



KONFERENCIAKÖTET

Conference Proceedings

**Nemzetközi tudományos konferencia
a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából**

International Scientific Conference
on the Occasion of the Hungarian Science Festival

Sopron, 2025. november 6.

6 November 2025, Sopron

**FEJLŐDÉSI PÁLYÁK ÉS ÚJ TÖRÉSVONALAK A
FENNTARTHATÓSÁGI ÁTMENET IDŐSZAKÁBAN**

DEVELOPMENT TRAJECTORIES AND NEW DIVIDES IN TIMES OF SUSTAINABILITY TRANSITIONS

Szerkesztők / Editors:

RESPERGER Richárd, SZÉLES Zsuzsanna, TÓTH Balázs István

Nemzetközi tudományos konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából
International Scientific Conference on the Occasion of the Hungarian Science Festival

Sopron, 2025. november 6. / 6 November 2025, Sopron

**FEJLŐDÉSI PÁLYÁK ÉS ÚJ TÖRÉSVONALAK A
FENNTARTHATÓSÁGI ÁTMENET IDŐSZAKÁBAN**
DEVELOPMENT TRAJECTORIES AND NEW DIVIDES
IN TIMES OF SUSTAINABILITY TRANSITIONS

KONFERENCIAKÖTET
CONFERENCE PROCEEDINGS

LEKTORÁLT TANULMÁNYOK / PEER-REVIEWED PAPERS

Szerkesztők / Editors:

RESPERGER Richárd – SZÉLES Zsuzsanna – TÓTH Balázs István



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

UNIVERSITY OF SOPRON PRESS

SOPRON, 2026



JUBILEUMI
TUDOMÁNYÜNNEP
2025



SCIENCE
JUBILEE
2025

Mottó: „200 év a tudás és a társadalom szolgálatában”
/ Motto: „200 years to knowledge and service to society”



**MAGYAR
TUDOMÁNY
ÉVE 2025/2026**

Felelős kiadó / Executive Publisher: Prof. Dr. FÁBIÁN Attila
a Soproni Egyetem rektora / Rector of the University of Sopron

Szerkesztők / Editors:

Dr. RESPERGER Richárd, Prof. Dr. SZÉLES Zsuzsanna, Dr. habil. TÓTH Balázs István

Lektorok / Reviewers:

Dr. BARTÓK István, BAZSÓNÉ Dr. BERTALAN Laura, Dr. BEDNÁRIK Éva,
Dr. CZIRÁKI Gábor, Dr. DIÓSSI Katalin, Dr. habil. BARANYI Aranka,
Dr. habil. JANKÓ Ferenc, Dr. habil. JUHÁSZ Tímea, Dr. habil. PAÁR Dávid,
Dr. habil. PAPP-VÁRY Árpád, Dr. habil. SZABÓ Zoltán, Dr. habil. TÓTH Balázs István,
Dr. HOSCHEK Mónika, Dr. KARNER Cecília, Dr. KERESZTES Gábor,
Dr. habil. KOLOSZÁR László, Dr. KÓPHÁZI Andrea, Dr. MÉSZÁROS Katalin,
Dr. NÉMETH Nikoletta, Prof. Dr. OBÁDOVICS Csilla, Dr. PALANCSA Attila,
PAPPNÉ Dr. VANCSÓ Judit, Dr. RESPERGER Richárd, Prof. Dr. SZÉKELY Csaba,
Prof. Dr. SZÉLES Zsuzsanna, Dr. SZÓKA Károly, Dr. TAKÁTS Alexandra

Tördelőszerkesztő / Layout Editor: Dr. RESPERGER Richárd

ISBN 978-963-334-579-5 (pdf)

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-579-5>

A kötetben közölt tanulmányok tartalmáért kizárólag a szerzők felelősek.
/ The authors are solely responsible for the content of the papers published in this volume.

Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED



Nevezd meg! - Ne add el! - Így add tovább! 4.0 Nemzetközi
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

SZERVEZŐK

Soproni Egyetem Lámfalussy Sándor Közgazdaságtudományi Kar (SOE LKK),
A Soproni Felsőoktatásért Alapítvány

A konferencia elnöke: Prof. Dr. SZÉLES Zsuzsanna PhD egyetemi tanár, dékán (SOE LKK)

A konferencia Tudományos Bizottsága:

- Prof. Dr. FÁBIÁN Attila PhD egyetemi tanár (SOE LKK); a Soproni Egyetem rektora;
- Prof. Dr. KULCSÁR László CSc professzor emeritus (SOE LKK);
- Prof. Dr. OBÁDOVICS Csilla PhD egyetemi tanár, Doktori Iskola-vezető (SOE LKK);
- Prof. Dr. SZALAY László DSc egyetemi tanár (SOE LKK);
- Prof. Dr. SZÉKELY Csaba DSc professzor emeritus (SOE LKK);
- Prof. Dr. SZÉLES Zsuzsanna PhD egyetemi tanár (SOE LKK);
- Prof. Dr. Clemens JÄGER PhD egyetemi tanár, dékán (FOM Közgazdaságtudományi és Menedzsment Egyetem, Essen, Németország), c. egyetemi tanár (SOE);
- Prof. Dr. Alfreda ŠAPKAUSKIENĖ PhD egyetemi tanár (Vilniusi Egyetem, Közgazdaságtudományi Kar, Litvánia);
- Dr. habil. BARANYI Aranka PhD egyetemi docens (SOE LKK);
- Dr. habil. KOLOSZÁR László PhD egyetemi docens (SOE LKK);
- Dr. habil. PAPP-VÁRY Árpád Ferenc tudományos főmunkatárs (SOE LKK);
- Dr. habil. POGÁTSA Zoltán PhD egyetemi docens (SOE LKK);
- Dr. habil. SZABÓ Zoltán PhD egyetemi docens (SOE LKK);
- Dr. habil. TÓTH Balázs István PhD egyetemi docens, a Lámfalussy Kutatóközpont igazgatója (SOE LKK);
- Dr. habil. Eva JANČÍKOVÁ PhD egyetemi docens (Pozsonyi Közgazdaságtudományi Egyetem, Nemzetközi Kapcsolatok Kar, Szlovákia);
- Dr. Rudolf KUCHARČÍK PhD egyetemi docens, dékán (Pozsonyi Közgazdaságtudományi Egyetem, Nemzetközi Kapcsolatok Kar, Szlovákia).

A konferencia Szervező Bizottsága:

- Dr. MÉSZÁROS Katalin PhD egyetemi docens, dékánhelyettes (SOE LKK)
- PAPPNÉ Dr. VANCSÓ Judit PhD egyetemi docens, intézetigazgató, dékánhelyettes (SOE LKK);
- Dr. HOSCHEK Mónika PhD egyetemi docens, intézetigazgató (SOE LKK);
- Dr. NÉMETH Nikoletta PhD egyetemi docens, intézetigazgató (SOE LKK);
- Dr. BARTÓK István János PhD egyetemi docens (SOE LKK);
- Dr. SZÓKA Károly PhD egyetemi docens (SOE LKK);
- Dr. DIÓSSI Katalin PhD adjunktus (SOE LKK);
- Dr. RESPERGER Richárd PhD adjunktus (SOE LKK).

ORGANIZERS

University of Sopron, Alexandre Lamfalussy Faculty of Economics (SOE LKK),
For the Higher Education in Sopron Foundation

Conference Chairperson: Prof. Dr. Zsuzsanna SZÉLES PhD Professor, Dean (SOE LKK)

Scientific Committee:

- Prof. Dr. Attila FÁBIÁN PhD Professor (SOE LKK), Rector of the University of Sopron;
- Prof. Dr. László KULCSÁR CSc Professor Emeritus (SOE LKK);
- Prof. Dr. Csilla OBÁDOVICS PhD Professor, Head of Doctoral School (SOE LKK);
- Prof. Dr. László SZALAY DSc Professor (SOE LKK);
- Prof. Dr. Csaba SZÉKELY DSc Professor Emeritus (SOE LKK);
- Prof. Dr. Zsuzsanna SZÉLES PhD Professor, Dean (SOE LKK);
- Prof. Dr. Clemens JÄGER PhD Professor, Dean (FOM University of Applied Sciences for Economics and Management, Essen, Germany), Honorary Professor (SOE);
- Prof. Dr. Alfrida ŠAPKAUSKIENĖ PhD Professor (Vilnius University, Faculty of Economics and Business Administration, Lithuania);
- Dr. habil. Aranka BARANYI PhD Associate Professor (SOE LKK);
- Dr. habil. Árpád Ferenc PAPP-VÁRY PhD Senior Research Fellow (SOE LKK);
- Dr. habil. Zoltán POGÁTSA PhD Associate Professor (SOE LKK);
- Dr. habil. Zoltán SZABÓ PhD Associate Professor (SOE LKK);
- Dr. habil. Balázs István TÓTH PhD Associate Professor, Director of the Lamfalussy Research Centre (SOE LKK);
- Dr. habil. Eva JANČÍKOVÁ PhD Associate Professor (University of Economics in Bratislava, Faculty of International Relations, Slovakia);
- Dr. Rudolf KUCHARČÍK PhD Associate Professor, Dean (University of Economics in Bratislava, Faculty of International Relations, Slovakia).

Organizing Committee:

- Dr. Judit PAPPNÉ VANCSÓ PhD Associate Professor, Director of Institute, Vice Dean (SOE LKK);
- Dr. Tamás PIRGER PhD Assistant Professor, Vice Dean (SOE LKK);
- Dr. Mónika HOSCHEK PhD Associate Professor, Director of Institute (SOE LKK);
- Dr. Nikoletta NÉMETH PhD Associate Professor, Director of Institute (SOE LKK);
- Dr. István János BARTÓK PhD Associate Professor (SOE LKK);
- Dr. Gábor KERESZTES PhD Associate Professor, Vice Dean (SOE LKK);
- Dr. habil. László KOLOSZÁR PhD Associate Professor (SOE LKK);
- Dr. Károly SZÓKA PhD Associate Professor (SOE LKK);
- Dr. Katalin DIÓSSI PhD Assistant Professor (SOE LKK);
- Dr. Richárd RESPERGER PhD Assistant Professor (SOE LKK).

TARTALOMJEGYZÉK / CONTENTS

1. szekció: Társadalmi kihívások és társadalmi innovációk

Session 1: Social Challenges and Social Innovations

Társadalmi törésvonalak és reziliencia az egyszülős családok körében BUJDOSÓ-KURUCSÓ Alexandra	12
A 70 az új 60? Kit tartunk idősnek napjainkban? TRUNKOS Ildikó	20
Alternatives, Challenges, and Opportunities in the Automotive Industry of the 21st Century János Pál PÁTZAY – Máté NAGY	29
Informális gazdasági kapcsolatok a vidéki térségekben Magyarországon. Összehasonlító vizsgálat, 1998–2024 KULCSÁR László – David L. BROWN – OBÁDOVICS Csilla	38
A nagy nyelvi modellek kreativitásának kérdései a kreatív problémamegoldás tükrében - Koncepcionális kiindulópontok DROBNY-BURJÁN Andrea	47

2. szekció: Turizmus és marketing, fenntartható turizmus

Session 2: Tourism and Marketing, Sustainable Tourism

Petfluencer marketing: Kisállatok mint véleményvezérek a közösségimédia marketingben – Tika the Iggy kutya influencer és Marta Sierra humán influencer Instagram-aktivitásának összehasonlító tartalomelemzése DINGFELDER Patrícia – PAPP-VÁRY Árpád Ferenc	59
Kötelező láthatóságból stratégiai kommunikáció: a hazai fejlesztési programok kommunikációs csomagjainak összehasonlító elemzése HIDASAI Andrea	69
Az élményalapú fenntartható agroturizmus témában végzett bibliometriai áttekintés Az élményalapú fenntartható agroturizmus témában végzett bibliometriai áttekintés BOGNÁR Éva – HOSCHEK Mónika – DUNAY Anna	82
Sztárfutballisták márkaépítése a közösségi médiában – Kvalitatív vizsgálat a digitális jelenlét, a hitelesség és a piaci érték kapcsolatáról MOLNÁR Dominik – PAPP-VÁRY Árpád Ferenc	94
Egy magyar futballszár és személyes márkájának felemelkedése – Szoboszlai Dominik márkaépítésének elemzése a digitális és sportpiaci térben KORIM Dorina – PAPP-VÁRY Árpád Ferenc	111

3. szekció: Fenntarthatósági átmenet és digitális innovációk

Session 3: Sustainability Transition and Digital Innovations

Adatvezérelt fenntarthatóság: ellátási lánc szimulációs labor a zöld döntés szolgálatában SALUSINSZKY András – BUDAI László	127
Sárvár városi erdeinek klímavédelmi szerepe a fenntarthatósági átmenet tükrében KIRÁLY Éva – BOROVIKCS Attila	138
Digitális fejlesztésekkel megoldható környezeti fenntarthatóságot érintő kihívások a hazai agrárinnovációs ökoszisztémával összefüggésben HOLÁN Balázs – SZÓKA Károly – RADÁCSI László	155
Digitalizációs attitűd vizsgálata egyetemi hallgatók körében KERESZTES Gábor – NÉMETH Nikoletta – MÉSZÁROS Katalin	172

4. szekció: Fenntartható pénzügyek – Fenntartható gazdálkodás

Session 4: Sustainable Finance – Sustainable Management

Az ESG múltja, jelene és jövője a magyarországi vállalatok életében SZABÓ Csaba	186
Zöld szemlélet a Soproni Egyetemen NÉMETH Nikoletta – MÉSZÁROS Katalin	201
A fenntartható közúti áruszállítás járművei: kihívások és lehetőségek EGERVÁRI István	213
A várostervezés új kihívásai OSZVALD Ferenc Nándor	227

5. szekció: Global and Regional Aspects of Sustainable Development

Session 5: Global and Regional Aspects of Sustainable Development

Sociocultural Influences on Green Transition: Community Resilience and the Solar Energy Shift in Lebanon Nadine AL AMINE	241
From Barriers to Action: Individual Responsibility and Solutions for Selective Waste Collection in Western Hungary Boglárka KONKA – Veronika LÁSZLÓ – Andrea Magda NAGY – Stefánia Matild TÖREKI – Zsuzsa DARIDA	254
Digital Twins in Sustainable Supply Chain Management: An Exploratory Cross-Case Analysis Magdalena WITTMANN	266
Bridging the Divide: A Systematic Literature Review of Sustainability Pathways for SMEs in Sub-Saharan Africa Amid Global Sustainability Transitions Eulalia ANG'EDU – Katalin DIÓSSI	278

Intermodal Transport, Sustainability, and Security Challenges in South Africa's Automotive Logistics

Anikó RICHTER – Csaba I. HENCZ 296

6. szekció: Sustainable Economy and Management (személyes)

Session 6: Sustainable Economy and Management (in-person)

Toward Zero Waste: Applying the 9R Framework in Sustainable Event Management

Katalin VIGH – Katalin DIÓSSI 308

Essential Steps in Sustainable Corporate Event Management

Katalin VIGH – Katalin DIÓSSI 318

Exploring the Impact of Mountain Tourism Facilities and Activities on Domestic Tourism Consumption and Sustainability of Local Community Livelihoods Community: A Literature Review

Deborah KANGAI – Árpád Ferenc PAPP-VÁRY – Viktória SZENTE 326

Sustainability by Design: User Experience Strategies in Green Tourism Marketing

Nawres DHOUB – Éva BEDNÁRIK 340

Integrált jelentések a magyarországi tőzsdei kibocsátók körében

BARTÓK István János 353

7. szekció: Sustainable Economic Decisions

Session 7: Sustainable Economic Decisions

Analyst Forecast Properties Around IFRS-Based Consolidation: Coverage, Dispersion, and Bias in Morocco

Saddek BAROUD – Anita TANGL 363

Behavioral Finance for Rational and Sustainable Decision-Making Capital Markets - An Analysis of Investor Behavior Using the Example of Wirecard AG

Mathilda STOCKHAUS – Christian BERNER 378

Designing ESG Reports with Nudges: Integrating Behavioural Insights into CFO-Led Sustainability Reporting

Safaâ HOUNA – Lena Lotta STICKEN – Károly SZÓKA 403

Integrating AI-driven Macroeconomic Forecasting with Exchange Rate Hedging: The Case of Japanese Yen

Avaz MAMMADOV – Kanan MAMMADLI – Károly SZÓKA – Balázs István TÓTH 421

Der Einfluss der deutschen § 6b EStG-Rücklagenbildung im internationalen Rechnungslegungsstandart nach IFRS für eine deutsche Personengesellschaft einer multinationalen Unternehmensgruppe

Linda MATTHES – Katalin DIÓSSI – Zsuzsanna SZÉLES 435

Reconceptualizing Organizational Commitment in the Age of Sustainability: A Reflexive Grounded Theory Perspective on Fragmentation and Complexity in the Public Sector Jessica KULCZYCKI – Katalin DIÓSSI	454
Eine kritische Analyse der Vereinbarkeit zwischen Nachhaltigkeit und KI in Unternehmen André HEISLER – Károly SZÓKA	468
8A. szekció: Fenntarthatósági kihívások és innovatív válaszok <i>Session 8A: Sustainability Challenges and Innovative Responses</i>	
Magyar divatipari designer márkák online- és offline megjelenésének elemzése VIZI Noémi	478
Bizalom és hitelesség az influencerszer-marketingben: digitális kommunikáció a kutyaeledel szektorban CSÓTYA Klára – LUKÁCS Rita – PAPP-VÁRY Árpád Ferenc	492
8B. szekció: Fenntarthatósági kihívások és innovatív válaszok <i>Session 8B: Sustainability Challenges and Innovative Responses</i>	
A mesterséges intelligencia lehetőségei a nyugdíjbiztonság területein SZABÓ Zsolt Mihály	511
Virtuális migráció? A távmunka, mint új dimenzió a fenntartható mobilitásban GAÁL Sándor András – OBÁDOVICS Csilla – RESPERGER Richárd	520
Az egészségműveltség fejlesztése a gyógyszertárakban a fenntarthatóság figyelembevételével PORZSOLT Péter – PAPP-VÁRY Árpád Ferenc	535
9. szekció: Sustainable Economy and Management (online) <i>Session 9: Sustainable Economy and Management (online)</i>	
Hidden Fault Lines in Sustainability Transitions: Silence, Commitment, Citizenship and Machiavellianism Andrea MÁTÉ	547
Investigation of Differences in Labour Productivity Between the Visegrád Group Countries (V4) Compared to Germany and the Impact on Their Workers' Wages Andreas HUTH	567
Sustainable Management in Inpatient Long-Term Care in Germany Through Competence-Based Staffing Rita ZÖLLNER – Silke MAGES	581
Overview of Employment Forms of University Students in the Mirror of Changes in Legislation, with Particular Respect to Dual Training in Hungary Tünde FIERS – Ágnes SIKLÓSI – Krisztina A. SISA	599

10. szekció: Sustainability Challenges and Innovations

Session 10: Sustainability Challenges and Innovations

The Concept of Vulnerable Households in European Energy Policy Ágnes VÁRADI	615
Co-Creation and Personalisation in Autonomous Mobility: A Qualitative Exploration of User Expectations Phillipp NOLL – Nils Andreas EIBER	626
How Do ESG Factors Influence Financial Performance in Leading Sustainable Companies? László Zoltán KUCSÉBER	646
Emotional Artificial Intelligence in Interpersonal Leadership: Technological Implementation and Social Impact Nils Andreas EIBER – Rüdiger GRIMM	655
Regulatory AI as Catalyst: Framework for Sustainable Financial Transformation Alexander Maximilian RÖSER – Cedric BARTELT – Ricky WEIß	678

11. szekció: Poszter szekció

Session 11: Poster Session

Organizational Theory in the Context of Climate Change and Potential Application for the Green Transition of the Iron and Steel Industry Beáta BURÓ	696
Quantitative Easing and Its Effects on Economies: A Systemic Literature Review With a European Focus Magnus RADEMACHER	716
Der Wert von Daten als nachhaltige Ressource: Chancen und Risiken im Kontext von Künstlicher Intelligenz Chantal LEISING	744
Csepreg, a boldog utazó desztinációja Vas vármegyében HORVÁTH Kornélia Zsanett	766
A holland körforgásos gazdaság hatása a holland országimázsra KALCSÚ Zoltán – BEDNÁRIK Éva	782
Dróntechnológia a vasúti infrastruktúra szolgálatában: nemzetközi trendek és a hazai tapasztalatok KOLOSZÁR László – IONESCU Astrid	796

Adatvezérelt fenntarthatóság: ellátási lánc szimulációs labor a zöld döntés szolgálatában

Data-Driven Sustainability: A Supply Chain Simulation Lab for Green Decision

SALUSINSZKY András

igazgató (*Director*)

BZSH Külkereskedelmi Technikum (*BZSH Technical School of Foreign Trade*)

Dr. BUDAI László

oktató (*Instructor*)

BZSH Külkereskedelmi Technikum (*BZSH Technical School of Foreign Trade*)

Absztrakt:

A fenntarthatósági átmenet időszakában az oktatásnak kulcsszerepe van abban, hogy a jövő szakemberei képesek legyenek adatvezérelt, környezettudatos és adaptív döntéseket hozni a globális ellátási láncokban. Az általunk fejlesztett Digitális Ellátási Lánc Szimulációs Labor célja, hogy valós vállalati folyamatokat utánzó környezetben integrálja a logisztikai, informatikai és környezeti fenntarthatósági kompetenciákat. A labor működése a digitális iker (digital twin) és a valós idejű adatgyűjtés (RFID, IoT, RTLS) elvére épül, lehetővé téve a diákok és kutatók számára a termékáramlás, energiafogyasztás és CO₂-kibocsátás modellezését. A rendszer szimulálja a szállítási módok, készletszintek és energiaforrások változtatásának hatását a fenntarthatósági mutatókra, miközben fejleszti a résztvevők rendszerszintű gondolkodását, adatértelmezési képességét és digitális problémamegoldó készségét. A labor az oktatási innováció és az ipari együttműködés új platformjaként is értelmezhető: a vállalati partnerekkel együttműködve valós adatokon alapuló esettanulmányokat, kísérleti kutatásokat és ESG-mérési gyakorlatokat támogat.

Kulcsszavak: ellátási lánc, fenntarthatóság, szimuláció, oktatásinnováció, ipar 5.0

JEL-kódok: I23, Q56, L91, O33

Abstract:

In the period of sustainability transition, education plays a key role in enabling future professionals to make data-driven, environmentally conscious and adaptive decisions in global supply chains. The Digital Supply Chain Simulation Lab developed by us aims to integrate logistics, IT and environmental sustainability competencies in an environment that mimics real business processes. The operation of the lab is based on the principles of digital twin and real-time data collection (RFID, IoT, RTLS), allowing students and researchers to model product flow, energy consumption and CO₂ emissions. The system simulates the impact of changes in modes of transport, stock levels and energy sources on sustainability indicators, while developing participants' systemic thinking, data interpretation skills and digital problem-solving skills. The lab can also be seen as a new platform for educational innovation and industrial collaboration: in collaboration with corporate partners, it supports case studies, pilot research and ESG measurement practices based on real data.

Keywords: supply chain, sustainability, simulation, educational innovation, industry 5.0

JEL Codes: I23, Q56, L91, O33

1. Bevezetés

A 21. században az oktatás szerepe olyan átalakuláson megy keresztül, amely alapjaiban formálja át a tudásátadás módszereit, a tanulási környezetek működését és az intézmények társadalmi felelősségvállalásának értelmezését. A technológiai fejlődés, a globális gazdasági összefonódások és a fenntarthatósági kihívások egyszerre jelentenek lehetőséget és feladatot a szakképzés számára. Mindez különösen releváns abban a történelmi kontextusban, amelyben az intézmények – akár kétszáz éves hagyománnyal a hátuk mögött – a tudás és a társadalom szolgálatát tekintik alapvető küldetésüknek. A gazdasági képzésekben, különösen az ellátási lánc menedzsment és a logisztika területén, a technológiai és társadalmi elvárások olyan mértékben gyorsulnak, hogy az oktatásnak nem csupán követnie kell az ipari folyamatokat, hanem proaktív módon kell reagálnia a jövő formálásával.

Ebben a környezetben válik kiemelkedően fontossá a Digitális Ellátási Lánc Szimulációs Labor (Budapest, BZSH Külkereskedelmi Szaktechnikum) létrehozása, amely az alkalmazott tudás, az innovatív oktatás és a társadalmi felelősségvállalás új metszetét jeleníti meg. A labor egy olyan hibrid tanulási és kutatási tér, ahol a tanulók és kutatók valós ipari folyamatokat utánzó eszközökön keresztül szereznek gyakorlati tapasztalatokat, miközben megértik a modern logisztikai és ellátási lánc rendszerek összetettségét. A labor technológiai alapjait a digitális iker (digital twin), az RFID-alapú adatgyűjtés, az RTLS-rendszerek, a szimulációs modellező platformok és a valós idejű adatvizualizációs eszközök adják. A modern ellátási láncok kiterjedt hálózatai csak úgy érthetőek meg, ha a rendszerek működését a kapcsolatok dinamikájában, valós időben és adatalapon szemléljük – a labor ehhez biztosít integrált környezetet.

A téma jelentősége több szempontból is indokolt. Egyrészt a globális gazdaság fenntarthatósági átmenete új elvárásokat fogalmaz meg az ellátási láncok működésével szemben: csökkenteni kell az energiafelhasználást, optimalizálni kell a folyamatokat, mérni és transzparenssé kell tenni a kibocsátásokat, valamint növelni kell a rugalmasságot és a robusztusságot. Másrészt a munkaerőpiac olyan készségeket igényel, mint az adatelemzés, a digitális eszközhasználat, a rendszerszintű gondolkodás és a modellezési kompetenciák. A gazdasági szakképzés feladata, hogy a tanulókat olyan valóság-hű és gyakorlati környezetben képezze, ahol ezek a kompetenciák nem elméleti ismeretként jelennek meg, hanem élő, kísérletezhető és megérthető folyamatokként.

A Digitális Ellátási Lánc Szimulációs Labor létrehozása arra ad választ, hogy a modern oktatás miként képes összekapcsolni az alkalmazott technológiát, a fenntarthatósági szemléletet és a társadalmi felelősségvállalást egy koherens, hosszú távon működő rendszerben.

A kutatás és fejlesztés szempontjából a labor egyfajta „kísérleti téréként” szolgál, amelyben az ellátási láncok működése modellezhető, tesztelhető és optimalizálható. A digitális iker segítségével különféle scenáriók vizsgálhatók: szállítási módok összehasonlítása, készletgazdálkodási döntések hatása, energiahatékonysági beavatkozások, eltérő környezeti kockázatok kezelése. Ezek az elemzések nemcsak az oktatás részét képezik, hanem hozzájárulhatnak az intézmény régiójának gazdasági fejlődéséhez is, hiszen a labor potenciális együttműködési felületet kínál vállalati partnerek számára.

A kitűzött célok több szinten értelmezhetők:

- **Oktatásmódszertani cél:** olyan gyakorlati, élményalapú és digitálisan támogatott tanulási környezet kialakítása, amely képes fejleszteni a tanulók rendszerszemléletét, problémamegoldó készségét és adatelemzési kompetenciáit.
- **Technológiai és kutatási cél:** a modern ellátási láncok működését modellező, valós idejű adatot használó szimulációs infrastruktúra létrehozása, amely alkalmas kísérletek, pilot projektek és kutatások lebonyolítására.
- **Társadalmi felelőség és fenntarthatósági cél:** olyan megoldások támogatása, amelyek hozzájárulnak az energiahatékonyság növeléséhez, a környezeti terhelés csökkentéséhez, valamint a fenntartható logisztikai és ellátási lánc működés kialakításához.

Jelen kutatás a szimulációs laborhoz köthető fejlesztési célok közül az utóbbit hivatott bemutatni: hogyan járul hozzá a digitalizáció a fenntartható döntéshozatalhoz és a környezeti hatások mérsékléséhez?

A Digitális Ellátási Lánc Szimulációs Labor fejlesztése közvetlenül illeszkedik a magyar szakképzés megújításának stratégiai irányaihoz. A Szakképzés 4.0 (1168/2019. (III. 28.) Korm. határozat) deklarált célja, hogy a technikumok olyan technológiai infrastruktúrával rendelkezzenek, amely a negyedik ipari forradalom elvárásaira készíti fel a tanulókat: digitalizáció, adatvezérelt rendszerek, Ipar 4.0-kompatibilis kompetenciák. A labor pontosan ezt a célt szolgálja: valós vállalati folyamatokat utánzó, digitális technológiákon alapuló tanulási környezetet biztosít.

A bevezetés célja tehát kettős: egyrészt betekintést adni abba, hogy a digitális ellátási lánc szimulációs labor miért jelent mérföldkövet az intézmény életében, másrészt felvázolni azt az elméleti és gyakorlati keretet, amely mentén a kutatás és az oktatási fejlesztés tovább haladhat. A kutatás egyik fő aspektusa továbbá, hogy be tudjuk mutatni a vállalatoknak egzakt módon, adatalapon, hogy a fenntarthatósági intézkedések, beruházások nem feltétlenül járnak profitcsökkentő hatással, illetve akár rövidtávon is anyagi megtérülést eredményezhetnek. Ehhez a vállalatnak ismernie kell a magasabb szintű adatmodellezési, elemzési és vizualizációs eszközöket, technológiákat. Elengedhetetlen például, hogy a vállalat egy tiszta adatökoszisztémával rendelkezzen, ami megfelelő alapja lehet a célirányos elemzéseknek, adatvizualizációknak.

A következő fejezetek ennek a keretnek a részletes bemutatását célozzák meg, egy konkrét esettanulmányon keresztül.

2. Szakirodalmi áttekintés

A 2023-ban aktualizált Szakképzés 4.0 – Stratégia és Cselekvési Terv (1499/2023. (XI. 16.) Korm. határozat) külön kiemeli a korszerű tanműhelyek és digitális laborok létrehozásának szükségességét, amelyek képesek a szakképzés technológiai megújítását szolgálni. A labor ennek közvetlen megvalósítása: a tanulók Ipar 4.0-technológiákkal dolgoznak, és valós idejű adatokkal támogatott, kísérletezhető környezetben fejlesztik a kompetenciáikat.

A lean menedzsment hagyományos célja a veszteségek csökkentése, a folyamatok egyszerűsítése és a hatékonyság növelése. Az elmúlt évtizedben egyre több kutatás foglalkozott a lean és a fenntarthatóság integrációjával, amelyet a szakirodalom *Lean & Green* néven említ. A vállalatok körében növekvő igény mutatkozik arra, hogy a lean eszközök – például a value stream mapping – ne csupán gazdasági, hanem környezeti veszteségeket is feltárjanak. Hosszú távon jelentős környezeti megtakarítást eredményez, ha a folyamatoptimalizálás nem kizárólag költségalapú, hanem az energia- és anyagfelhasználásra is fókuszál (Bergmiller & McCright, 2009). Ez az integráció képezi a Data-Driven Lean & Green megközelítés egyik elméleti alapját.

A digitalizáció révén elérhetővé vált nagymennyiségű adat alapjaiban formálja át a vállalatok fenntarthatósági stratégiáit. A big data rendszerekre épülő folyamatdiagnosztika lehetővé teszi, hogy a vállalatok pontos képet kapjanak energiafelhasználásukról, kibocsátásukról és üzemeltetési hatékonyságukról (Waller & Fawcett, 2013). A szakirodalom arra is rámutat, hogy a data-driven rendszerek nélkül a fenntarthatósági programok gyakran elszigetelt kezdeményezések maradnak, és nem épülnek be érdemben a vállalati működésbe (Schoenherr & Speier-Pero, 2015). A Data-Driven Lean & Green modell ezért nagyban támaszkodik a valós idejű adatgyűjtésre és a prediktív elemzésekre.

A digitális iker technológia az ipar 4.0 meghatározó elemeként olyan szimulált környezetet biztosít, ahol a vállalatok költség- és környezeti hatásokat is modellezhetnek. Tao és szerzőtársai (2019) szerint a digitális ikrek alkalmazása jelentősen támogatja a fenntarthatósági döntéseket, mivel átláthatóvá teszi az üzemanyag-fogyasztást, a gépterhelést és a potenciális

kibocsátási pontokat. Az IoT-szenzorokkal kombinált digitális modellek kulcsszerepet játszanak abban, hogy a folyamatok hatásvizsgálata valós idejű adatokon alapuljon (Kamble et al., 2020).

A logisztikai műveletek a globális CO₂-kibocsátás jelentős részéért felelősek, ezért a szakirodalom régóta vizsgálja, hogyan lehet a szállítványozási döntéseket fenntarthatóbbá tenni. McKinnon (2018) átfogó elemzése szerint a kibocsátáscsökkentés három fő eszköze: a jobb kihasználtság, a multimodális szállítás és az útvonaloptimalizálás. Továbbá, több tanulmány rámutat, hogy a vállalatok gyakran túlbecsülik a fenntarthatóság költségeit, miközben az optimalizált logisztikai rendszerek egyszerre csökkentik a költségeket és a kibocsátást (Dekker et al., 2012, Wu et al., 2025).

Az útvonaloptimalizálás klasszikus problémáját az utóbbi években egyre inkább környezeti célokhoz igazítják. Demir és szerzőtársai (2014) „green routing” modellekkel vizsgálták, miként minimalizálhatók egyszerre a költségek és a CO₂-kibocsátások. A modern kutatások többsége azt mutatja, hogy a legkedvezőbb megoldás gyakran multimodális, ahol a vasúti és tengeri szállítás kombinációi ellensúlyozzák a közúti szállítás magas kibocsátási értékeit (Nocera & Cavallaro, 2016). Az ilyen modellek képezik a Data-Driven Lean & Green útvonaloptimalizációs keretrendszerének alapját is.

A gépi tanulási modellek képesek scenáriókat generálni és prediktív módon meghatározni a legkedvezőbb útvonalakat költség–CO₂ arány alapján. A kutatások szerint a mélytanuló modellek jobban teljesítenek a hagyományos optimalizációs módszereknél, különösen nagyméretű logisztikai adathalmazok esetén (Kool et al., 2019). A gépi tanulás ezen túl képes feltárni a költség és kibocsátás közötti rejtett mintázatokat, amelyek manuális elemzéssel nem lennének felismerhetők (Yao et al., 2022).

A Big Data képességek környezeti célokhoz való igazítása, valamint a vezetői elköteleződés erősítése kulcsfontosságú eszközök a fenntarthatóság és a működési kiválóság elérésében (Islam et al., 2025).

A szakirodalom egybehangzóan állítja, hogy a fenntarthatósági intézkedések gazdasági előnyt is teremthetnek. Porter és van der Linde (1995) híres „win–win hypothesis”-e szerint a környezeti innovációk növelik a hatékonyságot és csökkentik a költségeket. Ezt későbbi empirikus vizsgálatok is megerősítették, amelyek szerint a környezeti teljesítmény javulása gyakran együtt jár működési hatékonyságnövekedéssel (Russo & Fouts, 1997). A Data-Driven Lean & Green kutatási eredményei is azt mutatják, hogy a költségcsökkentés és fenntarthatóság nem ellentétes, hanem egymást erősítő célok.

3. Esettanulmány adatforrása, módszertan

A globális ellátási láncok működése napjainkban olyan kihívásokkal találkozik, amelyek egyszerre követelnek meg gazdasági hatékonyságot és fenntartható működést. Az iparágak egyre erősebben szembesülnek azzal a kettős nyomással, hogy redukálják költségeiket, ugyanakkor mérsékeljék ökológiai lábnyomukat, csökkentsék az energiafelhasználást, valamint teljesítsék a szigorodó ESG-elvárásokat. Ebben a környezetben vált kiemelkedően fontossá a Data-Driven Lean & Green megközelítés, amely a lean menedzsment szemléletét ötvözi a környezeti fenntarthatósági célokkal, miközben az adatvezérelt döntéshozatal kulcsszerepét hangsúlyozza.

A Lean megközelítés hagyományosan a veszteségek azonosítására és csökkentésére összpontosít, így a túltermelés, készletek, várakozási idők vagy felesleges folyamatlépések megszüntetésének eszköze. A környezeti fenntarthatóság fókuszával szemben az energiahatékonyság, az erőforrás-megővés és a kibocsátáscsökkentés felé irányul. Amikor e két szemléletmódot integráljuk, olyan holisztikus megközelítés jön létre, amely képes mind gazdasági, mind környezeti szempontból fenntartható folyamatfejlesztést biztosítani.

A Data-Driven Lean & Green újdonsága abban áll, hogy a lean és green célok elérését nagymértékben támaszkodóvá teszi a valós és valós idejű adatok elemzésére. Az ellátási lánc

minden pontján rögzített adat – legyen szó energiafogyasztásról, járműkihasználtságról, gépelemek működési idejéről vagy CO₂-kibocsátásról – értékes információt hordoz arra vonatkozóan, hogy hol keletkezik veszteség, mely folyamatok a legszennyezőbbek és mely üzleti döntések vezethetnek leginkább fenntartható működéshez. A módszertan alapja tehát az adatalapú diagnózis: a tényleges működésből származó adatmintázatok feltárják azokat az összefüggéseket, amelyek korábban csak becsléseken vagy tapasztalati tudáson alapultak.

A koncepció kritikus eleme az adatvezérelt folyamatoptimalizálás. Az optimalizáció célja, hogy a vállalatok csökkentsék a folyamatok energia- és erőforrás-igényét, minimalizálják a károsanyag-kibocsátást, miközben növelik a termelési vagy logisztikai hatékonyságot. Az adatokra épülő optimalizálási modellek képesek azonosítani, hogy mely pontokon érdemes beavatkozni, milyen mértékű megtakarítás érhető el, és milyen környezeti hatással jár a változtatás.

A Data-Driven Lean & Green megközelítés nem pusztán technológiai vagy módszertani fejlesztés, hanem stratégiai keretrendszer is. A vállalatoknak a fenntarthatósági célokat integrálniuk kell a működésbe, a beruházási döntésekbe és a szervezeti kultúrába is. Az újrahasznosítható anyagok alkalmazása, zöld technológiák bevezetése, alternatív energiaforrások használata mind olyan stratégiai döntések, amelyek a fenntarthatósági teljesítményt és a piaci versenyképességet hosszú távon is befolyásolják. A kutatás és az ipari trendek egyaránt azt mutatják, hogy a fenntartható működés nem csupán társadalmi érték, hanem versenyelőny is.

A fenntarthatósági elvárások erősödése és az ESG-keretrendszer gyors térnyerése új típusú kompetenciákat és infrastruktúrát követel meg a gazdasági és logisztikai döntéshozatal területén. A vállalatok számára ma már nem elegendő pusztán hatékony működést biztosítani: a működés fenntarthatósági, társadalmi és irányítási következményeit ugyanúgy mérni, elemezni és optimalizálni kell, mint a költségszintet vagy az átfutási időket. Ebben a kontextusban válik kiemelkedően fontossá az a kérdés, hogy az oktatási és kutatási környezetben kialakított technológiai laborok miként képesek olyan adatok előállítására, amelyek közvetlenül támogatják az ESG-szempontról vállalati döntéshozatalt. A Digitális Ellátási Lánc Szimulációs Labor olyan fejlesztési irányt képvisel, amelyben az oktatás, a kísérletezés, a digitalizáció és a fenntarthatóság egységes rendszerbe szerveződik.

A labor technológiai architektúrája – digitális iker, RFID- és RTLS-alapú nyomomonkövetés, IoT-szenzorhálózat – teljes mértékben megfelel az Ipar 4.0 hazai szakpolitikai és ipari irányelveinek, amelyeket az Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform határozott meg. A platform kiemeli, hogy a jövő logisztikai és gyártási rendszereinek alapja a valós idejű adatgyűjtés, az autonóm döntéstámogatás és a szimulációs környezetben történő modellezés.

A labor működésének egyik legfontosabb jellemzője, hogy minden folyamat nyomomonkövethető, és minden mozzanat mérhető adatot generál. A RFID-alapú követőrendszerek folyamatosan rögzítik a termékek útját, a RTLS technológia valós időben határozza meg a mozgások térbeli pozícióját, a digitális iker pedig párhuzamosan futtatja a tényleges működés szimulációját, lehetővé téve a valós környezet és a modell összehasonlítását. Emellett az IoT-eszközök energiafogyasztási, hőmérsékleti, terhelési és működési adatokat gyűjtenek minden eszközre, járműre vagy gépre kiterjedően. A labor így nem csupán oktatási tér, hanem kísérleti környezet, ahol a logisztikai és gyártási folyamatok teljes életciklusa mérhetővé válik. Ez a komplex adatgyűjtési ökoszisztéma teremti meg az alapot az ESG célok szerinti adatmodell későbbi kialakításához.

A laborban zajló tevékenységek természetes módon rendezik az információkat az ESG három pillére szerint. A környezeti dimenzió erőteljesen érvényesül, hiszen minden szállítási mód, gépi folyamat vagy logisztikai művelet energia- és anyagfelhasználással jár, amelyet a rögzített szenzoradatok pontosan dokumentálnak. Ezen adatokból kiszámítható a folyamatok CO₂-kibocsátása, energiahatékonysága vagy anyagvesztése, és jól elemezhetővé válik a különböző scenáriók fenntarthatósági hatása. A társadalmi dimenzió is megjelenik, hiszen a labor képes rögzíteni az operátorok és részt vevők munkavégzési módját, terheltségét, hibaarányait és beavatkozásait, ami lehetőséget ad a humán tényezők vizsgálatára, például arra, hogy mely

folyamatok jelentenek túlzott terhelést, vagy hol szükséges több támogatás és képzés. Az irányítási dimenzió tetten érhető a döntések, folyamatmódosítások és események naplózásában, amely biztosítja a transzparenciát és a visszakövethetőséget, egyben elősegíti a belső szabályozási megfelelések vizsgálatát.

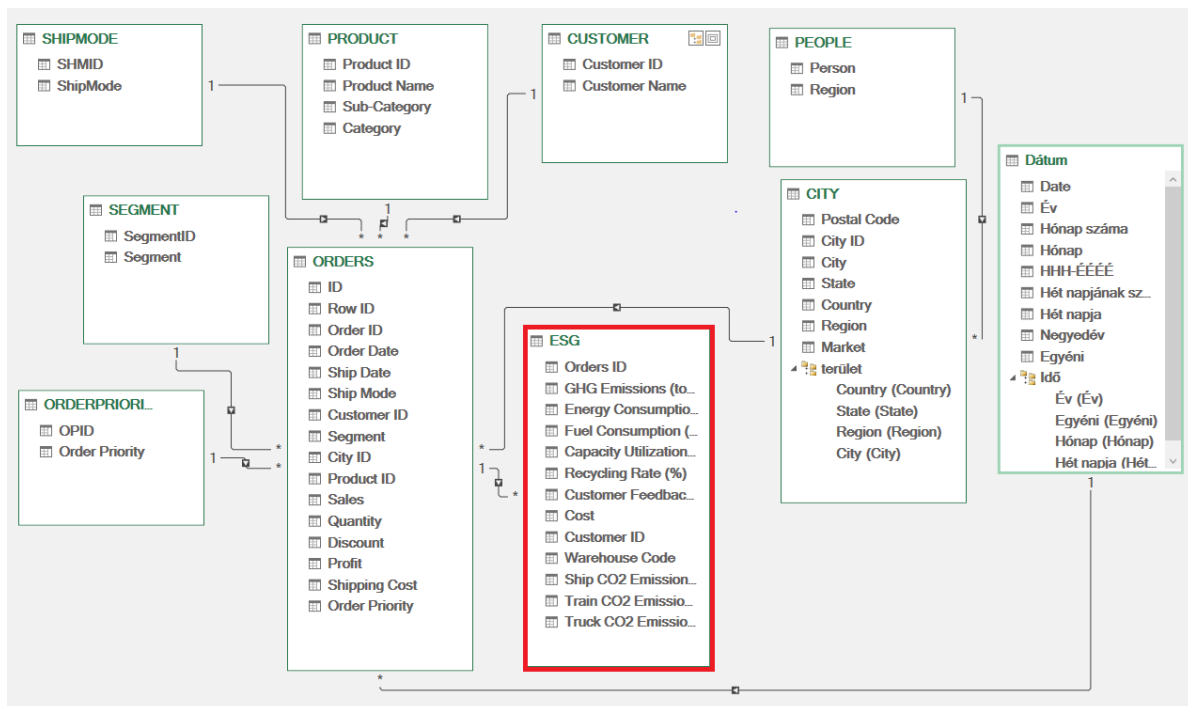
A labor működéséből származó adatok - melyek egy vállalati partner szenzitív adataiból képzett realiztikus, szintetikus adatok - tehát nem igényelnek utólagos átalakítást ahhoz, hogy alkalmasak legyenek egy ESG-adatmodell felépítésére. A folyamatokat valós időben rögzítő technológiai rendszer eleve olyan adatstruktúrákat eredményez, amelyek egymással összevetethetők, aggregálhatók és értelmezhetők az ESG indikátorok rendszerében. A labor működése így organikusán teremti meg azt a logikai kapcsolatot, amelyben a mérés, a modellezés és a fenntarthatósági elemzés egymásra épülhet.

Az adatmodell felépítése az így képződő adatok integrációjával kezdődik. A forrásadatok rétege tartalmazza az összes nyers adatot: a térbeli mozgásinformációkat, az energiafelhasználási értékeket, a gépek működési ciklusadatait, a szállítási módokhoz kapcsolódó paramétereket, valamint az emberi interakciók naplózott adatait. Ezt követi az integrációs réteg, ahol az adatok tisztítása, egységesítése és ESG-dimenziók szerinti rendezése történik. Itt számíthatók ki a CO₂-ekvivalens értékek, az energiahatékonysági mutatók, a munkaterheltséghez és hibarányokhoz kapcsolódó szociális indikátorok, valamint a döntési naplókából származó governance jellegű mutatók.

Az adatmodell további szintje az ESG indikátorok rétege, ahol már olyan számított mutatók jelennek meg, amelyek közvetlenül felhasználhatók vállalati ESG-jelentésekben vagy döntéstámogató folyamatokban. A környezeti indikátorok a CO₂-kibocsátást, a hulladékarányt, az energiafelhasználást vagy a zöld energia részarányát ragadják meg. A társadalmi dimenzió mutatói a dolgozói terheltség, a munkabiztonság és a képzettségi szinthez köthető jellemzők vizsgálatára adnak lehetőséget. Az irányítási mutatók pedig a megfelelés, a döntési transzparencia és a folyamatkockázatok alakulását jelenítik meg.

A legfelső réteg a döntéstámogató szint, ahol a labor által szolgáltatott adatokból vizualizációk, előrejelző modellek és szimulációk épülnek. Itt valósul meg az ESG-adatvezérelt döntéstámogatás: a digitális iker képes különböző scenáriók összevetésére, a Power BI és más dashboardok áttekinthető módon jelenítik meg a környezeti és gazdasági kapcsolatokat, a gépi tanulási algoritmusok pedig javaslatot tesznek arra, hogy mely útvonalak vagy folyamatváltoztatások eredményeznek alacsonyabb költséget és kisebb környezeti terhelést. A vállalati ESG döntéshozók így adatokra alapozva, bizonyított módon választhatnak a különböző operatív és stratégiai alternatívák között.

A digitális labor működéséből tehát egy olyan adatmodell rajzolódik ki (1. ábra), amelyben a lean szemléletű folyamatdiagnosztika, a környezeti fenntarthatóság és az irányítási transzparencia egységes rendszerbe szerveződik. Mivel minden adat a folyamatok természetes részeként keletkezik, az ESG elemzés nem különálló feladat, hanem a működésbe ágyazott logikus következmény. A labor munkája így egyszerre szolgálja a tanulók képzését, a kutatási és ipari partnerekkel való együttműködést, valamint a fenntartható vállalati gyakorlatok kialakítását. Az adatvezérelt ESG döntéstámogatás tehát nem különálló modul, hanem a digitálisan támogatott folyamatok átfogó értelmezéséből, a szimulációs környezet működéséből és az adatok mélyreható kapcsolatrendszeréből szervesen felépülő rendszer.



1. ábra: Szimulációs laborban végzett tevékenység adatmodellje (piros keretben az ESG indikátorokat tartalmazó adattábla)

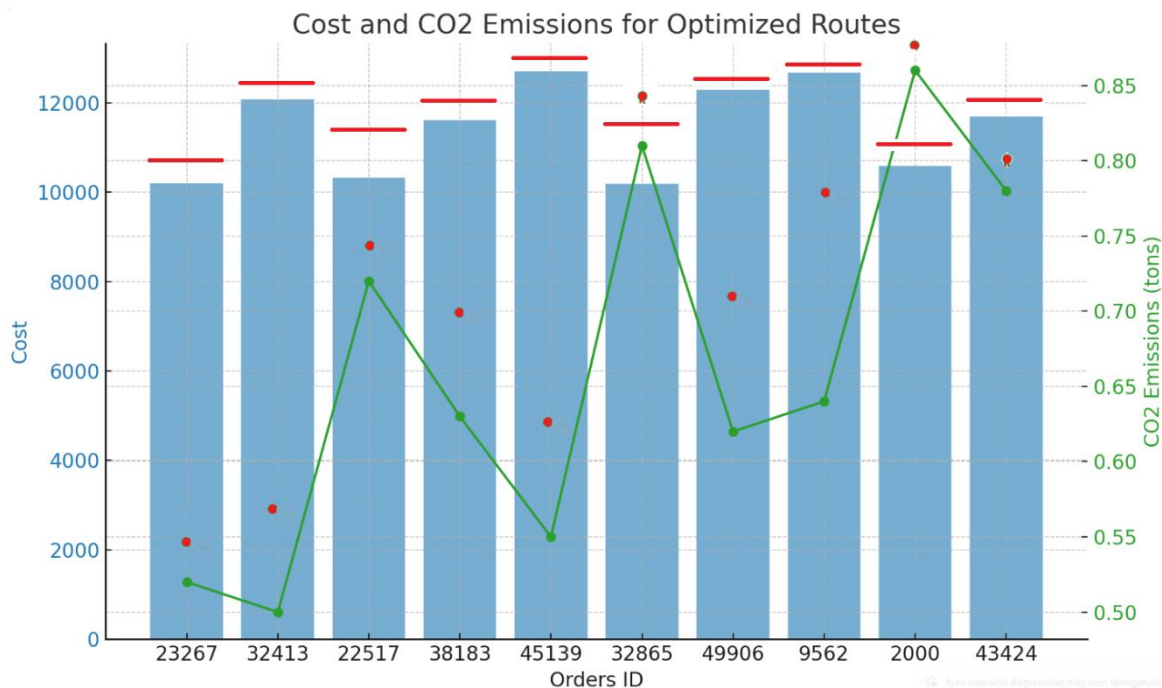
Forrás: Saját szerkesztés

A kutatási folyamat első szakasza a különböző szállítási módok költség–CO₂ összefüggéseinek feltárására irányult. Az elemzés rávilágított arra, hogy míg például a tengeri szállítás rendszerint kedvezőbb költség szinteket biztosít, addig hosszabb átfutási időt eredményez; ezzel szemben a közúti szállítás gyorsabb, ugyanakkor lényegesen nagyobb környezeti terhelést generál. E különbségek megértése alapot teremtett ahhoz, hogy a kutatás feltárja, mely módok alkalmasak költség- és környezeti szempontból a legkedvezőbb megoldások kialakítására.

4. Eredmények, megállapítások

A folyamat következő szakasza az optimális útvonalak meghatározása volt. Ennek során olyan mesterséges intelligencia alapú mélytanulási modelleket alkalmaztunk, amelyek képesek egyszerre több döntési szempontot is figyelembe venni. A modellek úgy választották ki a legkedvezőbb útvonalakat, hogy mind a költségminimalizálás, mind a CO₂-kibocsátás csökkentése, és a szállítási idő paramétere is érvényesülhessen. A döntés így nem egyetlen változó optimumára épült, hanem egy többszempontú értékelés eredményeként született meg. A mélytanuló modellek hozzájárultak ahhoz, hogy az alternatív útvonalak közötti különbségek finomabb mintázatai is felismerhetővé váljanak, és olyan opciók is előtérbe kerüljenek, amelyek hagyományos, manuális elemzéssel nem lettek volna azonosíthatók.

A kutatás harmadik szakasza az eredmények vizuális bemutatására összpontosított (2. ábra). A grafikus megjelenítések nem csupán azt tették láthatóvá, hogy a nem optimalizált útvonalak és a javasolt alternatívák között mekkora eltérés mutatkozik a költségekben és a CO₂-kibocsátásban, hanem azt is, hogy ezek az eltérések milyen mintázatba rendeződnek a különböző szállítási módok esetében. A vizualizáció így nem pusztán illusztratív elemként szolgált, hanem a döntéstámogató rendszer szerves részeként segítette a szállítási stratégiák újragondolását.



2. ábra: Költség és CO₂ kibocsátás kapcsolata szállítási egységenként optimalizálás előtt (piros vonal és piros pont) és után (zöld pont és kék oszlop)
 Forrás: Saját szerkesztés

Az optimalizációs folyamat során egy ún. optimization score -t definiáltunk, amely a normalizált költség- és CO₂-kibocsátási értékek súlyozott kombinációjából számított. Ez a mutató alkalmassá tette a különböző útvonalak összehasonlítását egyetlen egységes skálán. A súlyozás 70 százalékban a költség, 30 százalékban pedig a CO₂-kibocsátás figyelembevételével történt. A választott arányt gépi tanulási modell is alátámasztotta: az algoritmusok szintetikus adatok és scenárióelemzések alapján igazolták, hogy ez a súlyozási rendszer stabil és megbízható optimumot eredményez. Bár a kutatás lefutott 1:1 arányú súlyozással is, az eltérések minimálisnak bizonyultak, ami arra utal, hogy a fenntarthatósági szempontok integrálása nem gyengíti, hanem sok esetben erősíti a költség-alapú optimalizáció hatékonyságát.

Az eredmények összességében arra mutattak rá, hogy a költségcsökkentés és a környezeti fenntarthatóság nem ellentétes célok. A modern adatvezérelt módszertanok és tanuló algoritmusok lehetővé teszik, hogy a vállalatok olyan logisztikai döntéseket hozzanak, amelyek egyszerre támogatják a gazdasági versenyképességet és a környezetvédelmi célokat. Az optimalizációs modell így nem csupán technológiai fejlesztést képvisel, hanem szemléletformáló eszközként is szolgál: bizonyítja, hogy az adatvezérelt döntések révén a fenntarthatóság egyre inkább a hatékony működés természetes részévé válhat.

Az eredmények összességében arra mutatnak rá, hogy:

- a költségek jelentős mértékben csökkenthetők,
- a CO₂-kibocsátás egyidejű csökkenése is elérhető,
- az optimális útvonalak gyakran multimodális kombinációkat alkalmaznak (pl. vasút + közút),
- a fenntarthatósági intézkedések nem növelik a költségeket, hanem sok esetben csökkentik azokat (közép-hosszú távon),
- a vizsgálatban szereplő vállalat visszacsatolása alapján fuvarszervezés szempontjából a kapott eredmények éles bevezetésének nincs szignifikáns akadálya.

A vállalati gyakorlat szempontjából ez különösen fontos megállapítás, hiszen gyakran tévesen feltételezik, hogy a fenntarthatósági beruházások többletköltséggel járnak. A kutatás bizonyítja: megfelelő adatmodellezéssel és optimalizációval a két cél együttesen is teljesíthető.

4. Következtetések, javaslatok

A digitális szimulációs laborban szerzett tapasztalatok alapvetően formálják át a résztvevők technológiai tudását, munkavégzési kompetenciáit és munkaerőpiaci esélyeit. Egy ilyen laboratóriumi környezet nem csupán oktatási infrastruktúráként működik, hanem valós ipari folyamatokat modellező, gyakorlatorientált tanulási térként is, ahol a hallgatók ugyanazokkal az eszközökkel, szoftverekkel és munkafolyamatokkal találkozhatnak, amelyek a modern vállalatoknál is jelen vannak. Ez a fajta közvetlen tapasztalatszerzés messze túlmutat a hagyományos elméleti képzésen, és olyan gyakorlati készségeket alakít ki, amelyek az ipar igényeihez igazodnak.

A szimulációs labor egyik legnagyobb előnye, hogy a résztvevők biztonságos, kontrollált környezetben sajátíthatják el a digitális technológiák használatát. Az RFID-rendszerek, az RTLS alapú követési megoldások, az IoT-eszközök, a vállalati szimulációs szoftverek vagy az adatvizualizációs platformok mind olyan eszközök, amelyek a modern logisztikai és gyártási környezet meghatározó elemei. A hallgatók nem csupán elméletben ismerkednek meg ezek működésével, hanem saját kezűleg állítanak be folyamatokat, gyűjtenek adatot, értékelnek teljesítményt, és hoznak döntéseket. A technológiával való személyes, aktív találkozás sokkal mélyebb tudást eredményez, mint bármely hagyományos tantermi oktatás, hiszen a résztvevők egy olyan rendszer részeként dolgoznak, amely ugyanúgy reagál, hibázik és visszajelzéseket generál, mint egy valós vállalati környezet.

A laborban szerzett tudásnak az egyik legfontosabb hatása, hogy jelentősen csökkenti a tanulók és az ipari szereplők közötti kompetenciaszakadékot. A vállalatok gyakran tapasztalják, hogy az új belépők esetében az elméleti tudás ugyan rendelkezésre áll, a gyakorlati készségek kialakítása azonban hosszadalmas és erőforrás-igényes folyamat. Azok, akik szimulációs laboratóriumban sajátították el a munkához szükséges technológiákat, sokkal gyorsabban képesek bekapcsolódni a szervezeti működésbe, hiszen már korábban megtapasztalták azokat a helyzeteket, problémákat és technológiákat, amelyekkel a vállalatok napi szinten találkoznak. Ez azt eredményezi, hogy átképzési idejük rövidebb, kevesebb támogatást igényelnek a betanulási folyamat során, és hamarabb válnak a termelés vagy a logisztikai rendszer aktív, produktív szereplőivé.

A szimulációs környezetben tanulók munkavégzési hatékonysága is magasabb. A laborban szerzett tapasztalatok során kialakul a résztvevőkben egy olyan rendszerszintű szemlélet, amely nélkülözhetetlen az ellátási láncok és gyártási folyamatok megértéséhez. Mivel a hallgatók valós idejű adatokat értelmeznek, szimulációkat futtatnak és különböző döntési scénáriókat elemeznek, megtanulják felismerni az összefüggéseket a folyamatlépések, erőforrás-felhasználás, hibaforrások és teljesítményindikátorok között. E tudás birtokában a későbbi munkahelyükön is gyorsabban és pontosabban képesek reagálni a változásokra, hatékonyabban oldják meg a problémákat, és eredményesebben működnek együtt a technológiai rendszerekkel. A laboros munkavégzés egyik további fontos eredménye, hogy a résztvevők magabiztosabban használják a vállalati digitális infrastruktúra elemeit. Ez különösen fontos az ipar 4.0 környezetében, ahol az adatelemzés, az automatizált gépek működtetése, a szenzorokból származó információk értelmezése, a vizualizáció és a prediktív analitika mind alapvető készségekké váltak. Azok a munkavállalók, akik már a képzés során rutint szereztek ezekben a technológiákban, nagyobb önállósággal dolgoznak, ritkábban hibáznak, és könnyebben igazodnak a modern vállalati környezet elvárásaihoz.

A szimulációs labor tehát nem pusztán az oktatás hatékonyságát növeli, hanem közvetlen módon javítja a hallgatók munkaerőpiaci esélyeit is. Az ipari partnerek számára rendkívül értékes, ha olyan munkavállalókat tudnak felvenni, akik már a belépés pillanatában értik a folyamatokat, ismerik a technológiai eszközöket és nem félnek a digitális rendszerektől. Ez a kompetenciabeli előny a foglalkoztathatóság növekedéséhez vezet: a laborban tanultak gyorsabban találnak állást, könnyebben helyezkednek el magasabb technológiai szintű pozíciókban, és a munkaadók szempontjából is kevesebb kockázatot jelentenek.

A vállalatok részéről egyre gyakrabban fogalmazódik meg igény arra, hogy az oktatási intézmények olyan munkaerőt képezzenek, amely nem csupán elmében, hanem gyakorlatban is felkészült. A szimulációs labor éppen ezt a célt szolgálja: az ipari és oktatási világ közötti szakadékot láthatóan csökkenti, hiszen a hallgatók olyan kompetenciákkal lépnek ki az intézményből, amelyek közvetlenül átültethetők a vállalati gyakorlatba. Ezáltal az ipar nemcsak időt és pénzt takarít meg az új dolgozók betanításán, hanem biztosabban számíthat jól képzett, technológiai szempontból magabiztos munkaerőre.

Összességében elmondható, hogy a szimulációs laboratóriumban szerzett tudás egy olyan komplex és gyakorlatorientált tudásbázist hoz létre, amely egyszerre növeli a résztvevők hatékonyságát, alkalmazkodóképességét és munkaerőpiaci értékét. A laborban való részvétel nem csupán oktatási előny, hanem valódi stratégiai eszköz a sikeres karrierépítésben és az ipar 4.0 világába történő zökkenőmentes belépésben. A modern gazdaságok számára ezek a kompetenciák nem luxusnak, hanem alapvető követelménynek számítanak, és a szimulációs labor éppen ezt a tudásbeli előnyt teremti meg a hallgatók számára.

Az eredményeink azt támasztják alá, hogy a Data-Driven Lean & Green szemlélet és az útvonaloptimalizálás hatékonyan járulnak hozzá egy fenntarthatóbb és gazdaságosabb ellátási lánc kialakításához. A vállalatok számára az adatvezérelt döntéshozatal nemcsak versenyelőnyt jelent, hanem lehetőséget arra is, hogy a fenntarthatósági célokat valós, mérhető eredményekkel támogassák.

A kutatás gyakorlati üzenetei:

- az adatok integrálása és elemzése ma már nélkülözhetetlen a fenntartható logisztikai működéshez,
- az optimalizációs modellek képesek csökkenteni mind a költségeket, mind a CO₂-kibocsátást,
- a fenntarthatóság nem többletteleher, hanem hatékonyságnövelő tényező,
- a digitális iker, az IoT-adatok és a gépi tanulási modellek új lehetőségeket nyújtanak az ellátási láncok tervezésében,
- a vállalatoknak stratégiai szinten kell integrálniuk a fenntarthatósági célokat.

Irodalomjegyzék

- Bergmiller, G. G., & McCright, P. R. (2009). Lean manufacturers' transcendence to green manufacturing. In *Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference, 2009* (pp. 1144–1148). <https://www.proquest.com/docview/192458548>
- Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.010>
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2014). A review of recent research on green road freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 775–793. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.033>
- Bourini, I., Al Hazza, M., & Kaddoura, A. (2025). Data-driven and green-minded: A strategic approach to operational sustainability. *Journal of Enterprise Information Management*, (Vol. ahead-of-print, No. ahead-of-print), 1–22. <https://doi.org/10.1108/JEIM-04-2025-0309>
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. C. (2020). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319–1337. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630772>

- Kool, W., van Hoof, H., & Welling, M. (2019). Attention, learn to solve routing problems! In *International Conference on Learning Representations (ICLR), 2019* (pp. 1–25). arXiv. <https://arxiv.org/abs/1803.08475>
- McKinnon, A. (2018). *Decarbonizing logistics*. Kogan Page.
- Porter, M. E., & Linde, C. van der. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
- Russo, M. V., & Fouts, P. A. (1997). A resource-based perspective on corporate environmental performance. *Academy of Management Journal*, 40(3), 534–559. <https://doi.org/10.2307/257052>
- Schoenherr, T., & Speier-Pero, C. (2015). Data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: Current state and future potential. *Journal of Business Logistics*, 36(1), 120–132. <https://doi.org/10.1111/jbl.12082>
- Tao, F., Qi, Q., Wang, L., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: Correlation and comparison. *Engineering*, 5(4), 653–661. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.01.014>
- Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2013). Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77–84. <https://doi.org/10.1111/jbl.12010>
- Wu, Y., Mehmood, K., Mangla, S. K., & Jabeen, F. (2025). A dynamic capability view to evaluate the role of FinTech in green supply chain performance: Moderating role of data-driven lean and green practices. *Business Strategy and the Environment* (Accepted/In press). <https://doi.org/10.1002/bse.70459>
- Yao, X., Cheng, Y., Zhou, L., & Song, M. (2022). Green efficiency performance analysis of the logistics industry in China: based on a kind of machine learning methods. *Annals of Operations Research*, 308, 727–752. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03763-w>

Jogszabályok:

1168/2019. (III. 28.) Korm. határozat – Szakképzés 4.0 stratégia

1499/2023. (XI. 16.) Korm. határozat – Szakképzés 4.0 Stratégia és Cselekvési Terv

1573/2020. (IX. 9.) Korm. határozat – Magyarország MI Stratégiája 2020–2030

Az internetes hivatkozások utolsó ellenőrzésének időpontja: 2026. március 31.