

Acta Periodica

A TUDOMÁNY OTT KEZDŐDIK,
AHOL A KÉRDÉSEK
FOLYTATÓDNAK



EDUTUS
EGYETEM

XXXVIII.
KÖTET

Edutus Egyetem
2800 Tatabánya, Stúdium tér 1.

Főszerkesztő:
Némethné Dr. Gál Andrea

Felelős szerkesztő:
Forrai Márta

Szerkesztette:
Vigh László PhD

MINDEN JOG FENNTARTVA

A mű egészének, vagy bármely részének másolása, sokszorosítása,
valamint információszolgáltató rendszerben történő tárolása
és továbbítása, csak a kiadó engedélyével megengedett.

Lektorált

ACTA PERIODICA 38. KÖTET
EDUTUS EGYETEM KIADÁSA

www.edutus.hu

ISSN 2063-501X

2026. augusztus

TARTALOMJEGYZÉK

Co-Branding as a Driver of Technological and Market Innovation: Case Study of Apple and Nike DR.ZOLTÁN PEREDY, IARA ROCHA, MAFALDA OLIVEIRA, MARIA FERREIRA	4
---	---

LINK: <https://www.edutus.hu/cikk/co-branding-as-a-driver-of-technological-and-market-innovation-case-study-of-apple-and-nike/>

Intraokuláris lencsék (IOL) gyártási folyamatának fejlesztése és technológiája SZAMOSI BARNA, KOMÁRNÉ ABONYI MÓNICA	18
--	----

LINK: <https://www.edutus.hu/cikk/intraokularis-lencsek-iol-gyartasi-folyamatanak-fejlesztese-es-technologiaja/>

Dezinformáció és piaci hatások: gazdasági és geopolitikai összefüggések ÁDÁM KRISZTIÁN	38
---	----

LINK: <https://www.edutus.hu/cikk/dezinformacio-es-piaci-hatasok-gazdasagi-es-geopolitikai-osszefuggesek/>

A rejtett gazdaság változó megjelenési formái DR. BELYÓ PÁL	59
--	----

LINK: <https://www.edutus.hu/cikk/a-rejtett-gazdasag-valtozo-megjelenesi-formai/>

*

LINK: <https://www.edutus.hu/cikk/co-branding-as-a-driver-of-technological-and-market-innovation-case-study-of-apple-and-nike/>

Co-Branding as a Driver of Technological and Market Innovation: Case Study of Apple and Nike

DR. ZOLTÁN PEREDY, Head of the Engineering Institute, Edutus University, Hungary
e-mail: peredy.zoltan@edutus.hu

IARA ROCHA, Business Administration and Management BSc. Erasmus student,
Department for Business Management, Edutus University, Hungary
e-mail: iararocha538@gmail.com

MAFALDA OLIVEIRA Business Administration and Management BSc. Erasmus student,
Department for Business Management, Edutus University, Hungary
e-mail: mariabismark05@gmail.com

MARIA FERREIRA Business Administration and Management BSc. Erasmus student,
Department for Business Management, Edutus University, Hungary
e-mail: a2022156871@alumni.iscac.pt

DOI: [10.47273/AP.2026.38.4-17](https://doi.org/10.47273/AP.2026.38.4-17)

ABSTRACT

This paper examines how co-branding can function as a catalyst for technological and market innovation, using the long-term strategic partnership between Apple and Nike as a case study. The Apple–Nike alliance was selected because it represents one of the most enduring, influential, and multidimensional co-branding collaborations in the digital fitness ecosystem. Unlike typical short-term promotional partnerships, this collaboration uniquely integrates hardware, software, data analytics, and lifestyle branding, making it an exemplary case for understanding cross-industry innovation dynamics. Building on contemporary branding and innovation theory, the study analyses how the two companies have progressively combined their complementary capabilities—from early wearable integrations to the creation of a fully connected digital fitness ecosystem. Through a critical literature review and triangulated analysis of market, consumer, and innovation outcomes, the study demonstrates that co-branding can generate value far beyond traditional marketing cooperation, strengthening brand equity, accelerating innovation, and reshaping consumer experience in technology-driven markets.

Keywords: co-branding; digital ecosystems; innovation management; wearable technology; Apple; Nike

1. Introduction

Co-branding has become an increasingly significant strategic tool in markets where technological acceleration, consumer expectations, and brand differentiation pressures continuously intensify. In contemporary marketing and innovation management, brands are expected not only to deliver high-quality products but to create integrated experiences and

ecosystems that fit consumers' lifestyles (Keller, 2013). Strategic partnerships, including co-branding alliances, provide firms with opportunities to leverage complementary resources, reduce innovation risks, and expand market reach (Kotler et al., 2022). Through such collaborations, brands can combine identity, technological capabilities, and market strengths, producing value that extends beyond what either partner could achieve individually.

The Apple–Nike partnership represents a unique and long-standing example of cross-industry co-branding that merges technological innovation with athletic performance culture. Apple is internationally recognised for its expertise in hardware–software integration, design excellence, and digital ecosystems, while Nike holds a leading global position in sports branding, motivation-driven marketing, and fitness community engagement. Their partnership, initiated in 2006 with the Nike+iPod Sport Kit, has evolved into a deeply integrated digital fitness ecosystem, including products such as the Apple Watch Nike Edition and applications like Nike Run Club (Apple Inc., 2024; Nike, Inc., 2024). Unlike many short-lived or purely promotional co-branding efforts, this collaboration demonstrates a sustained, innovation-oriented alliance with broad technological, experiential, and market implications.

Studying this partnership is particularly relevant because it illustrates how co-branding can function as a driver of ecosystem-based innovation (Prahalad & Ramaswamy, 2004). It combines complementary capabilities—Apple's technological infrastructure and Nike's cultural influence—into a continuous co-creation process that results in functional, experiential, and symbolic value for consumers. Furthermore, the alliance actively contributes to the evolution of the wearable technology sector, a market valued at USD 84.2 billion in 2024 (Grand View Research, 2024), where integrated digital services increasingly determine competitive advantage.

This study focuses on the Apple–Nike partnership as a case study to explore how co-branding strategies can support innovation management, reinforce brand equity, and shape user engagement. The study builds on a critical literature review and triangulated analysis of theoretical, market, and consumer perspectives to identify the strategic mechanisms through which co-branding influences technological and market innovation. The insights derived offer broader implications for understanding how cross-industry collaborations can create unique forms of value in an increasingly digital and interconnected marketplace.

2. Methodology

This study employs a qualitative case study approach to examine the Apple–Nike partnership as a representative example of innovation-oriented co-branding. Case study methodology is particularly suitable for investigating complex organisational phenomena in which strategic, technological, and market-related factors interact within a specific real-world context (Johnson & Turner, 2022).

The analysis is based exclusively on secondary data collected from multiple sources. These include corporate publications and product-related materials issued by Apple and Nike (Apple Inc., 2024; Nike, Inc., 2024), academic literature on co-branding, brand management, experiential marketing, innovation, and value co-creation (Blackett & Russell, 1999; Keller, 2013; Prahalad & Ramaswamy, 2004; Schmitt, 2019), as well as industry reports and market analyses addressing wearable technologies and smartwatch markets (BankMyCell, 2025; Grand View Research, 2024). In addition, relevant empirical studies examining co-branding and digital fitness ecosystems were reviewed to provide contextual and comparative insights (Gaille, 2023).

To enhance analytical rigour, the study adopts a triangulated research framework. Theoretical triangulation integrates perspectives from brand equity theory, innovation management, and

digital ecosystem research to provide a multidimensional interpretation of co-branding dynamics. Data triangulation is achieved through the comparison of academic sources, corporate documentation, and market evidence, allowing emerging findings to be cross-validated across different types of information. Furthermore, a temporal perspective is incorporated by examining the evolution of the Apple–Nike partnership between 2006 and 2025, thereby enabling the assessment of how co-branding strategies adapt to technological developments and changing market conditions.

The reliance on publicly available secondary data inevitably limits access to internal decision-making processes, proprietary technologies, and confidential performance indicators. Nevertheless, the breadth of available academic, corporate, and industry sources, combined with the application of triangulation techniques, provides a sufficiently robust basis for a comprehensive analysis of the Apple–Nike alliance. The findings and conclusions presented in this study reflect the authors’ interpretation of the available evidence and are intended to contribute to the broader academic discussion on co-branding, innovation, and digital ecosystem development.

3. Co-Branding as a Catalyst for Ecosystem Innovation

Co-branding research has evolved significantly over the past two decades, expanding from a focus on brand alliances and image transfer mechanisms to a broader understanding of how partnerships shape markets, technologies, and consumer experiences. In innovation-driven industries, co-branding no longer functions merely as a promotional tool; it operates as a strategic catalyst for ecosystem formation, experiential value creation, and cross-sector technological development (Keller, 2013; Blackett & Russell, 1999).

The authors provide an integrated theoretical synthesis that positions co-branding within three interconnected domains: brand equity and associative meaning, innovation management and resource complementarity, and digital ecosystem co-creation. By critically evaluating these perspectives through triangulation, the analysis identifies the conceptual mechanisms most relevant to interpreting the Apple–Nike partnership (Rindfleisch & Heide, 1997).

3.1. Co-Branding as Innovation Strategy for Creating Associative Brand Value

Classic co-branding theory emphasises how alliances enable brands to transfer symbolic and functional associations to one another (Aaker, 1996). Prior research suggests that successful co-branding arrangements generate positive spill-over effects through the transfer of both symbolic and functional brand associations, thereby enhancing consumer evaluations of the alliance and its constituent brands (Helmig et al., 2008). Through shared positioning, brands can strengthen perceived quality, expand category relevance, and enhance consumer trust. Keller’s Customer-Based Brand Equity (CBBE) model suggests that co-branding is most effective when the partner brands possess complementary yet compatible identities and strong, distinct equity structures (Bouten et al., 2011; Keller, 2013).

From this perspective, Apple and Nike constitute an exemplary match: Apple embodies technological refinement, design minimalism, and lifestyle integration, while Nike symbolises athletic performance, motivation, and personal empowerment. Their collaboration aligns with the theoretical expectation that co-branding strengthens associative networks by linking complementary value dimensions that broaden consumer meaning-making processes.

Innovation management literature highlights the role of strategic partnerships in reducing development risk, accelerating technological adoption, and expanding organisational capabilities (Prahalad & Ramaswamy, 2004). Co-branding, traditionally considered a marketing tool, increasingly overlaps with innovation strategy by enabling firms to share expertise, infrastructure, and market intelligence.

The Apple–Nike alliance demonstrates how co-branding can extend beyond image synergy to encompass capability complementarity: Apple contributes hardware–software integration, sensor technologies, and a robust digital ecosystem, while Nike offers domain-specific sport science expertise, data-driven training methodologies, and a global fitness community. Together, these capabilities create a hybrid innovation environment where new products (e.g. Nike+iPod, Apple Watch Nike Edition) emerge from jointly constructed technological and experiential value propositions.

3.2. Co-Branding as a Driver of Digital Ecosystem Development

Recent ecosystem research suggests that value creation increasingly occurs through interconnected networks of firms, technologies, and users rather than within the boundaries of individual organisations. In such environments, co-branding can function as a governance mechanism that aligns complementary resources and facilitates ecosystem-wide innovation (Aarikka-Stenroos & Ritala, 2017). Contemporary marketing theory increasingly frames value creation as a co-created process involving active consumer participation (Prahalad & Ramaswamy, 2004; Schmitt, 2019). In digital ecosystems—platform-based environments where users continuously generate data and feedback—co-branding serves as a mechanism for integrating brands into networked consumer experiences.

In the Apple–Nike ecosystem, user data flows seamlessly across devices and applications, enabling personalised training insights and motivational content delivery. This integrated experience illustrates an evolution from traditional co-branding to ecosystem co-branding, in which partnerships shape consumer engagement across multiple touchpoints, including hardware, software, services, and community platforms. The theoretical implications are significant: co-branding becomes not only a communicative act but an infrastructural one, embedding brands into the user’s daily routines and digital identity.

A further dimension of ecosystem co-branding involves data-driven personalisation, which has become a defining feature of digital consumer experiences. Research shows that users are more likely to remain engaged with platforms that deliver tailored content, adaptive feedback, and real-time behavioural insights (Schmitt, 2019). Apple’s advanced sensor technologies and Nike’s sport-science-driven algorithms co-evolve through data flows that enhance both performance tracking and motivational design. As a result, co-branding not only enhances brand meaning but actively shapes user behaviour, supporting theories that emphasise the reciprocal relationship between technological systems and consumer identity formation (Aaker, 1996; Keller, 2013).

Additionally, digital ecosystem co-branding operates within what Prahalad and Ramaswamy (2004) describe as experience-based value co-creation, where consumers are not passive recipients of brand offerings but co-producers of value through their interactions, feedback, and shared content. Platforms such as Nike Run Club integrate community-driven features—leaderboards, shared challenges, digital badges—that create a collective motivational environment reinforcing brand loyalty. When these social elements integrate with Apple’s ecosystem features, such as Activity Rings and HealthKit, the result is a multi-layered,

hybridised consumer experience grounded in both individual self-tracking and community validation.

Finally, Apple and Nike's collaboration exemplifies the shift from product-centric to ecosystem-centric competitive advantage. In markets increasingly dominated by interconnected services, firms differentiate themselves not solely through the quality of their devices but through the breadth, depth, and coherence of their ecosystem offerings (Kotler et al., 2022). Co-branding within such ecosystems becomes a strategic lever for shaping user pathways, influencing platform stickiness, and extending the lifecycle value of digital products. The Apple–Nike partnership demonstrates how co-branded ecosystems can establish long-term consumer engagement, creating reinforcing loops of brand interaction that transcend any single product generation.

3.3. An Integrated Triangulation Framework for Co-Branding Analysis

To deepen the theoretical foundations of co-branding research, this study adopts a multi-layered triangulation strategy that integrates diverse conceptual, methodological, and contextual perspectives. Rather than treating branding, innovation, and ecosystem theories as isolated analytical lenses, triangulation enables a synthesised, cross-theoretical interpretation that captures the complexity of co-branding in technologically dynamic environments.

At the conceptual level, the analysis integrates three complementary theoretical perspectives: brand equity theory, innovation management, and digital ecosystem theory. Branding theory contributes insights into associative meaning transfer and identity alignment (Aaker, 1996; Keller, 2013), while innovation theory explains how co-branding can function as a mechanism for capability complementarity, shared risk reduction, and accelerated knowledge exchange (Prahalad & Ramaswamy, 2004). Ecosystem theory extends these perspectives by emphasising the co-creation of value within interconnected platform environments, where consumer participation and data-driven interactions shape the continuous evolution of consumer experiences (Aarikka-Stenroos & Ritala, 2017; Schmitt, 2019). When synthesised, these theoretical traditions reveal co-branding not simply as a communication strategy, but as a structural driver of technological and market evolution.

Methodological triangulation strengthens analytical validity by incorporating insights from varied empirical traditions. Qualitative case studies illuminate organisational dynamics and collaborative processes; market analytics provide evidence on adoption patterns, industry trajectories, and competitive effects; and corporate documentation offers primary data on strategic intent and technological integration. The convergence of these sources reveals a consistent pattern: in technology-intensive industries, co-branding increasingly operates as a long-term innovation strategy rather than a short-term promotional alliance.

Contextual triangulation situates the Apple–Nike partnership within the broader historical development of wearable technology and digital fitness ecosystems. This temporal and environmental framing clarifies how co-branding functions across interconnected layers of value creation—product design, digital services, behavioural data integration, and community participation. The evolving landscape of smart devices, health informatics, and digital sports culture provides a context in which the partnership's strategic relevance and innovation potential can be more accurately interpreted.

Taken together, these triangulated perspectives position co-branding as a multi-dimensional strategic mechanism that weaves together brand identity, technological capability, and user engagement into mutually reinforcing innovation pathways. They further provide a theoretical basis for understanding how cross-industry collaborations contribute to ecosystem development, capability integration, and long-term value creation in digital markets.

Consequently, the proposed framework offers a robust foundation for analysing the Apple–Nike collaboration while also contributing to broader discussions on innovation, ecosystem governance, and strategic value creation in cross-industry partnerships.

4. Evolution of the Apple–Nike Partnership (2006–2025)

The evolution of the Apple–Nike partnership illustrates how co-branding can develop from a product-focused collaboration into a broader ecosystem-based strategic alliance. Over nearly two decades, the partnership has continuously adapted to technological advancements, changing consumer expectations, and the growing importance of data-driven fitness services. Its development reflects not only the transformation of wearable technologies but also the increasing convergence of branding, innovation, and digital platform strategies. Table 1 summarises the major phases of this evolution and highlights the key strategic milestones that shaped the partnership between 2006 and 2025.

Table 1. Key Development Phases of the Apple–Nike Co-Branding Alliance (2006–2025)

Phase (Years)	Strategic Focus	Key Development	Impact
2006-2012	Foundational integration	Nike+iPod Sport Kit; early online running community	Established digital fitness concept; initial consumer adoption
2013-2016	Expansion into wearables	Nike+ GPS tracking; HealthKit integration	Shift toward multi-metric health tracking
2017-2020	Deep ecosystem integration	Apple Watch Nike Edition; exclusive faces and NRC integration	Transition from product integration to ecosystem integration; strengthened brand synergy
2021-2025	AI-driven personalisation	Advanced analytics; Fitness+ alignment; global challenges	Increased ecosystem value through personalised digital services

Source: Authors' own compilation based on Apple Inc. (2024), Nike, Inc. (2024), Johnson and Turner (2022), Gaille (2023), and Grand View Research (2024).

Phase I (2006–2012): Foundations of Digital Fitness Integration

The launch of the Nike+iPod Sport Kit in 2006 marked one of the earliest attempts to integrate consumer electronics with sports performance tracking. Combining Nike’s sensor technology with Apple’s iPod platform, the collaboration introduced a novel approach to fitness monitoring by enabling runners to track distance, pace, and workout performance while receiving real-time audio feedback. Beyond the technological innovation itself, the partnership promoted a new vision of fitness as a data-driven and digitally enhanced experience.

A significant development during this period was the creation of the Nike+ online community, which incorporated elements of gamification through performance milestones, virtual achievements, and user engagement features. These early initiatives encouraged users to interact with their fitness data in new ways and laid the foundation for the broader quantified-self movement that would later become central to wearable technologies. Although the technological capabilities of the platform remained relatively limited by contemporary standards, this phase demonstrated strong consumer interest in personalised digital fitness experiences and established the core value proposition of the Apple–Nike alliance.

Phase II (2013–2016): Expansion into Wearable Technology

As smartphones, mobile applications, and wearable technologies gained widespread adoption, the Apple–Nike partnership evolved beyond its original sensor-based architecture. During this phase, the collaboration increasingly focused on creating a more interconnected fitness ecosystem capable of capturing and analysing a wider range of user data.

The Nike+ platform introduced enhanced GPS tracking, personalised coaching programmes, and broader activity-monitoring functionalities, while integration with Apple’s emerging HealthKit ecosystem enabled more comprehensive health and performance tracking. The introduction of Nike+ Fuel metrics further reflected the ambition to engage a wider audience beyond dedicated runners by providing a simplified framework for measuring physical activity.

This phase represented an important strategic transition from single-activity tracking toward multidimensional health and fitness monitoring. The partnership increasingly aligned itself with the rapidly expanding wearable technology market and prepared the technological foundations for deeper ecosystem integration.

Phase III (2017–2020): Ecosystem Integration and the Apple Watch Nike Edition

A major turning point in the evolution of the partnership occurred in 2017 with the introduction of the Apple Watch Nike Edition. More than a co-branded product, the device represented the convergence of Apple’s hardware and software capabilities with Nike’s expertise in fitness motivation and athletic engagement.

The Apple Watch Nike Edition offered exclusive watch faces and customised design elements while integrating the Nike Run Club application directly into Apple’s broader activity-tracking ecosystem. At the same time, advances in sensor technologies enabled increasingly sophisticated physiological monitoring, creating opportunities for more personalised coaching and performance feedback.

This period marked the transformation of the partnership from a product-focused collaboration into an ecosystem-level alliance. Apple benefited from Nike’s globally recognised fitness brand and active user community, while Nike gained access to advanced wearable technologies and a rapidly expanding digital platform. The resulting synergy strengthened both firms’ positions within the growing digital fitness market and demonstrated the strategic potential of ecosystem-based co-branding.

Phase IV (2021–2025): Data-Driven Personalisation and AI-Supported Fitness

In recent years, the partnership has increasingly focused on data-driven personalisation and the delivery of highly tailored fitness experiences. Advances in analytics, cloud-based services, and connected devices have enabled the integration of user data across multiple platforms, creating a more seamless and adaptive ecosystem.

The Nike Run Club platform and Apple Fitness+ services have expanded their ability to provide personalised training recommendations, performance insights, and motivational support based on individual user behaviour and activity patterns. Enhanced community functions, including global challenges, social engagement features, and real-time coaching prompts, have further strengthened user participation and platform engagement.

This phase illustrates how the collaboration has continued to evolve in response to changing consumer expectations, which increasingly emphasise convenience, personal relevance, and continuous digital support. Rather than competing solely through individual products, Apple and Nike now create value through an interconnected ecosystem that combines technology, services, and user experience within a unified fitness environment.

Taken as a whole, the evolution of the Apple–Nike partnership demonstrates a gradual shift from product-level integration toward ecosystem-level value creation. While the early stages focused primarily on connecting physical activity with digital tracking, subsequent developments increasingly emphasised data integration, personalised services, and platform-based user engagement. This progression mirrors broader trends within the wearable technology industry, where sustainable competitive advantage is increasingly derived from ecosystem capabilities rather than standalone products. The partnership therefore provides a compelling example of how co-branding can function not only as a marketing strategy but also as a driver of technological innovation, ecosystem development, and long-term consumer engagement.

5. Key Elements of the Co-branding Strategy and Its Impacts

The Apple–Nike partnership illustrates how co-branding can function as a multidimensional strategic mechanism that integrates technological innovation, lifestyle positioning, and ecosystem-based value creation. Rather than operating as a conventional promotional alliance, the partnership is grounded in a long-term strategic orientation that aligns both companies' core competencies—Apple's design-driven technological ecosystem and Nike's performance-oriented brand culture.

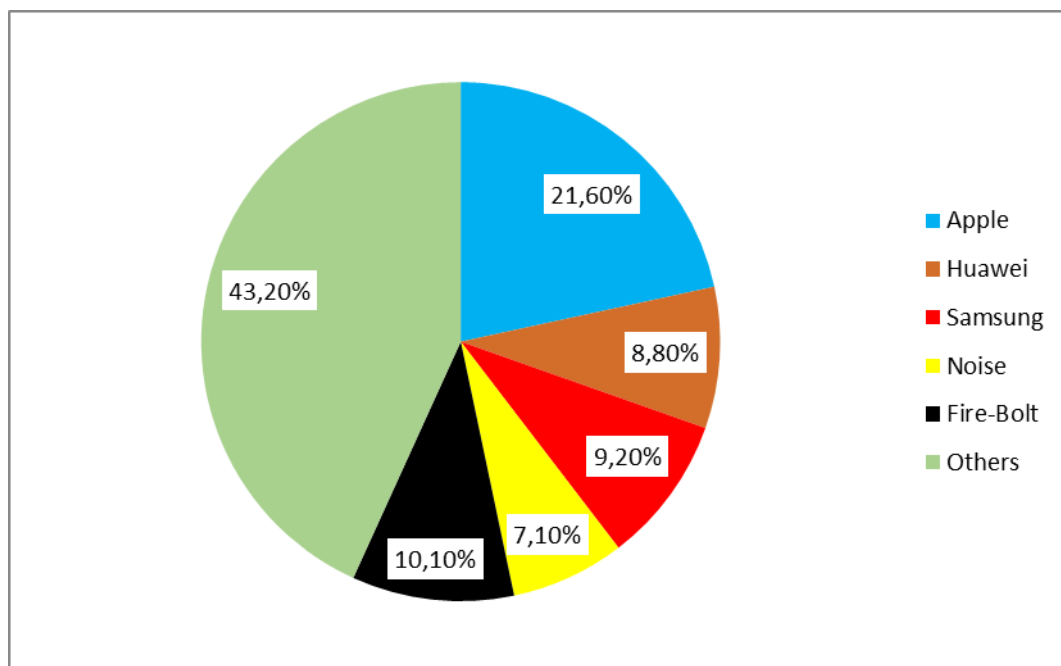
A central factor underpinning the success of the Apple–Nike partnership is the strong strategic fit between the two brands, which enables the integration of complementary technological, functional, and symbolic resources. Apple's reputation for integrated hardware–software ecosystems, minimalist design, and user-centric technological innovation intersects effectively with Nike's expertise in athletic performance, motivation science, and global community building. This alignment not only reinforces each brand's core positioning but also generates synergistic value propositions: Nike's performance-driven coaching frameworks enhance the functional and experiential relevance of Apple's devices, while Apple's ecosystem amplifies Nike's motivational and lifestyle narratives. In doing so, both companies extend their credibility across adjacent technology and lifestyle domains, ensuring that co-branded solutions appear coherent, authentic, and strategically intentional. Such alignment has been central to nurturing trust and sustaining the long-term stability of the partnership.

Technological integration constitutes another defining dimension of the collaboration. The progression from the early Nike+iPod Sport Kit to the Apple Watch Nike Edition reflects a steady shift from isolated product partnerships toward a fully connected digital ecosystem. Through embedded connectivity and cross-platform synchronisation, Nike Run Club is deeply integrated into Apple's HealthKit and watchOS environments, enabling continuous data flows that merge biometric tracking with sport-science-based coaching insights. This evolving interoperability enables the continuous integration of user data, coaching services, and behavioural feedback across multiple touchpoints, ensuring that the user experience extends

beyond individual devices and becomes embedded within a broader digital fitness ecosystem. As the partnership matured, co-branding became less about co-produced artefacts and more about orchestrating a coherent digital ecosystem that offers continuity, intelligence, and unified experiential value.

The strategic relevance of this ecosystem-oriented approach becomes particularly evident when viewed against the rapid expansion of the global wearable technology industry. The wearable technology market, valued at approximately USD 84.2 billion in 2024, illustrates the strategic importance of partnerships like Apple × Nike. As shown in Figure 1, Apple maintains a leading position in the global smartwatch market, reinforcing the strategic value of the collaboration with Nike.

Figure 1. Global Smartwatch Shipment Market Shares, Q1 2024



Source: Authors own compilation based on Statista (2024)

The experiential dimension further strengthens the collaborative strategy. Nike's longstanding expertise in motivation, behavioural psychology, and community engagement is enhanced by Apple's design ethos and personalisation capabilities. Gamified activity frameworks, adaptive data-driven coaching, and digitally integrated communities foster routine engagement and emotional resonance, embedding both brands into users' everyday fitness practices. This experience-driven approach does more than increase retention. It creates a hybrid motivational environment in which self-tracking, personalised feedback, and social comparison reinforce one another, fostering deeper loyalty and sustained participation within the ecosystem.

These strategic and technological mechanisms have generated significant market impacts. Apple has consolidated its leadership in the global wearable sector, while Nike has revitalised and expanded its digital presence through deeper ecosystem integration. The Apple Watch Nike Edition, as a co-created category exemplar, differentiates itself through an ecosystem value proposition that competitors find difficult to replicate. Beyond direct sales, the collaboration has accelerated the mainstream adoption of digital fitness practices and helped redefine consumer expectations regarding personalised, data-driven health and performance solutions.

Organisationally, the partnership functions as a dynamic innovation platform that leverages Apple's R&D capabilities and Nike's sport-science insights. This collaboration enables rapid experimentation with IoT-enabled performance systems, AI-driven personalisation frameworks, and iterative ecosystem enhancements. Through continuous feedback loops based on real-world behavioural data, both organisations develop new competencies that extend beyond the confines of traditional marketing partnerships. In this context, the alliance demonstrates how co-branding can evolve beyond a marketing instrument into a platform for shared organisational learning, capability development, and long-term innovation.

6. Challenges and Future Outlook

The continued evolution of the Apple–Nike partnership calls for a forward-looking assessment of both the opportunities and constraints associated with sustaining a long-term, innovation-driven co-branding alliance. While the collaboration is well positioned to benefit from accelerating advancements in wearable technology, AI, and digital health ecosystems, it must simultaneously navigate issues related to strategic alignment, innovation rhythm, data ethics, and shifting consumer expectations. This section synthesises the key dimensions shaping the partnership's future trajectory, offering a refined and academically grounded evaluation of its primary challenges and opportunities.

6.1. Sustaining Brand Synergy

Maintaining coherent and mutually reinforcing brand synergy remains one of the most critical and complex aspects of the Apple–Nike alliance. Although both brands share core values related to performance, design excellence, and user empowerment, their identities and corporate cultures differ substantially. Apple is rooted in minimalist design principles, technological integration, and universal usability, whereas Nike emphasises athletic achievement, motivation, and lifestyle expression. The strength of the partnership lies in the compatibility of these values, yet continuous alignment is required to preserve authenticity and consumer trust.

As Blackett and Russell (1999) emphasize that co-branding success depends fundamentally on value congruence and perceived authenticity. If users detect inconsistencies—such as mismatched messaging, overextension through frequent releases, or brand dilution—the partnership risks weakening its credibility. Avoiding overexposure is therefore essential: excessive or poorly targeted collaborations may reduce the perceived distinctiveness of co-branded products. Strategies such as carefully curated limited editions, targeted seasonal releases, and segment-specific campaigns can help maintain a sense of novelty and exclusivity.

Furthermore, synergy depends on coherent communication across digital and physical touchpoints. Integrated storytelling, omnichannel experiences, and consistent narrative framing ensure that the partnership feels balanced, with neither brand overshadowing the other. Sustaining brand synergy is an ongoing managerial challenge—one that requires deliberate coordination, continuous consumer insight analysis, and strategic restraint to preserve both relevance and long-term differentiation.

6.2. Managing Innovation Cycles

A second significant challenge arises from the need to harmonise the differing innovation cycles of Apple and Nike. Apple typically operates within an annual cadence of hardware launches and software updates, driven by platform-based development and global product release events. Nike, by contrast, follows seasonal product rhythms aligned with sport calendars, training periods, and fashion cycles. Misalignment can create friction, potentially

weakening the impact of co-branded innovations or causing missed opportunities for coordinated market entry.

To mitigate this, the partnership must adopt adaptive and modular innovation planning. Digital updates—such as enhanced app features, AI-generated coaching insights, or personalised recommendations—can complement physical product cycles, ensuring that innovation is experienced continuously rather than episodically. Collaborative product timing around peak consumer engagement periods can further strengthen perceived synergy.

The increasing influence of AI, sustainability standards, and advanced analytics adds additional layers of complexity. AI-based predictive modelling, for instance, can assist both companies in anticipating user needs and optimising release schedules (McKinsey & Company, 2023). Similarly, sustainability initiatives—including circular design, eco-friendly materials, and energy-efficient operations—may require longer planning cycles, potentially reshaping innovation timelines. Effective management of these developments requires coordinated cross-organisational planning, data integration, and shared innovation roadmaps.

Ultimately, managing innovation cycles is less about synchronising release dates and more about building a flexible, user-centred innovation ecosystem. Through responsive planning and continuous digital enhancement, Apple and Nike can convert potential scheduling conflicts into competitive advantages that reinforce their ecosystem-driven value proposition.

6.3. Evolution Toward Personalised, AI-Driven Experiences

Looking ahead, one of the most transformative opportunities for the partnership lies in the development of personalised, AI-enhanced fitness and lifestyle experiences. The convergence of wearable technology, behaviour analytics, and machine learning enables the creation of adaptive coaching systems that evolve with each user's performance patterns, goals, and preferences. Apple's sensor ecosystem and Nike's sport-science-based training methodologies form a strong foundation for developing predictive fitness insights, real-time intervention prompts, and emotionally resonant motivational content.

Heightened personalisation strengthens engagement and deepens loyalty, as consumers increasingly expect digital products that are anticipatory, responsive, and seamlessly integrated into daily routines. However, the evolution toward pervasive AI also presents notable challenges. Data ethics, compliance with privacy regulations, and transparent information governance are essential to maintaining user trust. The partnership must therefore balance innovation with accountability, ensuring that data-driven enhancements remain consistent with evolving standards of privacy, fairness, and sustainability.

Despite these challenges, AI-driven personalisation represents a substantial strategic frontier for both brands. By combining technological expertise, behavioural insight, and design-driven innovation, Apple and Nike are well positioned to deliver next-generation digital fitness experiences that are simultaneously functional, adaptive, and emotionally engaging. This trajectory reinforces the broader potential of the alliance: co-branding not merely as joint communication, but as a shared platform for shaping the future of digital health, performance optimisation, and human–technology interaction.

Summary and conclusions

The Apple–Nike partnership illustrates how co-branding can function as a multidimensional strategic mechanism that integrates technological innovation, market innovation, lifestyle positioning, and ecosystem-based value creation. Rather than operating as a conventional promotional alliance, the partnership is grounded in a long-term strategic orientation that aligns both companies' core competencies—Apple's design-driven technological ecosystem and Nike's performance-oriented brand culture. Rather than functioning as a conventional marketing alliance, the collaboration demonstrates how two globally influential brands can leverage complementary competencies—Apple's integrated technological ecosystem and Nike's performance-oriented brand culture—to build a cohesive, future-oriented value proposition.

Across nearly two decades of cooperation, from the early Nike+iPod Sport Kit to the Apple Watch Nike Edition and the seamless integration of Nike Run Club into Apple's digital ecosystem, the alliance has consistently anticipated shifts in consumer expectations regarding digital fitness, data personalisation, and lifestyle–technology convergence. By tightly synchronising hardware, software, and user experience, Apple and Nike have helped redefine the wearable technology market and set new standards for digital athletics.

The outcomes of this co-branding alliance are multidimensional. Economically, Apple has consolidated its leadership in the global smartwatch and wearable sector, maintaining over 25% market share (Statista, 2025), while Nike has strengthened its digital platform identity through enhanced data-driven engagement and motivational design strategies. Strategically, the partnership has reinforced Apple's position as a pioneer of smart, user-centric technologies and bolstered Nike's role as a culturally resonant, performance-driven lifestyle brand. For consumers, the collaboration has generated deeper loyalty and continuous engagement, fuelled by personalised feedback loops, gamified motivation, and a community-based digital fitness experience. From an innovation standpoint, the joint development of IoT-enabled products and AI-supported performance analytics illustrates how co-branding can function as a living laboratory for technological experimentation and advancement.

Yet the success of the partnership also underscores the challenges inherent in sustaining long-term strategic synergy. In a landscape shaped by accelerating innovation cycles and shifting values around sustainability, inclusivity, and AI-driven personalisation, Apple and Nike must continue to adapt their shared ecosystem to emerging technological trajectories and evolving consumer expectations. Maintaining agility and fostering continuous co-creation will be essential for preserving the alliance's relevance and future impact.

Ultimately, the Apple–Nike collaboration demonstrates that when co-branding is deeply integrated with innovation management, it can generate outcomes that exceed the sum of individual corporate capabilities. It enables the creation of new markets, influences consumer behaviour, and reshapes the definition of value in an increasingly digital economy. The case underscores a broader implication for innovation leaders: sustainable growth emerges not solely from competition, but from purpose-driven collaboration grounded in shared technological vision and human-centred design.

REFERENCES

- Aaker, D.A. (1996). *Building Strong Brands*. New York: Free Press. ISBN: 978-0029001513.
- Apple Inc. (2024). Apple Watch Nike Edition. Available at: <https://www.apple.com/apple-watch-nike/> (Accessed: 10 March, 2026).
- Aarikka-Stenroos, L. & Ritala, P. (2017). Network management in the era of ecosystems: Systematic review and management framework, *Industrial Marketing Management*, 67, pp. 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.08.010>
<https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.08.010>
- BankMyCell (2025). Global smartwatch market share & shipments. Available at: <https://www.bankmycell.com/blog/global-smartwatch-market-share/> (Accessed: 30 April, 2026).
- Blackett, T. & Russell, N. (1999). What is co-branding?, in Blackett, T. and Boad, B. (eds.) *Co-branding: The Science of Alliance*. London: Palgrave Macmillan, pp. 1–22. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1057/9780230508573_1 (Accessed: 1 November 2025). <https://doi.org/10.1057/9780230599673>
- Bouten, L.M., Snelders, D. & Hultink, E.J. (2011). The impact of fit measures on the consumer evaluation of new co-branded products, *Journal of Product Innovation Management*, 28(4), pp. 455–469, <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00811.x>
- Co-branding – Meaning, types, and strategies (n.d.) GeeksforGeeks. Available at: <https://www.geeksforgeeks.org/marketing/co-branding-meaning-types-types-and-strategies/> (Accessed: 12 March, 2026).
- Co-branding (definition, types & strategies) (n.d.) Investopedia. Available at: <https://www.investopedia.com/terms/c/cobranding.asp> (Accessed: 12 March, 2026).
- Co-branding: A strategic decision in a competitive world (2023). ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/369094171_CO-BRANDING_A_STRATEGIC_DECISION_IN_A_COMPETITIVE_WORLD (Accessed: 10 March, 2026).
- Co-branding research and theory (2000). Springer. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1057/bm.2000.3> (Accessed: 10 March, 2026).
- Co-branding research: Where we are and where we’re going (2022). *European Journal of Marketing*, 56(2), pp. 584–608. Available at: <https://www.emerald.com/ejm/article-abstract/56/2/584/88686/> (Accessed: 10 March, 2026).
<https://doi.org/10.1108/EJM-02-2021-0073>
- DemandSage (2025) Smartwatch statistics 2025. Market shares & sales data. Available at: <https://www.demandsage.com/smartwatch-statistics/> (Accessed: 05 April, 2026).
- Gaille, B. (2023) ‘Co-branding strategies: Case studies of Apple and Nike partnerships’, *Journal of Brand Strategy*, 12(3), pp. 155–172. Available at: <https://www.brandstrategyjournal.com/articles/apple-nike-co-branding> (Accessed: 28 April, 2026).
- Grand View Research (2024) *Wearable technology market size*, Industry report 2030. Available at: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wearable-technology-market> (Accessed: 30 April, 2026).

- Helmig, B., Huber, J.-A. and Leeﬂang, P.S.H. (2008). Co-branding: The state of the art, *Schmalenbach Business Review*, 60(4), pp. 359–377, <https://doi.org/10.1007/BF03396773>
- Johnson, M. & Turner, J. (2022). Digital ecosystems and co-branding in the fitness technology sector, *International Journal of Innovation Management*, 26(4), 2250045. <https://doi.org/10.1142/S1363919622500459>
- Keller, K.L. (2013). *Strategic Brand Management: Building, Measuring, and Managing Brand Equity*. 4th edn. Pearson Education. Available at: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/strategic-brand-management/P200000006412/9780133858577> (Accessed: 28 October 2025).
- Kotler, P., Keller, K.L. & Chernev, A. (2022). *Marketing Management*. 16th edn. Pearson Education. Available at: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/marketing-management> (Accessed: 27 October 2025).
- Nike, Inc. (2024). Nike Run Club & Training Club apps. Available at: <https://www.nike.com/nrc-app> (Accessed: 30 April, 2026).
- Nineblaess (2025). Co-branding. Available at: <https://www.nineblaess.de/blog/co-branding/> (Accessed: 1 November 2025).
- Prahalad, C.K. & Ramaswamy, V. (2004). *The Future of Competition: Co-creating Unique Value with Customers*. Boston: Harvard Business School Press. <https://doi.org/10.1108/10878570410699249>
- Rindfleisch, A. & Heide, J.B. (1997). Transaction cost analysis: Past, present, and future applications, *Journal of Marketing*, 61(4), pp. 30–54. <https://doi.org/10.1177/002224299706100403>
- Schmitt, B. (2019). *Experiential Marketing: How to Get Customers to Sense, Feel, Think, Act, and Relate to Your Company and Brands*. New York: Free Press. ISBN: 978-0743202530

LINK: <https://www.edutus.hu/cikk/intraokularis-lencsek-iol-gyartasi-folyamatanak-fejlesztese-es-technologiaja/>

Intraokuláris lencsék (IOL) gyártási folyamatának fejlesztése és technológiája

SZAMOSI BARNA mesteroktató
Edutus Egyetem Műszaki Intézet
e-mail: szamosi.barna@edutus.hu

KOMÁRNÉ ABONYI MÓNICA műszaki menedzser MSc.
Edutus Egyetem Műszaki Intézet
e-mail: abonyi80@gmail.com

DOI: [10.47273/AP.2026.38.18-37](https://doi.org/10.47273/AP.2026.38.18-37)

ABSZTRAKT

Az intraokuláris lencsék (IOL) a szürkehályog-műtétek során alkalmazott, nagy pontosságot és szigorú minőségbiztosítást igénylő orvostechikai eszközök. Gyártásuk során az optikai és mechanikai követelményeknek, az anyagtulajdonságoknak, a biokompatibilitásnak, valamint a sterilizálhatóság és a hosszú távú stabilitás követelményeinek együttesen kell megfelelni. A tanulmány célja az intraokuláris lencsék felépítésének, anyagtulajdonságainak és főbb típusainak bemutatása, továbbá a gyártásuk során alkalmazott technológiák és az ezekhez kapcsolódó minőségbiztosítási eljárások áttekintése. A vizsgálat kiterjed a gyártási folyamat főbb lépéseire, a precíziós megmunkálás sajátosságaira, a vizuális és felületi ellenőrzésre, a felületkezelési eljárásokra, valamint a tisztítási és sterilizálási folyamatokra. A kutatás külön figyelmet fordít azokra a technológiai tényezőkre, amelyek a késztermék geometriai pontosságát, optikai tulajdonságait és felületi minőségét befolyásolják. Az elemzés alapján megállapítható, hogy az IOL-gyártás eredményessége csak a teljes gyártási folyamat egymásra épülő technológiai, anyagtudományi és minőségbiztosítási elemeinek összehangolt kezelésével biztosítható. A téma jelentőségét az adja, hogy az IOL-technológiák további fejlesztése a precíziós gyártás, az anyagtechnológia és a minőségellenőrzés fejlődésével együtt új lehetőségeket teremthet a korszerű, megbízható és klinikai igényekhez jobban illeszkedő intraokuláris lencsék előállítására.

Kulcsszavak: intraokuláris lencse; orvostechikai eszköz; gyártástechnológia; precíziós megmunkálás; polimer anyagok; felületkezelés; sterilizálás; minőségbiztosítás

ABSTRACT

Intraocular lenses (IOLs) are medical devices used in cataract surgery whose manufacturing requires a high degree of precision and strict quality assurance. Their production must simultaneously meet requirements related to optical and mechanical performance, material properties, biocompatibility, sterilizability, and long-term stability. The aim of this study is to present the structure, material properties, and main types of intraocular lenses, and to provide

an overview of the manufacturing technologies and quality assurance procedures associated with their production. The study covers the main stages of the manufacturing process, the specific characteristics of precision machining, visual and surface inspection, surface treatment procedures, as well as cleaning and sterilization processes. Particular attention is given to the technological factors that influence the geometrical accuracy, optical properties, and surface quality of the finished lens. The analysis indicates that the performance and reliability of IOL manufacturing depend on the coordinated control of the interconnected technological, material-related, and quality assurance aspects of the entire production process. The relevance of the topic lies in the fact that further advances in IOL manufacturing, supported by developments in precision manufacturing, materials engineering, and quality control, may create new opportunities for the production of reliable intraocular lenses that are better aligned with evolving clinical requirements.

Keywords: intraocular lens, IOL, medical device, manufacturing technology, precision machining; polymer materials; surface treatment; sterilization; quality assurance

1. Bevezetés

A látás az emberi környezettel való kapcsolat egyik alapvető feltétele, amelyben a szem optikai rendszere és azon belül a természetes szemlencse meghatározó szerepet tölt be. A szemlencse a beérkező fénysugarak retinára történő fókuszálásában vesz részt, ezáltal alapvető szerepe van az éles kép kialakításában. Az életkor előrehaladásával, illetve egyes kóros állapotok következtében a szemlencse szerkezete és optikai tulajdonságai azonban fokozatosan károsodhatnak. Ennek egyik leggyakoribb következménye a szürkehályog, vagyis a katarakta, amely a látásélesség és a kontrasztérzékenység romlásához, előrehaladott esetben pedig jelentős látásvesztéshez vezethet. A katarakta napjainkban is a látásvesztés egyik meghatározó oka világszerte, különösen az idősebb népesség körében (Flaxman et al., 2017; World Health Organization, 2026). A szürkehályog kialakulása jelentős népegészségügyi problémát jelent, mivel a betegség okozta látásvesztés megfelelő ellátás esetén jellemzően megelőzhető vagy kezelhető. A globális adatok szerint a katarakta a vakság egyik vezető oka, miközben a hozzáférhető sebészeti kezelés révén az általa okozott látásromlás jelentős része visszafordítható (Flaxman et al., 2017). A betegség terhe ugyanakkor nem kizárólag az idős populációt érinti. Gyermekekben a veleszületett és fejlődési eredetű katarakta különösen jelentős probléma lehet az alacsony jövedelmű régiókban, ahol a diagnosztikai és sebészeti ellátáshoz való hozzáférés korlátozott (World Health Organization, 2026).

A szürkehályog kezelésének alapvető módszere a műtéti beavatkozás, amelynek során az elszűrűlt természetes szemlencsét eltávolítják, majd annak optikai funkcióját mesterséges intraokuláris lencsével (intraocular lens, IOL) állítják helyre. Az intraokuláris lencsék alkalmazása ugyanakkor ma már nem kizárólag a kataraktaműtétekhez kapcsolódik. Bizonyos refraktív beavatkozások, traumás szemkárosodások, valamint egyes veleszületett vagy fejlődési rendellenességek esetén szintén szükségessé válhat a természetes szemlencse pótlása. Az IOL-ek kialakítása ezért a klinikai igényekhez igazodva jelentős fejlődésen ment keresztül: a hagyományos monofokális konstrukciók mellett torikus, multifokális, illetve egyéb speciális optikai kialakítások is megjelentek (Werner, 2021; Luo et al., 2022).

Az intraokuláris lencsék fejlődése szorosan összekapcsolódik az alkalmazott anyagok és gyártástechnológiák fejlődésével. Az első sikeres IOL-beültetés Sir Harold Ridley nevéhez kapcsolódik, aki 1949-ben, a londoni St Thomas' Hospitalban alkalmazott először mesterséges lencsét a természetes szemlencse optikai funkciójának pótlására. A fejlesztés egyik kiindulópontját a második világháború során szerzett klinikai megfigyelései jelentették: a repülőgépek akril szélvédőiből származó anyagdarabok szembe kerülve egyes esetekben tartósan jelen lehettek anélkül, hogy azonnali, súlyos idegentest-reakciót váltottak volna ki (Hurley, 2024). A szakirodalom ugyanakkor rámutat arra, hogy az első, 1949. november 29-i beültetés és az első tartósan az adott szemben hagyott implantátum között különbséget kell tenni; az utóbbi 1950. február 8-án történt (Grzybowski et al., 2025).

A kezdetben alkalmazott merev polimetil-metakrilát (polymethyl methacrylate, PMMA) alapú IOL-ek fontos mérföldkövet jelentettek az intraokuláris lencsék fejlődésében, azonban a modern kataraktsebészet fejlődésével egyre nagyobb jelentőségre tettek szert a hajlítható polimer alapú lencsék. A szilikon-, valamint a hidrofób és hidrofil akrilát alapú anyagok lehetővé tették a kisebb sebészeti metszésen keresztül történő implantációt, ami szorosan összekapcsolódott a kis metszéses kataraktsebészeti technikák fejlődésével (Luo et al., 2022; Werner, 2021). Az alkalmazott biomateriális rendszer nem csupán a lencse mechanikai kezelhetőségét és optikai tulajdonságait határozza meg, hanem a biokompatibilitás, a kapszuláris és uveális reakciók, valamint a hosszú távú optikai stabilitás szempontjából is meghatározó. Az IOL-anyagok között ezért olyan különbségek lehetnek, amelyek befolyásolják többek között a hátsó tok homályának kialakulását, a posztoperatív gyulladásos reakciókat, a lencse optikai stabilitását és bizonyos anyagok esetében az opacifikáció kialakulását (Werner, 2021; Luo et al., 2022). A legújabb összefoglaló vizsgálatok szerint az IOL-anyag megválasztása a sebészeti körülményekkel és a lencse kialakításával együtt a klinikai eredmények több aspektusára is hatással lehet (Grzybowski, Auffarth and LaHood, 2025).

Az IOL-ek olyan összetett orvostechikai eszközök, amelyek esetében az optikai, mechanikai, anyagtani és biológiai követelmények egyidejű teljesítése szükséges. E követelmények közvetlenül megjelennek a gyártás és a minőségellenőrzés rendszerében is. Az IOL-ek optikai tulajdonságaira, illetve mechanikai viselkedésére vonatkozó követelményeket és vizsgálati módszereket nemzetközi szabványok is meghatározzák; az ISO 11979 szabványsorozat ezen belül külön foglalkozik többek között az optikai tulajdonságokkal és a mechanikai jellemzőkkel (ISO, 2024; ISO, 2012). Az IOL-ek gyártása ezért a precíziós gyártástechnológia és az orvostechika sajátos metszéspontját jelenti. A gyártás során biztosítani kell az optikai geometria megfelelő pontosságát, a felületek magas minőségét, a megfelelő mechanikai tulajdonságokat és az anyag hosszú távú stabilitását. A korszerű IOL-ek előállításában egyaránt alkalmaznak formázási, megmunkálási és felületkezelési technológiákat. Különösen a személyre szabott vagy kis sorozatban gyártott lencsék esetében kap jelentős szerepet az ultraprecíziós megmunkálás, ezen belül a gyémántszerszámos esztergálás (diamond turning), amely lehetővé teszi az optikai felületek nagy pontosságú kialakítását (Wang et al., 2024).

A gyártástechnológia és a végtermék tulajdonságai közötti kapcsolat különösen jelentős a polimer alapú, hajlítható IOL-ek esetében. A megmunkálási paraméterek, a hőmérséklet-szabályozás, a befogási körülmények, a felületi megmunkálás és az azt követő polírozási vagy egyéb felületkezelési műveletek egyaránt hatással lehetnek a felületi minőségre és ezáltal az optikai teljesítményre. A szakirodalom alapján az IOL-ek gyártásában a lathe-cutting, az ultraprecíziós gyémántmegmunkálás és az injekciós fröccsöntés egyaránt alkalmazott

technológiák, amelyek eltérő technológiai és minőségbiztosítási követelményeket támasztanak (Luo et al., 2022; Wang et al., 2024). A gyártási folyamat jelentőségét tovább növeli, hogy az IOL tartósan a szem biológiailag aktív környezetében működő implantátum. Emiatt az alapanyag kiválasztásától és előkészítésétől a precíziós megmunkáláson, felületkezelésen és tisztításon keresztül a sterilizálásig és a végső minőségellenőrzésig terjedő folyamatot egységes technológiai rendszerként célszerű értelmezni. A gyártási és ellenőrzési lépések összehangolása különösen fontos az optikai teljesítmény, a mechanikai stabilitás és a hosszú távú funkcionális megbízhatóság egyidejű biztosítása szempontjából (Werner, 2021; ISO, 2024; ISO, 2012).

A tanulmány célja ezért az intraokuláris lencsék gyártási folyamatának és az alkalmazott technológiáknak az átfogó bemutatása és rendszerezése. A vizsgálat kiterjed az IOL-ek szerkezetére, anyagtulajdonságaira és főbb típusaira, a gyártás során alkalmazott technológiai lépésekre, a vizuális és felületi ellenőrzésre, a felületkezelési eljárásokra, valamint a tisztítás és sterilizálás folyamatára. Külön hangsúlyt kap a minőségbiztosítás szerepe és azoknak a technológiai tényezőknek az azonosítása, amelyek meghatározzák a lencsék optikai, mechanikai és funkcionális megbízhatósága szempontjából. A tanulmány egyúttal kitekint azokra a fejlesztési és innovációs irányokra is, amelyek a precíziós gyártás, az anyagtechnológia, az optikai tervezés és a minőségellenőrzés fejlődésével az IOL-ek további korszerűsítésének alapját jelenthetik.

2. Kutatásmódszertan és alkalmazott megközelítés

A tanulmány céljának megfelelően a vizsgálat elsősorban szakirodalmi alapú, rendszerező és technológiai elemzésre épül. Ennek során az intraokuláris lencsék szerkezeti kialakítását, optikai működését, anyagtulajdonságait, gyártástechnológiáját és a hozzájuk kapcsolódó minőségbiztosítási követelményeket egymással összefüggő műszaki rendszerként kezeltük. Az elemzés alapját lektorált tudományos közlemények és összefoglaló tanulmányok, az IOL-ekre vonatkozó nemzetközi szabványok, valamint – a konkrét termékek szerkezeti és alkalmazási jellemzőinek bemutatásakor – gyártói műszaki dokumentációk képezték.

A szakirodalom feldolgozása során kiemelt szempont volt az IOL-ek anyaga, optikai kialakítása, mechanikai és biológiai viselkedése, valamint az ezek és a gyártástechnológia közötti kapcsolat feltárása. A különböző lencsetípusok összehasonlítása során nem kizárólag klinikai szempontokat vettünk figyelembe, hanem azokat a mérnöki tulajdonságokat is, amelyek a gyártási folyamat megválasztását, a megmunkálhatóságot, a méret- és alakpontosságot, a felületi minőséget, valamint a hosszú távú funkcionális megbízhatóságot befolyásolják.

A vizsgálat nem önálló klinikai kísérleti kutatás, hanem a rendelkezésre álló szakirodalmi és műszaki információk integrált értelmezésére irányuló elemzés. Ennek megfelelően a tanulmány elsődleges célja azoknak az összefüggéseknek a feltárása, amelyek az IOL-ek optikai és funkcionális követelményei, az alkalmazott biomateriális rendszerek és a korszerű precíziós gyártástechnológiák között állnak fenn.

3. Az intraokuláris lencsék

Az intraokuláris lencsék (IOL) a modern szemsebészet meghatározó implantátumai közé tartoznak. Alkalmazásuk a szürkehályogsebészet fejlődésével széles körben elterjedt, miközben az optikai tervezés, az anyagtudomány és a sebészeti technikák fejlődése az IOL-ek funkcionális és szerkezeti sokféleségének jelentős bővüléséhez vezetett. A korszerű IOL-ek már nem kizárólag a természetes szemlencse optikai funkciójának egyszerű pótlását szolgálják, hanem a fénytörési hibák és a presbyopia különböző formáinak korrekciójára is optimalizálhatók (Werner, 2021; Chen, Al-Mohtaseb and Chen, 2024).

Az IOL-ek iránti kereslet növekedésének egyik legfontosabb tényezője a népesség öregedése és az ezzel összefüggő szürkehályog terhelés. Ezzel párhuzamosan az IOL-technológia fejlődését a páciensek növekvő szemüveg függetlenségi igénye, a korszerű diagnosztikai és sebészeti módszerek, valamint az optikai teljesítmény javítására irányuló fejlesztések is ösztönzik. Az IOL-ek piaca ezért olyan magas hozzáadott értékű orvostechikai területként értelmezhető, amelyben a termékfejlesztés egyszerre támaszkodik optikai tervezésre, biomateriális kutatásra, precíziós gyártásra és szigorú minőségbiztosításra (Werner, 2021).

A szektor sajátossága, hogy az innováció nem egyszerűen a termékek számának növelését jelenti. A különböző optikai konstrukciók, anyagrendszerek és geometriai kialakítások olyan komplex mérnöki optimalizálási feladatot eredményeznek, amelyben az optikai teljesítmény, a mechanikai stabilitás, a sebészeti kezelhetőség és a biokompatibilitás egyidejű biztosítása szükséges. Az IOL-ek ezért a precíziós gyártás és az orvostechika olyan területét képviselik, ahol a termékminőség közvetlenül kapcsolódik a gyártási folyamat reprodukálhatóságához és a felhasznált anyag tulajdonságaihoz. A globális piac mellett Magyarországon is jelen van az IOL-fejlesztés és -gyártás. Ennek jól azonosítható példája a Medicontur, amely több mint három évtizede foglalkozik IOL-rendszerek fejlesztésével és gyártásával, zsámbéki gyártóüzemmel rendelkezik, és saját közlése szerint több mint 60 országban vannak jelen implantátumaik (Medicontur, 2026). A hazai jelenlét ezért nem csupán a termékek felhasználása, hanem a fejlesztés és a nagy pontosságú gyártás szempontjából is indokoltá teszi az IOL-ek mérnöki vizsgálatát.

Az IOL-ek optikai kialakításának fejlődése különösen jól szemlélteti az orvosi és mérnöki szempontok összekapcsolódását. A monofokális lencsék egy domináns fókuszt biztosítanak, míg a multifokális és trifokális konstrukciók több látótávolság egyidejű javítására törekednek. A tórikus IOL-ek a szaruhártya asztigmatizmusának korrekcióját szolgálják, míg az extended depth of focus (EDoF) technológia a használható fókusztartomány kiterjesztésére irányul. Az EDoF-lencsék optikai működése ugyanakkor nem egységes: különböző konstrukciók eltérő optikai elvekkel hoznak létre kiterjesztett fókusztartományt, és egyes megoldások multifokális elemekkel is kombinálhatók (Zhu et al., 2023). A korszerű presbyopia-korrigáló IOL-ek fejlesztésének egyik fontos célja a szemüvegfüggőség csökkentése a távoli, köztes és közeli látás egyidejű javítása mellett. A multifokális és EDoF-lencsék alkalmazása azonban optikai kompromisszumokat is magában foglalhat. A multifokális rendszerek esetében például a fényenergia több fókuszt között oszlik meg, és egyes konstrukcióknál a fényudvarok (halók) és a káprázás (glare) gyakoribb lehet. Az EDoF-rendszerek egyik fejlesztési célja ezért a használható fókusztartomány növelése a fotikus mellékhatások mérséklése mellett (Zhu et al., 2023; Chen, Al-Mohtaseb and Chen, 2024).

A különböző optikai konstrukciók ugyanakkor eltérő gyártástechnológiai követelményeket támasztanak. A lencse optikai felületének geometriája, az aszférikus vagy diffraktív struktúrák kialakítása, a tórikus felületek orientációja, valamint az optikai és mechanikai elemek egymáshoz viszonyított helyzete egyaránt nagy pontosságot igényel. Különösen fontos a lencse centrálhatósága és a megfelelő rotációs stabilitás, mivel az optikai tengelytől való eltérés bizonyos korszerű IOL-konstrukciók teljesítményét kedvezőtlenül befolyásolhatja (Werner, 2021).

A korszerű, kis metszéses kataraktasebészeti technikák elterjedése az összehajtható IOL-ek fejlődését is elősegítette. A merev PMMA-lencsét fokozatosan olyan hajlítható polimer alapú rendszerek egészítették ki, illetve váltották fel, amelyek kisebb sebészeti metszésen keresztül is implantálhatók. Az anyagválasztás így közvetlen kapcsolatba került a sebészeti technikával: az implantátum megfelelő mechanikai viselkedése, rugalmassága és alakviszanyerése a beültethetőség, míg optikai és biológiai tulajdonságai a hosszú távú klinikai eredmény szempontjából váltak meghatározóvá (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021). Az intraokuláris lencsék fejlődése ezért olyan multidiszciplináris folyamatként értelmezhető, amelyben a klinikai igények, az optikai tervezés, az anyagtechnológia és a gyártástechnológia egymást kölcsönösen alakítják. Ennek megfelelően az IOL-ek szerkezetének és anyagainak vizsgálata nem választható el a gyártás során alkalmazott technológiai és minőségbiztosítási követelményektől

3.1. Az IOL-ek szerkezete, anyagtulajdonságai és követelményei

Az intraokuláris lencse szerkezeti kialakítása alapvetően két funkcionális egységre bontható: a fénytörést biztosító optikai részre (optic) és a lencse szemben belüli pozicionálását, illetve stabilizálását szolgáló haptikára (haptic). A két szerkezeti elem együttesen határozza meg az implantátum optikai és mechanikai viselkedését. Az optikai zóna geometriai kialakítása, felületi profilja és átmérője az elérhető optikai teljesítmény, míg a haptika geometriája, rugalmassága és rögzítési módja a lencse centráltsága és rotációs stabilitása szempontjából meghatározó (Werner, 2021).

A korszerű IOL-ek optikai átmérője jellemzően több milliméteres nagyságrendű, a teljes implantátum átmérője pedig az alkalmazott rögzítési konstrukciótól függően általában meghaladja az optikai zóna átmérőjét. A konkrét geometriai méretek azonban termékenként és indikációnként eltérhetnek, ezért az egyes típusok méreteit a gyártói műszaki dokumentáció alapján célszerű megadni (ZEISS, 2019; Werner, 2021). A haptika elsődleges feladata az optikai elem megfelelő helyzetének fenntartása a szemben. A leggyakoribb hátsó csarnoki IOL-konstrukciók esetében a lencse a tokzsákban helyezkedik el, míg bizonyos másodlagos vagy kiegészítő lencsék a sulcusban kerülnek elhelyezésre. A haptikák kialakítása lehet például C-alakú, lemezszerű vagy többpontos rögzítést biztosító konstrukció. A haptika geometriája nem pusztán mechanikai kérdés: a centráltság és a rotációs stabilitás közvetlenül befolyásolhatja az optikai rendszer működését, különösen tórikus, multifokális és más, nagyobb optikai érzékenységgű konstrukciók esetében (Werner, 2021).

Az IOL-ek optikai kialakítása az elmúlt évtizedekben jelentősen differenciálódott. A hagyományos monofokális konstrukciók mellett megjelentek a tórikus, multifokális, aszférikus és kiterjesztett fókusztartományú (EDoF) megoldások, amelyek eltérő optikai elvekkel és klinikai célokkal rendelkeznek. A monofokális lencsék egy domináns fókuszcímként optimalizáltak, míg a multifokális konstrukciók két vagy több látótávolság egyidejű korrekcióját célozzák. A tórikus lencsék a szaruhártya asztigmatizmusának korrekciójára alkalmasak, ezért esetükben a megfelelő tengelyirányú beállítás és a rotációs stabilitás kiemelt

jelentőségű. Az EDoF-lencsék ezzel szemben a fókuszmélység kiterjesztésére törekednek, és különböző refraktív, diffraktív vagy kombinált optikai megoldásokkal valósíthatják meg ezt a célt (Werner, 2021; Zhu et al., 2023; Chen, Al-Mohtaseb and Chen, 2024). A főbb típusok összehasonlítását az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: „Az intraokuláris lencsék főbb típusainak összehasonlítása optikai funkció és alkalmazási cél szerint

IOL-típus	Elsődleges optikai cél	Jellemző alkalmazási terület	Fő előny	Fontosabb korlát / szempont
Monofokális	Egy domináns fókusztávolság biztosítása	Általános szürkehályog-műtét	Jó képminőség, kiszámítható optikai teljesítmény	Közei látáshoz rendszerint szemüveg szükséges
Tórikus	A szaruhártya szabályos asztigmatizmusának korrekciója	Asztigmatizmus társuló szürkehályog-műtét	A szférikus fénytörési hiba mellett a cilinderes hiba korrekciója is lehetővé válik	A megfelelő tengelybeállítás és a rotáció kontrollja kritikus
Multifokális	Több fókuszlétrehozása	Presbyopia korrekciója, szemüvegfüggőség csökkentése	Távoli, köztes és közei látás egyidejű támogatása	Glare, halo és kontrasztérzékenység-csökkenés előfordulhat
Aszférikus monofokális	A szférikus aberráció mérséklése egy domináns fókuszmellett	Általános szürkehályog-műtét, optikai minőség javítása	Javíthatja a kontrasztérzékenységet és a képminőséget megfelelő szemészeti feltételek mellett	Decentrációra és a szem egyedi optikai tulajdonságaira érzékeny lehet
EDoF	A fókusztartomány kiterjesztése	Presbyopia korrekciója, elsősorban távoli és köztes látás támogatása	Szélesebb funkcionális látástartomány, általában kisebb multifokális terheléssel	Közei látásban továbbra is szükség lehet szemüvegre; optikai mellékhatások lehetségesek
Add-on / másodlagos IOL	Meglévő IOL optikai teljesítményének kiegészítése	Maradék refrakciós hiba, speciális optikai korrekció	Utólagos finomhangolási lehetőség	Pontos pozicionálás és mechanikai stabilitás szükséges

Forrás: Saját szerkesztés Werner (2021), Luo et al. (2022), Kohnen et al. (2020), valamint a tanulmányban hivatkozott gyártói műszaki dokumentációk alapján.

A korszerű IOL-ek optikai kialakítása többféle működési elvet követhet. Az optikai zóna mellett a lencse peremkialakítása is fontos szerkezeti tényező. A modern IOL-ek jelentős részénél alkalmazott éles perem (sharp edge) célja többek között a lencsehámsejtek hátsó tok felé történő migrációjának mérséklése, ezáltal a posterior capsule opacification (PCO), vagyis a másodlagos szürkehályog kialakulási kockázatának csökkentése. A klinikai eredményeket ugyanakkor nem kizárólag az edge design határozza meg, hanem az anyag, a lencse geometriai kialakítása és a sebészeti körülmények együttesen (Werner, 2021; de Haan et al., 2019).

Az optikai teljesítmény szempontjából az aszférikus kialakítás szintén jelentős fejlesztési irányt képvisel. Az aszférikus optikai profil célja a szemrendszer bizonyos aberrációinak mérséklése és ezáltal a képminőség, illetve különösen bizonyos fényviszonyok között a kontrasztérzékenység javítása. Az optikai geometria azonban egyúttal magasabb gyártási pontosságot is igényel, mivel a kívánt felületi profil reprodukálhatósága közvetlenül befolyásolja a kész lencse optikai tulajdonságait. Az IOL-ek szerkezeti kialakítását ezért célszerű olyan komplex rendszerként értelmezni, amelyben az optikai és mechanikai funkciók szorosan összekapcsolódnak. A lencse optikai zónája, peremképzése, haptikája, anyaga és geometriai pontossága együttesen határozza meg a végtermék klinikai és funkcionális teljesítményét (Werner, 2021).

A monofokális IOL-ek a legelterjedtebb és optikailag legegyszerűbb konstrukciók közé tartoznak. Egy domináns fókuszt biztosítanak, amelyet jellemzően távoli látásra optimalizálnak. Ebben az esetben a betegnek közeli munkához gyakran továbbra is szüksége lehet szemüvegre. A monofokális lencsék előnye az egyszerűbb optikai működés és a kiszámítható képminőség, ezért továbbra is alapvető szerepet töltenek be a kataraktsebészetben (Werner, 2021). A tórikus IOL-ek a szaruhártya asztigmatizmusának korrekciójára szolgálnak. A tórikus optikai rendszer a gömbi fénytörési komponens mellett hengeres korrekciót is biztosít, amelynek megfelelő tengelyirányú pozicionálása alapvető fontosságú. A lencse nem kívánt rotációja ezért a korrekció hatásosságának csökkenéséhez vezethet. A haptika kialakítása, a lencse tokzsákon belüli stabilitása és a megfelelő műtéti pozicionálás ennek megfelelően a tórikus IOL-ek egyik legfontosabb funkcionális követelménye (Visser, Bauer and Nuijts, 2013). A multifokális IOL-ek optikai kialakítása több fókuszt létrehozását teszi lehetővé. A multifokális működés refraktív vagy diffraktív optikai elemekkel, illetve ezek kombinációjával is megvalósítható. A több fókuszt létrehozásának ugyanakkor optikai kompromisszumai lehetnek, amelyek között a fényudvarok, a káprázás és a kontrasztérzékenység bizonyos változásai is megjelenhetnek (Werner, 2021; Chen, Al-Mohtaseb and Chen, 2024). Az EDoF (extended depth of focus) IOL-ek eltérő megközelítést alkalmaznak: több elkülönülő fókuszt helyett egy megnyújtott, kiterjesztett fókusztartomány létrehozására törekednek. Ennek eredményeként elsősorban a távoli és köztes látás, illetve bizonyos konstrukcióknál a közeli látás tartománya javítható. Az EDoF-kategória ugyanakkor nem tekinthető egyetlen homogén optikai megoldásnak, mivel a piacon eltérő optikai elven működő konstrukciók találhatók (Zhu et al., 2023).

A korszerű IOL-rendszerek között megjelentek a korábban beültetett lencse optikai teljesítményének utólagos módosítására szolgáló kiegészítő, úgynevezett add-on vagy piggyback lencsék is. Ezeket olyan pszeudofákiás szemekben alkalmazhatják, amelyekben a korábbi IOL-beültetés után fennmaradó refrakciós hiba vagy speciális optikai igény további korrekciót tesz szükségessé. A kiegészítő lencsék egyik lehetséges elhelyezési módja a sulcus, amelyhez az elsődleges IOL-tól eltérő haptikakialakítás társulhat (Werner, 2021). A Medicontur egyes add-on megoldásai például négy haptikával készülnek, ami a lencse több ponton történő megtámasztását és a rotációs stabilitás növelését szolgálja (Medicontur, 1stAdd-On). Az ilyen konstrukciók jól szemléltetik, hogy az optikai funkció és a mechanikai kialakítás egymástól nem választható el: a kívánt optikai korrekció csak akkor valósítható meg megbízhatóan, ha a lencse a szemben belül megfelelő pozícióban marad.

3.2. Az intraokuláris lencsék anyagai és azok technológiai jelentősége

Az intraokuláris lencsék alapanyagának megválasztása alapvetően meghatározza az implantátum optikai, mechanikai és biológiai tulajdonságait, ugyanakkor közvetlenül hat a gyárthatóságra és az alkalmazható technológiai eljárásokra is. Az IOL-anyagokkal szemben ezért egyidejűleg kell teljesíteni az optikai tisztaságra, a megfelelő törésmutatóra, a mechanikai stabilitásra, a hajlíthatóságra, a biokompatibilitásra és a hosszú távú anyagstabilitásra vonatkozó követelményeket (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021).

Az IOL-ek fejlődésének korai szakaszában a merev polimetil-metakrilát (PMMA) töltött be meghatározó szerepet. A PMMA optikailag tiszta, megfelelően stabil és jól megmunkálható termoplasztikus polimer, amely történetileg az első sikeres IOL-ek alapanyagaként vált jelentőssé. Merevsége ugyanakkor nagyobb sebészeti metszetet tett szükségessé, ezért a kis metszéses kataraktsebészet fejlődésével egyre inkább előtérbe kerültek a hajlítható anyagrendszerek (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021).

A modern hajlítható IOL-ek főbb anyagcsoportjai közé a szilikon, a hidrofób akril és a hidrofil akril alapú polimerek tartoznak. Az egyes anyagok között jelentős különbségek lehetnek a víztartalom, a törésmutató, a rugalmasság, a felületi tulajdonságok és az anyag hosszú távú stabilitása tekintetében. E különbségek a klinikai alkalmazás mellett a feldolgozási és gyártástechnológiai lehetőségeket is befolyásolják (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021).

A hidrofób akril anyagok alacsony egyensúlyi víztartalmuk és viszonylag magas törésmutatójuk miatt alkalmasak kompakt, vékony optikai elemek kialakítására. Mechanikai tulajdonságaik lehetővé teszik a hajlítható konstrukciók létrehozását, így a lencsék kisebb metszésen keresztül is implantálhatók. Az anyagválasztás és a felületi kialakítás ugyanakkor a lencse hosszú távú biológiai és optikai viselkedésére is hatással van (Kapoor and Gupta, 2020; Luo et al., 2022). A hidrofób akril IOL-ek egyik ismert anyagjelensége a glistening, amely az anyag belsejében kialakuló, folyadékkal töltött mikrovakuólumok megjelenését jelenti. A jelenség különösen egyes hidrofób akril anyagoknál figyelhető meg, kialakulását pedig az anyag összetétele, a gyártási folyamat és a környezeti, illetve időbeli hatások egyaránt befolyásolhatják (Grzybowski et al., 2020; Yildirim et al., 2020). A glistening klinikai jelentősége nem minden esetben egyértelmű, és jelenléte önmagában nem feltétlenül jár jelentős látásélesség-romlással; ugyanakkor a fényszórás és a látásminőség szempontjából vizsgálata fontos anyagtani és minőségbiztosítási kérdés (Werner, 2021; Grzybowski et al., 2020).

A hidrofil akril IOL-ek ezzel szemben nagyobb víztartalmú polimer rendszerek. A vízfelvétel jelentősen befolyásolja az anyag mechanikai viselkedését, rugalmasságát és törésmutatóját. A hidrofil anyagok megfelelő mechanikai tulajdonságai lehetővé teszik a hajlítható lencsekonstrukciók kialakítását, ugyanakkor az alacsonyabb törésmutató miatt azonos optikai teljesítmény eléréséhez adott esetben nagyobb lencsevastagság szükséges (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021). A hidrofil akril anyagok egyik fontos hosszú távú problémája bizonyos körülmények között a kalcifikáció, illetve az ezzel összefüggő lencseopacifikáció. A szakirodalom szerint a kalcifikáció elsősorban egyes hidrofil akril IOL-ekhez kapcsolódik, és bizonyos intraokuláris beavatkozások, például gázzal vagy levegővel végzett vitreoretinális műtétek után fokozott kockázatot jelenthet (Grzybowski et al., 2020; Werner, 2021). Ez a jelenség jól mutatja, hogy az anyagválasztás során nem elegendő kizárólag a kezdeti mechanikai és optikai tulajdonságokat figyelembe venni, hanem a hosszú távú környezeti és biológiai stabilitást is értékelni kell.

A szilikon alapú IOL-ek a hajlítható implantátumok korai generációjának fontos képviselői. Nagyfokú rugalmasságuk és hajlíthatóságuk kedvező sebészeti kezelhetőséget biztosított, és szerepet játszottak a kis metszéses műtéti technikák fejlődésében (Kapoor and Gupta, 2020). A szilikon anyagrendszerek ugyanakkor bizonyos klinikai helyzetekben korlátozottabban alkalmazhatók. Különösen jelentős szempont a szilikonolaj és a szilikon IOL közötti kölcsönhatás lehetősége vitreoretinális beavatkozások esetén, ami az implantátum optikai tulajdonságait kedvezőtlenül befolyásolhatja (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021).

Az intraokuláris lencsék főbb anyagcsoportjainak jellemzőit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. Az intraokuláris lencsék főbb anyagcsoportjainak összehasonlítása

Anyag-csoport	Jellemző anyag-tulajdonság	Optikai jellemző	Sebészeti / mechanikai sajátosság	Fontosabb előny	Fontosabb korlát	Gyártástechnológiai jelentőség
PMMA	Merev, átlátszó, stabil polimer	Jó fényáteresztés, stabil optikai tulajdonságok	Nem hajlítható, nagyobb metszést igényel	Jó megmunkálhatóság, történetileg bizonyított stabilitás	Nagyobb sebészi metszés, hosszabb rehabilitáció	Precíziós megmunkálásra és polírozásra alkalmas
Hidrofób akril	Alacsony víztartalmú, nagyobb törésmutatójú polimer/kopolimer	Vékonyabb optikai kialakítás is lehetővé válik	Hajlítható, injektoros beültetésre alkalmas	Jó optikai és mechanikai kompromisszum, széles körű alkalmazhatóság	Glistening kialakulhat; egyes anyagoknál optikai mellékhatások jelentkezhetnek	Precíziós fröccsöntés/megmunkálás, élkialakítás és felületminőség kiemelt jelentőségű
Hidrofil akril	Magas víztartalmú, térhálósított akril polimer	Általában alacsonyabb törésmutató, mint a hidrofób akriloké	Nagyfokú rugalmasság, kis metszésen keresztül beültethető	Jó kezelhetőség, kedvező rugalmasság	Kalcifikáció és nagyobb PCO-kockázat bizonyos konstrukcióknál	A víztartalom a megmunkálást, hidratációt, méretstabilitást és tárolást is befolyásolja
Szilikon	Rugalmas, hidrofób polimer	Jó optikai tisztaság	Nagyon jól hajlítható, kis metszésen keresztül beültethető	Kiváló flexibilitás	Szilikonolajjal való kölcsönhatás problémát jelenthet; napjainkban korlátozottabb alkalmazás	Az anyag rugalmas viselkedése és felületi tulajdonságai a feldolgozás és minőségellenőrzés szempontjából meghatározók

Forrás: Saját szerkesztés Kapoor and Gupta (2020), Čanović et al. (2019), Werner (2021) és Luo et al. (2022) alapján

A táblázat alapján jól látható, hogy az IOL-alapanyag megválasztása több, egymással összefüggő mérnöki és klinikai szempont együttes mérlegelését igényli. Az anyag víztartalma, törésmutatója, rugalmassága, felületi tulajdonságai és hosszú távú stabilitása egyaránt hatással van a lencse kialakíthatóságára, sebészeti kezelhetőségére és klinikai viselkedésére. Ezért az anyagválasztás nem tekinthető kizárólag optikai vagy biokompatibilitási kérdésnek, hanem a teljes termékfejlesztési és gyártástechnológiai folyamat egyik meghatározó tervezési döntése.

Az anyagok összehasonlítása alapján nem jelölhető ki egyetlen, minden alkalmazási körülmény között optimális IOL-alapanyag. A hidrofób és hidrofil akril, a szilikon és a történetileg meghatározó PMMA eltérő tulajdonságprofilokat képviselnek, amelyek között a választás az optikai követelmények, a mechanikai viselkedés, a sebészeti kezelhetőség, a biokompatibilitás és a hosszú távú stabilitás együttes mérlegelését igényli (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021).

Mérnöki szempontból különösen fontos, hogy az anyagtulajdonságok a gyártástechnológiai folyamat minden szintjén megjelenjenek. A polimer keménysége, rugalmassága, hőtani viselkedése, víztartalma és megmunkálhatósága meghatározhatja a forgácsolási, formázási, polírozási és felületkezelési technológiák alkalmazhatóságát. Az anyag és a gyártási folyamat ezért nem egymástól független tervezési tényezők, hanem az IOL fejlesztésének egymással szorosan összekapcsolódó elemei.

Az IOL-ek anyagválasztása több, egymással részben ellentétes követelmény összehangolását teszi szükségessé. A PMMA jó optikai tulajdonságokkal és kedvező megmunkálhatósággal rendelkezik, ugyanakkor merevsége miatt a kis metszéses sebészeti technikák szempontjából kedvezőtlenebb. A hajlítható szilikon és akril alapú anyagok ezzel szemben lehetővé tették a kisebb sebészeti metszésen keresztüli implantációt, ugyanakkor eltérő optikai, mechanikai és hosszú távú stabilitási jellemzőkkel rendelkeznek (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021).

A hidrofób és hidrofil akril anyagok közötti különbség különösen jól szemlélteti az anyagválasztás komplexitását. A hidrofób akril jellemzően magasabb törésmutatót és alacsony víztartalmat biztosít, ami vékonyabb optikai kialakítást tehet lehetővé, míg a hidrofil akril nagyobb víztartalma kedvező hajlíthatóságot és eltérő mechanikai viselkedést eredményez. Ugyanakkor az anyagok hosszú távú viselkedésében eltérő opacifikációs jelenségek jelenhetnek meg: hidrofób akril IOL-ek esetében a glistening, hidrofil akril IOL-eknél pedig bizonyos esetekben a kalcifikáció jelenthet problémát (Grzybowski et al., 2020; Yildirim et al., 2020).

A szilikon IOL-ek nagyfokú rugalmasságuk miatt jól hajlíthatók, azonban speciális klinikai körülmények között – különösen szilikonolaj alkalmazásával járó vitreoretinális műtéteknél – hátrányos tulajdonságokkal rendelkezhetnek. Emiatt a modern IOL-fejlesztésben az akril alapú rendszerek váltak meghatározóvá, miközben a szilikon és a PMMA továbbra is fontos történeti és speciális alkalmazási jelentőséggel bír (Kapoor and Gupta, 2020; Werner, 2021).

A különböző anyagok összehasonlítása alapján az IOL-fejlesztésben nem egyetlen univerzális anyag keresése a cél, hanem az adott optikai konstrukcióhoz és klinikai alkalmazáshoz legkedvezőbb anyagtulajdonságok kialakítása. Ez a megközelítés egyben közvetlenül összekapcsolja az anyagfejlesztést az optikai tervezéssel és a gyártástechnológiával. A modern IOL-ek esetében ezért a végtermék minősége az anyag, a geometriai kialakítás és a gyártási folyamat együttes eredményeként értelmezhető.

4. Az IOL lencsék gyártási folyamata, technológiák

Az intraokuláris lencsék (IOL) gyártása nagy pontosságú, több technológiai és tudományterületet integráló folyamat, amelyben az optikai tervezés, a polimeranyag-technológia, a precíziós megmunkálás, a felületkezelés, valamint a sterilizálás és a minőségbiztosítás egymásra épülő rendszert alkot. A végtermékkel szemben támasztott követelmények különösen szigorúak, mivel az implantátum hosszú időn keresztül közvetlen kapcsolatban áll a szem szöveveivel, miközben optikai teljesítményének is stabilnak kell maradnia. Ennek megfelelően a gyártás során az anyagtulajdonságok, a geometriai pontosság, a felületi minőség, a biokompatibilitás és a sterilitás egyaránt kritikus minőségi jellemzőnek tekinthető. A gyártási technológiák között az ultraprecíziós esztergálás, marás, fröccsöntés, polírozás és különböző felületkezelési eljárások egyaránt megtalálhatók (Kapoor & Gupta, 2020).

A teljes technológiai lánc a polimer alapanyag előállításával kezdődik, amelyet a félkész termék kialakítása, a blankok előállítása, a precíziós optikai megmunkálás, a haptikák kialakítása, a felületkezelés, majd a tisztítás, sterilizálás és csomagolás követ. A folyamat különböző tisztasági szintű gyártási környezetekben valósul meg, amelyek között a szürke-, fehér- és tisztatéri szakaszok különíthetők el. A környezeti kontroll fokozatos szigorodása a termék sterilitásának és felületi tisztaságának biztosítását szolgálja. Az egyes műveletek között végzett vizuális és műszeres ellenőrzések lehetővé teszik a hibák korai felismerését, valamint a termék teljes nyomon követhetőségét. Az IOL-gyártás szabályozott környezetben zajló folyamat, amelynek kereteit többek között az ISO 13485 és az ISO 11979 szabványok követelményei határozzák meg.

4.1. Gyártási folyamat és alkalmazott technológiák a termelési gyakorlatban

Az IOL-gyártás kiindulópontja az optikai és mechanikai követelményeknek megfelelő polimer alapanyag előállítása. Az alkalmazott anyagok jellemzően akrilát- vagy metakrilátalapú polimerek, amelyek tulajdonságait a monomer összetétel, az iniciátorok, a hőmérséklet és a polimerizációs idő együttesen határozza meg (Kapoor & Gupta, 2020). A polimerizáció során különösen fontos a kémiai tisztaság és a homogenitás biztosítása, mivel az alapanyagban jelen lévő inhomogenitások a későbbi optikai megmunkálás során már nem korrigálhatók megfelelően (Canovic et al., 2019).

A polimerizáció eredményeként tömb, rúd vagy közvetlenül a kívánt vastagságú lap készül. A lapokat ezt követően méretre vágják, majd stancolással alakítják ki a lencse alapját jelentő, kör alakú blankokat. A blank geometriai pontossága és anyagintegritása meghatározó, mivel a vágási hibák, deformációk, belső feszültségek vagy felületi sérülések a későbbi optikai megmunkálás során minőségi problémákat okozhatnak. A folyamatban ezért már ezen a ponton is teljes körű vizuális ellenőrzés és dokumentált selejtkezelés szükséges.

Az ipari termelésben a manuális műveletek fokozatosan félautomata vagy automatizált megoldásokkal válthatók ki. Egy ilyen technológiai átállás azonban nem pusztán gépcserét jelent: kockázátértékelést, berendezéstranszfert, telepítési és működési kvalifikációt, folyamatvalidációt, próbagyártást, dokumentációs felülvizsgálatot és kezelői oktatást igényel. A cél annak objektív igazolása, hogy az új berendezés a meghatározott folyamatparaméterek mellett reprodukálhatóan és a termékspecifikációknak megfelelően működik. Ez a szemlélet különösen fontos az IOL-gyártásban, ahol a folyamat bármely változtatása közvetlenül hatással lehet a végtermék minőségére.

A stancolt blankok a precíziós megmunkálás előtt megfelelő hordozóra, úgynevezett kalottára kerülnek. A rögzítésnek biztosítania kell a munkadarab mechanikai stabilitását, ugyanakkor nem okozhat maradandó sérülést vagy deformációt. A következő kritikus lépés az optikai felületek kialakítása ultraprecíziós CNC-esztergálással. A folyamat során gyémántszerszámokkal alakítják ki a lencse végleges geometriáját, beleértve a görbületi sugarakat és ezáltal a kívánt optikai teljesítményt. A megmunkálás pontosságát jelentősen befolyásolja a berendezés hőstabilitása, a rezgések csillapítása, a szerszámkopás, valamint a polimer mechanikai viselkedése (Kapoor & Gupta, 2020).

A polimeranyagok megmunkálása során a hőmérséklet szabályozása szintén kritikus. A forgácsolás közben keletkező hő az anyag meglágyulását és ezáltal geometriai vagy felületi eltéréseket okozhat. Emiatt a technológiai folyamatban kontrollált hűtést és anyagtárolási körülményeket alkalmaznak. Ez különösen a hidrofil IOL-anyagok esetében jelentős, amelyek mechanikai tulajdonságait a víztartalom is befolyásolja (Canovic et al., 2019).

Az optikai felületek kialakítását követően történik a haptikák megmunkálása, amely precíziós marással, lézervágással vagy ezek kombinációjával valósítható meg. A haptikák geometriai pontossága és pozíciója alapvető jelentőségű az implantátum stabil szemfenéki elhelyezkedése szempontjából. Különösen a tórikus IOL-ek esetében fontos a megfelelő orientáció, mivel a lencse optikai tengelyének eltérése közvetlenül ronthatja a korrekció hatékonyságát.

A megmunkálást követően a lencsét leválasztják a hordozóról, majd tisztítják és ismételt vizuális ellenőrzésnek vetik alá. A folyamat során el kell távolítani a forgácsolásból, ragasztásból vagy egyéb technológiai műveletekből származó maradványokat, miközben az optikai felület épségét meg kell őrizni. A korszerű gyártási rendszerekben a robotizált anyagmozgatás és az automatikus azonosítás egyre nagyobb szerepet kap, ami javítja a reprodukálhatóságot és a termékek nyomonkövethetőségét.

4.2. Felületkezelés, tisztítás és sterilizálás

Az IOL gyártásának egyik legfontosabb technológiai területe a felület módosítása. A felületkezelés célja az optikai tulajdonságok, a nedvesíthetőség és a biológiai kompatibilitás optimalizálása, valamint a nem kívánt sejttapadás és lerakódások mérséklése. A felületkezelés egyik alkalmazott módszere a plazmakezelés, amely a polimer felületi energiájának és kémiai tulajdonságainak módosításával javíthatja annak nedvesíthetőségét. A kezelt felület azonban időben változó, ezért a további technológiai műveleteket kontrollált körülmények között, lehetőség szerint minimális várakozási idővel kell elvégezni.

A plazmakezelést követően a lencsék tisztatéri környezetben utótisztításon és öblítésen mennek keresztül. Ennek célja a reakciótermékek, ionos szennyeződések és egyéb technológiai maradványok eltávolítása, valamint a felület homogenitásának fenntartása. A tisztítás után ismételt vizuális és optikai ellenőrzés szükséges, amely kiterjedhet a felületi tisztaságra, a mechanikai sérülésekre, a nedvesíthetőségre, a geometriai pontosságra és a lencse centráltságára. Az optikai felületek vizsgálatában interferometriai, mikroszkópos és egyéb nagyfelbontású mérési módszerek alkalmazhatók (Canovic et al., 2019).

A végső technológiai szakasz a sterilizálás, amely az implantátum biztonságos klinikai alkalmazásának egyik legfontosabb feltétele. Az alkalmazott módszert az IOL anyaga, a csomagolás és az implantációs rendszer kialakítása együttesen határozza meg. A gyakorlatban elsősorban etilén-oxidos (EtO) és gőzsterilizálási eljárások alkalmazhatók, megfelelően validált folyamatparaméterek mellett. Az EtO-sterilizálás alacsony hőmérsékleten működő, gázfázisú eljárás, amely különösen olyan hőérzékeny rendszerek esetében előnyös, amelyeknél a magas hőmérséklet károsíthatná az anyagot vagy a csomagolást. A folyamat hatékonyságának igazolásában biológiai indikátorok alkalmazhatók, amelyek segítségével a sterilizálási ciklus mikrobiológiai hatásossága ellenőrizhető.

A gőzsterilizálás ezzel szemben telített vízgőz magas hőmérsékleten és nyomáson történő alkalmazásán alapul. Hatékonyságát a kondenzáló gőz intenzív hőátadása és a mikroorganizmusok fehérjéinek denaturációja biztosítja. A módszer előnye a gyorsaság és a toxikus maradványok hiánya, alkalmazhatóságát azonban az IOL anyagának és a csomagolásnak a hő- és nedvességállósága korlátozza. Emiatt a különböző sterilizálási eljárások nem tekinthetők egyszerűen felcserélhetőnek; mindegyikhez külön validált technológiai és csomagolási rendszer szükséges.

A sterilizálást követően a termék ismételt végellenőrzésen esik át, majd megkezdődik a címkézés és a nyomonkövethetőség biztosítása. A steril csomagolás kialakításának feladata nem csupán a termék fizikai védelme, hanem a steril állapot fenntartása is a felhasználásig. Ennek részeként az IOL-ek gyakran primer és szekunder csomagolási rendszerbe kerülnek, amely lehetővé teszi a sterilizálási folyamat és a szállítás során fellépő környezeti hatások kontrollját.

4.3. Csomagolás és pre-loaded implantációs rendszerek

Az IOL végső csomagolása a termékbiztonság szempontjából a gyártási folyamat szerves része. A csomagolásnak biztosítania kell a sterilitás fenntartását, a lencse mechanikai védelmét, valamint a termék egyértelmű azonosíthatóságát a teljes eltarthatósági idő alatt. A bliszterezés során a lencsét a megfelelő geometriai kialakítású tartóelembe helyezik, majd a csomagolást hő- vagy egyéb hegesztési technológiával zárják. A folyamat kritikus paraméterei közé tartozik többek között a hőmérséklet, a nyomás és a zárási idő. A csomagolás tömítettségének és pozíciójának ellenőrzése ezért a folyamat fontos minőség-ellenőrzési pontja.

A korszerű IOL-rendszerek fejlődésének egyik meghatározó iránya az előretöltött, úgynevezett pre-loaded implantációs rendszerek alkalmazása. Ezekben az IOL már a sterilizált cartridge-ben vagy injektorrendszerben helyezkedik el, így a műtét során nincs szükség a lencse manuális betöltésére. A rendszer a lencse kontrollált összehajtását, vezetését és szembe juttatását teszi lehetővé, miközben csökkenti a kezelői beavatkozások számát és az ebből eredő hibalehetőségeket.

A cartridge és az IOL együttes működése szempontjából különösen fontos a megfelelő anyag kompatibilitás, geometriai illeszkedés, felületi tulajdonság és sterilitás. Nem megfelelő felületkezelés vagy nem optimális nedvesíthetőség esetén a lencse összetapadhat a cartridge falával, illetve nem megfelelően nyílhat ki az implantáció során. Emiatt a pre-loaded rendszerek validációja összetettebb, mint a hagyományos, külön csomagolt IOL-eké, ugyanakkor az automatizálhatóság, a műteti idő csökkentése és a kezelői hibák mérséklése miatt egyre fontosabb technológiai irányt képviselnek.

Az IOL gyártása olyan integrált, szabályozott gyártórendszerként értelmezhető, amelyben az alapanyag-technológiától az optikai megmunkáláson és felületkezelésen keresztül egészen a sterilizálásig és a végső csomagolásig minden művelet hatással van a végtermék biztonságára és klinikai teljesítményére. A korszerű gyártástechnológia fejlődésének fő irányai a folyamatok automatizálása, a digitalizált nyomon követhetőség, az optikai és felületi ellenőrzések fejlesztése, valamint az előretöltött implantációs rendszerek térnyerése. A technológiai fejlődés ugyanakkor csak megfelelő validációval, dokumentációval és minőségbiztosítási kontroll mellett vezethet a gyártási folyamat megbízhatóságának növeléséhez.

5. Minőségbiztosítás

Az intraokuláris lencsék (IOL) gyártásában a minőségbiztosítás nem kizárólag a késztermék ellenőrzését, hanem a teljes gyártási és fejlesztési folyamat szabályozását, validálását és kockázatalapú felügyeletét jelenti. Ennek különös jelentőségét az adja, hogy az IOL tartósan a szemben belüli biológiai környezetbe kerül, ezért az optikai, mechanikai, anyagi és mikrobiológiai követelmények egyidejű teljesülése alapvető biztonsági feltétel. A minőségirányítási rendszer feladata ennek megfelelően a reprodukálható gyártás biztosítása, a nem megfelelőségek megelőzése és a termék teljes életciklusán keresztül történő nyomonkövethetőség fenntartása.

A gyártási gyakorlatban a minőségbiztosítás szorosan integrálódik a termelési, folyamatmérnöki, karbantartási és fejlesztési tevékenységekkel. A feltárt nem megfelelőségek kivizsgálása során a gyökérok meghatározása, valamint a javító és megelőző intézkedések (CAPA) alkalmazása kap kiemelt szerepet. A problémák strukturált elemzésére többek között az „5 Miért?” módszer és a halszálkadiagram alkalmazható, amelyek lehetővé teszik az emberi tényezők, a berendezések, az alapanyagok, a mérési rendszerek és a környezeti feltételek együttes vizsgálatát. A hangsúly ezért nem pusztán a hibás termék kiszűrésén, hanem a hiba ismételt előfordulásának megelőzésén van. Ennek részét képezi a munkautasítások rendszeres felülvizsgálata, a dolgozók oktatása, valamint a berendezések tervszerű megelőző karbantartása és időszakos kvalifikációja.

A minőségellenőrzés a gyártás különböző pontjain, a beérkező alapanyagoktól a késztermékig történik. Az alapanyagok, a félkész termékek és a megmunkált lencsék ellenőrzése során vizsgálható többek között a geometriai pontosság, az optikai teljesítmény, a felületi minőség, a haptikák mechanikai jellemzői, valamint a tisztaság és a csomagolás integritása. Az IOL-ek optikai jellemzőinek ellenőrzésére az ISO 11979-2:2024 szabvány külön követelményeket és vizsgálati módszereket határoz meg, többek között a dioptriás teljesítmény, a képalkotási minőség és a spektrális transzmisszió vonatkozásában. A mechanikai tulajdonságok vizsgálatára az ISO 11979-3:2012 vonatkozik, amely az IOL-ek mechanikai jellemzőinek meghatározására szolgáló követelményeket és módszereket rögzíti.

A gyártásban alkalmazott változtatások – például új berendezés, alapanyag, ragasztó vagy technológiai lépés bevezetése – szintén szabályozott változáskezelési folyamatot igényelnek. A változtatás kockázatértékelését követően szükség lehet a berendezés kvalifikációjára, a folyamat verifikációjára vagy validációjára, valamint pilot gyártásra. Ezzel biztosítható, hogy a módosított technológia reprodukálható módon teljesítse az előre meghatározott elfogadási kritériumokat. A folyamatvalidáció különösen olyan műveleteknél jelentős, amelyek eredménye későbbi ellenőrzéssel nem vagy csak korlátozottan igazolható.

A minőségbiztosítás további fontos eleme a teljes nyomonkövethetőség. Az egyes gyártási tételekhez és – ahol a rendszer ezt megköveteli – az egyedi termékekhez kapcsolódó azonosítók, gyártási és ellenőrzési adatok lehetővé teszik a nem megfelelőségek gyors visszakeresését és a szükséges intézkedések meghozatalát. A nem megfelelőségek dokumentálása, kivizsgálása és trendjének elemzése egyben a folyamatok folyamatos fejlesztésének alapját is képezi.

Az IOL-gyártás minőségirányítási rendszerének meghatározó keretét az ISO 13485:2016 szabvány adja. A szabvány a biztonságos és következetesen megfelelő orvostechikai eszközök tervezéséhez, gyártásához és szállításához szükséges minőségirányítási rendszer követelményeit határozza meg, és kiemelt szerepet tulajdonít a kockázatkezelésnek, a folyamatok validálásának, a dokumentáció kontrolljának és a beszállítói folyamatok felügyeletének. Az ISO 14971:2019 ezzel összhangban a kockázatkezelés teljes életciklusra kiterjedő, strukturált megközelítést írja le, amely magában foglalja a veszélyek azonosítását, a kockázatok becslését és értékelését, a kockázatcsökkentő intézkedések meghatározását, valamint azok hatékonyságának nyomon követését.

Összességében az IOL-ek minőségbiztosítása integrált, kockázatalapú rendszerként értelmezhető, amelyben a megelőzés, a folyamatok reprodukálhatósága, a mérési és ellenőrzési rendszerek megbízhatósága, valamint a teljes nyomonkövethetőség egyaránt meghatározó. A minőség nem a gyártási folyamat végén létrehozott tulajdonság, hanem a megfelelő alapanyag-választástól és technológiai paraméterektől kezdve, a megmunkáláson és ellenőrzésen át egészen a sterilizálásig és csomagolásig a teljes folyamat során kialakított és fenntartott követelmény.

Összefoglalás, következtetések

Az intraokuláris lencsék (IOL) gyártási folyamatának áttekintése alapján megállapítható, hogy az implantátumok előállítása olyan komplex, több tudomány- és mérnöki területet integráló technológiai rendszer, amelyben az anyagtudományi, precíziós megmunkálási, felületkezelési és minőségbiztosítási folyamatok egymással szoros kölcsönhatásban határozzák meg a végtermék minőségét. Az egyes műveleti lépések nem tekinthetők egymástól független folyamatoknak: az alapanyag tulajdonságai befolyásolják a megmunkálhatóságot, a megmunkálási paraméterek az optikai és geometriai jellemzőket, míg a felületkezelés és a sterilizálás a végtermék felületi, anyagi és biológiai tulajdonságaira is hatással lehet.

Az alapanyag-előállítás és a polimerizáció a gyártási lánc meghatározó pontjai, mivel a polimer szerkezete alapvetően befolyásolja az IOL mechanikai, optikai és feldolgozási tulajdonságait. Az ezt követő precíziós megmunkálás során különösen az optikai felületek geometriai pontossága, a felületi minőség, a tengelypontosság és a reprodukálhatóság biztosítása kritikus. A szakirodalom alapján a korszerű gyártástechnológiákban az ultraprecíziós gyémántsztergálás és a nagy pontosságú CNC-megmunkálás meghatározó szerepet töltenek be, miközben az anyag viselkedését a hőmérséklet, a rögzítés stabilitása, a szerszámmállapot és a megmunkálási környezet egyaránt befolyásolja (Canovic et al., 2019; Kapoor & Gupta, 2020; Wang et al., 2024).

A vizsgált folyamat ugyanakkor arra is rámutat, hogy az IOL-gyártás minősége nem kizárólag a végellenőrzés eredményétől függ. A minőségbiztosításnak preventív módon, a teljes technológiai láncba integrálva kell működnie. Ennek alapját a folyamatvalidáció, a berendezések és mérőrendszerek kvalifikációja, a változáskezelés, a kockázatalapú

megközelítés, a nyomonkövethetőség, valamint a nem megfelelőségek strukturált kivizsgálása képezi. Az ISO 13485 és az ISO 14971 követelményeivel összhangban a termékminőség és a betegbiztonság szempontjai nem választhatók el egymástól: a gyártási folyamat minden jelentős változását annak lehetséges termék- és betegbiztonsági hatásával együtt szükséges értékelni.

A felületkezelési technológiák, ezen belül a plazmakezelés, további lehetőséget teremtenek az IOL-ok felületi tulajdonságainak célzott módosítására. A felület kémiai és fizikai jellemzőinek megváltoztatása hatással lehet a nedvesíthetőségre, a sejtes és fehérjeeredetű kölcsönhatásokra, valamint ezáltal a biológiai teljesítményre is (Luo et al., 2022). Ugyanakkor a felületi módosítások stabilitása és az úgynevezett felületi öregedés olyan tényező, amely a gyártás és a felületkezelést követő további műveletek időzítését, valamint potenciálisan a hosszú távú klinikai teljesítményt is befolyásolhatja.

A bemutatott elemzés egyik fontos következtetése, hogy az IOL-gyártás fejlesztésének következő szintjét nem feltétlenül egyetlen technológiai lépés optimalizálása, hanem a folyamatok közötti kapcsolatok szisztematikus vizsgálata jelentheti. A digitalizált gyártási rendszerek, a valós idejű folyamatmonitorozás, az automatizált vizuális és geometriai ellenőrzés, valamint az adatalapú folyamatoptimalizálás lehetőséget teremthetnek a folyamatvariabilitás korábbi felismerésére és a hibák prediktív megelőzésére. A mesterséges intelligencián alapuló képfeldolgozás és a gépi tanulási módszerek hosszabb távon az optikai és felületi hibák automatizált detektálásában, illetve a folyamatparaméterek és a termékminőség közötti összefüggések feltárásában is alkalmazhatók lehetnek.

A vizsgálat korlátai és jövőbeli kutatási irányok

A bemutatott tanulmány elsősorban a gyártástechnológiai folyamatok rendszerszintű áttekintésére és azok minőségbiztosítási összefüggéseinek bemutatására irányult. Ennek megfelelően nem tartalmaz olyan, statisztikailag validált kísérleti vizsgálatot, amely az egyes megmunkálási, felületkezelési vagy sterilizálási paraméterek és a végtermék minőségi jellemzői közötti kvantitatív kapcsolatokat közvetlenül meghatározná. Az egyes technológiai megoldások értékelése ezért elsősorban szakirodalmi és technológiai tapasztalatokon alapul. További korlátot jelent, hogy az ipari gyártási folyamatok egyes részletes paraméterei – különösen a konkrét receptúrák, technológiai beállítások és belső minőségbiztosítási kritériumok – vállalati szempontból nem minden esetben hozzáférhetők.

A jövőbeli kutatások egyik perspektivikus iránya ezért a gyártási paraméterek és a termékminőség közötti összefüggések kísérleti, statisztikai módszerekkel történő feltárása lehet. Különösen indokolt lehet a megmunkálási sebesség, a szerszámgeometria, a hőmérséklet, a rögzítési feltételek és a felületi minőség kapcsolatának vizsgálata. Az ilyen vizsgálatok lehetővé tehetik a folyamatok szűkebb toleranciájának meghatározását, valamint a gyártási variabilitás csökkentését.

További kutatási lehetőséget kínál az IOL-ok felületkezelésének hosszú távú stabilitása. A plazmakezelés és más felületmódosítási eljárások esetében célszerű lenne a felületi tulajdonságok időbeli változását, a sterilizálási folyamatokkal való kölcsönhatását, valamint ezek lehetséges biológiai következményeit összehangoltan vizsgálni. Hasonlóan perspektivikus terület a sterilizálási eljárások polimerstruktúrára és optikai-mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásának részletes elemzése.

A gyártásautomatizálás és a digitális transzformáció további jelentős fejlesztési irányt képvisel. Az automatizált anyagmozgatás, a gépi látáson alapuló 100%-os vizuális ellenőrzés, a digitális nyomonkövetés és a folyamatadatok integrált elemzése együttesen olyan intelligens gyártási környezet kialakítását teszi lehetővé, amelyben a hibák nem csupán detektálhatók, hanem azok kialakulása is előre jelezhető. Különösen jelentős lehet ebben a folyamatanalitika és a prediktív karbantartás alkalmazása, amely a berendezés állapot és a termékminőség közötti összefüggések alapján hozzájárulhat a nem tervezett leállások és a selejtarány csökkentéséhez.

A jövőben az additív gyártási technológiák alkalmazása is vizsgálható lehet a gyártást támogató segéd- és hordozóeszközök fejlesztésében. Az egyedi geometriájú, pontosan pozicionáló hordozórendszerek javíthatják a lencsék reprodukálható elhelyezését egyes felületkezelési folyamatok során. Ennek gyakorlati alkalmazhatóságát ugyanakkor külön validációs vizsgálatokkal kellene igazolni, különös tekintettel az anyagkompatibilitásra, a tisztíthatóságra, a részecskeképződésre, a sterilizálhatóságra és a folyamat reprodukálhatóságára.

Az intraokuláris lencsék gyártása olyan magas komplexitású orvostechnológiai folyamatként értelmezhető, amelyben az anyagtudomány, a precíziós gépészet, az optika, a felületkémia, az automatizálás és a minőségirányítás szoros integrációja szükséges a reprodukálható és biztonságos termék előállításához. A további fejlődés várhatóan nem egyetlen technológia kizárólagos fejlesztéséből, hanem az anyag-, folyamat- és minőségadatok integrált kezeléséből, a digitalizációból, az automatizált ellenőrzésből és a kockázatalapú folyamatfejlesztésből származhat. Az IOL-gyártás jövőjét így egyre inkább az adatvezérelt, prediktív és nagyfokú automatizáltságot alkalmazó gyártási rendszerek felé történő elmozdulás határozhatja meg, miközben a fejlesztések alapvető célja változatlan marad: a hosszú távon stabil, megbízható és klinikailag biztonságos implantátum előállítása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Canovic S.; Konjevoda S.; Pavičić A.D. and Stanić R. (2019). *Intraocular Lens (IOL) Materials*, In book: *Intraocular Lens*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.89985>

Chen, J.L., Al-Mohtaseb, Z.N. and Chen, A.J. (2024) ‘Criteria for premium intraocular lens patient selection’, *Current Opinion in Ophthalmology*, 35(5), pp. 395–401. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000001067>

de Haan, J., O’Boyle, D. and others (2019) Effect of AcrySof versus other intraocular lens properties on the risk of Nd capsulotomy after cataract surgery: a systematic literature review and network meta-analysis, *PLoS ONE*, 14(8), e0220498. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220498>

Flaxman, S.R., Bourne, R.R.A., Resnikoff, S., Ackland, P., Braithwaite, T., Cicinelli, M.V., Das, A., Jonas, J.B., Keeffe, J., Kempen, J.H., Leasher, J., Limburg, H., Naidoo, K., Pesudovs, K., Silvester, A., Stevens, G.A., Tahhan, N., Wong, T.Y. and Taylor, H.R. (2017) ‘Global causes of blindness and distance vision impairment 1990–2020: a systematic review and meta-analysis’, *The Lancet Global Health*, 5(12), pp. e1221–e1234. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30393-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30393-5)

Grzybowski, A., Markeviciute, A. and Zemaitiene, R. (2020) ‘A narrative review of intraocular lens opacifications: update 2020’, *Annals of Translational Medicine*, 8(22), 1547. <https://doi.org/10.21037/atm-20-4207>

Grzybowski, A., Auffarth, G.U. and LaHood, B.R. (2025) ‘How do intraocular lens materials influence the outcome of cataract surgery?’, *Current Opinion in Ophthalmology*, 36(1), pp. 18–24. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000001095>

ISO (2012) *ISO 11979-3:2012 Ophthalmic implants — Intraocular lenses — Part 3: Mechanical properties and test methods*. Geneva: International Organization for Standardization.

ISO 13485:2016, <https://www.iso.org/standard/59752.html>

ISO 14971:2019, <https://www.iso.org/standard/72704.html>

ISO (2024) *ISO 11979-2:2024 Ophthalmic implants — Intraocular lenses — Part 2: Optical properties and test methods*. Geneva: International Organization for Standardization.

Kapoor, S. and Gupta, S. (2020) ‘Basic Science of Intraocular Lens Materials’, in Wang, X. and Ferreri, F. (eds.) *Intraocular Lens*. London: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92573>

Luo, C., Wang, H., Chen, X., Xu, J., Yin, H. and Yao, K. (2022) ‘Recent Advances of Intraocular Lens Materials and Surface Modification in Cataract Surgery’, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 913383. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.913383>

Medicontur, 1stAdd-On, <https://addoniol.com/hu/szemeszorvosoknak/tulajdonsagok-es-elonyok>

Medicontur, AddOn, <https://addoniol.com/professionals/featuresandbenefits>

Medicontur, <https://medicontur.com/hu/szakembereknek/termek/intraocular-lenses/torikus>

Medicontur, injektorok, <https://medicontur.com/hu/szakembereknek/termek/ovds-ctrs-veterinary>

Ratner et al., 2013, Surface modification section, <https://biomateriali.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/biopolimeri-dispense.pdf>

Selina Hurley, Science Museum Blog UK (2024) <https://blog.sciencemuseum.org.uk/ visionary-innovation-harold-ridley-and-the-first-intra-ocular-surgery/>

Sterling Ultra Precision, <https://www.sterlingint.com/-/media/ameteksterlingultraprecision/documents/pdfs/opto80engspec.pdf?la=en&revision=d38c4dd6-b023-4ffa-9d1e-9f5297b1ca85>

Sterling, Optoform 80, <https://www.sterlingint.com/lathes/optoform-80>

Visser, N., Bauer, N.J.C. and Nuijts, R.M.M.A. (2013) ‘Toric intraocular lenses: historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications’, *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 39(4), pp. 624–637. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.02.020>

Wang, W., Riemer, O., Rickens, K., Eppig, T. and Karpuschewski, B. (2024) ‘Off-Axis Fast-tool-servo diamond turning of customized intraocular lenses from hydrophobic acrylic polymer’, in *Proceedings of the 24th International Conference & Exhibition of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (euspen)*. Dublin: euspen, pp. 221–222.

Werner, L. (2021) ‘Intraocular Lenses: Overview of Designs, Materials, and Pathophysiologic Features’, *Ophthalmology*, 128(11), pp. e74–e93. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.06.055>

World Health Organization (2026) *Blindness and vision impairment*, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>

Yildirim, T.M., Fang, H., Schickhardt, S.K., Wang, Q., Merz, P.R. and Auffarth, G.U. (2020) ‘Glistening formation in a new hydrophobic acrylic intraocular lens’, *BMC Ophthalmology*, 20, 186. <https://doi.org/10.1186/s12886-020-01430-z>

ZEISS (2019) <https://www.zeiss.hu/vision-care/szemmutet/szuerkehalyogmutet/a-mulencse-kivalasztasa.html>

Zhu, D., et al. (2023) ‘Latest Development in Extended Depth-of-Focus Intraocular Lenses: An Update’, *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 12(1). <https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000590>

LINK: <https://www.edutus.hu/cikk/dezinformacio-es-piaci-hatasok-gazdasagi-es-geopolitikai-osszefugesek/>

Dezinformáció és piaci hatások: gazdasági és geopolitikai összefüggések

ÁDÁM KRISZTIÁN, BSc. hallgató
Edutus Egyetem, Gazdálkodástudományi tanszék
e-mail: adamkri84@gmail.com

DOI: [10.47273/AP.2026.38.38-58](https://doi.org/10.47273/AP.2026.38.38-58)

ABSZTRAKT

A tanulmány a dezinformáció gazdasági és geopolitikai hatásait vizsgálja, különös tekintettel a közösségi média, a mesterséges intelligencia és a külföldi információmanipuláció és beavatkozás (FIMI) szerepére. A kutatás kvalitatív módszertani keretben, nemzetközi és hazai szakirodalom, intézményi jelentések, valamint empirikus esettanulmányok összehasonlító elemzésével tárja fel a dezinformáció piaci következményeit. A tőkepiaci esetek azt mutatják, hogy a hitelesnek látszó hamis közlések rövid idő alatt árfolyamkilengést, bizonytalanságot és bizalomvesztést okozhatnak. A FIMI-esettanulmányok - Moldova, a Doppelgänger-művelet, az African Initiative és a kínai információs hálózatok - arra világítanak rá, hogy az információs befolyásolás a befektetői percepciókat, az országhoz fűződő megítélést és a gazdasági orientációt is alakíthatja. Az African Initiative egyik Telegram-bejegyzésének WordiJ és Gephi használatával végzett szemantikai hálózatelemzése polarizált narratív struktúrát azonosított. Az eredmények alapján a dezinformáció nem pusztán kommunikációs zavar, hanem a pénzügyi stabilitást és a gazdasági szuverenitást érintő strukturális kockázat. Mérsékléséhez összehangolt szabályozási, technológiai, intézményi és médiatudatossági válaszokra van szükség.

Kulcsszavak: dezinformáció, FIMI, közösségi média, mesterséges intelligencia, pénzügyi piacok, gazdasági szuverenitás

ABSTRACT

This study examines the economic and geopolitical effects of disinformation, with particular emphasis on the role of social media, artificial intelligence, and foreign information manipulation and interference (FIMI). Using a qualitative methodological framework, it explores the market consequences of disinformation through a comparative analysis of international and Hungarian literature, institutional reports, and empirical case studies. The capital-market cases demonstrate that false statements presented as credible information can rapidly trigger price volatility, uncertainty, and loss of trust. The FIMI case studies - Moldova, Operation Doppelgänger, the African Initiative, and Chinese information networks - show that information influence can also shape investor perceptions, country-risk assessments, and economic orientation. A semantic network analysis of an African Initiative Telegram post, conducted with WordiJ and Gephi, identified a polarized narrative structure. The findings indicate that disinformation is not merely a communication disorder but a structural risk affecting financial stability and economic sovereignty. Mitigating these effects requires coordinated regulatory, technological, institutional, and media-literacy responses.

Keywords: disinformation, FIMI, social media, artificial intelligence, financial markets, economic sovereignty

BEVEZETÉS

A digitális kommunikáció és az online információs környezet térnyerésével az információ előállításának, terjesztésének és fogyasztásának módja alapvetően megváltozott. A közösségi média, az online hírplatformok, valamint az utóbbi években a mesterséges intelligencia rohamos fejlődése olyan kommunikációs környezetet hozott létre, amelyben az információk rendkívül gyorsan és széles körben juthatnak el a társadalom különböző csoportjaihoz. Ezzel párhuzamosan azonban az információs környezet sérülékenysége is növekedett: a valótlan, félrevezető vagy szándékosan manipulált tartalmak előállítása és terjesztése egyre könnyebbé vált. A folyamat jelentőségét jól mutatja, hogy a World Economic Forum 2026-os Global Risks Reportja a félretájékoztatót és a dezinformációt a következő két év egyik meghatározó globális kockázataként azonosítja (World Economic Forum, 2026).

A dezinformáció kérdése ugyanakkor nem kizárólag társadalmi, politikai vagy kommunikációs problémaként értelmezhető. Az információ a gazdasági döntéshozatal egyik alapvető erőforrása, ezért annak torzulása a gazdasági szereplők döntéseire és a piaci folyamatokra is hatással lehet. A befektetők, fogyasztók, vállalatok és intézmények döntéseit egyaránt befolyásolja az a kép, amelyet a rendelkezésükre álló információk alapján a gazdasági környezetről, a piaci kockázatokról és a jövőbeli lehetőségekről kialakítanak. Amennyiben ez az információs környezet manipulált vagy félrevezető tartalmakkal telítődik, az hatással lehet a várakozásokra, a bizalomra, a kockázatterzékelésre, valamint az erőforrásokallokációjára is.

A pénzügyi piacok különösen érzékenyek az ilyen jellegű információs zavarokra, mivel a piaci szereplők várakozásai és az új információk értékelése rövid idő alatt jelentős árfolyammozgásokat eredményezhet. A jelenséget jól szemlélteti az Associated Press közösségimédia-fiókjának 2013-as feltörése, amelynek során egy hamis, a Fehér Házat érintő robbantásról szóló bejegyzés jelent meg, illetve az Egyesült Államok Értékpapír- és Tőzsdéfelügyelete (Securities and Exchange Commission, SEC) X-fiókjának 2024-es kompromittálása. Utóbbi esetben egy jogosulatlanul közzétett bejegyzés valótlanul azt állította, hogy a SEC jóváhagyta a spot bitcoin tőzsdén kereskedett termékeket. A SEC később hivatalosan is megerősítette, hogy a közlés hamis volt, és hogy az incidens rövid időre a bitcoin árfolyamának emelkedéséhez vezetett (SEC, 2024).

Ezek az esetek azt mutatják, hogy egy hitelesnek tűnő forrásból származó, de valótlan információ rövid idő alatt képes lehet befolyásolni a piaci szereplők várakozásait és döntéseit. A dezinformáció gazdasági jelentősége ezért nem feltétlenül kizárólag a közvetlenül mérhető pénzügyi veszteségekben ragadható meg. Legalább ilyen fontos lehet a piaci bizalom, az intézményi hitelesség, a kockázatterzékelés és a gazdasági szereplők jövőre vonatkozó várakozásainak torzulása.

A jelenség gazdasági dimenziója ugyanakkor túlmutat a pénzügyi piacokon. A digitális információs térben zajló manipuláció egyre szorosabban kapcsolódik geopolitikai folyamatokhoz is. A külföldről kiinduló információmanipuláció és beavatkozás – az úgynevezett Foreign Information Manipulation and Interference (FIMI) – olyan tevékenységeket foglal magában, amelyek célja vagy hatása az információs környezet szándékos alakítása, többek között társadalmi bizalom, intézményi hitelesség vagy politikai és gazdasági döntéshozatal befolyásolásán keresztül. Az Európai Külügyi Szolgálat (European External Action Service, EEAS) jelentései alapján a FIMI az európai biztonsági és geopolitikai környezet egyik tartós kihívásává vált (EEAS, 2025; EEAS, 2026).

A FIMI gazdasági jelentősége abban is megragadható, hogy az információs műveletek közvetett módon befolyásolhatják az egyes országokról, intézményekről vagy gazdasági szereplőkről kialakított percepciókat. A kockázatokkal kapcsolatos várakozások változása hatással lehet a befektetési döntésekre, az országgkockázat megítélésére, a gazdasági együttműködésre, valamint általában a gazdasági szereplők bizalmára. Ennek következtében a dezinformáció és a FIMI vizsgálata nem választható el teljes mértékben a gazdasági és geopolitikai folyamatok elemzésétől.

A tanulmány célja annak feltárása, hogy a dezinformáció milyen mechanizmusokon keresztül kapcsolódhat a gazdasági és piaci folyamatokhoz, valamint milyen hatást gyakorolhat a befektetői percepciókra, a piaci bizalomra és a gazdasági döntéshozatalra. A vizsgálat külön figyelmet fordít a pénzügyi piacokat érintő, dokumentált esetekre, továbbá olyan FIMI-esetekre, amelyekben az információmanipuláció gazdasági és geopolitikai összefüggései is azonosíthatók.

A kutatás kvalitatív módszertani keretben, szakirodalmi források, intézményi jelentések és esettanulmányok elemzésére épül. A tanulmány először áttekinti a dezinformációhoz kapcsolódó legfontosabb fogalmi és elméleti megközelítéseket, majd a gazdasági és pénzügyi hatások bemutatásán keresztül vizsgálja, hogy az információmanipuláció miként jelenhet meg a piaci folyamatokban. Ezt követően a FIMI-jelenséghez kapcsolódó esettanulmányok segítségével tárja fel a dezinformáció gazdasági és geopolitikai összefüggéseit. Az elemzés részét képezi továbbá egy szemantikai és hálózatelemzési vizsgálat, amely a vizsgált információs tartalmak szerkezetének és kapcsolódásainak feltárását szolgálja. A tanulmány abból a feltevésből indul ki, hogy a dezinformáció gazdasági hatásai nem minden esetben jelennek meg közvetlenül és azonnal számszerűsíthető veszteséggént. A hatások egy része a bizalom, a kockázatterzékelés, a piaci várakozások és az intézményi hitelesség változásán keresztül, közvetett módon érvényesülhet. Ennek megfelelően a tanulmány a dezinformációt nem önálló kommunikációs jelenséggént, hanem az információs környezet, a gazdasági döntéshozatal, a piaci működés és a geopolitikai folyamatok egymásra hatásának részeként vizsgálja.

1. Fogalmi és elméleti keret: a dezinformáció és a modern információs tér

A dezinformáció napjainkra az információs társadalom egyik meghatározó kihívásává vált. A digitális technológiák és a közösségi média fejlődése alapvetően átalakította az információk előállításának, terjesztésének és fogyasztásának folyamatát. Míg korábban az információk széles körű terjesztése jellemzően jelentős technikai és intézményi erőforrásokat igényelt, a digitális platformok lehetővé tették, hogy akár egyetlen felhasználó is rövid idő alatt nagy számú befogadóhoz juttasson el tartalmakat. Ez a változás a hiteles információk terjesztésének lehetőségeit is bővítette, ugyanakkor a félrevezető és szándékosan manipulált tartalmak gyors terjedésének feltételeit is megteremtette.

A jelenség megértéséhez mindenképp szükséges a kapcsolódó fogalmak pontos elhatárolása. A szakirodalomban a *misinformation* és a *disinformation* fogalma nem tekinthető teljesen azonosnak. A *misinformation* olyan pontatlan vagy valótlan információra utal, amelynek terjesztése mögött nem feltétlenül áll megtévesztési szándék. Ezzel szemben a *disinformation*, vagyis a dezinformáció, olyan hamis, félrevezető vagy manipulált információ előállítását és terjesztését jelenti, amelynek esetében a szándékos megtévesztés vagy más szereplők befolyásolása központi jelentőségű. A két fogalom közötti különbség ezért elsősorban a szándék és a cél tekintetében ragadható meg.

A *fake news*, vagyis az álhír fogalma ennél tágabb és egyben kevésbé egzakt kategória. A kifejezést a közbeszéd és a média gyakran általános értelemben használja különböző valótlan vagy megtévesztő tartalmak megjelölésére, ezért tudományos elemzésben indokolt annak körütekintő alkalmazása. A dezinformáció fogalma ezzel szemben alkalmasabb lehet azoknak az információs műveleteknek a leírására, amelyekben a tartalom előállítása vagy terjesztése mögött az információs környezet tudatos alakításának szándéka áll.

A digitális információs környezet egyik legfontosabb sajátossága a terjedés sebessége és az információk alacsony belépési költsége. A közösségi média platformjai lehetővé teszik, hogy a felhasználók ne csupán információk befogadói, hanem azok előállítói és továbbterjesztői is legyenek. A hagyományos médiarendszerekkel szemben így jelentősen csökkent az a szerkesztési és ellenőrzési küszöb, amelyen egy tartalomnak át kell haladnia ahhoz, hogy széles közönséghez jusson. A digitális környezetben ezért a tartalom hitelessége és annak elérése részben egymástól független tényezőkké válhat.

A közösségi média működésének további sajátossága, hogy az információk terjedését nem kizárólag azok tartalmi megalapozottsága határozza meg. A felhasználói aktivitás, a megosztások, a reakciók és az algoritmikus ajánlási rendszerek egyaránt szerepet játszanak abban, hogy egy adott tartalom milyen gyorsan és milyen széles körben válik láthatóvá. Az érzelmileg intenzív, konfliktusos vagy figyelemfelkeltő tartalmak ebből következően különösen alkalmasak lehetnek a nagy elérésre. Ez azonban önmagában nem jelenti azt, hogy az algoritmikus rendszerek szükségszerűen dezinformációt terjesztenek; inkább arról van szó, hogy a digitális információs környezet sajátosságai kedvezhetnek azoknak a tartalmaknak, amelyek erős felhasználói reakciót váltanak ki.

A jelenség jelentőségét tovább növeli a mesterséges intelligencia gyors fejlődése. A generatív mesterségesintelligencia-rendszerek segítségével a korábbiaknál gyorsabban és alacsonyabb költséggel állíthatók elő szöveges, képi, hang- és videótartalmak. Ez a technológiai fejlődés önmagában nem tekinthető negatív jelenségnek, ugyanakkor csökkentheti a megtévesztő tartalmak előállításának technikai korlátait. A manipulált vagy szintetikus előállított tartalmak ezért egyre nehezebben különíthetők el kizárólag azok formai jellemzői alapján a hiteles tartalmaktól. A technológiai változás következtében a tartalom hitelességének ellenőrzése és a digitális forráskritika egyre fontosabbá válik.

A dezinformáció gazdasági szempontból azért különösen releváns, mert a gazdasági döntéshozatal jelentős mértékben információkra és várakozásokra épül. A befektetők a rendelkezésükre álló információk alapján alakítják ki várakozásaikat az egyes eszközök, vállalatok vagy piacok jövőbeli teljesítményéről, míg a fogyasztók és a vállalatok döntéseit szintén befolyásolja a gazdasági környezetről kialakított percepciójuk. Amennyiben a döntéshozatal alapjául szolgáló információs környezet torzul, az a gazdasági szereplők kockázatterzékelését, bizalmát és döntéseit is befolyásolhatja.

A pénzügyi piacok ebből a szempontból különösen érzékenyek, mivel az információk gyorsan beépülhetnek a piaci várakozásokba és az árakba. Egy hitelesnek tűnő, ugyanakkor valótlan információ rövid idő alatt jelentős számú piaci szereplőhöz juthat el, akik annak hatására módosíthatják befektetési döntéseiket. A dezinformáció gazdasági hatása ezért nem feltétlenül abban áll, hogy önmagában megváltoztatja egy vállalat vagy pénzügyi eszköz fundamentális értékét, hanem abban is, hogy átmenetileg módosíthatja a piaci szereplők várakozásait és viselkedését.

A jelenség egyik jól dokumentált példája az Associated Press Twitter-fiókjának 2013-as feltörése. A kompromittált fiókon egy hamis bejegyzés jelent meg, amely szerint robbanás történt a Fehér Háznál, és az Egyesült Államok elnöke megsérült.

A közlés rövid időre bizonytalanságot váltott ki a pénzügyi piacokon, ami jól szemlélteti, hogy egy hitelesnek tűnő információforrás kompromittálása és az azon keresztül terjesztett hamis információ miként kapcsolódhat közvetlenül a piaci reakciókhoz (EPRS, 2019; Associated Press, 2013).

Hasonló mechanizmus figyelhető meg az Egyesült Államok Értékpapír- és Tőzsdefelügyelete (Securities and Exchange Commission, SEC) X-fiókjának 2024-es kompromittálása esetében is. Az illetéktelen hozzáférést követően olyan közlés jelent meg, amely valótlanul azt állította, hogy a SEC jóváhagyta a spot bitcoin tőzsdén kereskedett termékeket. A SEC később hivatalosan megerősítette, hogy a közlés nem tőle származott, és hogy az eseményhez kapcsolódóan a bitcoin árfolyama rövid időre jelentősen megmozdult (SEC, 2024). Az eset azt mutatja, hogy az információforrás hitelessége önmagában is piaci értéket képviselhet: egy hivatalos intézményi kommunikációs csatorna kompromittálása a tartalom gyors hitelesítését eredményezheti a piaci szereplők egy része számára.

A dezinformáció modern értelmezésében ezért egyre nagyobb szerepet kap az információs környezet egészének vizsgálata. Nem csupán az egyes hamis állítások tartalma lényeges, hanem az is, hogy ki állítja elő azokat, milyen csatornákon keresztül terjeszti, milyen célcsoportokat ér el, milyen narratívába illeszti, illetve milyen társadalmi, politikai vagy gazdasági reakciókat kíván kiváltani. A dezinformáció így nem kizárólag egy-egy valótlan állítás problémájaként, hanem összetett információs folyamatként értelmezhető.

E megközelítéshez szorosan kapcsolódik a Foreign Information Manipulation and Interference (FIMI), vagyis a külföldi információmanipuláció és beavatkozás fogalma. A FIMI olyan tevékenységek összességére utal, amelyek során külföldi szereplők az információs környezet szándékos manipulációján vagy befolyásolásán keresztül próbálják alakítani valamely célország társadalmi, politikai vagy intézményi környezetét. A fogalom ezért nem tekinthető a dezinformáció egyszerű szinonimájának: a FIMI tágabb keretet biztosít az információs műveletek szereplőinek, eszközeinek, céljainak és hatásmechanizmusainak elemzéséhez (EEAS, 2025).

A FIMI gazdasági szempontból azért is releváns, mert az információs beavatkozások hatása túlmutathat a közvetlen kommunikációs térben megjelenő reakciókon. Egy ország, intézmény vagy gazdasági szereplő megítélésének tartós alakítása befolyásolhatja a bizalom szintjét, a kockázatérzékelést és ezáltal a gazdasági döntéshozatalt is. A befektetők például nem kizárólag objektív gazdasági mutatók alapján értékelnek egy országot, hanem az adott országról rendelkezésre álló információk és a jövőbeli kockázatokkal kapcsolatos várakozások is szerepet játszanak döntéseikben.

A FIMI és a dezinformáció vizsgálata ezért különösen indokolt a geopolitikai és gazdasági folyamatok összefüggésében. Az információs műveletek, egyes esetekben közvetlen politikai célokat szolgálhatnak, más esetekben azonban gazdasági érdekekkel, stratégiai kommunikációval vagy egy adott ország nemzetközi megítélésének alakításával is összekapcsolódhatnak. A digitális információs tér ilyen értelemben a gazdasági verseny és a geopolitikai érdekérvényesítés egyik kiegészítő színterévé is válhat.

A dezinformáció olyan összetett jelenségként értelmezhető, amelynek vizsgálata több tudományterület – többek között a közgazdaságtan, a kommunikációtudomány, a politikatudomány, a pszichológia és a nemzetközi kapcsolatok – szempontjainak együttes alkalmazását igényli. A jelen tanulmány szempontjából különösen fontos annak feltárása, hogy az információs torzulások milyen mechanizmusokon keresztül kapcsolódhatnak a piaci szereplők várakozásaihoz, a befektetői percepciókhoz és a gazdasági döntéshozatallalhoz. E fogalmi és elméleti keret képezi az alapját a következő fejezetben bemutatott gazdasági hatások és empirikus esetek elemzésének.

2. A dezinformáció gazdasági hatásai: befektetői percepciók, piaci reakciók és gazdasági következmények

A dezinformáció gazdasági jelentősége, hogy a gazdasági döntéshozatal nagymértékben információkra, várakozásokra és a kockázatok értékelésére épül. A gazdasági szereplők – így a befektetők, vállalatok és fogyasztók – döntéseik során nem kizárólag objektív, utólagosan igazolható adatokra támaszkodnak, hanem az aktuálisan rendelkezésre álló információk alapján alakítják ki várakozásaikat a jövőbeli gazdasági folyamatokról. Az információs környezet torzulása ezért nem feltétlenül közvetlenül, hanem a várakozások, a bizalom és a kockázatesztelés megváltozásán keresztül is gazdasági következményekkel járhat.

A dezinformáció gazdasági hatásmechanizmusa különösen jól vizsgálható a pénzügyi piacokon. A piacok működésében az új információk gyors beépülése az árakba alapvető jelentőségű, ugyanakkor a digitális információs környezetben a piaci szereplők számára nem mindig áll rendelkezésre elegendő idő az információk hitelességének ellenőrzésére. Egy hitelesnek tűnő, de valótlan információ ezért rövid időre eltérítheti a piaci szereplők várakozásait a fundamentális folyamatoktól. A piaci reakció nagyságát ugyanakkor nem önmagában a hamis információ tartalma határozza meg, hanem annak időzítése, forrásának hitelessége, terjedési sebessége, a piaci likviditás és az adott időszakban fennálló bizonytalanság is.

A dezinformáció gazdasági hatásai ezért több szinten különíthetők el. Rövid távon árfolyammozgásokat, forgalomnövekedést és fokozott volatilitást idézhetnek elő; középtávon befolyásolhatják a befektetői bizalmat és a vállalatokról vagy országokról kialakított kockázati percepciókat; hosszabb távon pedig az információs környezetbe vetett bizalom, az intézményi hitelesség és az erőforrás-allokáció minősége is érintetté válhat.

2.1. A dezinformáció hatása a befektetői és a piaci döntéshozatalra

A pénzügyi piacok működésében az információ alapvető szerepet tölt be, mivel a befektetők az elérhető adatok és hírek alapján alakítják ki az egyes eszközök jövőbeli értékére vonatkozó várakozásaikat. Ebből következően a valótlan vagy félrevezető információk akkor is gazdasági hatással járhatnak, ha maguk az információk nem változtatják meg az adott vállalat vagy pénzügyi eszköz fundamentális értékét. A piaci szereplők ugyanis rövid távon a rendelkezésükre álló információk alapján hoznak döntéseket, ezért az információ hitelességével kapcsolatos bizonytalanság önmagában is befolyásolhatja a kereskedési magatartást.

A dezinformáció egyik lehetséges gazdasági mechanizmusa ennek megfelelően a befektetői percepciók torzítása. Amennyiben egy befektető valósnak tekint egy hamis információt, az módosíthatja az adott vállalat, ágazat vagy piac jövőbeli teljesítményére vonatkozó várakozásait. A döntés következményeként az eszköz kereslete és kínálata rövid idő alatt megváltozhat, ami az árfolyamban is megjelenhet. A folyamat különösen akkor lehet gyors, ha az információ széles körben terjedő digitális platformokon jelenik meg, illetve ha automatizált kereskedési rendszerek is reagálnak a piaci hírekre.

A dezinformáció hatása ugyanakkor nem szükségszerűen azonos minden piaci környezetben. Jelentőségét növelheti, ha a piaci szereplők bizonytalansága eleve magas, ha az adott eszköz likviditása alacsonyabb, vagy ha a közlés olyan időszakban jelenik meg, amikor a befektetői figyelem kiemelkedő. A pénzügyi dezinformáció ezért nem pusztán az információ tartalmának kérdése, hanem az információs környezet, a piaci struktúra és a döntéshozatali időnyomás együttes eredménye.

Ezt a mechanizmust támasztja alá Liu és Moss (2025) kutatása is. A Journal of Accounting and Economics folyóiratban megjelent tanulmány empirikus bizonyítékot szolgáltat arra, hogy a pénzügyi dezinformáció előállítói stratégiailag időzíthetik tartalmaikat a vállalati eredményközlések körüli időszakokra, amikor a befektetői figyelem fokozott. A szerzők ugyanakkor azt is kimutatták, hogy a megbízhatóbb számviteli információs környezet csökkentheti a hamis hírek piaci hatását. A rendszeresebb vezetői előrejelzések és a könnyebben értelmezhető vállalati jelentések mellett ugyanis a befektetők információs helyzete kedvezőbb lehet, ami mérsékelheti a félrevezető információkra való érzékenységet.

Ez az eredmény a dezinformáció gazdasági értelmezése szempontjából különösen fontos. Arra utal, hogy a megbízható információk rendelkezésre állása nem csupán a vállalatok transzparenciája szempontjából lényeges, hanem a piaci dezinformációval szembeni ellenálló képesség egyik tényezője is lehet. A megfelelő minőségű és időben hozzáférhető vállalati információ csökkentheti azt a bizonytalanságot, amelyben a befektetők egy hamis állítás értékelésére kényszerülnek.

A befektetői percepciók torzulása ugyanakkor nem korlátozódik egyes vállalatok részvényeire. A digitális információs térben egy vállalatról, iparágról vagy országról kialakított kép hosszabb időn keresztül is befolyásolhatja a kockázateszlelést. Amennyiben a gazdasági szereplők tartósan torzított információk alapján értékelnek egy gazdasági környezetet, az a beruházási döntések, a finanszírozási feltételek vagy a partneri kapcsolatok szintjén is megjelenhet. A dezinformáció gazdasági hatását célszerű több szinten értelmezni. Az első szint a közvetlen piaci reakció, amely rövid idő alatt megfigyelhető árfolyam- és forgalmi változásokban jelenhet meg. A második a befektetői percepciók és a kockázatterzékelés módosulása, amely hosszabb időtávon fejtheti ki hatását. A harmadik szint az információs környezetbe vetett bizalom kérdése, amely már a piaci intézmények és a gazdasági döntéshozatal működéséhez kapcsolódik.

A dezinformáció nem minden esetben okoz tartós piaci árváltozást, és egyetlen hamis közlésből sem következik automatikusan tartós gazdasági veszteség. A hatás nagysága az információ minőségétől, a forrás hitelességétől, a terjedés sebességétől, a piaci környezettől és a szereplők információs helyzetétől egyaránt függ. A dokumentált tőkepiaci esetek azonban jól szemléltetik, hogy bizonyos körülmények között a hamis információ rövid idő alatt is mérhető piaci reakciót válthat ki.

2.2. Empirikus esettanulmányok: dezinformáció és rövid távú piaci reakciók

A dezinformáció gazdasági hatásmechanizmusának szemléltetésére két, nemzetközileg jól dokumentált eset különösen alkalmas. Az Associated Press 2013-as Twitter-fiókjának kompromittálása, valamint az Egyesült Államok Értékpapír- és Tőzsdefelügyelete (Securities and Exchange Commission, SEC) X-fiókjának 2024-es jogosulatlan használata eltérő környezetben történt, ugyanakkor közös bennük, hogy egy hitelesnek tekintett intézményi forrás kommunikációs csatornáján keresztül jelent meg valótlan információ.

2013 áprilisában az Associated Press (AP) Twitter-fiókját feltörték, és a kompromittált fiókon olyan hamis bejegyzés jelent meg, amely szerint robbanás történt a Fehér Háznál, és Barack Obama amerikai elnök megsérült. A közlés rövid idő alatt jelentős figyelmet kapott, és a pénzügyi piacokon is gyors reakciót váltott ki. A későbbi elemzések szerint az amerikai részvénytőke értéke rövid időre mintegy 136–140 milliárd dollárral csökkent, majd a közlés cáfolatát követően az árfolyamok nagyrészt visszarendeződtek (European Parliamentary Research Service, 2019).

Az eset jelentősége nem elsősorban a rövid ideig fennálló aggregált értékvesztés nagyságában rejlik, hanem abban, hogy szemlélteti az információs hitelesség, a terjedési sebesség és az automatizált piaci reakciók kapcsolatát. A hamis közlés ugyanis nem ismeretlen vagy nyilvánvalóan megbízhatatlan forrásból származott, hanem egy széles körben ismert nemzetközi hírügynökség kompromittált kommunikációs csatornáján jelent meg. Ez csökkenthette azt az időt, amely alatt a piaci szereplőknek lehetőségük volt a közlés hitelességének ellenőrzésére.

A második releváns eset az SEC X-fiókjának 2024. januári kompromittálása. A jogosulatlan hozzáférést követően olyan bejegyzés jelent meg, amely azt állította, hogy a SEC jóváhagyta a spot bitcoin tőzsdén kereskedett termékeket (ETF-eket). A közlés a bitcoin árfolyamának gyors emelkedésével járt, majd a bejegyzés hitelességének megkérdőjelezését és törlését követően az árfolyam visszaesett. A SEC később hivatalosan is megerősítette, hogy a bejegyzést nem a hatóság tette közzé.

A két eset között fontos különbség, hogy míg az AP-esetben egy általános politikai tartalmú hamis hír gyakorolt közvetett hatást a pénzügyi piacokra, addig a SEC esetében a közlés közvetlenül egy pénzügyi eszköz szabályozói státuszára vonatkozott. Mindkét esetben közös azonban, hogy a piaci reakciót részben a forrás feltételezett hitelessége alapozta meg. A piaci szereplők számára ugyanis nem pusztán az információ tartalma, hanem annak eredete is meghatározó tényező lehet. Az esetek ugyanakkor arra is felhívják a figyelmet, hogy a rövid távú piaci reakció és a tartós gazdasági kár nem tekinthető azonos fogalomnak. Az AP-esetben a piaci értékvesztés jelentős része a hamis információ cáfolatát követően megszűnt. A SEC-esetben szintén gyors árfolyamkorrekció következett be. Ezek alapján indokoltabb a jelenséget rövid távú piaci zavar vagy átmeneti árfolyam-eltérés formájában értelmezni, semmint minden esetben tartós vagyönvesztésként.

A pénzügyi dezinformáció ugyanakkor más formákban is megjelenhet. A vállalatokról szóló hamis vagy félrevezető hírek például olyan időszakokban fejthetik ki hatásukat, amikor a befektetői figyelem egyébként is magas. Liu és Moss (2025) kutatása szerint a hamis pénzügyi hírek előállítói az eredményközlések körüli időszakokat stratégiaileg is felhasználhatják, miközben a megbízhatóbb számviteli információk csökkenthetik a piaci reakció nagyságát. A dokumentált esetek alapján ezért a dezinformáció tőkepiaci hatásmechanizmusa három egymással összefüggő tényező mentén ragadható meg. Elsőként a forrás hitelessége határozhatja meg, hogy a piaci szereplők milyen gyorsan fogadják el az információt. Másodszor a terjedési sebesség és az információs csatorna befolyásolja, hogy a közlés milyen széles körben válik hozzáférhetővé. Harmadszor a piaci környezet – így például a likviditás, a bizonytalanság és a befektetői figyelem – meghatározhatja, hogy a közlés milyen mértékű árfolyamreakciót vált ki.

A fenti esetekből ugyanakkor nem következik, hogy a dezinformáció minden esetben jelentős vagy tartós piaci hatással jár. A példák inkább azt szemléltetik, hogy bizonyos feltételek együttes fennállása esetén a hitelesnek tűnő hamis információ rövid idő alatt mérhető gazdasági reakciót válthat ki. Ez a megállapítás azért lényeges, mert a dezinformáció gazdasági kockázatának értékelése során különbséget kell tenni a rövid távú piaci volatilitás, a tartós értékvesztés és a hosszabb távú bizalomvesztés között.

2.3. A dezinformáció tágabb gazdasági következményei és a gazdasági információs környezet szerepe

A dezinformáció gazdasági hatásai nem korlátozódnak a tőkepiaci árfolyammozgásokra. A gazdasági döntéshozatalban a bizalom, a várakozások és a bizonytalanság egyaránt meghatározó tényezők, ezért az információs környezet tartós torzulása a gazdasági szereplők magatartásán keresztül szélesebb körű következményekkel is járhat.

A fogyasztói bizalom például a gazdasági várakozások egyik fontos indikátora. Vuchelen (2004) kutatása azt vizsgálta, hogy a fogyasztói attitűdök, érzelmek milyen kapcsolatban állnak a makrogazdasági várakozásokkal és az azokhoz kapcsolódó bizonytalansággal. Az eredmények arra utalnak, hogy a fogyasztói bizalom nem kizárólag az aktuális gazdasági környezet egyszerű visszatükröződése, hanem a jövőbeli gazdasági feltételekre vonatkozó várakozásokkal is összefügg.

Ebből a szempontból a dezinformáció akkor válhat gazdaságilag relevánssá, ha képes tartósan módosítani a gazdasági szereplők várakozásait. Egy negatív narratíva például növelheti valamely gazdasági szereplővel vagy piaccal kapcsolatos kockázatérzetet, míg egy valószínűleg pozitív információ túlzott várakozásokat alakíthat ki. Mindkét esetben fennállhat annak lehetősége, hogy a döntéshozatal eltávolodik a rendelkezésre álló fundamentális információktól. A gazdasági következmények egyik fontos közvetítő mechanizmusa ezért a bizonytalanság. Ha a piaci szereplők számára nehezebbé válik annak megítélése, hogy mely információk tekinthetők hitelesnek, növekedhet az információfeldolgozás költsége. A vállalatoknak, befektetőknek és intézményeknek több erőforrást kell fordítaniuk az információk ellenőrzésére, a források összevetésére és a kockázatok újraértékelésére. A dezinformáció ebben az értelemben nemcsak közvetlen piaci reakciókat válthat ki, hanem az információszerzés és -ellenőrzés költségeit is növelheti.

Különösen fontos ebből a szempontból a vállalati információs környezet minősége. Liu és Moss (2025) eredményei alapján a robusztusabb számviteli információs környezethez kisebb mértékű piaci reakció társulhat a hamis pénzügyi hírek esetében. A kutatás arra utal, hogy a megbízható vállalati adatszolgáltatás nem csupán a hagyományos transzparencia szempontjából lényeges, hanem a pénzügyi dezinformációval szembeni ellenálló képességet is növelheti.

A dezinformáció tágabb gazdasági következményei ugyanakkor ország- és intézményszinten is megjelenhetnek. Egy ország gazdasági megítélését nem kizárólag a makrogazdasági mutatók, hanem a gazdasági és politikai stabilitásról rendelkezésre álló információk is alakítják. Ha ezek az információk tartósan torzulnak, az befolyásolhatja a befektetők kockázatértékelését és a gazdasági döntések időzítését. E kapcsolat azonban nem tekinthető automatikusnak: a dezinformáció jelenléte önmagában nem bizonyítja, hogy valamely beruházási vagy kereskedelmi döntés közvetlenül annak következményeként változott meg.

A gazdasági hatásokat ezért célszerű egy oksági lánc részeként értelmezni. A folyamat egyik lehetséges kiindulópontja a manipulált információ előállítása és terjesztése. Ezt követheti az információ befogadása és értelmezése, majd a gazdasági szereplők várakozásainak vagy kockázatérzékelésének módosulása. A következő szinten jelenhet meg a döntéshozatal megváltozása, amely végül piaci vagy reálgazdasági következményekhez vezethet. A lánc bármely pontján megjelenhetnek olyan tényezők – például a forráskritika, a hiteles információk rendelkezésre állása vagy az intézményi ellenőrzés –, amelyek mérsékelhetik a hatást.

A rendelkezésre álló szakirodalom alapján ezért a dezinformáció gazdasági hatása nem egységes és nem minden esetben számszerűsíthető közvetlenül. A legkönnyebben megfigyelhető következmények a pénzügyi piacokon jelentkező rövid távú árfolyam- és forgalmi reakciók. Nehezebben mérhetők ugyanakkor a bizalom, a kockázatérzékelés, az információellenőrzés költségei vagy az intézményi hitelesség változásai. Ezek a közvetett hatások hosszabb időtávon jelentősebbé válhatnak, de elkülönítésük és oksági azonosításuk módszertanilag összetettebb.

A dezinformáció gazdasági kockázata ezért három fő dimenzióban ragadható meg. Rövid távon a piaci szereplők döntéseit és az eszközárakat befolyásolhatja; középtávon módosíthatja a befektetői és gazdasági szereplői percepciókat; hosszabb távon pedig az információs környezetbe és az intézményekbe vetett bizalomra is hatással lehet. A három dimenzió egymástól nem független, ugyanakkor eltérő mérési és elemzési módszereket igényel.

A dezinformáció gazdasági vizsgálata ezért nem merülhet ki az egyes hamis hírek által kiváltott árfolyammozgások elemzésében. A jelenség teljesebb megértéséhez azt is vizsgálni szükséges, hogy az információs manipuláció milyen szereplőkön, csatornákon és narratívákon keresztül terjed, milyen geopolitikai célokhoz kapcsolódhat, és hogyan befolyásolhatja az egyes országokról, intézményekről vagy gazdasági partnerekről kialakított percepciókat.

3. A FIMI esettanulmányok: a dezinformáció működési mechanizmusai és gazdasági hatásai

A dezinformáció gazdasági és társadalmi hatásainak vizsgálatakor nem elegendő kizárólag az egyes hamis állítások tartalmát elemezni. A digitális információs környezetben egyre nagyobb jelentősége van annak is, hogy ki állítja elő az adott tartalmat, milyen csatornákon keresztül terjeszti, milyen célcsoportokat ér el, valamint hogyan kapcsolódik más információs és kommunikációs szereplőkhöz. Ezt a komplexebb megközelítést teszi lehetővé a Foreign Information Manipulation and Interference (FIMI), vagyis a külföldi információmanipuláció és beavatkozás fogalma.

Az Európai Külügyi Szolgálat (European External Action Service – EEAS) értelmezésében a FIMI olyan, jellemzően összehangolt és manipulatív magatartásmintázat, amelynek célja vagy lehetséges következménye más szereplők információs környezetének befolyásolása, illetve politikai, társadalmi és intézményi folyamatok megzavarása. A megközelítés egyik fontos sajátossága, hogy nem kizárólag a hamis információ tartalmára, hanem az alkalmazott infrastruktúrára, a szereplők közötti kapcsolatokra és a terjesztési mechanizmusokra is figyelmet fordít (EEAS, 2024; EEAS, 2025). A FIMI-műveletek ezért sok esetben nem egyetlen hamis hírhez köthetők, hanem egymással összekapcsolódó weboldalak, közösségimédia-fiókok, médiának álcázott oldalak, automatizált vagy koordinált terjesztési csatornák és helyi közvetítők hálózatából állnak. Az EEAS 2025-ös elemzése szerint a vizsgált műveletekben különösen jelentős szerepet kapnak az úgynevezett információmanipulációs halmazok (Information Manipulation Sets – IMS), amelyekben az egyes szereplők és digitális eszközök különböző funkciókat töltenek be az információ előállításában, átalakításában és továbbításában (EEAS, 2025).

A következő esettanulmányok azt mutatják be, hogy ez a gyakorlat különböző földrajzi és politikai környezetekben milyen formában jelenhet meg. Moldova példája elsősorban a választási folyamat és az európai integráció körüli információs beavatkozásokat szemlélteti, a Doppelgänger-művelet a hiteles médiának való álcázás és az információs környezet imitációjának módszerét mutatja be, míg az African Initiative és a kínai HaiEnergy-hálózat példája a helyi mediakörnyezetekbe történő beágyazódás, illetve a magán kommunikációs infrastruktúrák felhasználásának jelentőségét emeli ki.

3.1. Moldova: FIMI és választási beavatkozás

Moldova az elmúlt években az európai FIMI-kutatások egyik kiemelt esettanulmányává vált. Ennek egyik oka az ország geopolitikai helyzete: Moldova egyszerre szembesül az európai integrációból fakadó politikai és gazdasági lehetőségekkel, valamint az orosz befolyási törekvésekkel. Az információs tér manipulációja ebben a környezetben nem önálló jelenséggé, hanem a politikai, társadalmi és gazdasági konfliktusokkal összekapcsolódva jelenik meg.

Az EEAS 2025-ös FIMI-jelentése szerint Moldova 2024-ben különösen intenzív információmanipulációs tevékenység célpontja volt: a jelentés 45 dokumentált FIMI-incidenst azonosított. Ezek egy része a 2024-es elnökválasztáshoz és az Európai Unióhoz való csatlakozásról szóló alkotmányos népszavazáshoz kapcsolódott, más esetek pedig Maia Sandu elnök, illetve az ország politikai és biztonsági helyzete ellen irányultak (EEAS, 2025). A 2024. október 20-án megtartott elnökválasztás és az uniós csatlakozásról szóló referendum különösen alkalmas annak bemutatására, hogy a FIMI hogyan kapcsolódhat közvetlenül egy demokratikus intézményrendszer működéséhez. Az EEAS és az OSCE/ODIHR megállapításai szerint a választási folyamatot külföldi beavatkozási kísérletek és aktív dezinformációs tevékenység kísérte. A beavatkozás nem kizárólag egyes hamis állítások terjesztésére korlátozódott, hanem az illegális finanszírozás, a kibertámadások és a politikai szereplők befolyásolására irányuló törekvések is megjelentek (EEAS, 2024).

A moldovai eset egyik fontos tanulsága, hogy a FIMI hatása nem feltétlenül mérhető közvetlenül egy-egy választási eredményben. A beavatkozás célja lehet a választók bizonytalanságának növelése, az intézményekbe vetett bizalom gyengítése vagy az adott politikai folyamat legitimációjának megkérdőjelezése. Az EEAS későbbi elemzése szerint a választások elleni orosz FIMI-műveletekben több országban is megfigyelhető egy ismétlődő mechanizmus: a politikai vezetők hitelességének hosszabb távú gyengítése után a kampányidőszakban a társadalmi törésvonalak erősítése, végül pedig magának a választási folyamatnak a hiteltelenítése kerül előtérbe (EEAS, 2026). A folyamat gazdasági szempontból is releváns. A politikai stabilitás és a kiszámítható intézményi környezet a beruházási döntések egyik fontos háttérfeltétele, ezért az intézményi bizalom tartós gyengülése közvetett módon a gazdasági környezet megítélésére is hatással lehet. Fontos ugyanakkor különbséget tenni a dokumentált információs beavatkozás és annak feltételezett gazdasági következményei között. A moldovai eset alapján a FIMI politikai és társadalmi hatásai jól dokumentálhatók, míg az egyes gazdasági mutatókra gyakorolt közvetlen oksági hatás külön empirikus vizsgálatot igényel.

A moldovai eset azt szemlélteti, hogy a dezinformáció gazdasági jelentősége nem minden esetben közvetlen piaci ármozgásokban jelenik meg. A politikai bizonytalanság, az intézményi bizalom csökkenése és a társadalmi polarizáció olyan közvetítő tényezők lehetnek, amelyek hosszabb távon a gazdasági döntéshozatal környezetét is befolyásolják.

3.2. Doppelgänger: a hiteles médiakörnyezet imitációja

A FIMI egyik jellegzetes módszere a hitelesnek tűnő információs környezet létrehozása. Ennek egyik legismertebb példája a „Doppelgänger” néven azonosított műveltsorozat, amelynek során a létrehozott weboldalak és közösségimédia-profilok valós sajtótermékek vagy más ismert intézmények arculatát és kommunikációs stílusát utánozzák. A módszer lényege nem egyszerűen egy hamis hír közzététele, hanem a forrás hitelességének imitációja. A felhasználó számára az oldal első pillantásra egy ismert újság vagy hírportál felületének tűnhet, miközben az azon megjelenő tartalom valójában egy manipulációs kampány része. Az EEAS szerint a Doppelgänger-műveletek során a szereplők kifejezetten arra törekednek, hogy a felhasználókat hiteles médiatermékekre emlékeztető felületekkel és profilokkal érjék el (EEAS, 2024). A módszer hatékonyságát növeli, hogy a megtévesztés nem kizárólag tartalmi szinten történik. A kampányok a már létező politikai konfliktusokra, társadalmi feszültségekre és aktuális eseményekre építenek. Ezáltal az új információ nem feltétlenül idegen elemként jelenik meg a befogadó számára, hanem egy már meglévő vélemény vagy félelem megerősítéseként. Az EEAS elemzése szerint az ilyen műveletekben gyakori az érzelmileg telített tartalmak, valamint a társadalmi megosztottságot erősítő témák használata (EEAS, 2024).

A Doppelgänger-modell gazdasági szempontból azért figyelemre méltó, mert az információs hitelesség infrastruktúráját támadja. A gazdasági szereplők – legyen szó fogyasztókról, befektetőkről vagy vállalatokról – döntéseik során jelentős mértékben támaszkodnak másodlagos információkra. Ha a médiakörnyezetben nehezebbé válik az információk eredetének és hitelességének ellenőrzése, akkor növekedhet az információszerzés és -ellenőrzés költsége, valamint a bizonytalanság.

A manipulált információ nem szükségszerűen változtatja meg közvetlenül a gazdasági fundamentumokat, ugyanakkor befolyásolhatja azok értelmezését. A befektetők vagy fogyasztók eltérően ítélik meg a kockázatokat, ha az általuk hitelesnek tekintett információs környezet torzul. Emiatt a FIMI gazdasági hatásának egyik fontos közvetítő tényezője maga az információs bizalom. A Doppelgänger-eset egyben azt is mutatja, hogy a digitális dezinformáció vizsgálatakor a tartalomelemzés önmagában nem mindig elegendő. A források közötti kapcsolatok, a weboldalak technikai hasonlóságai, a közösségimédia-fiókok hálózata és a terjesztési mintázatok együttes vizsgálata teszi lehetővé annak feltárását, hogy egy adott tartalom önálló jelenség vagy egy összehangolt művelet része.

3.3. African Initiative: információs befolyás és helyi médiakörnyezet

Az African Initiative esete a FIMI egy másik fontos sajátosságára, a helyi információs környezetbe történő beágyazódásra világít rá. Az EEAS, a francia VIGINUM és a brit Foreign, Commonwealth and Development Office (FCDO) 2025-ben közös technikai jelentésben elemezte a szervezet működését. A jelentés szerint az African Initiative olyan, hírszolgáltatóként megjelenő struktúra, amelynek tevékenysége a szélesebb orosz információs befolyásolási infrastruktúrához kapcsolódik (EEAS, VIGINUM & FCDO, 2025).

Az African Initiative jelentősége abban áll, hogy a művelet nem egyszerűen külső propagandatartalmak továbbítására épül. A rendszer helyi szereplőkkel, afrikai témákkal és regionális kommunikációs csatornákkal is kapcsolatot alakít ki. Az EEAS 2025-ös FIMI-jelentése szerint az African Initiative több nyelven működő weboldalakat és közösségimédia-csatornákat használ, és olyan hálózati csomópontként jelenik meg, amely összekapcsolja az

orosz eredetű információs infrastruktúrát helyi afrikai szereplőkkel (EEAS, 2025). A működés egyik fontos eleme az úgynevezett információs „laundering”, vagyis az információs eredet részleges elfedése. Ennek során egy központilag előállított narratíva helyi szereplőn, médiaterméken vagy közösségimédia-fiókon keresztül jut el a célközönséghez. Az eredeti forrás így kevésbé látható, miközben a tartalom helyi információként vagy független véleményként jelenhet meg. Az EEAS elemzése szerint az African Initiative ennek fordított irányú folyamatában is szerepet játszhat: helyi forrásból származó tartalmak kerülhetnek vissza az orosz nemzetközi médiakörnyezetbe, ezáltal a helyi narratívák nemzetközi láthatóságot is nyerhetnek (EEAS, 2025). Egy, a Közép-afrikai Köztársaságban működő amerikai magánkatonai vállalatról szóló Telegram-bejegyzést 23 nyilvános csatornára és csoportba továbbítottak, ahol megközelítőleg 250 ezer megtekintést ért el.

Ez a mechanizmus megmutatja, hogy a FIMI gazdasági hatása nem feltétlenül egyetlen eseményhez vagy egyetlen hamis állításhoz kapcsolható. A hosszabb távú cél a kommunikációs környezet alakítása lehet. Ha egy külföldi szereplő képes tartósan jelen lenni egy régió információs terében, akkor a politikai és gazdasági folyamatokról kialakuló kép is befolyásolható.

Az afrikai esetben ez különösen releváns lehet a biztonságpolitika, az energiaellátás, a nyersanyagok, a külföldi beruházások és a nemzetközi együttműködések megítélése szempontjából. A jelen tanulmány ugyanakkor nem tekinti bizonyítottnak, hogy egy adott információs művelet önmagában konkrét beruházási vagy kereskedelmi döntést eredményezett. A kapcsolat inkább közvetítő mechanizmusként értelmezhető: az információs környezet alakítása hatással lehet a politikai és társadalmi percepciókra, ezek pedig hosszabb távon befolyásolhatják a gazdasági döntések környezetét.

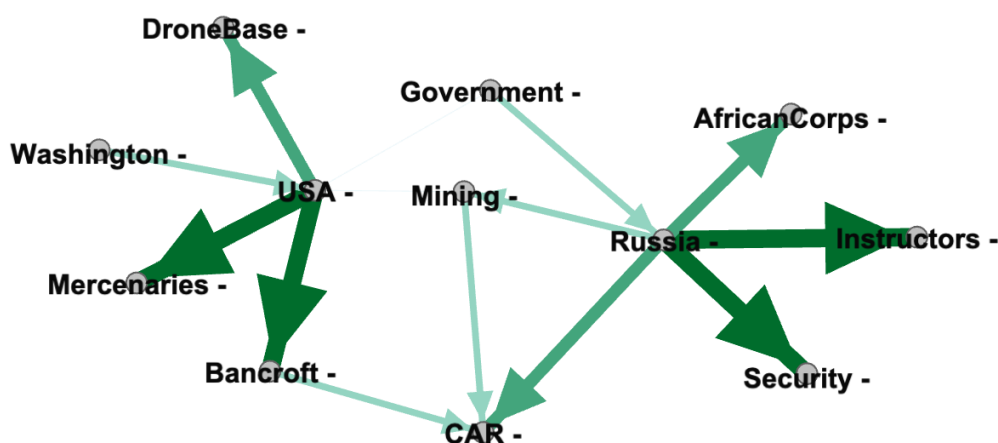
1. ábra. Az elemzett African Initiative Telegram-bejegyzés képernyőmentése



Forrás: African Initiative Telegram-csatorna, 2026

A szerző az African Initiative vizsgálatát kiegészítette hálózatelemzéssel is. Az elemzés során a Telegramon megjelent bejegyzések tekinthetők a vizsgálat alapegységeinek, míg a szövegekben előforduló szavak és kifejezések a szemantikai hálózat csomópontjaiként értelmezhetők. A Wordij segítségével elvégzett szövegelőkészítés és a Gephi alkalmazásával létrehozott hálózati vizualizáció lehetővé teszi a gyakran együtt előforduló kifejezések és tematikus kapcsolatok feltárását.

2. ábra. Az African Initiative Telegram-bejegyzésének közösségimédia-kapcsolati hálója



Forrás: Saját szerkesztés WordiJ és Gephi használatával, 2026.

A módszer célja ebben az esetben nem az oksági kapcsolat bizonyítása, hanem a kommunikációs mintázatok feltérképezése. A hálózati elemzés megmutathatja, hogy mely témák, kifejezések és narratívák jelennek meg egymással rendszeresen összekapcsolódva. Az eredményeket ezért leíró és feltáró jellegű elemzésként indokolt értelmezni, és nem szabad közvetlenül a gazdasági vagy politikai hatás bizonyítékeként kezelni.

3.4. Kínai információs műveletek és a HaiEnergy esete

A FIMI működésének egy másik modelljét a kínai kötődésű információs műveletek példája szemlélteti. Ezek közül a HaiEnergy néven azonosított kampány különösen jól mutatja, hogy a digitális információmanipulációban magánvállalatok, PR-szolgáltatók és médiának álcázott weboldalak infrastruktúrája is felhasználható.

A Mandiant 2022-ben egy legalább 72, látszólag független híroldalból álló hálózatot azonosított, amelyet a Shanghai Haixun Technology infrastruktúrájához kapcsoltak. A weboldalak különböző országok és régiók független médiatermékeinek mutatták magukat, miközben több nyelven olyan tartalmakat terjesztettek, amelyek összhangban álltak a Kínai Népköztársaság politikai érdekeivel (Mandiant, 2022). A kampány tartalmi között az Egyesült Államokat és szövetségeseit kritizáló narratívák, a kínai kormány politikáját támogató üzenetek, valamint egyes Kínával kapcsolatos vitatott témák nemzetközi megítélésének befolyásolására irányuló tartalmak is megjelentek. A Mandiant elemzése ugyanakkor arra is felhívta a figyelmet, hogy a Haixun és maga a vállalat között fennálló kapcsolat pontos jellege nem minden esetben volt közvetlenül bizonyítható; az infrastruktúra használata önmagában nem feltétlenül jelenti azt, hogy minden szereplő tudatosan részt vett a teljes műveletben (Mandiant, 2022). A későbbi vizsgálatok ugyanakkor jelentősen kibővítették a kampányról rendelkezésre álló képet. Az EEAS 2025-ös jelentése szerint a

korábban azonosított 72 oldalnál jóval nagyobb infrastruktúra tárható fel, és a HaiEnergy-hez kapcsolódó hálózat legalább 316 megtévesztő weboldalt foglalhatott magában. A jelentés a kínai FIMI-műveletek között az úgynevezett „influence-for-hire” konstrukciókat is kiemeli, amelyekben PR- és kommunikációs vállalatok infrastruktúrája közvetítőként szolgálhat manipulatív tartalmak terjesztéséhez (EEAS, 2025). A HaiEnergy esetében különösen érdekes a hitelesség mesterséges megteremtése. A manipuláció nem közvetlenül egy külföldi állami szereplő hivatalos kommunikációjaként jelenik meg, hanem független médiának látszó weboldalakon keresztül. Ez csökkentheti a befogadó számára a tartalom eredetének felismerhetőségét, miközben a többoldalas és többnyelvű infrastruktúra lehetővé teszi a tartalmak széles körű terjesztését. A kampány későbbi vizsgálata azt is megmutatta, hogy a módszerek túlmutathatnak a kizárólag online tartalomterjesztésen. A Mandiant 2023-as elemzése szerint a HaiEnergy-hez kapcsolódó műveletben amerikai híroldalak aldomainjeit utánzó struktúrákat, hírügynökségi szolgáltatásokat és legalább két washingtoni, megrendezett tüntetéshez kapcsolódó tartalmakat is azonosítottak (Mandiant, 2023). Ez arra utal, hogy a FIMI-műveletek célja nem pusztán online elérés generálása lehet, hanem az online és offline események egymásra építése is.

A gazdasági szempont ebben az esetben elsősorban az információs infrastruktúra és a reputáció kapcsolatában jelenik meg. Ha egy információs művelet képes egy vállalat, ország, gazdasági ágazat vagy nemzetközi intézmény megítélését hosszabb időn keresztül befolyásolni, az hatással lehet a gazdasági szereplők kockázatterzékelésére is. A közvetlen gazdasági hatás azonban itt sem tekinthető automatikusnak. Az esettanulmány elsősorban azt bizonyítja, hogy a FIMI-szereplők rendelkezésére állnak olyan technikai és kommunikációs eszközök, amelyekkel a gazdasági és geopolitikai kérdésekről kialakított percepciók befolyásolhatók.

3.5. Az esettanulmányok összehasonlítása

A bemutatott esetek alapján a FIMI-műveletek több, egymással összekapcsolódó működési mechanizmust alkalmaznak. Moldova esetében a választási folyamat és az intézményi bizalom áll a középpontban; a Doppelgänger-modell a hiteles információforrások utánzására épít; az African Initiative a helyi médiakörnyezetbe történő beágyazódás és az információs hálózatok összekapcsolásának jelentőségét mutatja; a HaiEnergy pedig azt szemlélteti, hogy magán kommunikációs infrastruktúrák és médiának álcázott weboldalak is bekapcsolhatók egy nagyobb információs műveletbe, ahogyan azt az 1. táblázat összefoglalja.

1. táblázat: FIMI műveletek összehasonlítása

Eset	Mechanizmus	Célpont	Gazdasági jelentőség
Moldova	választási és politikai folyamatok manipulációja	választók, politikai intézmények	politikai és intézményi bizonytalanság
Doppelgänger	hiteles médiatermékek imitációja	médiát fogyasztó közönség	információs bizalom és kockázatterzékelés
African Initiative	helyi információs hálózatokba történő beágyazódás	afrikai közönség és helyi médiatér	geopolitikai és gazdasági percepciók alakítása
HaiEnergy	hamis médiainfrastruktúra és PR-hálózatok	nemzetközi közönség	ország- és intézményi reputáció, információs kockázat

Forrás: Saját szerkesztés az egyes esettanulmányokban hivatkozott források alapján

Az esetek közös jellemzője, hogy a manipuláció hatása nem feltétlenül egyetlen hamis állításból következik. Sokkal inkább az információs környezet fokozatos átalakítása, az ismétlés, a hitelesség imitációja, a helyi szereplők bevonása és a különböző kommunikációs csatornák összekapcsolása lehet meghatározó. Az EEAS 2025-ös elemzése ezt a hálózatos megközelítést különösen hangsúlyozza, amikor a FIMI-műveleteket nem izolált tartalmak, hanem egymással kapcsolatban álló digitális infrastruktúrák és szereplők rendszereként vizsgálja (EEAS, 2025).

A gazdasági következmények szempontjából ezért indokolt különválasztani a közvetlen és a közvetett hatásokat. Közvetlen hatásról beszélhetünk például akkor, amikor egy hamis információ rövid időre piaci ármozgást vált ki, ahogyan azt a 2. fejezet esetei szemléltették. A FIMI-esetek többségénél azonban inkább közvetett hatásmechanizmusról beszélhetünk: az információmanipuláció módosíthatja a percepciókat, a bizalmat és a kockázatterzékelést, amelyek ezt követően hatással lehetnek politikai és gazdasági döntésekre.

A FIMI tehát a dezinformáció olyan komplex formájaként értelmezhető, amelyben az információ tartalma mellett annak eredete, terjesztési infrastruktúrája és hálózati kapcsolatai is meghatározóak. A bemutatott esetek együttesen azt támasztják alá, hogy a modern dezinformáció vizsgálatához nem elegendő az egyes hamis állítások tartalmi elemzése: szükséges az információs hálózatok, a szereplők és a terjesztési mechanizmusok feltárása is. Ez egyben indokolja az olyan hálózatelemzési módszerek alkalmazását, amelyekkel a kommunikációs mintázatok és a narratívák közötti kapcsolatok strukturáltan is vizsgálhatók.

4. Etikai, jogi és szabályozási kihívások

A dezinformáció elleni fellépés egyik legösszetettebb kérdése, hogy miként lehet a megtévesztő és társadalmi szempontból káros információk terjedését korlátozni úgy, hogy közben a véleménynyilvánítás és a tájékozódás szabadsága ne sérüljön aránytalanul. A digitális információs tér sajátosságai miatt a kérdés nem kizárólag jogi természetű: egyszerre érinti az online platformok felelősségét, az állami szabályozást, az önszabályozást, a médiaszolgáltatók működését, valamint a felhasználók információs tudatosságát.

Az Európai Unió az elmúlt években fokozatosan mozdult el az önszabályozásra épülő megközelítéstől egy olyan összetettebb szabályozási rendszer felé, amelyben a platformok önkéntes vállalásai mellett kötelező jogi előírások és ellenőrzési mechanizmusok is megjelennek. Ennek fontos állomása volt a 2018-ban létrehozott, majd 2022-ben megerősített Code of Practice on Disinformation, amely az online platformok, a reklámpiac, a tényellenőrző szervezetek és a civil társadalom együttműködésére épült. A kódex céljai között szerepelt többek között a dezinformáció monetizációjának visszaszorítása, a politikai hirdetések átláthatóságának növelése, a tényellenőrzéssel való együttműködés és a kutatók számára biztosított adathozzáférés javítása (European Commission, 2022). A szabályozási környezet ezt követően a Digital Services Act (DSA) révén jelentősen megerősödött. A DSA nem általános tilalmat állít fel a hamis vagy megtévesztő tartalmakra, hanem elsősorban az online szolgáltatók működéséből fakadó rendszerszintű kockázatok kezelésére, az átláthatóságra, a felhasználók jogainak védelmére és az online platformok felelősségére helyezi a hangsúlyt. Ez azért lényeges, mert egy tartalom valótlansága önmagában nem feltétlenül jelenti azt, hogy az adott tartalom jogilag jogellenes. A jogellenes tartalmak és a jogszerű, de potenciálisan káros vagy megtévesztő tartalmak kezelése ezért eltérő jogi megközelítést igényel.

A DSA keretében a nagyon nagy online platformok és keresőprogramok számára különösen fontos szerepet kap a rendszerszintű kockázatok értékelése és mérséklése. A dezinformáció visszaszorítása ezért nem egyszerűen egyes bejegyzések eltávolításának kérdése, hanem az ajánlórendszerek, a politikai hirdetések, az automatizált terjesztés, a hamis fiókok és más olyan mechanizmusok vizsgálatát is magában foglalhatja, amelyek elősegíthetik a manipulatív tartalmak széles körű terjedését. A 2022-es megerősített Dezinformációs Kódex éppen ezért többek között a monetizáció, a politikai reklámok átláthatósága, a tényellenőrzés és a kutatói adathozzáférés kérdéseit is érinti (European Commission, 2022). A szabályozási rendszer 2025-ben tovább fejlődött: az Európai Bizottság és a Digitális Szolgáltatások Európai Testülete 2025. február 13-án jóváhagyta a korábbi önkéntes Code of Practice on Disinformation hivatalos integrálását a DSA keretébe. A Dezinformációs Magatartási Kódex 2025. július 1-jétől a DSA szerinti társszabályozási keret részévé vált, és az aláíró, különösen a nagyon nagy online platformok és keresőprogramok esetében releváns referencia a DSA szerinti megfelelés értékelésében (European Commission, 2025).

Ez a változás jól szemlélteti az uniós megközelítés átalakulását. Míg a korábbi rendszerben a platformok önkéntes kötelezettségvállalásai álltak a középpontban, az új modellben ezek a vállalatok szorosabban kapcsolódnak a jogi szabályozási környezethez. Ugyanakkor ez sem jelenti azt, hogy minden dezinformáló tartalom automatikusan eltávolítható vagy eltávolítandó. A szabályozás egyik alapvető dilemmája továbbra is az, hogy miként különíthető el a jogellenes tartalom a jogszerű véleménytől, illetve hogyan lehet a káros információs hatásokat úgy mérsékelni, hogy az ne vezessen indokolatlan tartalomkorlátozáshoz. A korábbi önszabályozási modell tapasztalatai ugyanakkor azt mutatták, hogy a platformok önkéntes vállalásai önmagukban nem feltétlenül biztosították a dezinformáció hatékony visszaszorítását. Az Európai Bizottság 2020-as értékelése szerint a Code of Practice fontos együttműködési és átláthatósági keretet hozott létre, ugyanakkor a rendszer önszabályozó jellege miatt jelentős hiányosságok is fennmaradtak. A 2019-es európai parlamenti választásokhoz kapcsolódó ERGA-vizsgálat szintén azt mutatta, hogy a platformokon a hamis fiókok, koordinált aktivitás és más manipulációs formák továbbra is problémát jelentettek (European Commission, 2020; ERGA, 2020).

A probléma egyik etikai vetülete ebből következően az, hogy milyen mértékű felelősség hárítható az online platformokra. A platformok nem pusztán semleges technikai közvetítőként működnek: az algoritmikus ajánlórendszerek, a tartalom rangsorolása és a felhasználói aktivitásra épülő üzleti modellek meghatározzák, hogy egy adott információ milyen gyorsan és milyen széles körben válhat láthatóvá. Ez azonban önmagában nem bizonyítja, hogy a platformok érdekeltek lennének a dezinformáció terjesztésében. Tudományosan pontosabb úgy fogalmazni, hogy a magas felhasználói aktivitásra épülő digitális üzleti modellek és a szenzációs, érzelmileg intenzív tartalmak terjedési sajátosságai olyan ösztönzőket teremthetnek, amelyek mellett a megtévesztő tartalmak is jelentős elérést kaphatnak.

Az etikai kérdés ezért nem egyszerűen az, hogy „eltávolítsák-e” a hamis tartalmakat, hanem az is, hogy milyen elvek alapján történjen a moderáció, ki határozza meg a beavatkozás határait, mennyire átlátható a döntéshozatal, illetve biztosított-e a felhasználók számára a jogorvoslat lehetősége. A túlzott tartalomkorlátozás a szabad véleménynyilvánítást veszélyeztetheti, míg a korlátozás teljes hiánya lehetővé teheti a manipulációs kampányok széles körű terjedését. A szabályozási környezetnek ezért e két szempont között kell megfelelő egyensúlyt kialakítania. A dezinformáció elleni fellépés másik fontos eleme az átláthatóság. A felhasználók és a kutatók számára egyaránt lényeges, hogy megismerhető legyen, milyen elvek alapján működik a tartalommoderáció és az ajánlási rendszer, milyen

intézkedéseket alkalmaznak a platformok a koordinált manipulációval szemben, valamint milyen eredményeket érnek el ezekkel. A DSA-hoz kapcsolódó Dezinformációs Magatartási Kódex ezt a szemléletet tovább erősíti: az aláírók rendszeres jelentéstételre kötelezettek a kódexben vállalt intézkedéseik végrehajtásáról, ami az intézkedések ellenőrizhetőségét is javítja (European Commission, 2025; 2026).

A szabályozás fejlődése jelentős előrelépést jelent az online információs környezet átláthatóságának és elszámoltathatóságának növelésében, ugyanakkor önmagában nem szünteti meg a dezinformáció problémáját. A FIMI-esettanulmányok alapján látható, hogy a manipulációs műveletek gyakran több platformot, technikai infrastruktúrát és kommunikációs csatornát kapcsolnak össze, miközben a szereplők és a tartalmak eredetének azonosítása is nehézségekbe ütközhet. A szabályozási eszközök ezért csak a probléma egyik elemét kezelik. A dezinformáció elleni hatékony fellépéshez a jogi és platformszintű intézkedések mellett szükség van a médiatudatosság fejlesztésére, a tényellenőrzés támogatására, a kutatói hozzáférés biztosítására és az információs források kritikus értékelésére is. A 2022-es uniós Dezinformációs Kódex is olyan többszereplős megközelítést alkalmaz, amelyben a platformok, a kutatók, a tényellenőrző szervezetek, a civil társadalom és a reklámpiac egyaránt szerepet kapnak (European Commission, 2022).

Összességében a dezinformáció szabályozása nem tekinthető kizárólag jogalkotási kérdésnek. A jogi eszközök meghatározhatják a platformok felelősségének és elszámoltathatóságának kereteit, de nem képesek önmagukban megszüntetni az információmanipuláció gazdasági, társadalmi és politikai ösztönzőit. A szabályozás hatékonysága ezért nagymértékben függ a platformok tényleges együttműködésétől, az ellenőrzési és jelentéstételi mechanizmusok működésétől, valamint a felhasználók információs tudatosságától. A 2. és 3. fejezetben bemutatott esetek alapján a dezinformáció egyszerre képes rövid távú piaci reakciókat kiváltani, valamint hosszabb távon befolyásolni a társadalmi bizalmat, a politikai percepciókat és az intézmények megítélését. A 4. fejezetben tárgyalt szabályozási és etikai kérdések ezért szorosan kapcsolódnak a tanulmány alapvető megállapításához: a dezinformáció gazdasági hatása nem kizárólag a hamis állítás tartalmából, hanem annak terjedési sebességéből, hitelességéből, technikai infrastruktúrájából és társadalmi befogadásából is következhet.

Összefoglalás, következtetések

A tanulmány arra kereste a választ, hogy a dezinformáció miként képes a gazdasági döntéshozatalt, a piaci percepciókat és a geopolitikai folyamatokat befolyásolni. Az elemzés alapján megállapítható, hogy a dezinformáció gazdasági hatása nem egységes és nem minden esetben közvetlen. A hatás nagyságát és tartósságát az információ tartalma mellett annak forrása, hitelessége, terjedési sebessége, a befogadók bizonytalansága, valamint az adott gazdasági és politikai környezet is meghatározhatja.

A bemutatott piaci esetek azt mutatják, hogy egy hitelesnek tűnő, gyorsan terjedő hamis információ rövid idő alatt jelentős piaci reakciót válthat ki, miközben a hatás a tények tisztázását követően részben vagy egészben visszafordulhat. A dezinformáció ugyanakkor nem kizárólag az árfolyamokon keresztül fejti ki hatását. Hosszabb távon befolyásolhatja a fogyasztói és befektetői bizalmat, a kockázatterzékelést, az intézmények megítélését és az információk ellenőrzésének költségeit is. A FIMI-esettanulmányok azt szemléltették, hogy a modern információmanipuláció egyre kevésbé korlátozódik egy-egy hamis állítás előállítására. A vizsgált műveletekben hálózatok, médianak álcázott oldalak, közösségimédia-fiókok, helyi közvetítők és technikai infrastruktúrák kapcsolódnak össze. Moldova esetében a

választási és intézményi folyamatok befolyásolása, a Doppelgänger esetében a hiteles médiakörnyezet imitációja, az African Initiative és a HaiEnergy példájában pedig a helyi és nemzetközi információs hálózatok kiépítése és összekapcsolása került előtérbe.

A saját hálózatelemzés eredményei ehhez kapcsolódva azt mutatják, hogy a dezinformáció vizsgálatában nem elegendő az egyes állítások tartalmi értékelése. A kommunikációs mintázatok, a gyakran együtt megjelenő témák és kifejezések, valamint a terjesztési struktúrák feltárása további információt adhat a manipuláció működéséről. Az ilyen elemzések ugyanakkor feltáró jellegűek, és önmagukban nem alkalmasak közvetlen oksági gazdasági hatások bizonyítására.

A jogi és szabályozási környezet fejlődése fontos eszközöket biztosít a dezinformáció kezelésére, de önmagában nem jelent teljes körű megoldást. Az Európai Unió a korábbi önszabályozási modellt fokozatosan egy összetettebb, a platformok átláthatóságát, elszámoltathatóságát és rendszerszintű kockázatkezelését erősítő keretrendszerrel egészítette ki. A szabályozás alapvető dilemmája azonban továbbra is fennáll: a káros információs hatások mérséklésének egyensúlyban kell maradnia a véleménynyilvánítás és a tájékozódás szabadságával.

Összességében a tanulmány legfontosabb megállapítása, hogy a dezinformáció gazdasági jelentősége elsősorban **az információ, a bizalom és a döntéshozatal kapcsolatában** ragadható meg. A hamis információ önmagában nem feltétlenül változtatja meg a gazdasági fundamentumokat, de megváltoztathatja azt, ahogyan a gazdasági szereplők ezeket a fundamentumokat érzékelik és értékelik. Ebből következően a dezinformáció elleni fellépés nem pusztán tartalommoderálási vagy kommunikációs feladat, hanem a gazdasági stabilitás, az intézményi bizalom és az információs ellenálló képesség kérdése is. A jelenséget jól szemlélteti Jonathan Swift 1710-ben megfogalmazott, az információ terjedési sebességére vonatkozó megállapítása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Ádám, K. (2024). Államok a digitális hadszíntéren: Közösségi média, dezinformáció és gazdasági veszélyek. *Acta Periodica*, 31, 36–56. <https://doi.org/10.47273/AP.2024.31.36-56>

Alshehab, A. (2025). *The ripple effect: How misinformation and disinformation influence global markets with a focus on Kuwait, GCC, and MENA* [Unpublished manuscript]. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5513762>

Amazeen, M. A. (2018). Practitioner perceptions: Critical junctures and the global emergence and challenges of fact-checking. *International Communication Gazette*, 81(6–8), 541–561. <https://doi.org/10.1177/1748048518817674>

Apergis, E., & Apergis, N. (2021). Inflation expectations, volatility and Covid-19: Evidence from the US inflation swap rates. *Applied Economics Letters*, 28(15), 1327–1331. <https://doi.org/10.1080/13504851.2020.1813245>

Azurmendi, A. (2018). *Is journalism still the “watchdog” of democracy? The European Court of Human Rights facing fake news in social media*. Oxford Internet Institute, University of Oxford. Elérhető: <http://blogs.oii.ox.ac.uk/policy/wp-content/uploads/sites/77/2018/08/IPP2018-Azurmendi.pdf>. Letöltve: 2024. március 20.

European Commission. (2018). *Tackling online disinformation: A European approach* (COM (2018) 236 final). European Commission. EUR-Lex – COM (2018) 236

European Commission. (2020). *European democracy action plan* (COM(2020) 790 final). European Commission. EUR-Lex – COM (2020) 790

European Commission. (2022). *2022 strengthened Code of Practice on Disinformation*. European Commission. European Commission – Code of Practice on Disinformation

European Commission. (2025). *The Code of Conduct on Disinformation*. European Commission. European Commission – Code of Conduct on Disinformation

European External Action Service. (2020). *Disinformation on the Coronavirus – Short assessment of the information environment. EU vs Disinfo*. Special Report, Elérhető: <https://euvsdisinfo.eu/eeas-special-report-disinformation-on-the-coronavirus-short-assessment-of-the-information-environment/?highlight=eeas>. Letöltve: 2024. március 28.

European External Action Service. (2024). *Doppelgänger strikes back: FIMI activities in the context of the EE24*. European Union External Action Service. EEAS – Doppelgänger technical report

European External Action Service. (2025). *3rd EEAS report on Foreign Information Manipulation and Interference threats: Exposing the architecture of FIMI operations*. European Union External Action Service. EEAS – 3rd FIMI Report

European External Action Service, VIGINUM, & Foreign, Commonwealth & Development Office. (2025). *African Initiative: From public diplomacy to covert influence operations*. EEAS – African Initiative report

European External Action Service. (2026). *4th EEAS annual report on Foreign Information Manipulation and Interference threats*. European Union External Action Service. EEAS – 4th FIMI Report

Liu, X., & Moss, D. (2025). The role of accounting information in an era of fake news. *Journal of Accounting and Economics*, 79(2–3), 101764. <https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2024.101764>

Mandiant. (2022). *Pro-PRC “HaiEnergy” information operations campaign leverages infrastructure from public relations firm to disseminate content on inauthentic news sites*. Google Cloud. Mandiant/Google Cloud – HaiEnergy report

Mandiant. (2023). *Pro-PRC HaiEnergy campaign exploits U.S. news outlets via newswire services to target U.S. audiences; Evidence of commissioned protests in Washington, D.C.* Google Cloud. Mandiant/Google Cloud – HaiEnergy follow-up

Newman, N., Fletcher, R., Nielsen, R. K., Ross Arguedas, A., & Robertson, C. T. (2025). *Reuters Institute digital news report 2025*. Reuters Institute for the Study of Journalism, University of Oxford. Digital News Report 2025

OECD. (2024). *Facts not fakes: Tackling disinformation, strengthening information integrity*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/d909ff7a-en>

Proto, L., Lamoso-González, P., & García, L. B. (2025). The EU’s FIMI turn: How the European Union External Action Service reframed the disinformation fight. *Media and Communication*, 13, Article 9474. <https://doi.org/10.17645/mac.9474>

Syed, N. (2017). Real talk about fake news: Towards a better theory for platform governance. *Yale Law Journal Forum*, 127, 337–357. <https://yalelawjournal.org/essay/real-talk-about-fake-news?>

Vuchelen, J. (2004). Consumer sentiment and macroeconomic forecasts. *Journal of Economic Psychology*, 25, 493–506., [https://doi.org/10.1016/S0167-4870\(03\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S0167-4870(03)00031-X)

World Economic Forum. (2026). *The global risks report 2026*. World Economic Forum. Elérhető: <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2026>. Letöltve: 2026. március 28.

Yun, J. H., An, J., & Platt, M. L. (2025). *The impact of repeated financial misinformation on investments*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5187289>

LINK: <https://www.edutus.hu/cikk/a-rejtett-gazdasag-valtozo-megjelenesi-formai/>

A rejtett gazdaság változó megjelenési formái

DR. BELYÓ PÁL professzor

EduTus Egyetem, Gazdálkodástudományi tanszék

email: belyo.pal@edutus.hu

DOI: [10.47273/AP.2026.38.59-74](https://doi.org/10.47273/AP.2026.38.59-74)

ABSZTRAKT

Az elmúlt 15 évben a rejtett, vagy más megközelítésben az ún. informális gazdaság átalakult. A GDP tényleges teljesítménye kiegészíthető az új típusú rejtett formákkal, a korrupció hatásával és figyelembe vehető a háztartások által végzett gazdasági jellegű tevékenységek értéke is. A digitalizáció hatására strukturálisan megváltozik, és egyre inkább platform-alapú, globális és digitális jellegű, ami jelentősen megnehezíti a hagyományos szabályozási és adóztatási mechanizmusok alkalmazását. A digitalizáció kettős hatást gyakorol az informális gazdaságra. Pozitív lehet az, hogy az elektronikus fizetési rendszerek és a digitális tranzakciók növelik az átláthatóságot, csökkentve a készpénzalapú informális tevékenységek arányát, ugyanakkor azonban új, nehezebben ellenőrizhető informális csatornák jönnek létre. Az átalakuló gazdaság fontosabb jellemzője a földrajzi korlátok megszűnése is. A digitális platformok ugyanis lehetővé teszik a gazdaság szereplőinek, hogy különböző országokban végezzék tevékenységüket, miközben a jövedelmük adóztatása akár el is lehetetlenül. A globalizáció kiszélesedésével a változó és gyors növekedés új típusú informális foglalkoztatási formákat eredményez, különösen a freelancing, a digitális szolgáltatások és az online munkavégzés területén. Mindezek a mechanizmusok csökkentik az állami ellenőrzés hatékonyságát, és növelhetik az informális gazdaság méretét.

ABSTRACT

Over the past 15 years, the hidden — or, from another perspective, the so-called informal — economy has undergone a transformation. Actual GDP output can be supplemented by new types of hidden activities and the impact of corruption, and the value of economic activities performed by households can also be taken into account. Driven by digitalization, it is changing structurally and becoming increasingly platform-based, global, and digital in nature, which significantly complicates the application of traditional regulatory and taxation mechanisms. Digitalization has a dual impact on the informal economy. On the positive side, electronic payment systems and digital transactions enhance transparency, thereby reducing the share of cash-based informal activities; however, at the same time, new informal channels that are harder to monitor are emerging. Another key characteristic of this evolving economy is the elimination of geographical boundaries. Digital platforms enable economic actors to conduct their activities across different countries, potentially making the taxation of their income impossible. With the expansion of globalization, rapid growth and change are giving rise to new forms of informal employment, particularly in the fields of freelancing, digital services, and online work. All these mechanisms reduce the effectiveness of state oversight and may increase the size of the informal economy.

1. A rejtett gazdaság átalakuló területe

A korábbi kutatások alapján egyértelműen megállapítható, hogy az ún. rejtett gazdaságot¹ nem lehet egyetlen, homogén kategóriaként kezelni. A jelen tanulmányban több, egymással részben összefüggő csoport jelenik meg: a nem megfigyelt, de törvényes; az eltitkolt szürke gazdaság az illegális és bűnügyi tevékenységekkel; a modern digitális, MI-, fintech- és kriptóalapú rejtett tevékenységek; valamint a monetarizált gazdaságon kívüli háztartási munkák.

Az uniós nemzeti számlák módszertana szerint a nem megfigyelt gazdaságba tartozhatnak a szándékosan eltitkolt törvényes termelőtevékenységek, az illegális és informális tevékenységek, a saját végső felhasználásra végzett háztartási termelés, illetve a statisztikai hiányosságok miatt közvetlenül nem megfigyelt tevékenységek. Az illegális tevékenység és a GDP kapcsolata különösen fontos.

Az ESA 2010 szerint az olyan illegális tranzakciók, amelyekben a résztvevők kölcsönösen szerepelnek, gazdasági tranzakcióként kezelhetők. Az Eurostat példaként említi a kábítószer, csempészetet, prostitúciót és az engedély nélküli szerencsejátékot. A nemzeti számlák szempontjából különösen fontos, hogy a „rejtett gazdaság”, a „nem megfigyelt gazdaság” és az „illegális gazdasági tevékenység” nem azonosak.

Az elmúlt években **a hangsúly már a rejtett gazdaság szerkezeti átalakulásán** van, hiszen a készpénzes, helyi és személyes kapcsolatokra épülő rejtőzködés mellett egyre fontosabbá válik a platformgazdaság, a fintech, a kriptoeszközök és a mesterséges intelligencia. Ennek a sajátos gazdaságnak a mértéke is változó.

A hagyományos rejtett gazdaság továbbra is jelentős, de **a modern MI-, fintech-, platform-, kriptó- és kibertevékenységek új, gyorsan fejlődő dimenziót alkotnak**. A jövőbeni mérésben ezért nem a hagyományos készpénzes gazdaság ellenőrzése szűnik meg (bár maga a készpénz is megszűnhet), hanem emellé kell kidolgozni a digitális jövedelmek, platformok, fintech-tranzakciók, kriptoeszközök és MI-alapú tevékenységek követésének statisztikai és adózási módszereit.

2. MI-, fintech- és kiberalapú rejtett tevékenységek²

2.1. Digitális platformgazdaság

Ide tartoznak a nemzetközi szabadúszó és platformalapú munkákból származó, részben vagy egészben be nem jelentett jövedelmek. Egy magyar grafikus, programozó vagy tanácsadó külföldi platformon dolgozhat, miközben a fizetés digitális pénzügyi szolgáltatón keresztül érkezik. Az MI ezt automatizált tartalom- és kód-előállításal, valamint mikrobevételek tömeges létrehozásával tovább erősítheti.

A platformmunka önmagában nem rejtett tevékenység, csak akkor válik azzá, ha a jövedelem bejelentése vagy adózása hiányos, a tényleges munkavégző személye eltér a hivatalos szereplőtől, vagy a munkavégzés, a megrendelő és a kifizetés különböző országokban történik. A digitális platform tehát egyszerre növeli az átláthatóságot és a rejtőzés lehetőségét, digitális nyom keletkezik, de a nyomok több szolgáltató és joghatóság között oszolhatnak meg.

¹ 1. A rejtett gazdaság meghatározásához lásd: Belyó, P. (2008): A rejtett gazdaság nagysága és jellemzői. Statisztikai Szemle, 86(2), 113–137.

² lásd melléklet: FOGALMAK ÉS RÖVIDÍTÉSEK MAGYARÁZATA - a fogalomjegyzékben a tanulmányban használt angol nyelvű kifejezések és rövidítések fordítását és gazdasági jelentését találja

Tipikus példa a Fiverr vagy Upwork jellegű platformon dolgozó magyar szolgáltató, aki a bevételt PayPal-, Payoneer-, Revolut- vagy más fintech-csatornán kapja. A statisztikai probléma itt nem maga a platformmunka, hanem az, hogy a munkavégzés helye, a jövedelem tulajdonosa, a kifizető és a tényleges adóalap nem feltétlenül ugyanabban az országban jelenik meg. A fejlődő és közép-európai régióban a szabadúszó digitális jövedelmek mintegy 40 százaléka nem jelenik meg a hivatalos adóbevallásokban.

2.2. Fintech-alapú rejtett jövedelmek

A fintech önmagában a pénzügyi modernizáció része, rejtett jellege akkor jelenik meg, amikor a digitális számlák, elektronikus pénztárcák és határon átnyúló szolgáltatók rendszere megnehezíti a gazdasági szereplő, a jövedelem forrása vagy a kedvezményezett azonosítását.

Gazdasági jellemzője, hogy a pénzügyi infrastruktúra globalizációja gyorsabban változhat, mint az adózási és statisztikai információs rendszerek. A kérdés egyre kevésbé az, hogy egy tranzakció létezik-e, hanem az, hogy a tranzakciókat össze lehet-e kapcsolni ugyanazzal a természetes vagy jogi személlyel, és ugyanahhoz a gazdasági tevékenységhez lehet-e rendelni.

A fintech ezért nem egyszerűen láthatatlanná teszi a pénzt, inkább széttagolhatja a jövedelem útját. A megrendelő, a munkavégző, a számlavezető, a kártyakibocsátó és a tényleges felhasználó különböző országokban lehet.

2.3. Kripto- és DeFi-gazdaság

A kriptoeszközöknél különbséget kell tenni a tranzakció technikai nyomon követhetősége és a tulajdonos azonosíthatósága között. A blokkláncon a tranzakció sok esetben nyilvánosan vizsgálható, de a cím mögötti személy vagy vállalkozás azonosítása külön feladat. A rejtett gazdasági kockázat ezért nem egyszerűen az anonimitás, hanem a gazdasági szereplő (lehet az akár korrump politikus vagy gazdasági felső elit) és az adóalap azonosíthatóságának nehézsége.

A DeFi-rendszereket, a non-custodial tárcákat, a tumblereket és mixereket, valamint a videojátékokban és NFT-ekkel megvalósuló digitális pénzmosás lehetőségét is e körbe sorolhatjuk. Közös gazdasági problémájuk, hogy a pénzügyi infrastruktúra szétválasztja egymástól a pénz útját, a gazdasági szereplőt és annak földrajzi helyét.

Nemzetközi szervezetek szakértői becslései szerint az MI-vezérelt, automatizált kripto pénzmosási hálózatok évente nagyjából 400–600 milliárd dollárt mozgathatnak meg.

Az úgynevezett Smart Mixing pedig automatizáltan darabolja fel a kriptoeszközöket, több tárcán és decentralizált szolgáltatáson vezeti át, majd újra összevonja. A technológia közgazdasági jelentősége az lehet, hogy a pénzmosási folyamat szervezési és tranzakciós költsége csökkenhet.

2.4. MI-alapú identitáshamisítás

A szintetikus identitás lényege, hogy valós és mesterségesen előállított adatokból hihető személyprofil készül. A generatív MI képes valósághű arcot, hangot, dokumentumot és háttérinformációt előállítani, amellyel megkísérelhető a digitális ügyfél-azonosítás kijátszása.

Egyfajta „szellem-bankszámlákként” hozzák létre azokat a pénzmosás mellett adó- és áfacsalási tranzakciók közvetítésére vagy más személyek pénzének átmeneti mozgására is felhasználható számlákat. A jelenség jól mutatja, hogy az identitás egyre inkább gazdasági infrastruktúrává válik. A globális becslés szerint a deepfake-kel és hamis adatokkal létrehozott szintetikus identitásokhoz kapcsolódó banki csalások értéke évente meghaladja a 25–30 milliárd dollárt³.

2.5. MI-alapú csalás és megtévesztés

A deepfake CEO-fraud klasszikus példája annak, amikor a technológia közvetlenül a szervezeti döntéshozatalt támadja. A csaló egy vezető hangját, arcát vagy kommunikációs stílusát utánozva sürgős pénzügyi döntést kényszeríthet ki. A kár ilyenkor közvetlenül a vállalat likviditását, biztosítási költségeit és bizalmi rendszerét érintheti.

A hiper-személyre szabott phishingnél a nagy nyelvi modellek a célpont digitális lábnyomához igazított, nyelvileg kifogástalan üzeneteket állíthatnak elő. Az automatizált blackmail pedig a megszerzett vagy kiszivárgott adatokból emberi beavatkozás nélkül készíthet célzott zsarolóüzenetet.

A teljes kiberbűnözési kárt évente 10.500 milliárd dollárra becsülik, míg kisebb bevételt vagy közvetlen kifizetést a deepfake tevékenységnél, a CEO-fraud 5–8 milliárdra, a ransomware tevékenység közvetlen kifizetését 1,5–2 milliárd dollárra.

2.6. MI-alapú adó- és járulékkerülés

Az MI az adó- és járulékalap elrejtését a korábbi módszereknél automatizáltabban támogathatja. Az algoritmikus „számlagyárak” nagy mennyiségű fiktív vagy megtévesztő tranzakciót és számlát hozhatnak létre, illetve a tranzakciós láncokat a hatósági ellenőrzési mintázatokhoz igazíthatják.

Ez a jelenség a hagyományos áfacsalási és jövedelemelrejtési rendszereket új szervezési szintre emelheti. A korábbi számlagyárban az emberi szervezés jelentette a szűk keresztmetszetet. Ezzel szemben az automatizált rendszerrel a tranzakciók száma és sebessége jóval magasabb és gyorsabb lehet. A hatósági oldalon ezért nem elegendő a múltbeli minták felismerése, ezért adaptív és hálózati elemzésre is szükség van.

A közeljövő egyik kockázata tehát egyértelműen a dinamikusan adaptálódó, folyamatosan alkalmazkodó algoritmikus számlagyár lehet, amely a hatósági radar logikáját figyeli és változtatja a tranzakciós lánc szerkezetét, vállalkozásait és összegeit. Ez egyértelműen szabályozási kockázatot jelent.

A szakértői becslések a globális adóalap-eróziót 2030-ra akár 10 százalékra teszik.

2.7. MI-alapú piaci manipuláció

Az információ a piacok működésében kiemelt gazdasági erőforrás. Ha az MI segítségével a manipulátor nagyszámú, hitelesnek tűnő hamis hírt képes előállítani és gyorsan eljuttatni a piaci szereplőkhöz, akkor az információs aszimmetria mesterségesen felerősödhet.

A deepfake és az automatizált kereskedési botok összekapcsolása új kombinációt hoz létre, a hamis információ előállítása, terjesztése és a piaci reakció monetizálása egyetlen digitális rendszerhez kapcsolható. Gyakori példák alapján pl. short pozícióknál is felhasználható egy mesterségesen előidézett árfolyammozgás (amelyben nagy pénzek és uralkodó érdekcsoportok is szerepet játszanak).

³ A tanulmány Magyarországra vonatkozó részében nincs olyan elsődleges statisztika, amelyből önálló GDP-érték lenne levezethető.

A rejtett gazdaság szempontjából itt az a különösen fontos, hogy a profit eredete, a manipulációs művelet és a tényleges kedvezményezett közötti kapcsolat is nehezebben rekonstruálható.

2.8. Adat- és szellemi tulajdon-kereskedelem

Az adatbázisokat egyértelműen értékes gazdasági erőforrásként kell értelmeznünk, olyan (szellemi, anyagi, gazdasági, társadalmi stb.) tényezőként, mely erőt, lehetőséget szolgáltat vagy alkalmas eszközt jelent valamely cél megvalósításához, valaminek a fejlesztéséhez. A digitális gazdaságban a vállalati adatbázisok, üzleti titkok, szoftverek kódok, pénzügyi és más zárt adatok jogosulatlan megszerzése után az információ tovább értékesíthető, vagy MI-modellek fejlesztésére használható.

A generatív MI a digitális másolás marginális költségét rendkívül alacsonyra csökkentheti. Ezért a hagyományos hamisításnál nagyobb méretekben képek, szövegek, szoftverek, tervek és más szellemi termékek tömegesen másolhatók, módosíthatók és terjeszthetők.

Az illegális adatbányászat és modell-tanítás, valamint az ipari szintű digitális hamisítás rejtett gazdasági hatása egyszerre jelenhet/okozhat bevételkiesést, jogdíjvesztést, adatvagyonvesztést és illegális piaci versenyt.

2.9. Crime-as-a-Service / AI-as-a-Service

Egyre terjed az ún. CaaS-modell, amely a munkamegosztás közgazdasági logikáját viszi át a digitális bűnözésre. Nem ugyanaz a szereplő fejleszti a kódot, szerzi meg az adatokat, üzemelteti az infrastruktúrát és hajtja végre a csalást. A részfeladatok szolgáltatásként is megvásárolhatók, ami csökkenti a belépési költséget.

E tevékenységek keretében a ransomware-t, a phishinget, az elloptott hozzáférések értékesítését és a rosszindulatú MI-modellek használatát kell kiemelni. A digitális feketepiac saját szolgáltatási láncot alakíthat és alakít is ki, amelyben fejlesztő, szolgáltató, adatközvetítő és végrehajtó szereplők kapcsolódnak egymáshoz.

Az ENISA-értékelések szerint a phishing-as-a-service már olyan automatizált modell, amely kész phishing-készletekkel alacsonyabb technikai tudású szereplők számára is hozzáférhetővé tesz támadásokat. Ezzel az MI egyre inkább támogatja a rosszindulatú műveleteket is.

2.10. Autonóm AI-agent gazdaság

Az autonóm AI-agent új minőségi kategóriát jelent, hiszen az algoritmus a jövőben nemcsak eszköz, hanem részben autonóm gazdasági cselekvő lehet. Szoftvert fejleszthet, adatot elemezhet, ügyfelet kereshet, ajánlatot készíthet, kereskedhet vagy tranzakciót kezdeményezhet.

Az adóztatás számára ebből több probléma is következik. Így a tevékenység helyének meghatározása, a jövedelem kedvezményezettjének azonosítása és a jogi felelősség kijelölése nehezebbé válik. Egy autonóm rendszer egyszerre több ország infrastruktúráját használhatja, miközben a tulajdonos, a megrendelő és a pénzügyi szolgáltató más országban működik.

A szakértők az autonóm MI-ágensekre a fejlett országok informális gazdaságán belül 0,8–1,2 százalékos GDP-arányt becsülnek, amely feltehetően dinamikus módon bővíthet majd.

3. A hagyományos és a digitális rejtett gazdaság találkozása

A kutatások új szintje, hogy a vajon a fejlett digitális technológiák integrációja, az MI a rejtett gazdaságot ténylegesen "láthatatlanná és megfoghatatlanná" teszi? A nemzetközi konszenzus szerint ugyanis a rejtett gazdaságban lényegében megszűnik a „fizikai/helyi ügyeskedés” korszaka. Ezzel a jövő árnyékgazdasága globális, szoftver-vezérelt és intézményen kívüli lesz, és ezt már fel is ismertük.

A rejtett gazdaság ma már eltolódott a digitális pénzügy, AI, fintech, kriptovaluták, platformgazdaság, online adóelkerülés irányába. Ezért a statisztikai hivatalok és az adóhatóságok előtt álló legnagyobb feladat (már nem a sarki zöldséges ellenőrzése, hanem) annak a módszertannak a kidolgozása, amellyel a felhőben futó, országhatárokhöz nem köthető algoritmusok értékteremtése és jövedelme adóztathatóvá és mérhetővé válik.

A szakértői becslés 2025-ben a globális GDP-t 117–123 billió USD-re, a hagyományos transznacionális bűnözés arányát 1,5–3 százalékra teszi. A részbecslések szerint a kábítószer-kereskedelem 400–600 milliárd USD/év; fizikai márkahamisítás 250–500 milliárd USD/év; embercsempészet és emberkereskedelem 150 milliárd USD/év; illegális fegyverkereskedelem 10–15 milliárd USD/év volt.

Az új tevékenységekkel bővülő rejtett gazdaság egyik legfontosabb sajátossága, hogy a hagyományos és a digitális formák nem egymás alternatívái, hanem egyre inkább összekapcsolódnak. Pl. egy futár vagy taxis külföldi platformon bérelt profilt használhat, digitálisan szerezhet bevételt, majd a profil tulajdonosával számolhat el.

Ez a összehangolt működés azt mutatja, hogy a digitális infrastruktúra nem szünteti meg automatikusan a rejtett gazdaság korábbi formáit. A rejtőzés technikája változik: a korábbi „készpénz + személyes kapcsolat + helyi szolgáltatás” modell mellé a „platform + digitális pénzügy + határon átnyúló tranzakció + algoritmus” modell társul.

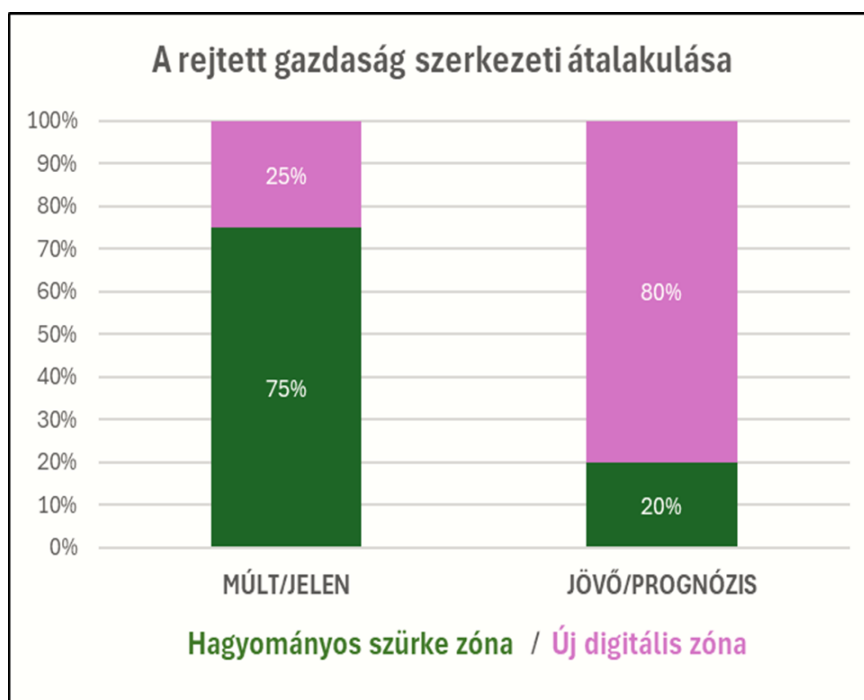
A rejtett gazdaság ma már összehangolt, digitális és nem_digitális, globalis, ezért hálózati rendszerként írható le. Egy-egy elem önmagában akár teljesen legális lehet, az elemek összekapcsolása azonban új rejtett jövedelmi vagy illegális tranzakciós láncot hozhat létre.

A modern rejtett gazdaság alapvető jellemzője a nagyobb nemzetközi méretezhetőség is. A platform, a munkát végző személy, a fintech-számla, a kriptotárca és a tényleges kedvezményezett különböző országokban lehet. Ez a magyarországi, elsősorban nemzeti adó- és statisztikai rendszerekhez képest különösen nehezzé teszi a teljes gazdasági folyamat egyetlen országban történő azonosítását.⁴

További fontos sajátossága a folyamatoknak, hogy a „rejtett gazdaság” különböző területei rendkívül éles strukturális szétválás előtt állnak.

- A hagyományos szürke zóna – várható a folyamatos zsugorodás
- A hagyományos fekete gazdaság – várható a stagnálás és ár-átrendeződés
- Az új digitális és MI-alapú vakfoltok – várható a robbanásszerű növekedés

⁴ lásd melléklet: A „rejtett gazdaság” kifehérítésének eszközei és eredményei



A Global Financial Integrity (GFI) és az ENSZ adatai szerint **a hagyományos transznacionális bűnözés bevételei évente a globális (117-123 billió dollár) GDP 1,5–3 százalékát teszik ki.** Ennek csökkentése nem realitás, és szakértői vélemények szerint a globális GDP-vel egyező ütemben fog növekedni.

Az új típusú MI-hez (digitalizációhoz) kapcsolódó tevékenységek – azaz a pénzügyi bűncselekmények és MI-alapú pénzmosás, a kiberbűnözés és zsarolás (Cybercrime as a Service), a szerzői jogi és szellemi tulajdon elleni bűncselekmények - területek jelentik a legnagyobb kihívást a statisztikai hivatalok (KSH, Eurostat) és a pénzügyminisztériumok számára. A nemzetközi pénzügyi szervezetek, kutatóintézetek ma már komoly **erőfeszítéseket tesznek az MI-alapú és a fejlett digitális árnyékgazdaság számszerűsítésére. A nyilvánosságra hozott becslések „egy új – de nem annyira szép - világot” sejtetnek**⁵.

- A közvetlen csalások során a globális kiberbűnözés és az MI-alapú digitális csalások összértéke 2025-re elérte a globális GDP kb. 1,5–2 százalékát (mintegy 1.500–2.000 milliárd dollárt).
- Az emberi beavatkozás nélkül, szoftverek által generált és kriptovalutában tartott adózatlan jövedelmek növekedési üteme évente elérheti a 20-30 százalékot.
- Az úgynevezett autonóm MI-ágensek (emberi felügyelet nélküli programozási, adatbázis-kezelési vagy tőzsdei munka külföldi megrendelőknél) az informális gazdaságon belül a fejlett országok GDP-jének 0,8–1,2 százalékát tehetik ki.

⁵ Forrás: *ENISA Threat Landscape 2025*. European Union Agency for Cybersecurity, 1 October 2025. *ENISA Threat Landscape 2026*. European Union Agency for Cybersecurity, 22 September 2026.

- A mesterséges intelligenciával vezérelt, automatizált pénzmosási technikák ("Smart Mixers"-nek és MI-vezérelt tárcaváltogatás) a globális kriptoforgalom 1,2-1,5 százalékát érintik.
- Az MI képes másodpercek alatt több ezer fiktív tranzakciót és számlát (szintetikus identitást) létrehozni, darabolni, majd újra összevonni.
- Az MI-vezérelt pénzmosás sikerrátája a hatóságokkal szemben jelenleg meghaladja a 85 százalékot.
- A generatív MI 2024 óta mintegy 80 százalékkal csökkentette a digitális csalások végrehajtási költségét és idejét.
- A globális adóalap-erózióra 2030-ra 10 százalékos értéket jeleznek, a fejlődő és közép-európai régió digitális szabadúszó jövedelmeinek mintegy 40 százalékát pedig hivatalosan be nem vallottnak becsülik.

A nemzetközi szervezetek jelenlegi becslései jól mutatják a magyar és a globális probléma közötti különbséget. Magyarországon 3.917 milliárd forintos MI-típusú komponenst becsülnek, míg globálisan a digitális és MI-alapú csalások nagyságrendje ezermilliárd dolláros lehet.

Az ENISA Threat Landscape 4.875 incidenst elemzett 2024. július – 2025. június közötti időszakban. A jelentés a phishinget a kezdeti behatolás egyik vezető módszereként, a ransomware-t pedig a legnagyobb hatású fenyegetésként azonosította. Az ENISA 2026-os jelentése szerint az MI-modellek egyre inkább támogatják a rosszindulatú műveleteket.

4. Az un. hagyományos magyarországi rejtett tevékenységek

A hagyományos feketepiaci tevékenységek egy része a KSH GDP becslésében szerepel, más részük a hagyományos fekete-illegális gazdaságban van. 2025-ben 5.223 milliárd forintos hagyományos rejtett tevékenységet becsülhető, ami a 87.308 milliárd forint GDP-nek 6,0 százaléka.

A hagyományos rejtett gazdaság tartós fennmaradásának közgazdasági oka az ösztönzési szerkezetben keresendő. A felek egy része akkor érdekelt az eltitkolásban, ha a számla nélküli vagy részben bejelentett tranzakció rövid távú megtakarítást eredményez. Az adó- és járulékteher elkerülése ilyenkor megoszlik a szolgáltató és a vevő között.

A közös vonás általában az, hogy a gazdasági teljesítmény valós, de a dokumentált jövedelem kisebb. Ez a költségvetési bevételeken túl a versenyfeltételeket, a társadalombiztosítási alapokat és hosszabb távon a munkajövedelmeket is torzíthatja.

A borítékos bérezés és részben bejelentett foglalkoztatás során a vállalkozás a munkavállalót alacsonyabb, például minimálbérhez közeli összegre jelenti be, a tényleges jövedelem egy részét pedig készpénzben fizeti ki. Ez különösen az építőiparban, vendéglátásban és személyi szolgáltatásokban jellemző példa.

A számla nélküli lakossági szolgáltatások körébe tartozik a fodrász, burkoló, gázszerelő, magántanár vagy más szolgáltató számla nélküli alacsonyabb árakkal végzett tevékenységek. A lakossági megrendelő és a szolgáltató ilyenkor kölcsönösen érdekeltté válhat az adó és járulék elkerülésében.

A mezőgazdasági és piaci készpénzes értékesítés során a kistermelői vagy piaci értékesítésnél a termék közvetlenül a termelőtől kerül a fogyasztóhoz, és a tranzakció egy része nem jelenik meg megfelelően a hivatalos bizonylati rendszerben (bár e terület nagyságrendje a pénzügyi tevékenységek mellett eltörpül).

Az un. hagyományos fizikai feketepiac a klasszikus illegális piacok közé sorolja a kábítószerkereskedelmet, a fegyverkereskedelmet, a jövedéki termékek csempészetét/hamisítását - dohány, alkohol, üzemanyag, az embercsempészetet és illegális migrációt, az emberkereskedelmet és kényszermunkát, a márkahamisítást és illegális kereskedelmet, a környezeti bűnözést, az orgazdaságot és lopott vagyon értékesítését, az illegális fegyverkereskedelmet, csempészetet. A szűkebb magyarországi fizikai feketepiacra 800–1 200 milliárd forintos becslés adható.

5. A korrupció hatása és a becsült GDP-veszteség

Korrupció értelmezése és mérése a legösszetettebb, mert az nem egy plusz termelési ág, hanem egy extra költség vagy jövedelem-átcsoportosítás. A közvetlen rejtett korrupció (kenőpénz, hálapénz) a rejtett gazdaság része, értéke a GDP kb. 1–2 százalékára tehető. Ez benne van az „árnyékgazdaság” becslésében. A rendszerszintű korrupció (túlárazás) a hivatalos GDP-n belül van. Ha a közbeszerzések átlagos túlárázottságát nézzük (nemzetközi szervezetek, pl. Transparency International vagy az EU jelentései alapján), a magyar GDP kb. 3–5 százaléka tekinthető olyan összegnek, amely korrupciós csatornákon keresztül szivárog el vagy árazódik túl.

A korrupciót nem egyszerűen illegális pénzmozgásként, hanem a gazdasági teljesítményre gyakorolt hatásként kell kezelni. A korrupció torzíthatja a beruházási döntéseket, a közbeszerzéseket, a versenyt és az erőforrás-allokációt, miközben növelheti a kockázati prémiumot és gyengítheti az intézményi bizalmat.

Gazdasági értelmezésében a korrupciót fontos különválasztani a tranzakció pénzügyi értékét és a korrupció miatt elmaradó társadalmi többletet tekintve. Egy túlárázott közbeszerzésben a kifizetés megjelenhet a hivatalos GDP-ben, miközben a társadalom ugyanannyi közpénzért kevesebb vagy rosszabb minőségű terméket és szolgáltatást kap.

A korrupció emellett torzíthatja a beruházási döntéseket, növelheti a kockázati prémiumot, gyengítheti a versenyt és csökkentheti a közpénzek hatékonyságát. Emiatt a korrupcióellenes politika nem szűkíthető a jogsértések felderítésére: hosszabb távon a termelékenység és a beruházási környezet javításának eszköze is.

Bizonytalan pontosan megállapítani a korrupció mérhető gazdasági hatását. Szakértői számításokkal 2025-ben a 87.308 milliárd forintos GDP 6,9 százalékának megfelelő, azaz mintegy 6.076 milliárd forintos korrupció érték feltételezhető.

6. A háztartási tevékenységek becsülhető nagysága

A háztartási tevékenység során végzett sokféle munkát fizetés ellenében is igénybevehető szolgáltatásokkal is „helyettesíthetők”. Így ezek semmiféleképp nem azonosak a rejtett adóelkerüléssel. E körbe tartoznak a saját célú háztartási munka, az otthoni gyermek/személy gondozás, a saját termelésű ételkészítés felhasználása és nagyon sok egyéb tevékenység/szolgáltatás amelyeknek esetleg nincs is piaci ellenértéke.

Korábbi becslések továbbvezetett számítása szerint a háztartási munkák becsült értéke 2025-ben a GDP 23,9 százaléka, azaz 20.891 milliárd forint lehetett. Ez az összeg természetesen nem egyszerűen „GDP-hiány”, hiszen a nemzeti számlák termelési határa és a piaci értékelés más logika szerint működik. A háztartási munka értelmezésénél különösen fontos a termelési határ kérdése. Ha ugyanazt a tevékenységet piaci szolgáltató végzi, akkor annak ellenértéke a piaci termelésben megjelenhet, ha a háztartás saját maga végzi el, annak idő- és erőforrás-felhasználása társadalmi szempontból valós érték, de nem automatikusan jelenik meg a GDP-ben.

A háztartási tevékenységek társadalmi-gazdasági jelentősége egyértelmű, de hozzáadva a hivatalos GDP-hez - úgy, mintha piaci termelés lenne - inkább csak kiegészítő jóléti és erőforrás-indikátor. Fontos azonban annak jelzése, hogy a monetáris gazdaságon kívül milyen nagy és jelentős munkaráfordítás és értékteremtés történik.

7. A GDP becsülhető teljes nagysága

A magyarországi rejtett gazdaság „becsült értékeit” hozzászámítottam a 2025 évi hivatalos magyar GDP értékéhez.

A feltételezett/becsült teljes GDP 2025. évben

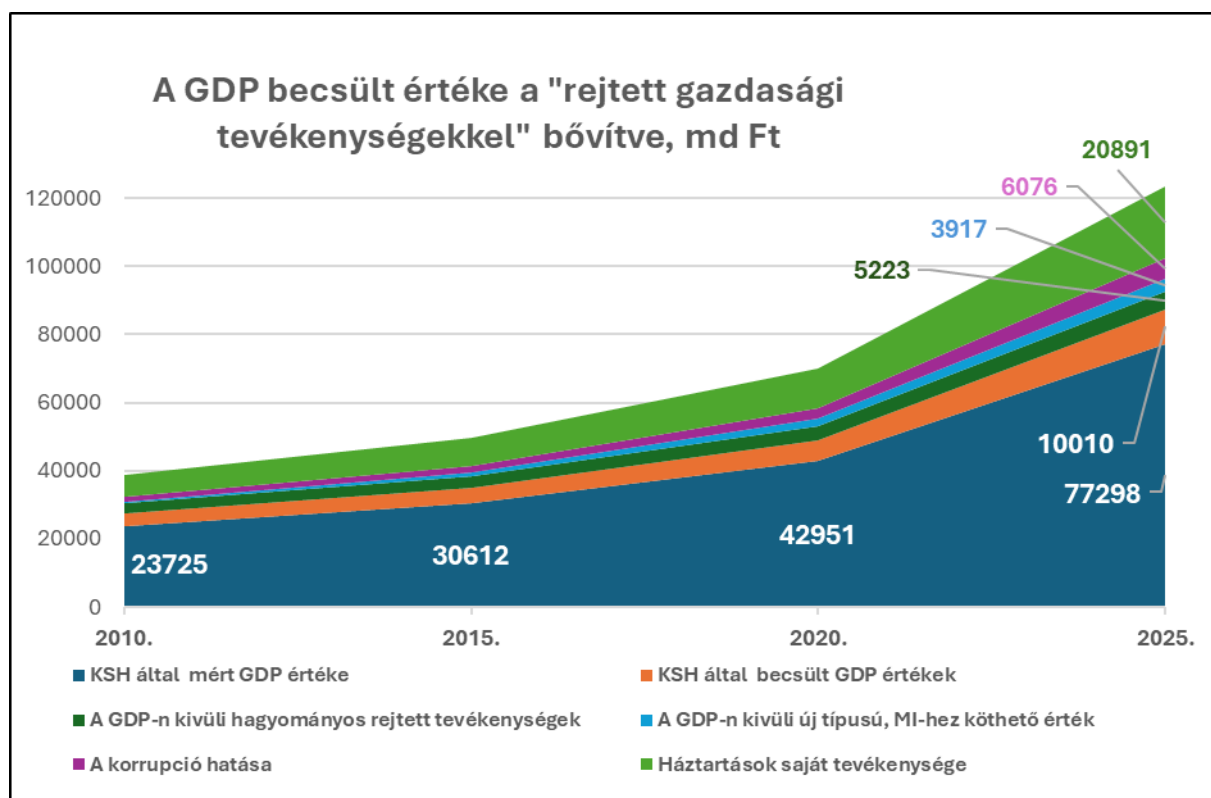
	milliárd Ft*	GDP %-ában
A HIVATALOS GDP	87.308	100 %
ebből:		
<i>KSH által becsült tevékenységek</i>	10.010	11,50 %
<i>A mért GDP értéke</i>	77.298	88,50 %
GDP-ből KIMARADT REJTETT GAZDASÁGBÓL		17,40 %
Hagyományos rejtett tevékenységek	5.223	6 %
MI típusú tevékenységek	3.917	4,50 %
Korrupció hatása	6.076	6,90 %
HÁZTARTÁSI MUNKÁK	20.891	23,90 %
BECSÜLT GDP mindösszesen	123.415	142 %

Forrás: KSH és szakértői becslés */a százalékos aránnyal becsülve

A számítások alapján a hivatalos GDP összegében az EU módszertan szerinti statisztikailag nem megfigyelt becsült érték 10 ezer md Ft volt, míg a becslések alapján a GDP számításból kimaradt rejtett tevékenységek szektor – a hagyományos és az MI rejtett tevékenységeinek – értéke 9,1 ezer md Ft-ra tehető.

A hivatalos GDP-ben nem szereplő 9,1 ezer md Ft összetétele a következő lehet, a hagyományos fizikai rejtett tevékenységek értéke 5,2 ezer md Ft és az új típusú, MI-hez köthető érték 3,9 ezer md Ft. Külön számolhatunk a korrupció hatására elmaradt GDP növekménnyel, ennek becsült nagysága 6 ezer md Ft. Valamennyi rejtett gazdasági tevékenység így együttesen 102 ezer md Ft körüli GDP értéke a KSH által számított/mért GDP 117 százaléka lehet!

A magyar háztartások gazdasági jellegű saját tevékenysége 20,8 ezer md Ft-ra tehető. Ezzel kiegészítve 2025-ben a magyarországi teljes (háztartási tevékenységekkel együttes) GDP érték mintegy 123 ezer md Ft, azaz a KSH által számított/mért GDP-hez mérten 142 százaléka lehet!



A rejtett gazdaság átalakulása egyúttal a káros hatások elleni védekezés fontosságát is hangsúlyosabbá teszi. A fehéredés mellett új „algorithmikus verseny” is kialakulhat, az adóhivatalok és a rejtett gazdaság elleni szervezetek körében fokozódik a figyelem a károk megelőzésére. Annál is inkább, mert ma az a jellemző, hogy minél fejlettebb a rejtett tevékenységek elleni kockázatelemzés, annál nagyobb ösztönzés keletkezhet a szabálykerülő szereplők számára, hogy a korábbi ellenőrzési mintákhoz alkalmazkodjanak, azokat kikerüljék.

8. A rejtett gazdaság kifehérítésének eszközei és eredményei

A magyar gazdaság fehéredésének egyik meghatározó tényezője az adóhatóság rendelkezésére álló digitális adatvagyon bővülése, valamint az adatok összekapcsolására és elemzésére épülő ellenőrzési módszerek fejlődése. A digitalizáció lehetővé teszi, hogy a Nemzeti Adó- és Vámhivatal (NAV) a korábbi, jellemzően utólagos és mintavételes ellenőrzések mellett egyre inkább a tranzakciós adatok folyamatos vizsgálatára, a kockázatok korai felismerésére és a célzott beavatkozásokra támaszkodjon. Ezek az eszközök elsősorban az adóelkerülés lehetőségeit szűkítik, javítják az adózási fegyelmet, és hozzájárulhatnak a rejtett gazdaság visszaszorításához.

8.1. A digitális adatszolgáltatás és az elektronikus adózás szerepe

Az Online Számla rendszer az áfatörvény hatálya alá tartozó számlák adatszolgáltatásán keresztül részletes információkat biztosít a NAV számára a vállalkozások közötti, azaz B2B-tranzakciókról. Az online pénztárgépek, valamint az elektronikus nyugtázás fejlesztései ezzel párhuzamosan a lakossági, vagyis B2C-ügyletek ellenőrizhetőségét is bővítik. Az adatok

szélesebb körű rendelkezésre állása csökkenti annak lehetőségét, hogy a gazdasági szereplők bevételeik egy részét eltitkolják, vagy a számlázási kötelezettségek teljesítése nélkül végezzenek gazdasági tevékenységet.

Az eÁFA-rendszer a számlaadatok, a pénztárgépekből származó információk és a kapcsolódó vámadatok felhasználásával segíti az áfabevallások elkészítését és ellenőrzését. Az adatok összevetésével könnyebben felismerhetők a számlák, az adónyilvántartások és a bevallások közötti eltérések. A rendszer így nemcsak az adóhatósági ellenőrzést támogatja, hanem az adózók adminisztratív terheit is mérsékelheti, és elősegítheti a hibás bevallások önkéntes javítását. A 2025-ben teljesült 8.265 md Ft Áfa bevétel évi 12,1 százalékos növekedése is jelzi a rendszer eredményességét.

A digitalizáció további lépését jelenti az e-nyugta és az ePénztárgép alkalmazása. A lakossági tranzakciókról rendelkezésre álló információk bővülése különösen azokban az ágazatokban lehet jelentős, amelyekben a készpénzes fizetés, a kisebb értékű ügyletek vagy a szolgáltatások nehezebb ellenőrizhetősége korábban nagyobb teret biztosított a bevételek eltitkolásának. A nyugtaadatok kötelező továbbításának pontos hatályát és időzítését ugyanakkor az adott szabályozás alapján kell megítélni. (Hasznos lépések lehetnek az EU digitális pénz, készpénzforgalom korlátozására és megszüntetésére irányuló törekvései, valamint az új EU hitelkártyák (és ezzel együtt a Master, Visa stb. kiiktatása is).

8.2. Mesterséges intelligencia, kockázatelemzés és hálózati ellenőrzés

A digitális adatok gazdaságfehérítő hatása nagymértékben függ azok elemzésének minőségétől. A NAV kockázatelemzési tevékenységében az automatizált keresztellenőrzések, az adattisztítási és számlapárosítási eljárások, valamint a hálózatelemzési módszerek egyaránt fontos szerepet tölthetnek be. A mesterséges intelligencia és a fejlett adatelemzés alkalmazása lehetővé teszi, hogy az adóhatóság nagy mennyiségű adatban keressen szokatlan összefüggéseket, és a korábbi adatok, illetve az ágazati jellemzők alapján azonosítsa a fokozott ellenőrzést igénylő eseteket.

A hálózatelemzés különösen a fiktív számlázási láncok és az úgynevezett körhintacsallások feltárásában lehet hasznos. A számlázási kapcsolatok, a partnerek bevallásai és az egyes vállalkozások gazdasági jellemzői közötti eltérések alapján felismerhetők olyan kockázati mintázatok, amelyek hagyományos, elszigetelt ellenőrzésekkel nehezebben tárhatók fel. Hasonlóképpen, a prediktív modellek segíthetnek az ellenőrzési kapacitások célzott felhasználásában azáltal, hogy a kockázatosabbnak minősülő adózókra irányítják a figyelmet.

Az automatizált keresztellenőrzés egyik példája, amikor a levonásba helyezett áfa nem egyezik meg a partner által jelentett adatokkal. Az ilyen eltérés kockázati jelzésként szolgálhat, amely további vizsgálatot indokol. Nem minden eltérés jelent azonban szándékos adócsallást: technikai hiba, késedelmes adatszolgáltatás vagy hibás könyvelés is állhat a háttérben. Ezért az automatizált jelzéseket szükség esetén további ellenőrzésnek kell követnie.

A kockázatelemzés a szankcionálás mellett a jogkövetés támogatását is szolgálhatja. Ha az adóhatóság egy bevallásban vagy az adatszolgáltatásban javítható hibát észlel, támogató eljárással vagy figyelmeztetéssel ösztönözheti az adózót a korrekcióra. Ez a megközelítés különösen akkor lehet eredményes, ha a cél nem pusztán a már bekövetkezett jogsértés szankcionálása, hanem a későbbi szabálytalanságok megelőzése és az önkéntes jogkövetés erősítése.

Fontos ugyanakkor, hogy a mesterséges intelligencia alkalmazása önmagában nem garantálja az ellenőrzések hatékonyságát. A modellek eredményessége függ az adatok minőségétől, az alkalmazott módszerek pontosságától és a kockázati jelzések megfelelő értelmezésétől. A rejtett gazdaság szereplői emellett alkalmazkodhatnak az ellenőrzési gyakorlat változásaihoz, ezért a gazdaságfehérítés tartós eredményességéhez az elemzési módszerek folyamatos fejlesztése és az ellenőrzések tapasztalatainak visszacsatolása is szükséges.

8.3. *A gazdaságfehéredés mérhető eredményei és korlátai*

A digitális adóigazgatás eredményességének egyik fontos nemzetközi mutatója az áfa-megfelelési rés (VAT compliance gap), amely a becsült elméleti áfabevétel és a ténylegesen beszedett áfa különbségét fejezi ki. Az Európai Bizottság adatai szerint Magyarország áfa-megfelelési rése 2019-ben a becsült elméleti áfabevétel 10,4 százalékát, 2023-ban pedig 7,4 százalékát tette ki. A 2023-ra becsült rés abszolút értéke 1,484 milliárd euró volt. Ezek az adatok az áfabevételek beszedésének javulására utalnak, és összhangban állnak a digitális ellenőrzési rendszerek gazdaságfehérítő szerepével.

A mutató értelmezésekor azonban két korlátot figyelembe kell venni. Egyrészt az áfa-megfelelési rés nem kizárólag a szándékos adócsalásból származik: a fizetéseképtelenség, a tévedések, a bevallási hibák és más megfelelési problémák is befolyásolhatják. Másrészt az áfa-megfelelési rés csökkenése nem jelenti a rejtett gazdaság egészének azonos mértékű visszaszorulását, mivel a be nem jelentett munkavégzés, a jövedelmek eltitkolása, a nem áfaköteles tevékenységek és más informális gazdasági formák külön vizsgálatot igényelnek.

A gazdaságfehéredés értékeléséhez ezért az áfa-megfelelési rés mellett célszerű vizsgálni a be nem jelentett foglalkoztatás alakulását, a költségvetési adóbevételeket, az adózói megfelelés változását, valamint az ellenőrzések és a feltárt szabálytalanságok eredményeit is. A megbízható következtetésekhez az egyes mutatók módszertani sajátosságait, az adópolitikai változásokat és a gazdasági konjunktúra hatásait szintén figyelembe kell venni.

A tartós gazdaságfehéredéshez a technológiai fejlesztések mellett következetes jogérvényesítésre, az önkéntes jogkövetés ösztönzésére, a szabályozás kiszámíthatóságára és a hatósági eljárások megbízhatóságára is szükség van. A digitális ellenőrzés így nem önmagában megoldás, hanem a rejtett gazdaság visszaszorítását szolgáló, szélesebb gazdaság- és adópolitikai eszközrendszer egyik meghatározó eleme.

Az MI megjelenésével és használatával a magyar gazdaság fehéredésének egyik legfontosabb eszköze lesz a digitális adatszolgáltatás, az automatizált keresztellenőrzés és az adatvezérelt adóhatósági kockázatelemzés összekapcsolása.

MELLÉKLET

FOGALMAK ÉS RÖVIDÍTÉSEK MAGYARÁZATA

Az alábbi fogalomjegyzékben a tanulmányban használt angol nyelvű kifejezések és rövidítések fordítását és gazdasági jelentését találja

- AI / MI: AI = Artificial Intelligence, magyarul mesterséges intelligencia (MI).
- AI-agent: Artificial Intelligence agent – autonóm mesterségesintelligencia-ügynök. Olyan MI-rendszer, amely nemcsak választ ad, hanem feladatokat hajthat végre, például adatot elemezhet, megrendelést kereshet, szoftvert fejleszthet vagy tranzakciót kezdeményezhet.
- AI-as-a-Service (AIaaS): Artificial Intelligence as a Service – mesterséges intelligencia szolgáltatásként. Az MI-funkciók előre elkészített, szolgáltatásként igénybe vehető formában jelennek meg; a rejtett gazdaságban ez illegális vagy csalási célú MI-eszközök szolgáltatásként történő értékesítését is jelentheti.
- B2B: Business to Business – vállalkozások közötti gazdasági kapcsolat.
- B2C: Business to Consumer – vállalkozás és fogyasztó közötti kapcsolat. A lakossági értékesítések és szolgáltatások területe, ahol az elektronikus nyugta- és pénztáradatok a rejtett bevételek ellenőrzésében fontosak.
- Big Data a világszerte és folyamatosan előállított óriási mennyiségű adatmennyiségre utal
- big-data-elemzés alatt olyan módszereket, eszközöket és alkalmazásokat értünk, amelyek segítségével különböző, nagy mennyiségű, nagy sebességgel létrejövő adathalmazokból elemzéseket lehet gyűjteni, feldolgozni és származtatni.
- CEO-fraud: Chief Executive Officer fraud – cégvezető megszemélyesítésével elkövetett csalás.
- Crime-as-a-Service (CaaS): Crime as a Service – bűnözés szolgáltatásként. A bűncselekményhez szükséges technológiát vagy infrastruktúrát nem a végrehajtó fejleszti ki maga, hanem szolgáltatásként igénybe veszi, például phishing- vagy ransomware-eszközként.
- deepfake: Mesterséges intelligenciával létrehozott vagy módosított, valósághű hamis kép-, hang- vagy videotartalom.
- DeFi: Decentralized Finance – decentralizált pénzügyek. Olyan blokklánc-alapú pénzügyi szolgáltatások összessége, amelyek egy része hagyományos közvetítő intézmények nélkül működik.
- ENISA: European Union Agency for Cybersecurity – az Európai Unió Kiberbiztonsági Ügynöksége.
- ESA 2010: European System of Accounts 2010 – az Európai Unió nemzeti számláinak 2010-es módszertani rendszere.
- fintech: Financial technology – pénzügyi technológia. Digitális pénzügyi szolgáltatások összefoglaló neve, például digitális pénztárcák, online pénzforgalmi és számlavezetési szolgáltatások.
- GFI: Global Financial Integrity – nemzetközi kutatóintézet, amely többek között az illegális pénzügyi áramlások és transznacionális bűnözés gazdasági hatásait vizsgálja.
- gig-economy: Platform- vagy alkalmi munkákon alapuló gazdaság, gyakran „platformgazdaságként” fordítjuk. A munkavégzés sok esetben digitális platformon, rövid távú megbízások formájában történik.
- KYC: Know Your Customer – ügyfél-azonosítási és ügyfél-ellenőrzési eljárás. A bankok és fintech-szolgáltatók annak megállapítására használják, hogy ki az ügyfél.

- LLM: Large Language Model – nagy nyelvi modell. Nagy mennyiségű szöveges adaton betanított MI-rendszer, amely képes szöveget előállítani és feldolgozni. A tanulmányban a személyre szabott phishing és csaló kommunikáció automatizálásának eszköze.
- NFT: Non-Fungible Token – nem helyettesíthető token. Egyedi digitális token, amely valamely digitális vagy fizikai eszközhöz kapcsolódó tulajdonosi vagy hitelesítési információt hordozhat
- non-custodial wallet: Nem letétkezelő kriptotárca. Olyan kriptoeszköz-tárca, amelynek privát kulcsát közvetlenül a felhasználó kezeli, nem pedig egy központi szolgáltató; ez az azonosítás és ellenőrzés szempontjából külön kihívást jelenthet.
- phishing: Adathalászat. Olyan megtévesztő kommunikáció, amelynek célja jelszavak, belépési adatok, banki adatok vagy más érzékeny információ megszerzése. MI-vel a levelek nyelvileg és személyre szabásban is hitelesebbé tehetők.
- ransomware: Zsarolóvírus. Olyan rosszindulatú program, amely rendszerint adatokat vagy informatikai rendszereket zárol, majd váltságdíjat követel a hozzáférés helyreállításáért.
- Smart Mixing: „Intelligens keverés” – MI-vel vagy algoritmusokkal támogatott kriptotranzakció-keverési módszer. A cél a tranzakciós útvonal összetettebbé tétele és a pénz eredetének nehezebb követhetősége.
- staking: Kriptoeszközök lekötése vagy hálózati validálásban való részvétel ellenében megszerzett hozam. Adózási szempontból a keletkező jövedelem megfelelő bevallása a döntő; önmagában a staking nem rejtett tevékenység.
- state capture: „Az állam foglyul ejtése” / államfoglalás. Olyan intézményi korrupciós helyzet, amikor magánérdekek tartósan és rendszerszerűen befolyásolják az állami döntéshozatalt és az erőforrás-allokációt.
- synthetic identity: Szintetikus identitás. Valós és mesterséges adatok kombinációjából létrehozott, hihető, de részben vagy egészben hamis személyprofil.
- tumbler / mixer: Kriptoeszköz-keverő szolgáltatás. Több tranzakció összekeverésével megnehezítheti az eredeti pénzforrás és a végső kedvezményezett összekapcsolását.
- UNODC: United Nations Office on Drugs and Crime – az ENSZ Kábítószer- és Bűnügyi Hivatala.
- VAT: Value Added Tax – hozzáadottérték-adó, Magyarországon az általános forgalmi adó (ÁFA) angol megfelelője.
- VAT compliance gap / VAT gap: Az áfa-megfelelési rés. Az elméletileg beszédhető és a ténylegesen beszédett áfa közötti eltérés; nem azonos a szándékos adócsalással.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Belyó, P. (2008): A rejtett gazdaság nagysága és jellemzői. *Statisztikai Szemle*, 86(2), 113–137.
2. Eurostat (2018): *Handbook on the compilation of statistics on illegal economic activities in national accounts and balance of payments*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI: 10.2785/0256.
3. European Commission, Eurostat (2013): *European System of Accounts 2010 (ESA 2010)*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
4. European Commission, Directorate-General for Taxation and Customs Union (2025): *VAT Gap in the EU – 2025 Report*. Brussels: European Commission.
5. European Commission, Directorate-General for Taxation and Customs Union. (2025). VAT Gap. https://taxation-customs.ec.europa.eu/taxation/vat/fight-against-vat-fraud/vat-gap_en
6. ENISA (2025): *ENISA Threat Landscape 2025*. European Union Agency for Cybersecurity, 1 October 2025.
7. ENISA (2026): *ENISA Threat Landscape 2026*. European Union Agency for Cybersecurity, 22 September 2026.
8. OECD (2025): *Governing with Artificial Intelligence: The State of Play and Way Forward in Core Government Functions*. Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/795de142-en.
9. Mavrellis, C. (2017): *Transnational Crime and the Developing World*. Washington, DC: Global Financial Integrity, 27 March 2017. <https://doi.org/10.1787/795de142-en>
10. United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC): *World Drug Report*. Vienna: UNODC.
11. Nemzeti Adó- és Vámhivatal. (é. n.). eÁFA. <https://nav.gov.hu/ado/eafa>
12. Nemzeti Adó- és Vámhivatal. (2024. augusztus 3.). Az Online Számla rendszer használata. <https://nav.gov.hu/Elethelyzetek-adozasa/vallalkozas/>
13. Nemzeti Adó- és Vámhivatal. (2026. augusztus 4. [nav.gov.hu](https://nav.gov.hu/sajtoszoba/hirek/)) <https://nav.gov.hu/sajtoszoba/hirek/>
14. Nemzeti Adó- és Vámhivatal (2024–2026): *Online Számla; eÁFA; elektronikus nyugta; ePénztárgép*, Budapest: NAV