. Sustainable urban mobility. In O. Inderwildi and S. King (Eds.), *Energy, Transport, & the Environment* (pp. 359–371). Springer, London, UK.
- [5] Interreg-IPA ADRION, n.d. Project summary: Adopting CCAM 2ZERO. Available at: <https://adccam2zero.interreg-ipa-adrion.eu/> [accessed 11 Aug 2025].
- [6] Juan de Dios Ortúzar. 2019. Sustainable urban mobility: What can be done to achieve it? *Journal of the Indian Institute of Science*, 99, 5, 683–693.
- [7] Can Biyik, Ahmad Abaresi, Alexander Paz, Rosa Arce Ruiz, Rosaria Battarra, Christopher D. F. Rogers, and Carmen Lizarraga. 2021. Smart mobility adoption: A review of the literature. *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, 7, 3, 170.
- [8] Douglas Miteika, Rose Luke, Hossana Twinomurizi, and Joash Mageto. 2023. Smart mobility in urban areas: A bibliometric review and research agenda. *Sustainability*, 15, 5, 4201.
- [9] Georgina Santos. 2018. Sustainability and shared mobility models. In *Sustainable Transport: Transport, Environment, and Development*. Routledge, London, UK.
- [10] Cláudia A. Soares Machado, Nicolas Patrick Marie De Salles Hue, Fernando Tobal Berssaneti, and José Alberto Quintanilha. 2019. An overview of shared mobility. In *Smart Mobility for Future Cities*. Springer, Cham, Switzerland.
- [11] Luis G. Orzco, Luca Alessandretti, Mehdi Saberi, Márton Szell, and Fabio Battiston. 2023. Multimodal urban mobility and multilayer transport network. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50, 5, 2038–2070.
- [12] Rahul Tanwar and Pradeep Kumar Agarwal. 2025. Multimodal integration in India: Opportunities, challenges and strategies for sustainable urban mobility. *Multimodal Transportation*, 7, 100210.
- [13] Eleni Aloupogianni, Faiyaz Doctor, Charalampos Karyotis, Tomasz Maniak, Raymond Tang, and Rahat Iqbal. 2024. An AI-based Digital Twin Framework for Intelligence Traffic Management in Singapore. In *Proceedings of the IV International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET 2024)*. IEEE, Sydney, Australia, 1–6.
- [14] Hyeokju Yeon, Taebum Eom, Kitae Jang, and Jiho Yeo. 2023. DTUMOS, digital twin for large-scale urban mobility operating system. *Scientific Reports*, 13, 12345.
- [15] Andrea Grotto, Pau Fonseca i Casas, Alyona Zubaryeva, and Wolfram Sparber. 2024. Formalizing sustainable urban mobility management: An innovative approach with digital twin and integrated modeling. *Logistics*, 8, 1, 17.
- [16] Gleb Papyshev and Masaru Yarime. 2021. Exploring city digital twins as policy tools: A task-based approach to generating synthetic data on urban mobility. *Data & Policy*, 3, e16.
- [17] Chiara Bachechi. 2022. Digital Twins for Urban Mobility. In *Proceedings of the European Conference on Advances in Databases and Information Systems*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 657–665.
- [18] Ville Uusitalo, Antti Huttunen, Elina Kareinen, Thomas V. Wright, Markus Valjakka, Antti Pitkanen, and Jari Levanen. 2022. Using personal carbon trading to reduce mobility emissions: A pilot in the Finnish city of Lahti. *Transport Policy*, 119, 177–187.
- [19] Xiangyang Yu and Xiaojing Wang. 2023. Research on carbon-trading model of urban public transport based on blockchain technology. *Energies*, 16, 2606.
- [20] Boqiang Lin and Chenchen Huang. 2022. Analysis of emission reduction effects of carbon trading: Market mechanism or government intervention? *Sustainable Production and Consumption*, 30, 28–37.
- [21] Arezou Entezaminia, Ali Gharbi, and Mustapha Ouhimmou. 2021. A joint production and carbon trading policy for unreliable manufacturing systems under cap-and-trade regulation. *Journal of Cleaner Production*, 321, 125973.