

EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
PODNIKOVHOHOSPODÁRSKA FAKULTA SO SÍDLOM
V KOŠICIACH
KATEDRA KVANTITATÍVNYCH METÓD

JOURNAL OF INNOVATIONS AND APPLIED STATISTICS

VEDECKÝ INTERNETOVÝ ČASOPIS

Ročník 15, 2025
Číslo: 1

KOŠICE
ISSN 1338-5224

JOURNAL OF INNOVATIONS AND APPLIED STATISTICS

VEDECKÝ INTERNETOVÝ ČASOPIS

Ročník 15, 2025

Číslo 1

Redakčná rada

Predseda redakčnej rady

Dr. h. c. prof. RNDr. Michal Tkáč, CSc. [Ekonomická univerzita v Bratislave]

Členovia redakčnej rady

prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD. [Technická univerzita vo Zvolene]

prof. Ing. Jaroslava Kádárová, PhD. [Technická univerzita v Košiciach]

prof. Ing. Jozef Svetlík, PhD. [Technická univerzita v Košiciach]

doc. Ing. Emília Duřová Spišáková [Ekonomická univerzita v Bratislave]

doc. Ing. Barbora Gontkovičová, PhD. [Ekonomická univerzita v Bratislave]

doc. Ing. Jozefína Hvastová, PhD. [Ekonomická univerzita v Bratislave]

doc. PhDr. Mária Ría Janošková, PhD. [Ekonomická univerzita v Bratislave]

doc. Ing. Silvia Megyesiová, PhD. [Ekonomická univerzita v Bratislave]

doc. Ing. Michal Tkáč, PhD. [Ekonomická univerzita v Bratislave]

doc. Ing. Renáta Turisová, PhD. [Technická univerzita v Košiciach]

doc. PhDr. Ing. Robert Verner, PhD., MBA [Ekonomická univerzita v Bratislave]

Zahraniční členovia redakčnej rady

dr inż. Marcin Zawada [Technical University of Częstochowa, Poland]

doc. Ing. Šárka Vilamová, Ph.D. [Technická univerzita Ostrava, Czech Republic]

Prof. P. Cz. dr hab. Marek Szajt [Technical University of Częstochowa, Poland]

prof. Iryna Leonidivna Reshetnikova [State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine]

Šéfredaktor

Ing. Matej Hudák, PhD.

Vydáva

Ekonomická univerzita v Bratislave

Podnikovohospodárska fakulta so sídlom v Košiciach

Katedra kvantitatívnych metód

Tajovského 11

041 30 Košice

Recenzovaný vedecký časopis. Publikácia neprešla jazykovou úpravou. Za obsah a jazykovú úroveň príspevkov zodpovedajú autori.

Recenzenti

Ing. Zuzana Hrabovská, PhD.

Ing. Darina Šimová Bialková, PhD.

November 2025

internetový časopis: <http://jias.enke.sk/>

ISSN 1338-5224

OBSAH ČÍSLA 1/2025

<i>PROCUREMENT PLATFORM EFFECTS ON COMPETITION: EVIDENCE-BASED ASSESSMENT OF EU VS. NATIONAL PROCUREMENT SYSTEM</i> <i>Gabriel Demeter</i>	5
<i>SIMULACE PROVOZU TRAMVAJOVÉHO PŘESTUPNÍHO UZLU OVLIVNĚNÉHO PROVOZEM SVĚTELNĚ ŘÍZENÉ KŘÍŽOVATKY</i> <i>Robert Hackenberg – Michal Dorda</i>	17
<i>ANALÝZA VÝSLEDKOV ŠIESTEHO ROČNÍKA OLYMPIÁDY PODNIKOVÝ HOSPODÁR</i> <i>Jozef Lukáč – Cyril Závadský</i>	33
<i>ANALÝZA VPLYVU VOLATILITY NA CENU VYBRANÝCH ŠTRUKTÚROVANÝCH PRODUKTOV</i> <i>Monika Timková</i>	37
<i>WHEN STRONG RULES DO NOT GUARANTEE DISCIPLINE: FISCAL RULE INDEX AND COMPLIANCE IN THE EUROPEAN UNION</i> <i>Andrea Tkáčová</i>	48

PROCUREMENT PLATFORM EFFECTS ON COMPETITION: EVIDENCE-BASED ASSESSMENT OF EU VS. NATIONAL PROCUREMENT SYSTEM

Ing. Gabriel DEMETER, PhD.

Technical University of Košice
Faculty of Economics
Němcovej 32
040 01 Košice, Slovak Republic

gabriel.demeter@tuke.sk

Key words

Public procurement thresholds; transparency mechanisms; electronic auctions; causal forests; heterogeneous treatment effects; European procurement regulation

Abstract

This study provides quasi-causal evidence linking procurement thresholds and used procurement system platform to competition outcomes. Using causal forests on 28,175 Slovak contracts (2023–2025), we show that mandatory EU-wide publication (TED) increases bid competition by +1.98p on average, but effects are profoundly heterogeneous. Healthcare procurement exhibits negative effects. Policy trees reveal that sector-differentiated, region-aware thresholds outperform categorical rules. Rather than prescribe new fixed thresholds, we argue for evidence-based, adaptive threshold policy calibrated by CPV division, geography, and temporal dynamics. The study demonstrates that machine learning methods enable discovery of heterogeneous treatment effects and translation to interpretable policy rules. Future work integrating NLP would isolate platform effects from specification confounding.

Introduction

European public procurement operates under a dual-system framework where contracts above specified value thresholds must be published on Tenders Electronic Daily (TED) - the official EU procurement platform—while smaller contracts may be managed through national systems (European Commission, n.d.-a). In Slovakia, the dual system operates on two levels: contracts above EU thresholds (€143,000 for supplies/services by central authorities, €221,000 for sub-central authorities; €5,538,000 for works) are mandatorily published on TED, while contracts below EU thresholds but above the national €70,000 threshold must be published in the national Public Procurement Bulletin via EKS (European Commission, n.d.-b; European Court of Auditors, 2023). This threshold-based system reflects EU Directive 2014/24/EU, which establishes minimum EU thresholds (€143,000 for supplies/services by central government, €221,000 for sub-central authorities, €5,538,000 for works, updated for 2024–2025) (Directive 2014/24/EU; European Commission, n.d.-b).

The central policy question addressed in this study is: Does above-threshold designation (mandatory TED publication) improve procurement competition, and are current thresholds optimally calibrated?

This question matters because public procurement accounts for approximately 15–30% of government spending across EU member states, translating to over €2 trillion annually (OECD, 2011; European Court of Auditors, 2023). Even modest improvements in competition-driven cost efficiency generate substantial fiscal benefits (Adam et al., 2021). However, above-threshold procedures impose administrative costs through standardization, documentation, potential translation, and compliance with EU-level procurement law (SIGMA Programme, 2016). The trade-off between competitive benefits and administrative burden varies with contract size: for a €50,000 contract, the compliance burden may outweigh competitive gains, while for a €1 million contract, the opposite likely holds.

Existing procurement literature has examined centralization vs. decentralization in procurement systems and the effectiveness of electronic auctions in reducing prices but has not systematically tested whether publication channel (national vs. EU-wide) affects competition in a causally identified way (Tátrai, 2024). Prior work assumes that transparency is uniformly beneficial or focuses on specific procurement categories (e.g., healthcare, construction) rather than the general threshold effect across market segments (Transparency International, 2024; Hanák et al., 2018).

Our study fills this gap by:

- Causal identification: Using causal forests to estimate conditional treatment effects, avoiding confounding bias from self-selection into above/below threshold tiers (Athey et al., 2019).
- Heterogeneity discovery: Revealing non-linear threshold effects through automated feature interactions rather than pre-specified functional forms (Wager & Athey, 2018).
- Policy optimization: Deriving optimal threshold rules via policy trees, translating empirical findings into actionable guidance (Athey & Imbens, 2019).
- Empirical breadth: Analyzing 28,175 contracts across all procurement categories and market segments, not just specific sectors.

1 Literature Review

Public procurement thresholds serve as pivotal regulatory instruments that balance two competing policy objectives: market openness and administrative proportionality. The fundamental logic behind threshold regulation is that higher contract values justify greater procedural rigor, transparency, and cross-border accessibility, while lower-value contracts should remain subject to simplified procedures to avoid disproportionate compliance costs (Molander, 2014; OECD, 2011). This proportionality principle—codified in *Directive 2014/24/EU*—reflects the EU’s broader objective of promoting the internal market without imposing excessive regulatory burdens on small or local contracting authorities (European Commission, n.d.-a).

From an institutional economics perspective, thresholds operate as *filters of governance intensity*: they determine when a contract transitions from local discretion to harmonized supranational oversight. Above-threshold procurement ensures cross-border contestability, but it also shifts administrative responsibility to centralized systems governed by EU law. Below-threshold regimes, by contrast, prioritize administrative feasibility and local responsiveness (SIGMA Programme, 2016). As a result, thresholds embody not merely technical cut-offs but *policy trade-offs*—between transparency and transaction costs, inclusion and manageability, and legal certainty versus procedural flexibility (European Court of Auditors, 2023).

In practice, the calibration of these thresholds has evolved alongside technological and institutional developments. The rise of electronic procurement platforms (e-procurement) has substantially reduced transaction and information costs, calling into question whether legacy threshold levels—originally designed for paper-based processes—remain optimal (Adam et al., 2021). As e-procurement and automation expand, the marginal administrative burden of compliance decreases, implying that higher levels of transparency could be achieved at lower relative cost (Transparency International, 2024). However, empirical evaluations of these dynamics remain limited, and member states have often adjusted thresholds reactively in response to corruption cases or audit findings rather than through data-driven assessment (Tátrai, 2024).

In Slovakia, threshold policy exemplifies this broader European pattern. The national below-EU threshold, established as a transparency-enhancing mechanism, reflects the state’s strategic attempt to curb local discretion and strengthen accountability in public spending. Yet, nearly a decade after its introduction, no systematic, evidence-based assessment has determined whether this policy achieved its intended balance between openness and efficiency. The literature identifies similar policy inertia across member states, where periodic reforms adjust numerical limits but rarely revisit the underlying assumptions about administrative capacity, digital maturity, or market competitiveness (European Court of Auditors, 2023; Molander, 2014).

1.1 EU Procurement Thresholds and Systems Architecture

The EU procurement framework is one of the most structured in the world, designed to operationalize the principle of proportionality through a tiered system of rules. The legal architecture of *Directive 2014/24/EU* defines the procedural obligations that contracting authorities must follow once their procurements surpass specified thresholds. These thresholds are reviewed biennially by the European Commission to maintain parity with inflation and exchange rate fluctuations, but their conceptual purpose extends beyond simple price levels—they delineate *jurisdictional boundaries of transparency* (European Commission, n.d.-b).

The threshold mechanism thus serves multiple governance functions. First, it allocates procedural complexity: higher-value procurements must adhere to standardized formats, longer publication timelines, and pan-European accessibility through TED (Tenders Electronic Daily). This ensures comparability, auditability, and equal access for suppliers across the Single Market (European Court of Auditors, 2023).

Second, it differentiates by institutional capacity: central authorities, typically endowed with professional procurement units, face stricter obligations than smaller or sub-central entities, whose administrative resources may be limited (OECD, 2011).

Third, thresholds facilitate regulatory subsidiarity, granting member states discretion to impose additional national transparency requirements below EU minima. This federalist flexibility enables countries to respond to local corruption risk, political culture, and procurement maturity (SIGMA Programme, 2016).

National systems such as Slovakia's *Electronic Contract System (EKS)* embody this flexibility by extending transparency to contracts that fall below EU-mandated publication levels. While EU law mandates procedural harmonization only above its defined thresholds, member states may design domestic systems that simulate EU-level transparency at lower cost and complexity. These arrangements create a multi-tier governance model—a nested structure where transparency, oversight, and procedural rigor scale with contract value (Tátrai, 2024).

From a policy-design standpoint, the architecture of thresholds is dynamic: it evolves with technological innovation, market integration, and administrative learning. As electronic marketplaces and cross-border supplier networks mature, the traditional justification for rigid categorical thresholds weakens. Contemporary scholarship increasingly calls for adaptive, evidence-based thresholds, which adjust to sectoral risk, procurement complexity, and digital readiness rather than relying on uniform numerical cut-offs (Adam et al., 2021; Transparency International, 2024). Such adaptive systems would align with the EU's data-driven governance agenda and ongoing digital transition in public administration.

1.2 Publication Platforms and Competitive Mechanisms

Public procurement platforms represent the operational backbone of the European threshold system, translating regulatory proportionality into practical mechanisms of market access and transparency. Two main digital infrastructures embody this dual architecture: the *Tenders Electronic Daily (TED)* platform for above-threshold contracts and national e-procurement portals, such as Slovakia's *Electronic Contract System (EKS)*, for below-threshold procurements. Each platform operationalizes transparency and competition differently—reflecting trade-offs between harmonization, accessibility, and administrative feasibility (European Court of Auditors, 2023; SIGMA Programme, 2016).

TED: Harmonized Market Visibility: TED serves as the supranational gateway for EU-level procurement, ensuring compliance with the transparency and accessibility standards established under *Directive 2014/24/EU*. Its design reflects the EU's policy ambition to integrate national markets into a single, contestable procurement space. Contract notices published on TED follow a harmonized structure using *Common Procurement Vocabulary (CPV)* codes, standardized award criteria, and uniform procedural templates (European Commission, n.d.-b). All TED records are machine-readable and searchable across the European Economic Area, thereby facilitating cross-border participation and reducing information asymmetry between contracting authorities and suppliers (Adam et al., 2021).

This degree of standardization expands the *potential* bidder pool and supports policy objectives of non-discrimination and equal treatment. However, TED's procedural rigor introduces compliance costs related to documentation, multilingual publication, and strict evaluation criteria—burdens that can disproportionately affect smaller contracting entities or low-value procurements (OECD, 2011; Molander,

2014). The resulting asymmetry suggests that, while TED increases transparency, its benefits may materialize primarily for contracts where expected competitive gains outweigh administrative overheads.

EKS and National Systems: Localized Transparency and Procedural Flexibility: In contrast, national below-threshold systems such as Slovakia's *EKS* offer a lighter regulatory structure aimed at administrative efficiency and rapid contract execution. Although fully electronic, these platforms operate with less stringent standardization and narrower market reach. Supplier registration is typically limited to domestic or regional firms, and notices are often published only in the national language, creating a segmented and geographically bounded market (Tátrai, 2024).

Despite these limitations, national systems like *EKS* play a critical role in sustaining competition among small and medium-sized enterprises (SMEs) and reducing procedural complexity for local contracting authorities. Their design embodies the subsidiarity principle, granting member states the flexibility to extend transparency below EU thresholds without replicating the full administrative apparatus of TED (SIGMA Programme, 2016). In this sense, the *EKS* platform complements TED by maintaining procurement inclusivity at the local level.

1.3 Electronic Auctions and Competitive Effectiveness

Electronic reverse auctions (e-RAs) illustrate how digitalization reshapes competitive dynamics in public procurement. In an e-RA, suppliers compete by submitting progressively lower bids in real time, fostering price competition and immediate transparency of market information. Empirical evidence from Central and Eastern Europe confirms that these mechanisms can yield significant cost efficiencies.

Pavel and Sičáková-Beblová (2013) analyzed municipal procurement data in Slovakia and found that the introduction of e-auctions increased cost savings compared to traditional tendering procedures, supporting the theoretical prediction that electronic bidding intensifies competition by reducing information asymmetry. Similarly, Murray Svidroňová and Nemec (2016) documented the growing adoption of e-procurement tools—including e-auctions—across Slovak self-governing regions, emphasizing their potential to improve transparency and administrative efficiency.

Taken together, these studies suggest that e-RAs can enhance allocative efficiency and fiscal discipline, although their effectiveness depends on market structure, bidder capacity, and the degree of standardization within procurement categories.

Electronic reverse auctions (e-RAs) illustrate how digitalisation transforms procurement competition. In an e-RA, suppliers progressively lower bids in real time, thereby fostering intensified price competition and enhancing transparency of market dynamics. Empirical evidence from Slovakia suggests measurable efficiency gains: Pavel and Sičáková-Beblová (2013) found that each additional bidder in an e-auction was associated with a ~3 % reduction in the winning price relative to the expected price in Slovak municipal procurements. On the other hand, Hanák (2018) observed that while e-RAs in Slovak public construction procurement delivered cost reductions, the number of participating bidders tended to decline as auction complexity increased — indicating structural and behavioural trade-offs. Furthermore, Dráb, Štofa and Delina (2022) in a large-scale dataset of over 11 000 reverse auctions in Central Europe identified that auction savings are significantly mediated by factors such as information asymmetry and auction design settings. Together these findings highlight that while e-RA mechanisms hold substantial potential for cost efficiency, their effectiveness depends critically on market structure, auction parameters and supplier capacity.

The evolution of e-procurement has blurred the traditional distinction between “manual” and “electronic” procurement. Modern procurement architectures now integrate a broad range of digital tools — from e-tendering modules and dynamic purchasing systems to vendor portals and ERP-based contract management platforms. For example, recent reviews of public-sector digitalisation emphasise that transformation involves not only tool deployment but organisational, procedural and governance shifts as well (Ciancarini, Giancarlo & Grimaudo, 2023). In the context of EU procurement platforms, both TED and *EKS* increasingly incorporate e-tendering functionalities and automated workflows. This suggests that the remaining competitive differential between above-threshold and below-threshold publication channels may derive less from technological capacity per se and more from **regulatory architecture** — namely, the procedural obligations and market-access regimes tied to threshold status.

1.4 Research Gap identification

Despite the sophistication of Europe's dual procurement infrastructure, empirical research has yet to establish whether the *threshold-induced platform differentiation*—TED versus national systems—causally affects competition outcomes. Prior studies typically assume that greater transparency universally enhances competition (Transparency International, 2024; OECD, 2011) or focus narrowly on specific sectors such as construction or healthcare (Hanák et al., 2018; Nemec et al., 2020). Few analyses test whether the act of crossing a regulatory threshold itself, triggering mandatory TED publication, generates measurable competitive benefits once self-selection and contract characteristics are controlled for.

This study addresses that gap by applying **causal inference methods**—specifically causal forests (Athey, Tibshirani, & Wager, 2019; Wager & Athey, 2018)—to isolate threshold effects from confounding institutional or market factors. Beyond identifying average effects, the approach enables discovery of **heterogeneous and non-linear responses** across sectors, contract sizes, and regions. The ultimate goal is **policy optimization**: deriving empirically grounded guidance for threshold calibration that balances transparency benefits with administrative efficiency (Athey & Imbens, 2019).

By integrating these empirical insights into the broader framework of European procurement governance, this research contributes to an emerging literature that views thresholds not as static legal constants but as *adaptive policy parameters*—subject to evidence-based refinement in response to digital transformation, administrative capacity, and market evolution (European Court of Auditors, 2023; Tátrai, 2024).

While European public procurement systems are firmly institutionalized through a dual framework—where above-threshold contracts are published on the EU-wide Tenders Electronic Daily (TED) and below-threshold ones on national platforms such as Slovakia's EKS - empirical research still offers limited causal evidence on how these thresholds affect market competition. Existing literature primarily discusses the transparency and efficiency benefits of e-procurement (OECD, 2021; European Commission, 2023) or focuses on specific procurement categories, such as construction or healthcare (Hanák, 2018; Pavel & Sičáková-Beblavá, 2013), rather than isolating the *threshold effect* itself. The absence of causally identified analyses means that it remains unclear whether the formal transition from national to EU-wide publication—mandated by crossing the regulatory threshold—produces measurable competitive gains, or whether similar outcomes could be achieved within national systems at lower administrative cost.

Furthermore, the calibration of these thresholds has evolved largely through incremental policy adjustments and biennial updates linked to inflation (European Commission, 2024), not through systematic evaluation of their economic efficiency or impact on supplier participation. The interplay between transparency, administrative burden, and market access remains under-explored in empirical terms. As highlighted by the European Court of Auditors (2022) and the OECD (2021), policymakers continue to rely on normative assumptions about transparency benefits rather than evidence-based assessments of threshold-driven competition effects.

Our study directly addresses this gap by applying causal inference techniques—specifically causal forests—to estimate the heterogeneous and non-linear effects of above-threshold designation on procurement competition. By deriving empirically grounded, optimized threshold rules, it moves beyond descriptive or sector-specific approaches and contributes to the evidence base for adaptive and efficiency-oriented public procurement policy.

Specifically, the research:

- Fills the void of causally identified effects of above-threshold mandatory TED publication on competition.
- Explores heterogeneity and non-linearities in threshold effects using machine learning-based methods.
- Offers actionable policy optimization by translating empirical findings into threshold adjustment rules.
- Provides comprehensive empirical breadth by analyzing a large dataset spanning diverse procurement categories.
- This bridges a critical knowledge gap in public procurement policy, balancing transparency benefits and administrative costs for improved competition and fiscal efficiency.

Thus, the research addresses the crucial, yet understudied, question: Does above-threshold designation enhance competition and is the current Slovak/EU threshold optimally set for that purpose?

2 Methodology

We analyze 28,175 Slovak public procurement contracts (2023–2025) from EKS (below-threshold) and TED (above-threshold) platforms. Treatment is above-threshold status (mandatory TED publication). Our outcome is **bid spread**: the percentage difference between highest and lowest bids, normalized by winning price — a standard measure of competitive intensity. The binary variable indicating whether the auction was realized in EKS or TED creates quasi-experimental variation and proxy to system and threshold framework, enabling quasi-causal identification.

We employ causal forests (Athey & Wager, 2019) rather than parametric regression because: (1) They avoid functional form assumptions and automatically discover non-linear threshold effects (e.g., competition gains may differ by contract value or buyer type); (2) They reduce confounding bias through orthogonalization—predicting outcome and treatment separately, then estimating effects on residuals; (3) They enable heterogeneous treatment effect (HTE) estimation, revealing that treatment impacts vary across contracts; (4) Estimated HTEs feed directly into policy tree algorithms to derive optimal threshold rules.

We estimate heterogenous treatment effect of, where is bid spread, indicates above-threshold status, and includes contract value, CPV category, buyer type, procedure type, region, and year. We implement the generalized random forest algorithm (R package grf): 2,000 trees, minimum leaf size 10, honest splits to minimize overfitting bias.

We validate through covariate balance tests near threshold for TED reporting, placebo tests on outcomes unaffected by publication channel, and 70/30 cross-validation. Policy tree analysis partitions the covariate space by estimated HTEs, identifying contract subgroups where treatment maximizes welfare (competitive benefit minus administrative cost), and derives an optimal threshold rule comparable to the current categorical rule.

3 Results

Our analysis comprises 28,175 Slovak public procurement contracts (2023–2025) (Table 1): 76.5% published on EKS (below-threshold, N=21,546) and 23.5% on TED (above-threshold, N=6,629). The mean contract value is €48.2K (EKS) vs. €287.5K (TED)—a 5.97-fold difference reflecting the institutional threshold at €70K.

Table 1: Basic Description statistics

Metric	EKS (Below-Threshold)	TED (Above-Threshold)	Interpretation
N contracts	21 546	6 629	-
Mean contract value	€48.2K	€287.5K	TED contracts substantively larger
Mean bid spread	0,1231	0,1755	+5.2 points higher on TED
E-auction usage	100%	18.7%	Both systems use auctions

The **causal forest estimates an average treatment effect (ATE) of +1.98 percentage points** (95% CI: [-0.0008, 0.0405], SE=0.0005). This is our primary finding: **mandatory TED publication increases bid spread by nearly 2 points on average**. In practical terms, this represents a +43% relative increase in competitive intensity (from 0.1231 EKS to 0.1755 TED).

Bid spread reflects the dispersion of submitted bids around the winning price. A higher spread indicates that competing bidders propose heterogeneous prices—evidence of active competition rather than homogeneous or coordinated pricing. TED's EU-wide visibility and standardized contract specifications appear to attract international suppliers offering diverse pricing strategies, thereby intensifying competition at the procurement margin.

However, the ATE masks substantial heterogeneity: **SD(CATE) = 0.0884**, more than four times the mean treatment effect. This signals that the competitive impact of TED designation is **highly context-dependent**—dramatically beneficial for some contracts, neutral or even harmful for others.

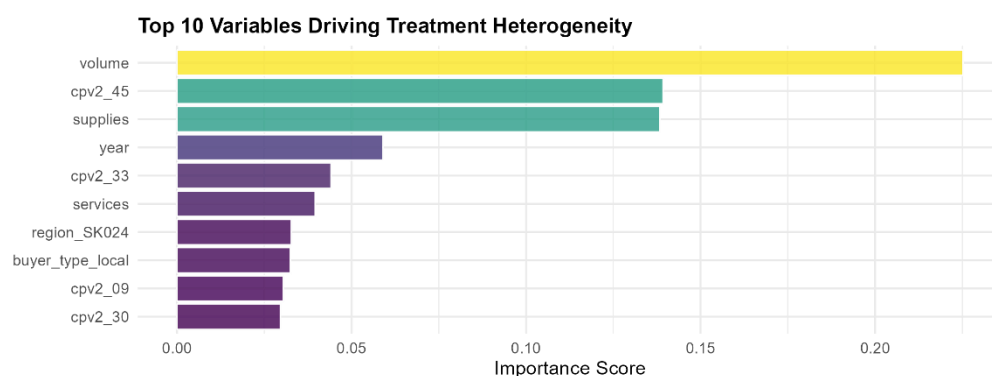


Figure 1: Causal Forest Variable Importance

Source: own processing

In Figure 1 we can see variable importance in terms of predicting treatment heterogeneity. Contract volume overwhelmingly explains CATE variation (60% importance). This immediately suggests that the relationship between TED designation and competition is fundamentally non-linear - small and large contracts respond differently. Construction (CPV 45) and transport equipment (CPV 33) emerge as secondary drivers, indicating that **sector-specific dynamics interact strongly with TED publication effects**.

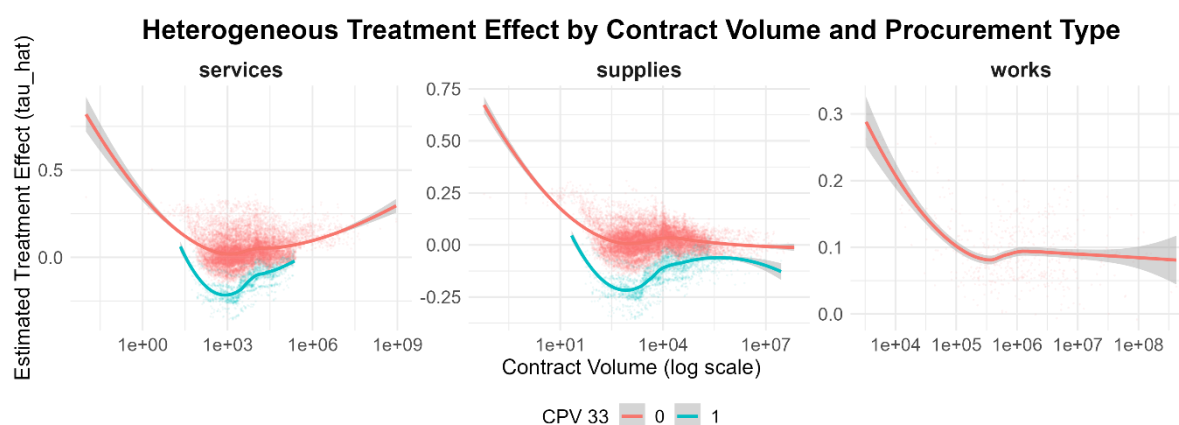


Figure 2: Description of estimated ITEs with LOESS per procurement type and CPV 33 sector

Source: own processing

Figure 2 reveals pronounced sector-specific divergence in procurement competition dynamics that fundamentally challenges universal threshold policies. Across all procurement types (services, supplies, works), healthcare products and services (CPV 33000000—Medical Devices, Pharmaceuticals, and Personal Hygiene Products) exhibit systematically negative or near-zero treatment effects, while non-healthcare procurements (red line) consistently demonstrate positive treatment effects (+0.15–0.40pp) across contract volumes. This heterogeneity may reflect the regulatory and qualification barriers intrinsic to healthcare procurement: stringent GMP certifications, clinical validations, and medical device approvals are largely national-context-specific, meaning TED publication does not materially expand effective bidder pools; instead, it may introduce compliance complexity that discourages participation from specialized vendors already known to procurers, thereby suppressing bid competition. The implication is stark: a sector-agnostic threshold is suboptimal and potentially counterproductive for healthcare, where national systems better preserve competition dynamics. Conversely, non-healthcare services, supplies, and construction consistently benefit from TED system, suggesting that differentiated thresholds by CPV division would yield superior competitive outcomes compared to categorical rules.

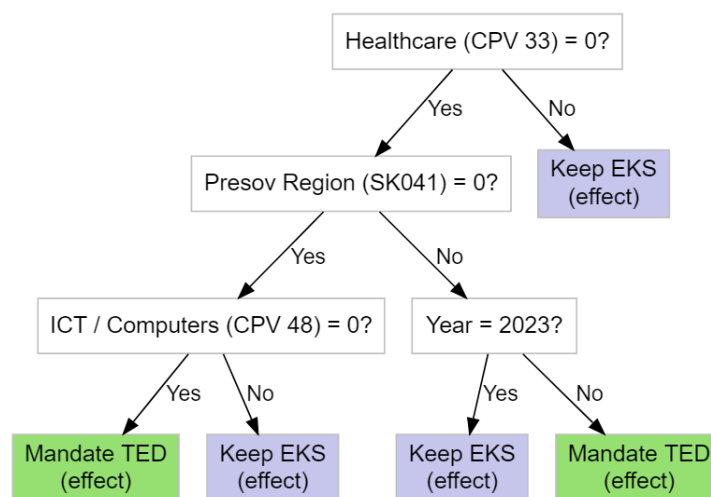


Figure 3: Policy Tree for system usage prediction in order to maximize competition

Source: own processing

Figure 3 operationalizes this heterogeneity through a policy tree that derives optimal system assignment rules conditional on contract characteristics. The tree reveals that procurement platform choice—TED vs. national EKS—should be contingent on three interacting dimensions: (1) sector classification (CPV 33 healthcare products trigger preference for EKS preservation regardless of other factors), (2) geographic region (Prešov region exhibits stronger competitive gains from TED visibility, warranting TED designation), and (3) temporal dynamics (contracts awarded post-2023 show enhanced TED effectiveness, suggesting platform maturation and increased cross-border supplier participation over time). Notably, non-healthcare ICT/computer procurement (CPV 48) in Prešov region benefits from TED designation, while the same CPV category outside this region remains neutral, indicating pronounced regional variation in supplier network structure. These decision rules demonstrate that a universal threshold is fundamentally misaligned with market heterogeneity. Instead, differentiated thresholds based on other strategy or calibrated by CPV division, region, and temporal factors would better optimize procurement competition, confirming that threshold policy should reflect the complex, multidimensional nature of modern procurement markets rather than rely on blunt categorical rules.

4 Discussion

Our primary empirical result—a positive average treatment effect of +1.98 points but with $SD(CATE) = 0.0884$ (more than four times the mean)—reveals that procurement competition response to TED publication is fundamentally heterogeneous. This heterogeneity is not noise or measurement error; it reflects genuine variation in how procurement markets respond to changes in visibility, standardization, and procedural requirements. The policy implication is immediate and consequential: universal threshold policies fail to account for this market structure.

The non-linear pattern observed (moderate effects for small contracts, near-zero for mid-sized, recovery for large) could reflect multiple, possibly simultaneous mechanisms:

- **Contract-Size-Related Participation Costs:** International bidders face fixed costs of EU market entry (regulatory compliance learning, CPV vocabulary familiarity, legal infrastructure). This creates a participation threshold dynamic.
- **Procedural Complexity Variation:** EKS contracts, while requiring standardization, typically employ simpler evaluation mechanisms (often reverse auctions or price-only). TED contracts, subject to EU Directive 2014/24/EU, permit complex multi-criteria evaluation (price + quality + technical specifications + delivery time). Large, complex contracts benefit more from TED's structured evaluation frameworks; small commodities may suffer from procedural overhead.
- **Buyer Sophistication and Effort:** Large-value procurement typically involves more sophisticated procurement teams with resources to evaluate international bids and manage cross-border legal

exposure. Small procurement units (rural municipalities) may lack capacity or incentive to manage TED procedures, better served by simpler national systems.

- **Market Thickness and Supplier Density:** In densely competitive local markets (Bratislava construction, Košice IT services), additional international competition via TED may add little incremental value. In thinner markets (peripheral regions, specialized services), TED's expanded bidder pool has larger marginal impact. All these mechanisms could operate simultaneously and interact with contract characteristics—explaining the heterogeneity.

Our finding that healthcare procurement (CPV 33) exhibits consistently negative or near-zero treatment effects across all contract types and volumes contradicts simplistic narratives that transparency universally enhances competition. This divergence is empirically robust (visible across all three panels of Figure 2) and demands explanation.

Regulatory and Qualification Barriers: Healthcare procurement involves products and services subject to stringent national regulatory approval: GMP (Good Manufacturing Practice) certification, CE marking for medical devices, clinical trial documentation, and national health authority clearance. These certifications are path-dependent and jurisdiction-specific. A supplier certified in Poland may require 6–12 month recertification in Slovakia. When TED publication exposes Slovak procurers to international bidders, many potential participants are legally barred from competing due to certification gaps. Result: the bidder pool does not expand as theory predicts; instead, procurers face a mix of qualified local suppliers and unqualified but interested international firms, creating evaluation complexity and uncertainty that deters robust competition.

Healthcare procurement committees—typically composed of clinicians, epidemiologists, and medical administrators—prioritize clinical safety and efficacy over cost minimization. Sealed-bid evaluation mechanisms (standard on TED) create space for qualitative, subjective assessment that international bidders, unfamiliar with Slovak clinical contexts and health service structures, are poorly positioned to navigate. Local suppliers with established clinical relationships and track records have advantages; international visibility does not overcome this information asymmetry. Result: bid spread contracts (homogenization of pricing) as international bidders either withdraw or match local pricing to compete on quality dimensions.

Healthcare equipment specifications are often highly technical and domain specific. Translation to standardized CPV terminology introduces fidelity loss. International bidders face higher interpretation risk and uncertainty about clinical requirements; this discourages participation or induces conservative (high-cost) bidding to hedge against misinterpretation. Result: bid heterogeneity declines; bids cluster in high-price, high-safety zones.

Healthcare procurement should potentially remain decoupled from universal threshold policy. A sector-specific healthcare threshold (perhaps €200K or higher) may better preserve competition outcomes by acknowledging that regulatory barriers and quality-first evaluation fundamentally alter competitive dynamics compared to commodity procurement.

The policy tree reveals region-specific effects (Prešov region exhibits different patterns than central regions) and temporal evolution (2023 vs. 2024+ contracts show different treatment effects). These findings suggest that peripheral regions (Prešov, eastern Slovakia) have thinner local supplier networks compared to central regions (Bratislava, western Slovakia). For peripheral procurers, TED publication provides disproportionate value by expanding the accessible bidder pool from a dozen local firms to potentially hundreds across the EU. For central procurement authorities, robust local competition already exists; TED adds marginal benefit. This explains why regional variation in treatment effects is empirically expected and reflects true market structure rather than measurement error.

While causal forests reduce confounding through orthogonalization and honest sample splits, structural unobserved confounding remains plausible and threatens causal interpretation:

- **Self-Selection into Procurement Systems:** Procurers choose EKS vs. TED based partly on unobserved factors: perceived corruption risk in their sector, anticipated complexity of contract specifications, and strategic signaling motives. A central government authority procuring high-visibility infrastructure (national hospital renovation) may strategically mandate TED publication to signal competitiveness and

deter collusion. This selection mechanism is unobserved in our data and may bias treatment effects upward if TED-selected contracts are inherently higher-potential-competition contracts.

- **Contract Specification Quality and Completeness:** Above-threshold (TED) contracts are subject to stricter documentation standards under EU Directive 2014/24/EU. Their contract specifications are likely more detailed, precise, and complete than EKS contracts. This specification quality directly affects bid heterogeneity: precise specifications reduce bidder interpretation uncertainty and mechanically increase bid variance (higher spread). This specification-quality effect is distinct from platform-visibility effects but is confounded with TED status. Our causal forest estimator captures the combined effect of (1) visibility expansion + (2) specification standardization, unable to decompose these pathways.
- **Unobserved Procurement Intent and Risk:** Some procurement authorities may have unobserved corruption risk factors (historical audit findings, political pressure, reputational concerns) that drive both TED choice and competition intensity independently. Causal forests cannot control for these hidden confounders if they are not represented in observable covariates.
- **Temporal Confounding:** Economic shocks, supply chain disruptions (post-COVID normalization), or competitive entry waves may correlate with temporal trends (2023 vs. 2024+) independent of platform effects.

To further address confounding, future work should combine causal ML with natural language processing (NLP) and large language model (LLM) approaches to extract latent procurement characteristics from contract text. Specifically deploy transformer-based language models (BERT, GPT-4) to quantify specification complexity, technical jargon density, and ambiguity in contract documents. Extract signals of corruption risk, procurement sophistication, and evaluator expertise from contract language and historical procurement patterns. Use these NLP-derived variables as additional controls in augmented causal forest specifications to isolate platform-visibility effects from specification-quality and procurement-sophistication effects. Implement causal mediation analysis to decompose total treatment effects into: (1) direct pathway (TED visibility increasing bidder participation) vs. (2) indirect pathways (TED standardization improving bid clarity, evaluation transparency reducing corruption).

Such an approach would strengthen causal inference by bringing unobserved confounders into the observable domain via text analysis.

5 Conclusion

This study provides the first causal evidence that procurement thresholds—the contractual value cut offs determining TED vs. EKS publication—significantly correlate with procurement competition outcomes in Slovakia. Using machine learning methods (causal forests and policy trees) on 28,175 contracts, we find a positive average treatment effect of +1.98 percentage points on bid spread, but this masks profound heterogeneity: effects range from +2.05 points for small contracts to +0.10 points for mid-sized contracts, with recovery to +2.8–3.0 points for large contracts. Sector-specific divergence is equally striking: healthcare procurement (CPV 33) exhibits negative treatment effects across all sizes, while non-healthcare services and construction show consistent positive gains.

The heterogeneity we observe—driven by contract volume, sector classification (CPV division), and geographic region—indicates that current threshold policy, which relies on categorical rules is fundamentally misaligned with market complexity. Thresholds are not merely administrative convenience; they encode assumptions about where competition gains outweigh compliance costs. Our analysis reveals these assumptions are held in some contexts (IT, peripheral regions) but fail dramatically in others (healthcare, mid-sized commodities, central regions with thick supplier networks).

The drivers of this heterogeneity remain partially unobserved and merit future investigation. We identify plausible mechanisms—participation costs for international bidders, procedural complexity trade-offs, buyer sophistication, regional supplier density—but cannot definitively decompose their relative contributions using current data. Specification quality differences between TED and EKS platforms, unobserved procurement intent, and sector-specific regulatory barriers likely contribute but remain unmeasured. The policy tree algorithm suggests specific decision rules (e.g., healthcare to EKS regardless of size; Prešov region ICT to TED; mid-sized commodities to EKS), but these recommendations rest on identified patterns, not fully understood causal mechanisms.

The core policy insight is not to prescribe rigid new thresholds, but to acknowledge that thresholds must adapt to market structure.

Rather than replacing the categorical rule with a different fixed number, evidence-based procurement policy should employ sector-differentiated, region-aware, and temporally adaptive thresholds. This analysis does not resolve the threshold question definitively; rather, it reframes it. The research demonstrates that

Thresholds correlate with observed competition outcomes, but observed effects conflate multiple pathways—some related to platform visibility, others to specification standardization, procedural complexity, and unobserved procurement factors.

To refine future policy, work combining causal machine learning with natural language processing (NLP) to extract specification quality and corruption-risk signals from contract text would isolate true visibility effects from structural confounding. Causal mediation analysis could decompose effects into visibility, standardization, and procedural pathways. Cross-national replication would test whether patterns generalize or reflect Slovakia-specific market structures.

Until such evidence accumulates, the practical recommendation is to move from uniform categorical thresholds toward differentiated, data-informed rules calibrated to sector, region, and temporal dynamics. This requires continuous monitoring of procurement outcomes and threshold effects—an evidence-based, adaptive policy cycle rather than static rules set a decade ago and unchanged regardless of market evolution.

References

- Adam, I., Fazekas, M., & Tóth, B. (2021). *Global Public Procurement Open Competition Index: Evidence Paper*. Government Transparency Institute. https://www.govtransparency.eu/wp-content/uploads/2021/09/Adam-et-al_Evidence-paper_procurement-competition_210902_formatted_2.pdf
- Athey, S., & Imbens, G. W. (2019). Machine learning methods that economists should know about. *Annual Review of Economics*, 11, 685–725. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080217-053433>
- Athey, S., Tibshirani, J., & Wager, S. (2019). Generalized random forests. *The Annals of Statistics*, 47(2), 1148–1178. <https://doi.org/10.1214/18-AOS1709>
- Ciancarini, P., Giancarlo, R., & Grimaudo, G. (2023). *Digital transformation in the public administrations: A guided tour for computer scientists*. arXiv preprint arXiv:2305.05551. <https://arxiv.org/abs/2305.05551>
- Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement and repealing Directive 2004/18/EC. *Official Journal of the European Union*, L94, 65–242. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0024>
- Dráb, R., Štofa, T., & Delina, R. (2022). *Analysis of the efficiency of electronic reverse auction settings: Big data evidence*. *Electronic Commerce Research*, 22, 427–450. <https://doi.org/10.1007/s10660-020-09433-0>
- E-Procurement in Self-Governing Regions in Slovakia. (2016). *Lex Localis - Journal of Local Self-Government*, 14(3), 321–335. [https://doi.org/10.4335/14.3.321-335\(2016\)](https://doi.org/10.4335/14.3.321-335(2016))
- European Commission. (2023). *Public Procurement Indicators 2023*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/924471>
- European Commission. (2024). *Update of the EU public procurement thresholds for 2024–2025*. *Official Journal of the European Union*, C 455.
- European Commission. (n.d.-a). *Public procurement – Legal rules and implementation*. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/public-procurement/legal-rules-and-implementation_en
- European Commission. (n.d.-b). *Thresholds – Public procurement*. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/public-procurement/legal-rules-and-implementation/thresholds_en
- European Court of Auditors. (2022). *Special Report 28/2022: Public procurement in the EU – More focus on results needed*. Publications Office of the European Union. <https://www.eca.europa.eu/en/publications>
- European Court of Auditors. (2023). *Special Report 28/2023: Public procurement in the EU – Contracts above and below the EU thresholds*. Publications Office of the European Union. https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-28/SR-2023-28_EN.pdf

- Hanák, T. (2018). *Analysis of construction auctions data in Slovak public procurement*. Archives of Civil Engineering, 62(3), 47–60. <https://doi.org/10.1155/2018/9036340>
- Molander, P. (2014). Public procurement in the European Union: The case for national threshold values. *Journal of Public Procurement*, 14(2), 181–214. 10.1108/JOPP-14-02-2014-B002
- Nemec, J., Kubak, M., Krapek, M., & Horehajova, M. (2020). Competition in public procurement in the Czech and Slovak public health care sectors. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 8(3), 201. doi:10.3390/healthcare8030201
- OECD. (2011). *Competition and procurement: Key findings*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2011/11/competition-and-procurement-key-findings_48813c6d/c6e6d5ae-en.pdf
- OECD. (2021). *Government at a Glance 2021: Public Procurement Chapter*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/1c258f55-en>
- Pavel, J., & Sičáková-Beblová, E. (2013). *Do e-auctions really improve the efficiency of public procurement? The case of the Slovak municipalities*. Prague Economic Papers, 22(1), 111–124. <https://doi.org/10.18267/j.pep.443>
- SIGMA Programme. (2016). *Below-threshold contracts (Policy Brief 15)*. OECD. <https://www.sigmaweb.org/publications/Public-Procurement-Policy-Brief-15-200117.pdf>
- Svidroňová, M. M., Meričková, B. M., & Gondášová, L. (2016). E-procurement in contracting-out of public goods and services: Evidence from Slovakia. *NISPAce Journal of Public Administration and Policy*, 9(1), 57–71. doi:10.1515/nispa-2016-0003
- Tátrai, T. (2024). Intensifying competition in public procurement. *Public Administration Review*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s11115-023-00742-0>
- Transparency International. (2024). *Transparency, accountability and integrity of public procurement systems*. Transparency International Knowledge Hub. https://knowledgehub.transparency.org/assets/uploads/helpdesk/Transparency-accountability-and-integrity-of-public-procurement-systems_2024-English-Version.pdf
- Wager, S., & Athey, S. (2018). Estimation and inference of heterogeneous treatment effects using random forests. *Journal of the American Statistical Association*, 113(523), 1228–1242. <https://doi.org/10.1080/01621459.2017.1319839>

SIMULACE PROVOZU TRAMVAJOVÉHO PŘESTUPNÍHO UZLU OVLIVNĚNÉHO PROVOZEM SVĚTELNĚ ŘÍZENÉ KŘÍŽOVATKY

Ing. Robert HACKENBERG
doc. Ing. Michal DORDA, Ph.D.

VSB – Technical University of Ostrava
Faculty of Mechanical Engineering
17. listopadu 2172/15
708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic

robert.hackenberg@vsb.cz
michal.dorda@vsb.cz

Key words

simulation, crossroad, stop, tram, delay, transfer, intervals

Abstract

The article describes the behaviour of tram traffic at the Karolina stop in the center of Ostrava, where traffic is very strong. Using the model, we model vehicle arrivals according to the obtained histograms. The Witness modelling program will show us how the cars behave at the stop and when the vehicles gather in front of the stop. They then wait for service.

1 Úvod

Cílem článku je modelovat proces odbavení hromadných dopravních prostředků v přestupním uzlu Karolina v Ostravě, který je klíčovým přestupním bodem celé tramvajové sítě města a analyzovat dopady okolního provozu na pozemních komunikacích (zejména přilehlé křižovatky) na tento proces. Současné znalosti ukazují, že nepravidelnosti a zpoždění v provozu tramvají mohou významně ovlivnit plynulost dopravy, zejména v době přepravní špičky. Model, který umožňuje monitorovat vznik nepravidelností (zejména zpoždění) tramvajových spojů v přestupním uzlu, byl vytvořen s využitím simulačního software Witness. Výsledky simulace provozu umožňují poskytnout základ pro případnou následnou optimalizaci, která by mohla přinést zvýšení plynulosti odbavení.

2 Popis přestupního uzlu Karolina

Přestupní uzel Karolina se nachází v centru města Ostravy a obsluhují jej všechny páteční tramvajové linky ze všech městských částí statutárního města Ostrava. Proto také patří k nejvytíženějším úsekům v tramvajové síti. Dopravce (DPO) dbá na to, aby v této části tramvajové sítě nedocházelo ke zbytečným zpožděním. Je nutné také uvést, že případný vznik mimořádnosti v tramvajové dopravě v přestupním uzlu Karolina má za následek negativní dopady na provoz v ostatních částech tramvajové sítě a s následným zpoždění asi na 70 % spojů.

Poloha přestupního uzlu lze znázorněna na fragmentu sítě tramvajových linek, viz obrázek 1, pohled na přestupní uzel je znázorněn na obrázku 2 a fragment mapy s vyznačením uzlu a přilehlé křižovatky je znázorněn na obrázku 3.



Obrázek 1 ... schéma fragmentu tramvajové sítě s vyznačením přestupního uzlu



Obrázek 2 ... pohled na přestupní uzel Karolina v řešeném směru



Obrázek 3 ... řešená zastávka s přilehlou křižovatkou

Přestupní uzel také integruje více druhů dopravy a to tak, že u stejného nástupiště zastavují tramvajové soupravy i autobusy. Daný přestupní uzel obsluhuje 10 linek, z nichž 9 je tramvajových a 1 autobusová. Přehled linek obsluhujících přestupní uzel Karolina je uveden v tabulce 1.

K přestupům cestujících mezi spoji tramvajových linek dochází v obou směrech, k simulaci provozu byl vybrán směr z přestupního uzlu do zastávek Elektra a Výstaviště. Jednak tento směr je více ovlivněn čtyřramennou světelnou křižovatkou snižující plynulost tramvajové dopravy a také proto, že spoje jednotlivých linek jedoucí v tomto směru nepřijíždějí přesně v intervalech stanovených jízdním řádem, což je způsobeno značným rozsahem provozu na pozemních komunikacích ovlivňujícím tramvajový provoz na části tras linek předcházejících vstupu do přestupního uzlu. Opačný směr v tramvajové dopravě zásadní nepravidelnosti negeneruje.

Tabulka 1 ... přehled linek obsluhujících přestupní uzel Karolina

Číslo linky	Druh dopravního prostředku	Trasa linky z konečné zastávky do přestupního uzlu	Doba jízdy z konečné zastávky do přestupního uzlu [min]
1	tramvaj	Dubina – Důl Jeremenko – Dolní Vítkovice	18
2	tramvaj	Výškovice – Vítkovice – Dolní Vítkovice	23
4	tramvaj	Martinov – Svinov mosty – Mariánské náměstí	26
6	tramvaj	Výškovice – Důl Jeremenko – Dolní Vítkovice	22
8	tramvaj	Poruba – Svinov mosty – Mariánské náměstí	27
10	tramvaj	Dubina – Důl Jeremenko – Dolní Vítkovice	17
11	tramvaj	Zábřeh – Hulvácká – Mariánské náměstí	34
12	tramvaj	Dubina – Vítkovice – Mariánské náměstí	27
18	tramvaj	Dubina – Hulvácká – Mariánské náměstí	25
99	autobus	Bazaly – Most M. Sýkory – Městská nemoc.	16

Z hlediska výskytu nepravidelností provozu v přestupním uzlu je zásadní časový interval 7:00 – 17:00, kdy je tramvajový provoz v přestupním uzlu nejintenzivnější. Proto byla také z dalšího zpracování vyloučena linka č. 18, která je v provozu pouze v nočních hodinách.

3 Obecně o simulaci

Definice pojmu **simulace** lze v odborné literatuře najít více:

Simulace je proces tvorby modelu reálného systému a provádění experimentů s tímto modelem za účelem dosažení lepšího pochopení chování studovaného systému či za účelem posouzení různých variant činnosti systému (Shannon).

Numerická metoda, která spočívá v experimentování s matematickými modely dynamických reálných systémů na číslicových počítačích (Naylor).

Simulace je technika, která nahrazuje zkoumaný dynamický systém jeho modelem s cílem získat informace o systému pomocí experimentu s modelem (Dahl). [2]

V matematice a kybernetice je simulace (spíše počítačová simulace) chápána jako vědecká metoda, při které se zkoumají vlastnosti nějakého systému pomocí experimentů s jeho modelem. Počítačová simulace je simulace, při níž je modelem počítačový program, který se simuluje abstraktní model určitého systému. Úkolem simulačního programu je zjistit, jak se bude systém chovat pro zadaná vstupní data. Primárním úkolem je provést simulaci, tedy napodobit chování modelovaného systému za účelem získání představy o chování tohoto systému.

Uživatel může provádět se simulačním programem opakované simulační experimenty s cílem zjistit očekávané výsledky pro různé sady vstupních dat a nalézt tak řešení problému, které se bude co nejvíce blížit simulovanému reálnému procesu.

Další velkou výhodou simulačních modelů je možnost značné variability struktury simulovaného systému. Některé prvky či podsystémy mohou být nastaveny variabilně a celý proces může být opakován. Takto lze vlastně vytvářet velké množství možností. Lze také ověřit chování simulovaného systému v různých nestandardních situacích, které mohou v reálném provozu nastat.

Počítačová simulace provozu v řešeném přestupním uzlu proběhla v simulačním software Witness určeného pro simulaci systémů diskrétních událostí. Pro stavbu simulačního modelu v programu Witness musí být definovány následující prvky.

Part ... součást, v simulačním modelu budou součástí reprezentovat konkrétní soupravy odbavované v přestupním uzlu v řešeném směru.

Machine ... stroj, který provádí operaci v simulačním modelu, bude reprezentovat stání souprav v přestupním uzlu z důvodu výstupu a nástupu cestujících.

Buffers ... zásobník, který bude do stroje posílat jednotlivé prvky, v simulačním modelu, bude reprezentovat soupravy přijíždějící do přestupního uzlu.

Distribution ... pravděpodobnostní rozdělení reprezentující v simulačním modelu nepravidelnosti provozu na vstupu.

4 Zdrojová data – data z palubních počítačů

Pro zkoumání chování provozu a vzniku nepravidelností v provozu byla využita data z palubních počítačů, kterými jsou vozidla DPO vybavena, a která zaznamenávají data o provozu, mj. přesné časové okamžiky zavření dveří souprav na zastávce. Časy zavření dveří na zastávce budou považovány za časy odjezdů souprav z přestupního uzlu. Při výběru konkrétní zastávky v daném období (v tomto případě přestupního uzlu Karolína) lze uskutečnit export těchto dat do programu MS Excel, viz obrázek 4.

Audit	Datum	Čas	linka	kurz	id zast	Řidič	zpozde
Audit_1004.2021-10-02.csv	2. říjen 2021	2331	2	31901	11502	10128	97
Audit_1004.2021-10-03.csv	3. říjen 2021	113	2	31901	11502	10128	154
Audit_1004.2021-10-03.csv	3. říjen 2021	312	2	31901	11502	10128	83
Audit_1004.2021-10-03.csv	3. říjen 2021	451	2	31901	11502	10128	32
Audit_1004.2021-10-13.csv	13. říjen 2021	2330	2	31901	11502	11481	19
Audit_1004.2021-10-14.csv	14. říjen 2021	111	2	31901	11502	11481	31
Audit_1004.2021-10-14.csv	14. říjen 2021	311	2	31901	11502	11481	40
Audit_1004.2021-10-15.csv	15. říjen 2021	212	2	31902	11502	10829	84
Audit_1004.2021-10-15.csv	15. říjen 2021	412	2	31902	11502	10829	63
Audit_1004.2021-10-19.csv	19. říjen 2021	2330	2	31901	11502	11783	26

Obrázek 4 ... ukázka vyexportovaných dat

Jednotlivé sloupce obsahují následující data:

- sloupec „Audit“ – název souboru zdrojových dat, který se načítá do Power BI;
- sloupec „Datum“ – datum, ze kterého dne pochází naměřená data;
- sloupec „Čas“ – čas, kdy se daná událost stala, časová hodnota pro potřeby DPO je převedena na celé číslo ve formátu hodiny x 100 + minuty;
- sloupec „linka“ – číslo obsluhující linky;
- sloupec „kurz“ – kurzovní číslo směny / soupravy, jedná se o interní označení vypravených souprav a směn řidičů;
- sloupec „id zastav“ – identifikační číslo zastávky a konkrétního označníku;
- sloupec „Řidič“ – osobní číslo řidiče;
- sloupec „zpoždění“ – zpoždění spoje v sekundách, v případě záporného čísla se jedná o náskok, který je povolen maximálně do hodnoty 10 sekund.

Výsledkem filtrace dat vzniklo 9 samostatných datových sad (pro každou linku zvlášť), které byly následně podrobeny statistické analýze. Zjišťoval se rozsah zpoždění jednotlivých spojů a jejich jednotlivé rozestupy.

5 Zpracování dat pro další analýzu

Nejdříve je nutno stanovit, jaká data jsou důležitá z pohledu tvořeného simulačního modelu. Klíčovým sledovaným údajem vstupujícím do simulačního modelu je zpoždění jednotlivých spojů. Proto musí být kvantifikovány rozdíly mezi pravidelnými časy odjezdů (časy odjezdů podle jízdního řádu) a skutečnými časy odjezdů. Následně ze skutečných časů odjezdů vypočítáme skutečné intervaly mezi jednotlivými spoji stejných linek. Výpočty byly prováděny pro každou linku samostatně, viz obrázek 5.

Audit	Datum	Čas	linka	kurz	id zastavka	Řidič	zpoždění2	Čas (s)	Zpoždění	Reálný	Rozestup
Audit_1651.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	712	1	11104	11502	7912	96	25920	36	25956	519
Audit_1370.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	722	1	12108	11502	11476	91	26520	31	26551	595
Audit_1507.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	733	1	11101	11502	8071	165	27180	45	27225	674
Audit_1653.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	742	1	11105	11502	11149	64	27720	4	27724	499
Audit_1341.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	753	1	11102	11502	11480	124	28380	4	28384	660
Audit_1027.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	801	1	11106	11502	9179	52	28860	52	28912	528
Audit_1508.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	812	1	11103	11502	9180	93	29520	33	29553	641
Audit_1024.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	824	1	12107	11502	7616	203	30240	23	30263	710
Audit_1651.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	834	1	11104	11502	7912	188	30840	8	30848	585
Audit_1370.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	842	1	12108	11502	11476	99	31320	39	31359	511
Audit_1507.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	852	1	11101	11502	8071	94	31920	34	31954	595
Audit_1653.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	901	1	11105	11502	11149	8	32460	8	32468	514
Audit_1341.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	912	1	11102	11502	11480	67	33120	7	33127	659
Audit_1027.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	922	1	11106	11502	9179	74	33720	14	33734	607
Audit_1508.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	931	1	11103	11502	9180	57	34260	57	34317	583
Audit_1024.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	943	1	12107	11502	7616	177	34980	57	35037	720
Audit_1651.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	954	1	11104	11502	7912	220	35640	40	35680	643
Audit_1370.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	1002	1	12108	11502	11476	67	36120	7	36127	447
Audit_1507.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	1013	1	11101	11502	8071	137	36780	17	36797	670
Audit_1653.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	1021	1	11105	11502	11149	35	37260	35	37295	498
Audit_1341.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	1032	1	11102	11502	11480	97	37920	37	37957	662
Audit_1027.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	1042	1	11106	11502	9179	82	38520	22	38542	585
Audit_1508.2021-10-01.csv	1. říjen 2021	1052	1	11103	11502	9180	85	39120	25	39145	603

Obrázek 5 ... zpracovaná data (ukázka)

Následující příklad ukazuje výpočet pro linku č. 1. Ve srovnání s obrázkem 4 byly zařazeny další výpočtové sloupce. Je totiž potřeba vypočítat i další časové údaje, které usnadní výpočet a další zpracování dat. Například rozestup mezi spoji, převedení času na sekundy a jiné.

Když jsou vypočítány hodnoty skutečných intervalů mezi spoji jednotlivých linek za celé monitorované období, postupuje se dále standardním způsobem podle zásad statistického zpracování naměřených dat. Bylo započato identifikací a následným vyloučením dat, která mají charakter odlehlých pozorování. Např. byly vyloučeny rozestupy mezi spoji v extrémně krátkých rozestupech (2 – 3 s), které byly například způsobeny dopravními komplikacemi v provozu. Další odlehlá pozorování mohou být způsobena testováním systému v dílnách údržby a rovněž zaznamenávají do LOG souborů v systémech a následně jsou tedy rovněž vyexportována do výsledných souborů, které jsou předmětem statistického zpracování.

Pro vyloučení odlehlých pozorování ze statistického souboru byl využit Grubbsův test [3]. Samotné testování podle Grubbsova testu probíhá ve čtyřech krocích.

- naměřená data jsou uspořádána vzestupně;
- jsou vypočteny aritmetický průměr $\bar{x}$ a směrodatná odchylka s ze všech hodnot souboru;
- je vypočítána hodnota testovacího kritéria pro každou hodnotu variační řady:

$$T_n = \frac{|X_n - \bar{x}|}{s}; [3]$$
- hodnota vypočítaného testovacího kritéria je porovnána s tabulkovou kritickou hodnotou pro příslušné n reprezentující rozsah výběrového souboru.

Při identifikaci odlehlých pozorování bylo částečně vycházeno z Grubbsova testu v kombinaci s doplňkovou analýzou zaměřenou na posouzení relevance vstupních dat označených Grubbsovým testem jako odlehlá pozorování. Výsledkem kombinace obou metod bylo zjištění, že za odlehlá pozorování se dají považovat hodnoty, ležící za kritickou hodnotou „3“.

Všechny vypočítané hodnoty s testovacím kritériem větším než „3“ byly vyloučeny. Také se ukázalo, že vyloučené hodnoty jsou opravdu extrémního rázu, případně nevznikly pravidelným provozem. Tím byly získány výběrové soubory očištěné od odlehlých pozorování a mohlo být přistoupeno k dalšímu zpracování dat.

Rozsahy souborů a odpovídající počty tříd podle jednotlivých linek očištěné od odlehlých pozorování jsou shrnuty v tabulce 2.

Tabulka 2 ... rozsahy souborů v přestupním uzlu Karolina po očištění od odlehlých pozorování

Číslo linky	1	2	4	6	8	10	11	12	99
Rozsah souboru	1 003	1 209	1 143	41	2 382	368	561	1 089	475
Počet tříd	15	18	18	6	15	15	15	15	15

Tramvajové linky č. 6, 10 a 11 jsou provozovány přes řešený přestupní uzel pouze v přepravní špičce. Linka č. 6 má dvojnásobný interval, proto do oblasti našeho pozorování zasahuje je 41 spojů. Totéž platí pro autobusovou linku č. 99, která vykazuje také nízký počet spojů.

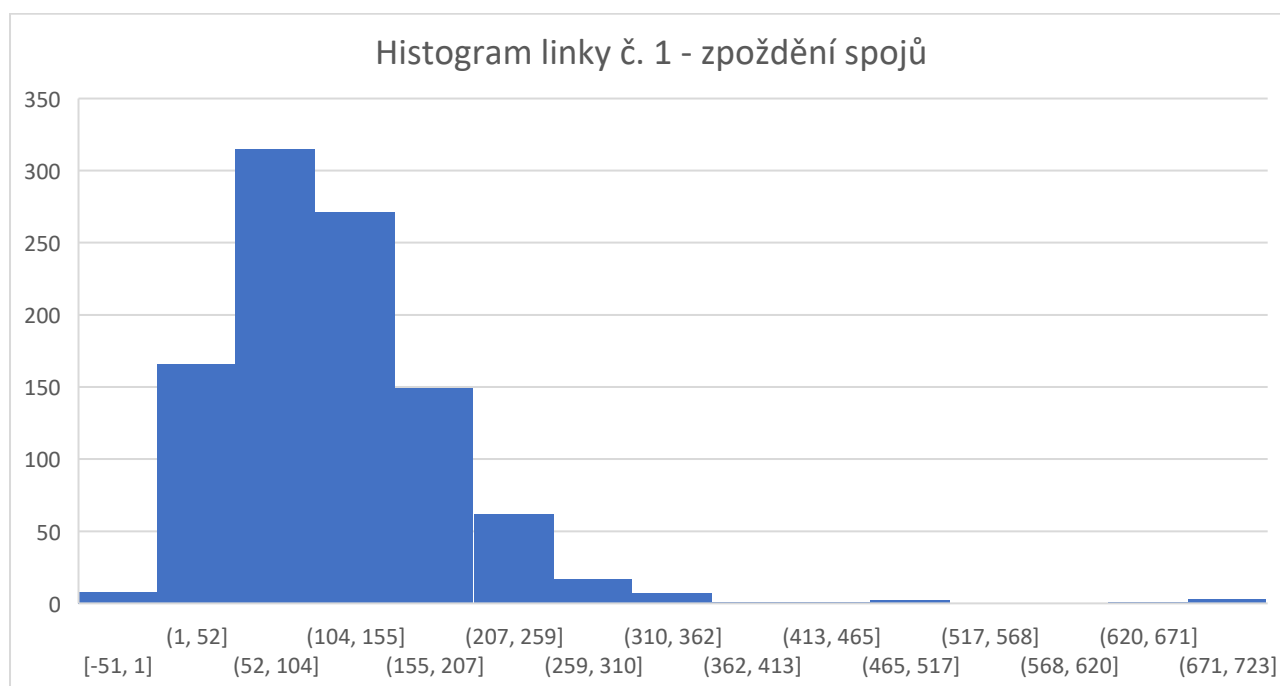
6 Histogramy a rozdělení dat do tříd

Podle [2] byl zvolen počet tříd 15. Při volbě počtu tříd se zpravidla postupuje podle některého z pravidel uveřejněných ve statistické literatuře nebo je vycházeno z rozsahu naměřených dat v souborech na základě dlouholetých zkušeností. Statistická literatura nejčastěji uvádí 3 pravidla pro stanovení doporučeného počtu tříd:

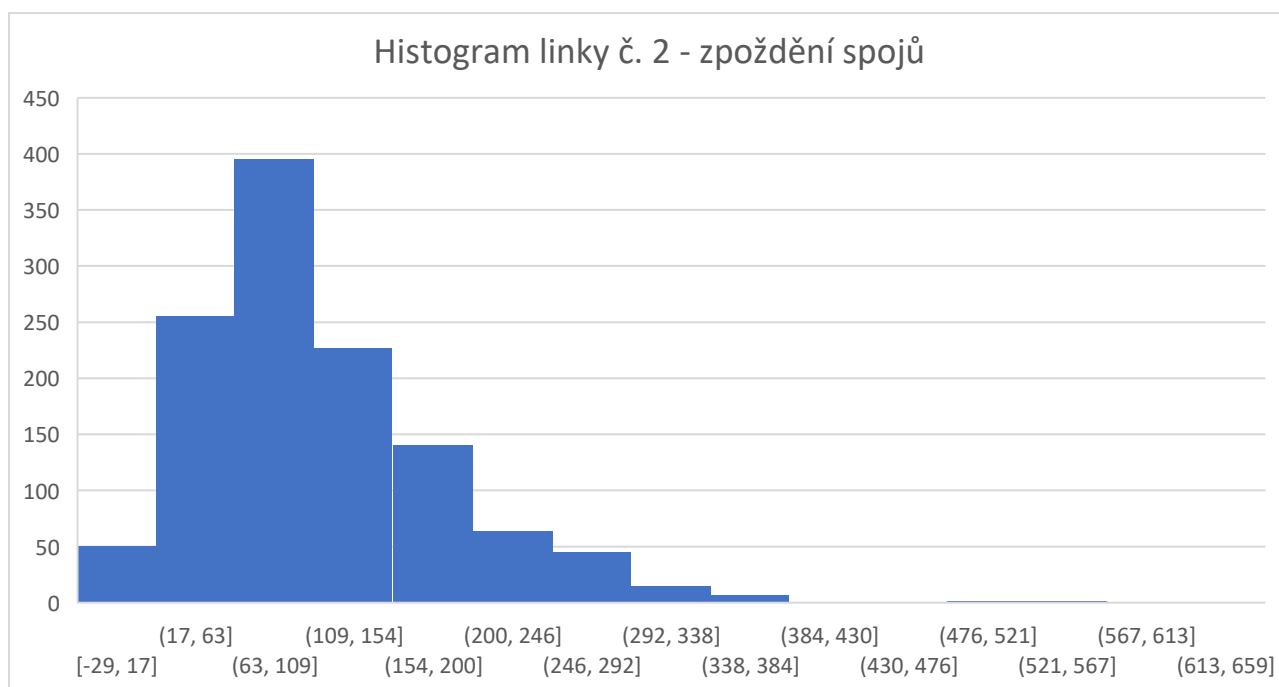
- (i) $n \doteq 1 + 3,33 \cdot \log N$
- (ii) $n \leq 5 \cdot \log N$
- (iii) $n \doteq \sqrt{N}$

Při stanovení počtu tříd bylo vycházeno z doporučení publikovaného například v [2]. Počet tříd byl stanoven ve výši 15 pro všechny linky, vyjma linky č. 2. V případě linky č. 2 a č. 4 byl počet tříd stanoven výpočtem na 18. Rozdělení do vyššího počtu tříd lépe charakterizovalo nepravidelnosti v provozu na těchto linkách. Linka č. 6 vzhledem ke svému nízkému počtu spojů má adekvátně nižší počet tříd.

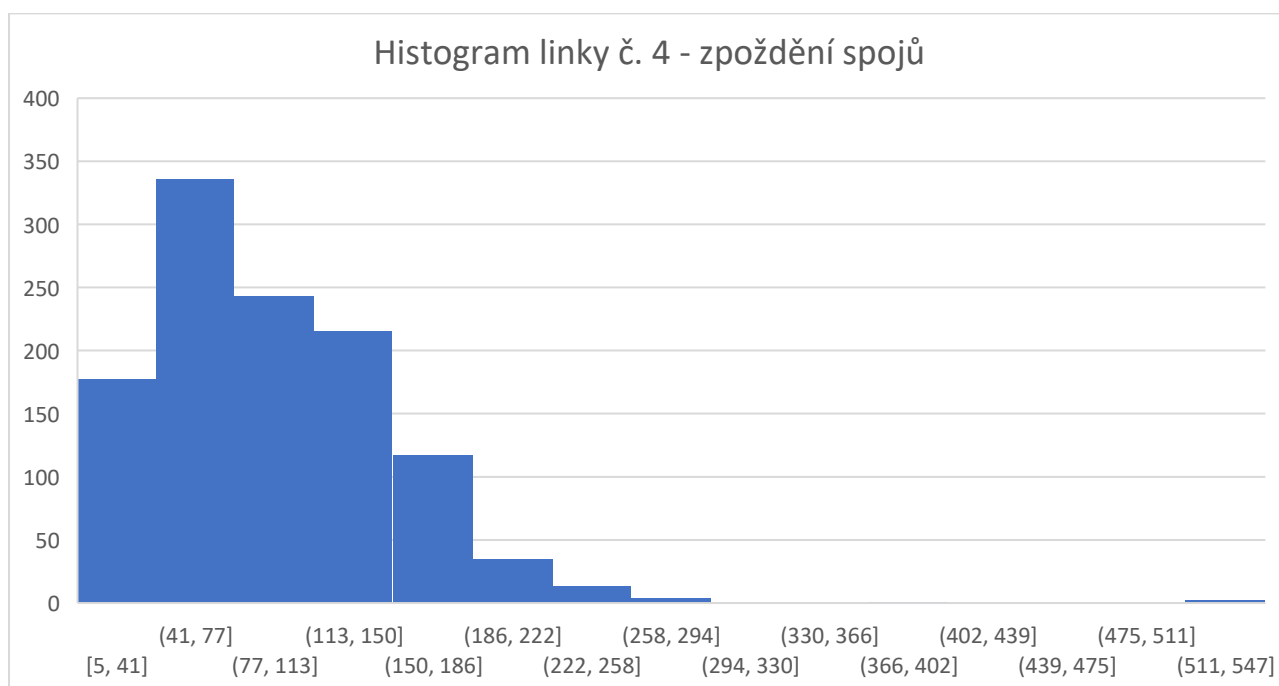
Histogramy intervalů mezi spoji jednotlivých linek přijíždějícími do přestupního uzlu jsou znázorněny na obrázcích 6 – 14.



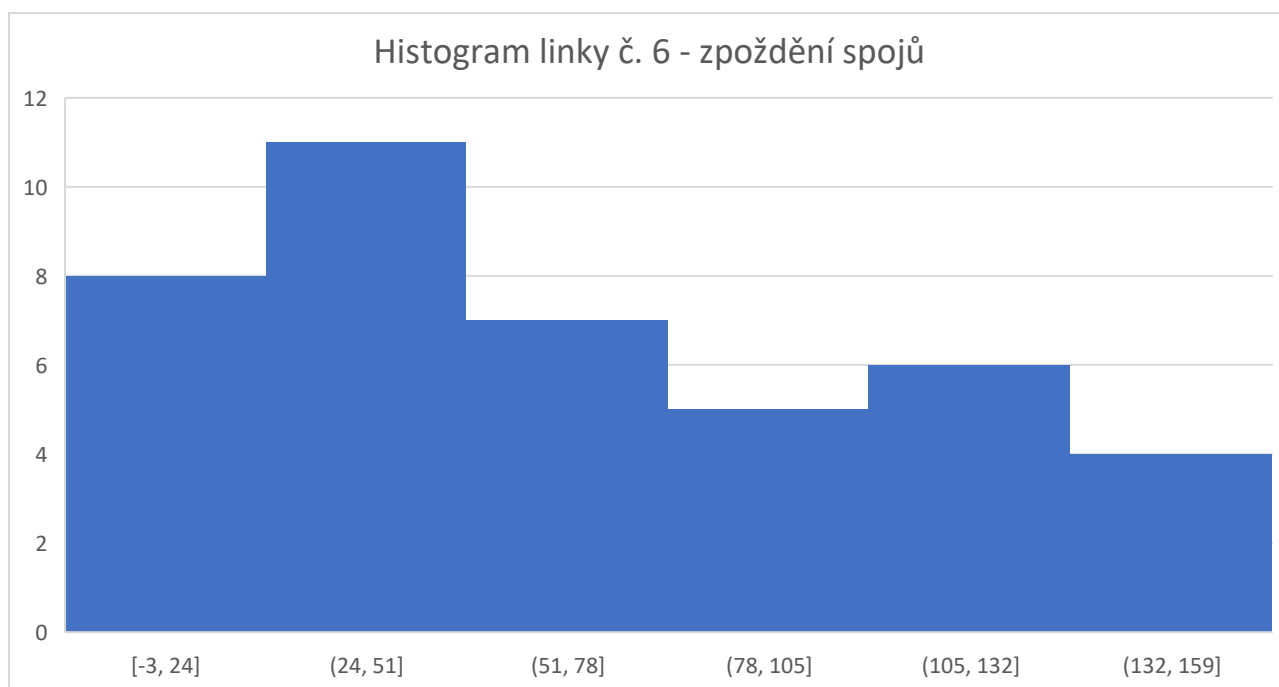
Obrázek 6 ... histogram zpoždění spojů linky č. 1



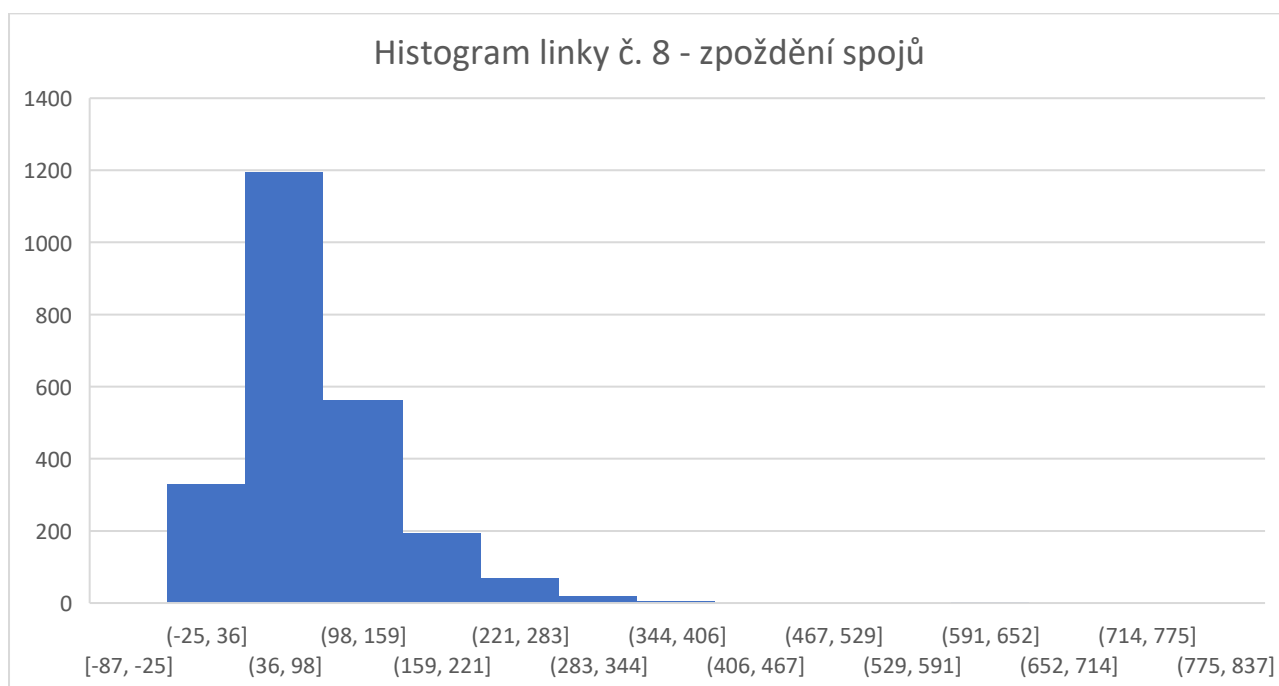
Obrázek 7 ... histogram zpoždění spojů linky č. 2



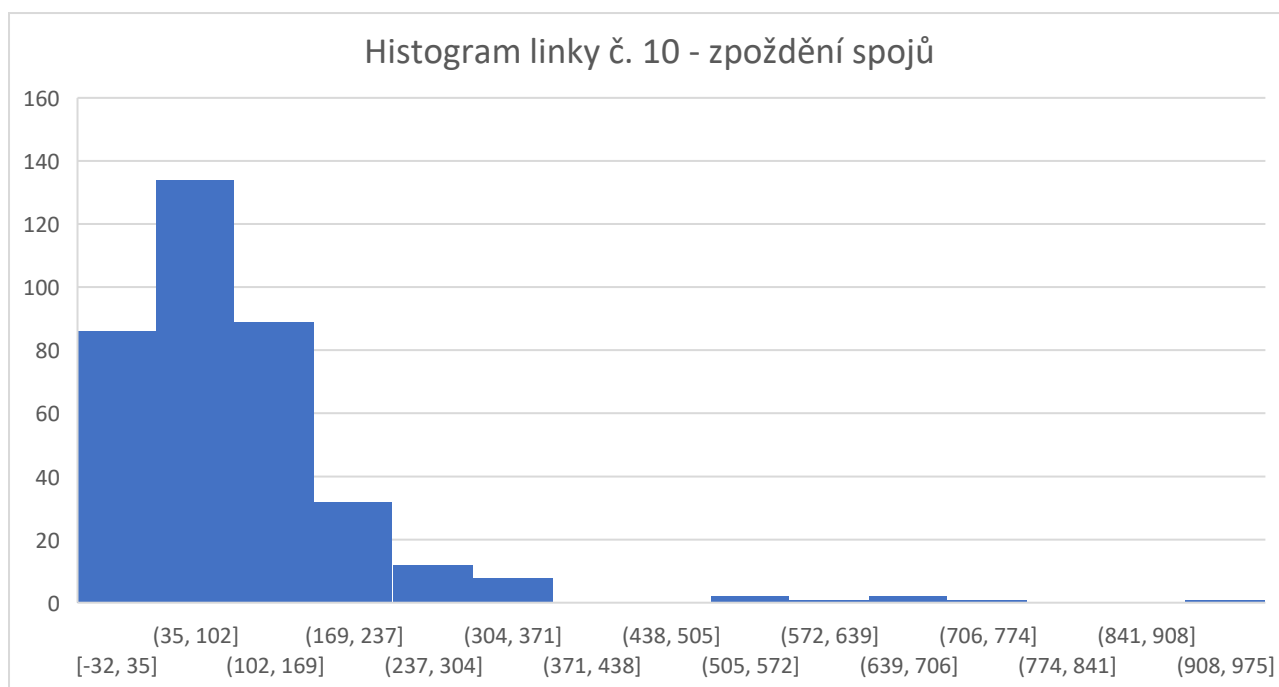
Obrázek 8 ... histogram zpoždění spojů linky č. 4



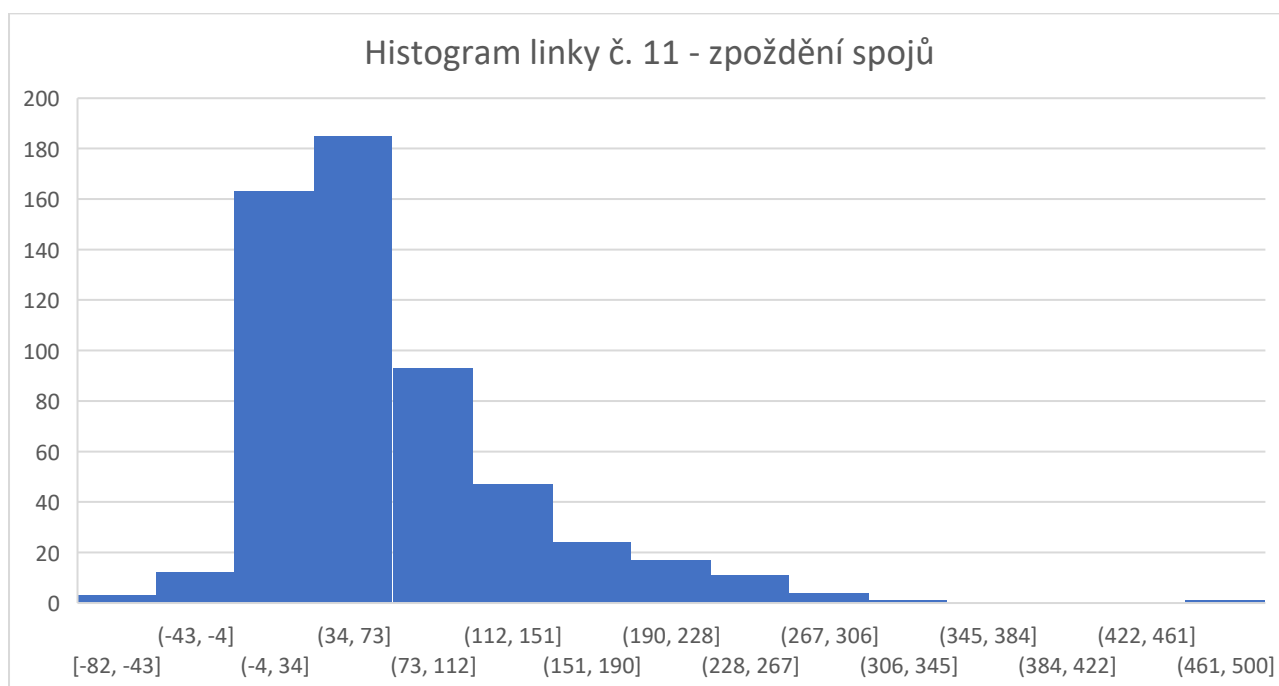
Obrázek 9 ... histogram zpoždění spojů linky č. 6



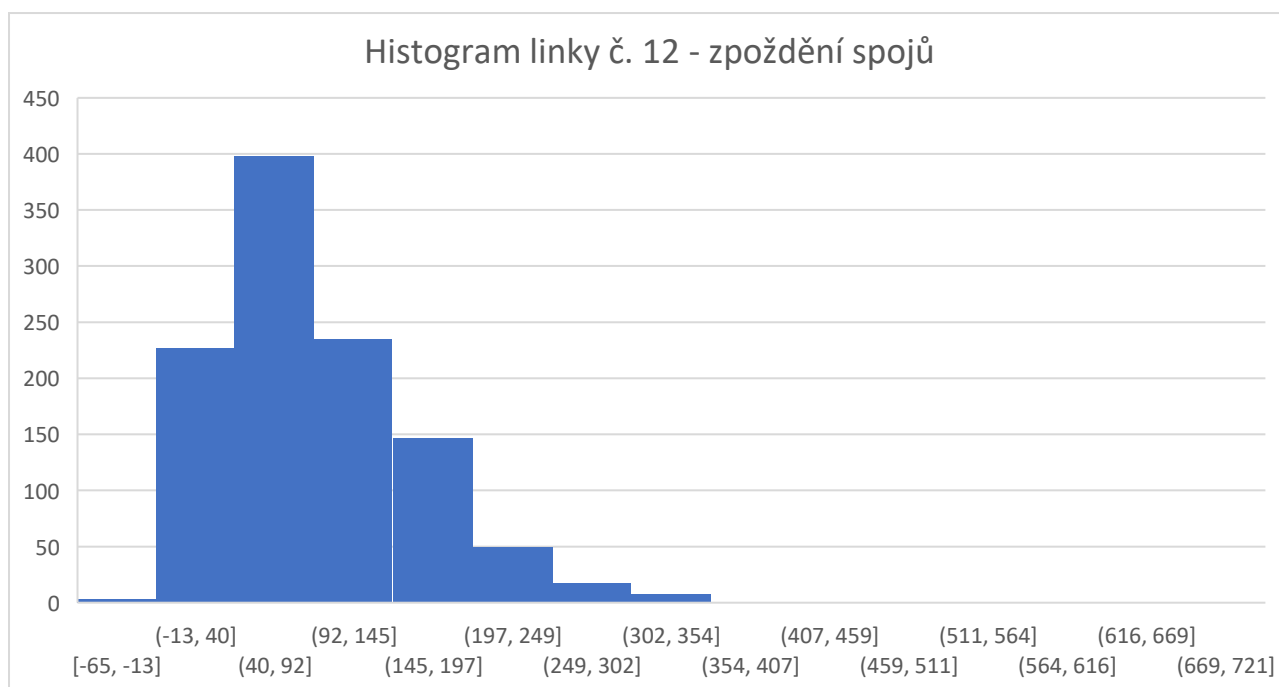
Obrázek 10 ... histogram zpoždění spojů linky č. 8



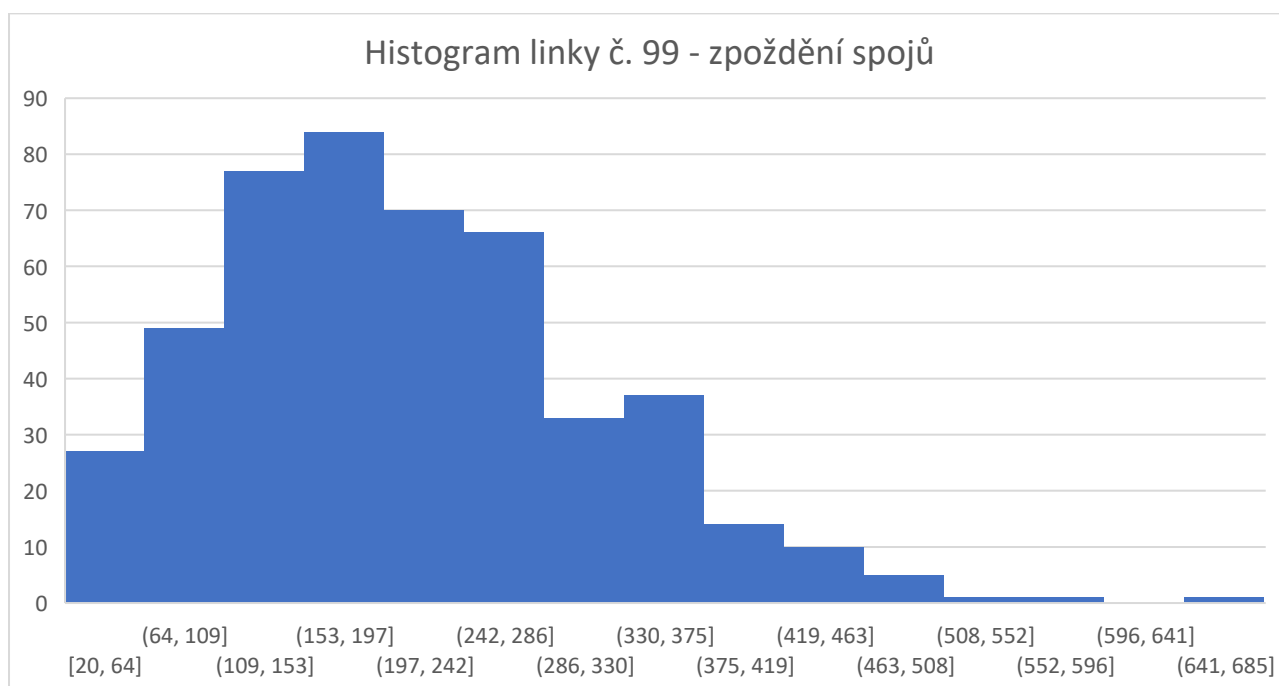
Obrázek 11 ... histogram zpoždění spojů linky č. 10



Obrázek 12 ... histogram zpoždění spojů linky č. 11



Obrázek 13 ... histogram zpoždění spojů linky č. 12

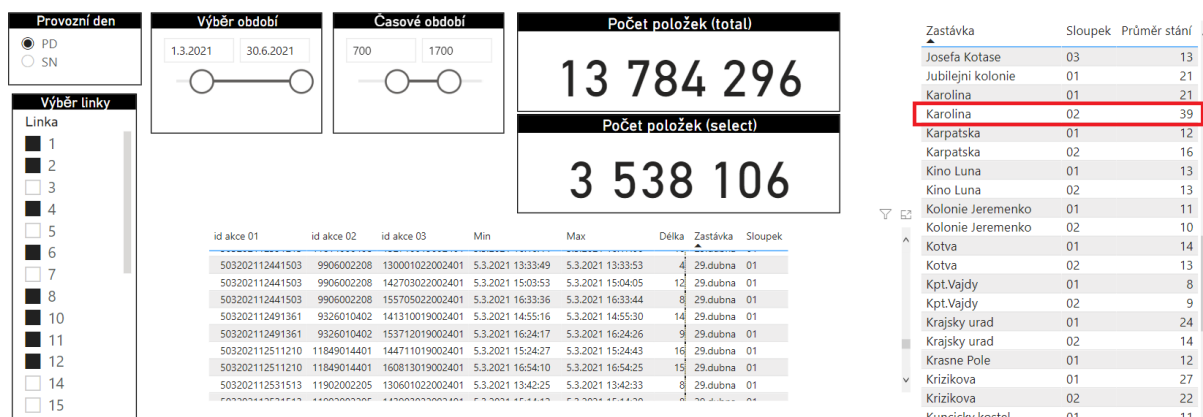


Obrázek 14 ... histogram zpoždění spojů linky č. 99

Tím jsou k dispozici informace o vstupech součástí ke stroji (příjezdech tramvajových souprav a autobusů k přestupnímu uzlu).

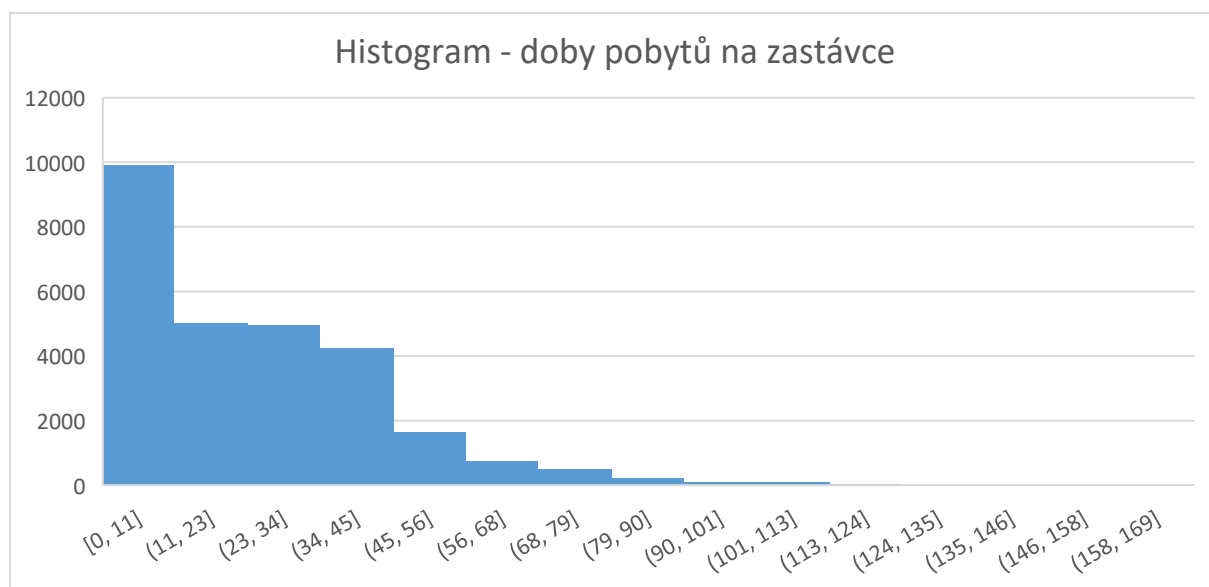
7 Data z Power BI

Dalším důležitým úkolem je zjištění informací o skutečných dobách pobytů tramvajových souprav v přestupním uzlu. Pro zjištění této hodnoty byla použita opět data z palubních počítačů vozidel DPO. Zdrojem dat byly informace v systému Power BI uchovávané data o vyhodnocování stání vozidel na jednotlivých zastávkách MHD v Ostravě za účelem zjištění, zda nedochází k většímu zdržení v dopravě. Šetření probíhalo v období o délce 5 měsíců. Fragment struktury informací je uveden na obrázku 15. Ze všech dat v systému Power BI [1] je potřeba vyfiltrovat data týkající se přestupního uzlu ve zvoleném období a denní době.

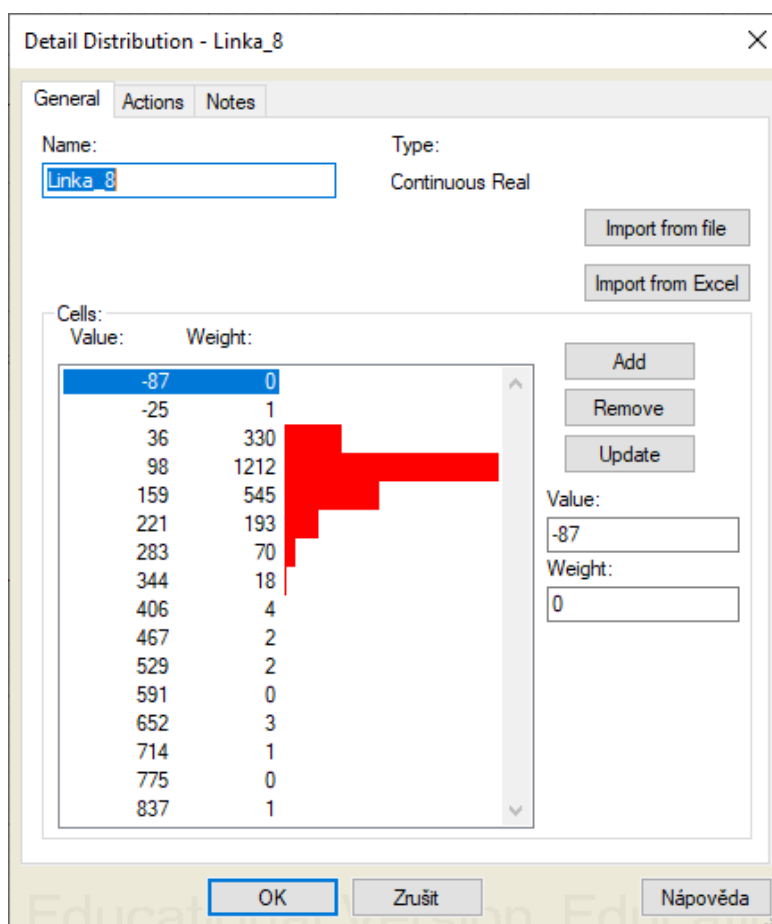


Obrázek 15 ... vyhodnocení dob pobytů na zastávkách – Power BI

Tímto detailem byla zjištěna průměrná hodnota skutečné doby pobytu souprav v přestupním uzlu Karolina, která činila 39 sekund.

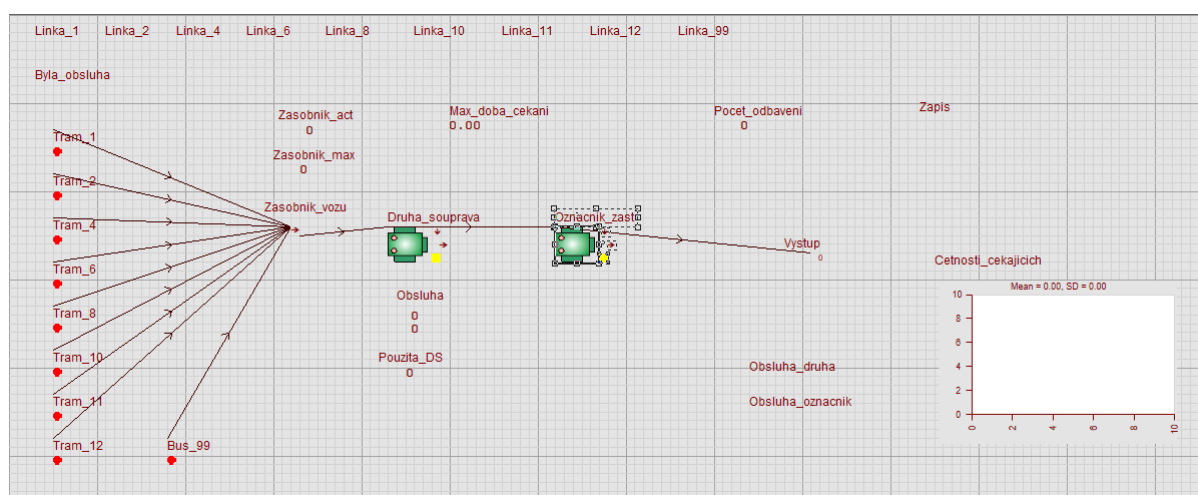


Obrázek 16 ... histogram dob pobytů na zastávce v přestupním uzlu Karolina



Obrázek 17 ... ukázka vstupních dat, rozdělení do jednotlivých tříd

Informace z histogramů budou následně nadefinovány do prvku „Distribution“ v simulačním software Witness.



Obrázek 18 ... struktura sestaveného simulačního modelu v SW Witness

Sestavený model funguje následovně. Má nadefinováno devět rozdělení, samostatné rozdělení pro každou linku. Prvky jsou pojmenovány „Linka_1“, „Linka_2“ a dále následovně podle jednotlivých linek projíždějících uzlem. Prvky pojmenované „Tram_1“, „Tram_2“ a další, představují prvky, které na základě nadefinovaného rozdělení vysílají soupravy do modelu. Jinak řečeno, jsou zásobníky jednotlivých

tramvajových linek a jedné autobusové linky. Položka „Zasobnik_vozu“ představuje virtuální čekací místo pro soupravy obsluhující spoje jednotlivých linek.

Protože stavební délka přestupního uzlu Karolina může současně odbavovat maximálně dvě soupravy, jsou do modelu zařazeny dva stroje – stroj pojmenovaný jako „Oznacnik_zast“ reprezentuje odbavení soupravy přímo u označnicku zastávky a pokud další souprava zastaví v přestupním uzlu jako druhá v pořadí a je v tomto pořadí odbavována, aktivuje se druhý stroj pojmenovaný „Druha_souprava“.

Navíc je zde ještě podmínka, že pokud probíhá odbavení u stroje pojmenovaného jako „Druha_souprava“, nemůže do systému vstoupit další prvek typu součást (souprava) a to i v případě, že stroj pojmenovaný „Oznacnik_zast“ nekoná práci a nic nezpracovává. Platí, že pořadí prvků typu součást v průběhu zpracování nelze měnit, protože soupravy vjíždějící do přestupního uzlu v řešeném směru za sebou se nemohou předjíždět.

Poslední podmínka zajistí, že pokud přijede vůz s náskokem, vyčkává v zastávce do času svého pravidelného odjezdu podle jízdního řádu.

V modelu se dále vyskytují proměnné, kde sledují stav systému a jeho chování.

„Zasobnik_act“ – počet souprav aktuálně čekajících na obsluhu v systému.

„Zasobnik_max“ – maximální počet souprav, které čekaly na obsluhu v systému z důvodu zaneprázdnění stroje „Druha_souprava“.

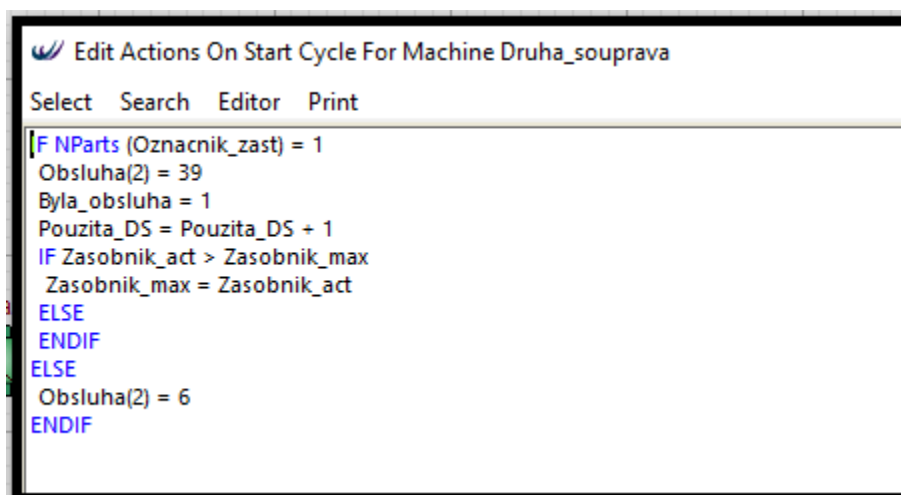
„Obsluha“ – pouze orientační proměnná, která určuje dobu skutečné doby pobytu souprav v přestupním uzlu.

„Pouzita_DS“ – počet obsluh souprav na stroji „Druha_souprava“.

„Počet_odbavení“ – celkový počet prvků typu součást (souprav), které prošly systémem.

„Max_doba_cekani“ – maximální čas, který strávil prvek typu součást (souprava) v zásobníku a čekal na obsluhu na některém ze strojů.

Každá komponenta musí mít nadefinované úkony, jak se má v systému chovat. Součásti jsou aktivní a podle předem nadefinovaného rozdělení posílají do zásobníku soupravy. Stroj z hlediska zpracování prvku je rozdělen do tří částí. Vstupní část pouze zajistí, že ze zásobníku se odebere nová souprava k odbavení. Další část reprezentuje zpracování soupravy na stroji „Druha souprava“ za předpokladu, že stroj „Oznacnik_zast“ pracuje. Pokud stroj „Oznacnik_zast“ nepracuje, souprava postupuje do zpracování strojem „Oznacnik_zast“. Pak následuje výstupní část, kde prvek opustí systém, protože obsluha tramvajové soupravy je ukončena. Na obrázku 19 je ukázka kódu programovacího jazyku pro prvek (označnick) pro odbavení na pozici druhé soupravy.



Obrázek 19 ... ukázka kódu

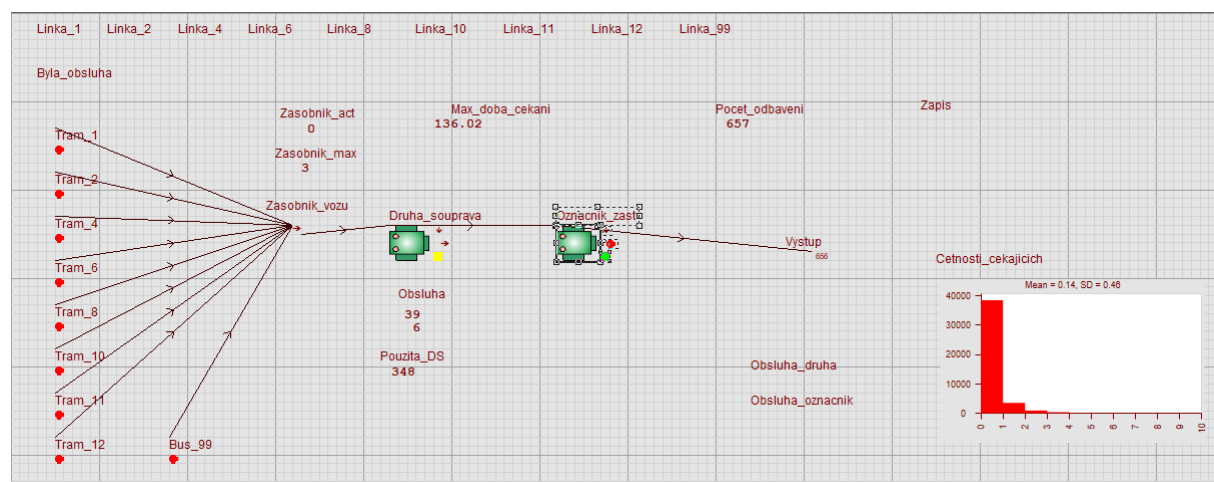
Z obrázku 19 je vidět, že podle předchozích dat činí průměrná délka skutečné doby pobytu soupravy 39 sekund. Pokud probíhá odbavení soupravy na stroji „Druha_souprava“ je na stroji „Oznacnik_zast“ nastavena konstantní délka obsluhy 6 sekund odpovídající průjezdu soupravy prostorem odpovídajícím stroji „Oznacnik_zast“ průměrnou rychlostí 20 km/h. Další položky se sledují pouze v případě, probíhá-li obsluha na stroji „Druha_souprava“.

8 Výsledky simulace

Za dobu simulace od 7 do 17 h (což je časové období, kdy je přestupní uzel nejvíce vytížen) bylo zjištěno, že:

celkově bylo v přestupním uzlu odbaveno 507 spojů, přičemž ve 4,3 % případů byl k odbavení využit stroj „Druhá souprava“;

v zásobníku čekaly na obsluhu maximálně dvě tramvaje a maximální doba čekání na odbavení dosáhla hodnoty 136 sekund;



Obrázek 20 ... ukázka výsledku simulace

Graf v pravé dolní části obrázku 20 udává celkové doby vztažené k počtům souprav čekajících na odbavení v přestupním uzlu (stavy fronty).

Simulace byla manuálně zastavena přibližně po dvanácti hodinách běhu. Je to z důvodu, že zkoumané období bylo nastaveno od 7 h do 17 h denní doby, kdy je v přestupním uzlu nejsilnější provoz.

Dále s detailních hodnot můžeme vyčíslit skutečné četnosti jednotlivých stavů fronty.

- ve frontě se nenacházela žádná souprava – to nastalo v 95,70 % případů, probíhalo odbavování tramvajových souprav;
- ve frontě se nacházela jedna souprava, čekala na uvolnění zastávky – to nastalo v 4,16 % případů, buď probíhalo odbavování dvou tramvajových souprav, nebo probíhalo odbavení jedné soupravy na pozici „druhá souprava“ a tím pádem nebylo možné vjet do zastávky;
- ve frontě se nacházely dvě soupravy, čekaly na uvolnění zastávky – to nastalo v 0,14 % případů, buď probíhalo odbavování dvou tramvajových souprav, nebo probíhalo odbavení jedné soupravy na pozici „druhá souprava“ a tím pádem nebylo možné vjet do zastávky.

Označíme-li symbolem X náhodnou proměnnou modelující počet souprav čekajících na vstup do přestupního uzlu, potom pro její střední hodnotu $E(X)$ platí:

$$E(X) = \sum_{i=0}^2 x_i \cdot p(x_i) = 0 \cdot \frac{33\,890}{35\,411} + 1 \cdot \frac{1472}{35\,411} + 2 \cdot \frac{49}{35\,411} = 0,044$$

9 Závěr

Na základě simulace tramvajového provozu v přestupním uzlu Karolina bylo zjištěno a ověřeno, že kritickým faktorem ovlivňujícím zpoždění a nepravidelnosti spojů je světelně řízená křižovatka v blízkosti uzlu. Zpoždění jsou způsobována zejména v ranní a odpolední špičce, kdy dochází k shromažďování souprav v přestupním uzlu. Simulace ukázala, že v daném období dochází k čekání maximálně dvou souprav najednou, přičemž nejdelší doba čekání byla zaznamenána 136 sekund. Tuto simulaci je možné aplikovat i na jiná místa v provozní síti a tak zjišťovat, jak ovlivňují provoz a jaké zdržení v dopravě vzniká.

Doporučení:

1. **Zvýšení preference tramvaji při řízení světelné křižovatky** – mohla by zmírnit hromadění tramvajových souprav na vstupu do křižovatky a tím snížit zpoždění. Skutečná doby pobytu souprav by mohla být nižší, než současných 39 sekund.
2. **Zvýšení odbavovací kapacity přestupního uzlu** – mohlo by umožnit odbavení většího počtu spojů v přestupním uzlu.

Tato opatření by měla zlepšit plynulost dopravy a snížit dopad zpoždění na celou tramvajovou síť Ostravy.

Literatura:

- [1] *Systém Microsoft Power BI, interní data palubních počítačů z vozidel DPO*
- [2] Dorda M., 2021, *Simulační software Witness, VŠB – TUO*, https://homel.vsb.cz/~dor028/Witness_zaklady.pdf
- [3] Bedáňová I., Večerek V., *Základy statistiky, VFU Brno, 2007*, <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Skripta.pdf>
- [4] Otipka P., *Pravděpodobnost a statistika 2022, VŠB – TUO*, <https://homel.vsb.cz/~oti73/cdpast1/>

ANALÝZA VÝSLEDKOV ŠIESTEHO ROČNÍKA OLYMPIÁDY PODNIKOVÝ HOSPODÁR

ANALYSIS OF THE SIXTH EDITION OF OLYMPICS OF BUSINESS MANAGER RESULTS

doc. Ing. Jozef LUKÁČ, PhD.
Ing. Cyril ZÁVADSKÝ, PhD.

University of Economics in Bratislava
Faculty of Business Economics with seat in Košice
Tajovského 13
041 30 Košice, Slovak Republic

jozef.lukac@euba.sk
cyril.zavadsky@euba.sk

Key words

*olympics, competition for high school graduates, business
administration, course of the competition, third edition*

Abstract

The aim of this paper is to describe the process of organizing the competition. The Olympics of Business Manager is a nationwide competition intended for students in their final year of secondary schools with an economic focus, secondary schools with a non-economic focus, and secondary schools focused on services. The competition involves testing students' knowledge across the Slovak Republic in areas such as economics, business economics, the European Union, social studies, and financial literacy. The aim of the competition is to popularize economics as a scientific and study field and to support societal efforts to increase the financial literacy of young people. The competition is organized by the Faculty of Business Economics based in Košice.

Úvod

V akademickom roku 2024/2025 sa uskutočnil už šiesty ročník súťaže pre žiakov stredných škôl na Slovensku. Olympiáda podnikový hospodár je celoslovenská súťaž určená pre študentov stredných škôl s ekonomickým, neekonomickým a službovo orientovaným zameraním. Súťaž spočíva v testovaní znalostí študentov na celom území Slovenskej republiky v oblastiach ako ekonómia, podniková ekonomika, Európska únia, náuka o spoločnosti a finančná gramotnosť.

Cieľom súťaže je popularizovať ekonómiu ako vedný a študijný odbor, podporiť celospoločenské snahy o zvýšenie finančnej gramotnosti mladých ľudí a zvýšiť pripravenosť a záujem potenciálnych uchádzačov o štúdium na Podnikovohospodárskej fakulte Ekonomickej univerzity v Bratislave so sídlom v Košiciach. Súťaž je organizovaná Podnikovohospodárskou fakultou Ekonomickej univerzity v Bratislave so sídlom v Košiciach.



Obr. 1 Logo olympiády

1 Registrácia súťažiacich

Počas obdobia, kedy bola spustená online registrácia na Olympiádu podnikový hospodár, sme zaznamenali záujem zo strany 58 stredných škôl z celého Slovenska. Zúčastnili sa školy z rôznych častí krajiny, pričom najväčšie zastúpenie mali školy z Košického a Prešovského kraja. Medzi zapojenými boli školy z miest ako Košice (napr. Šrobárova, Alejová, Watsonova, Polárna, Južná trieda, Zbrojničná), Michalovce (Masarykova, Kapušianska, L. Štúra, Školská), Prešov (Plzenská, Mudroňova, Baštová, Masarykova, Pod Kalváriou, Konštantínova), ako aj z ďalších miest ako Vranov nad Topľou, Spišská Nová Ves, Stará Ľubovňa, Poprad, Bardejov, Trebišov, Sobrance, Medzilaborce, Veľké Kapušany, Strážske či Moldava nad Bodvou. Zastúpenie však mali aj školy z iných krajov, napríklad z Trenčína, Púchova, Novej Bane, Komárna, Nitry, Liptovského Mikuláša a Banskej Bystrice. Táto pestrá účasť poukazuje na celoslovenský záujem škôl o aktivity zamerané na rozvoj vedomostí a zručností žiakov. Bezplatná registrácia pre školy a maturantov trvala do polovice februára 2025.

Koordinátori na stredných školách následne informovali maturantov o možnosti elektronickej registrácie, čo viedlo k registrácii 942 študentov.

2 Individuálne a školské kolo

Cieľom individuálneho kola bolo v stanovenom časovom limite zodpovedať otázky z oblastí testovania. Tohto kola sa zúčastnilo 873 študentov stredných škôl. Na základe dosiahnutých výsledkov postúpili do školského kola tí účastníci, ktorí získali najvyšší počet bodov.

Školské kolo sa konalo prostredníctvom online testu v prostredí Moodle 28. marca 2025 vo vopred určenom časovom limite. Počet maturantov, ktorí sa prihlásili a aktivovali si svoje konto pre školské kolo na základe nami poskytnutých údajov, bol 574. Títo študenti postúpili z individuálneho kola. Maturanti, rozdelení do súťažných skupín podľa typu strednej školy (ekonomické, neekonomické a zamerané na služby), pristúpili k online testu obsahujúcemu 25 otázok. Okruh otázok bol vytvorený osobitne pre každú skupinu po konzultácii s našimi kolegami na stredných školách, aby obsahovo zodpovedal vyučovaciemu procesu každej skupiny.

Na základe výsledkov školského kola sme úspešných súťažiacich informovali o ich postupe do celoslovenského kola olympiády. Ostatným účastníkom sme poďakovali a popriali veľa šťastia v ich ďalšom štúdiu.

3 Celoslovenské kolo

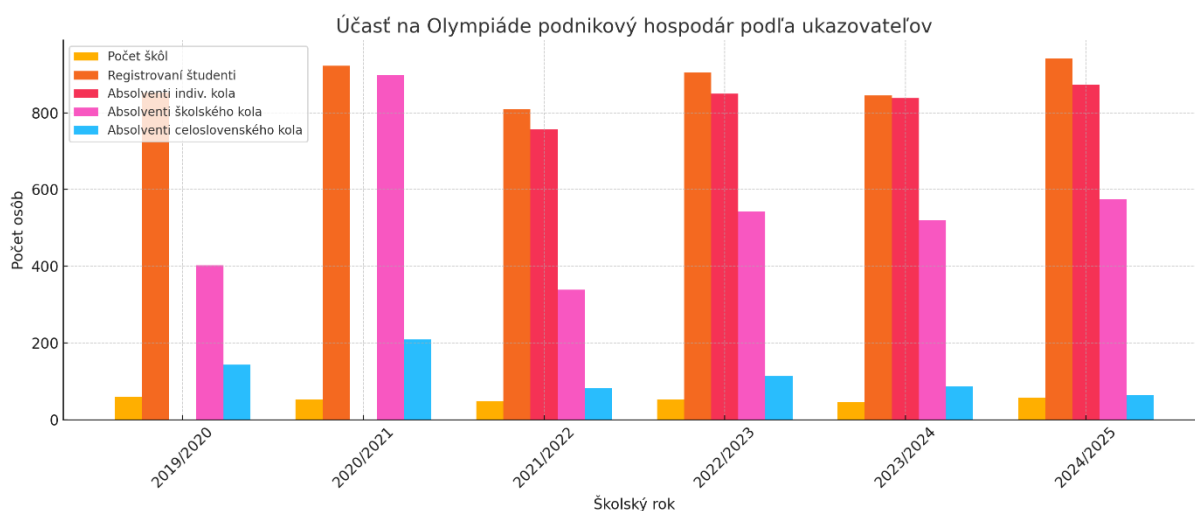
Celoslovenské kolo sa uskutočnilo online, pričom účastníci vyplnili test z pohodlia svojich domovov alebo zo svojich stredných škôl dňa 30. apríla 2025. Celkový počet súťažiacich bol 64.

V kategórii stredné školy neekonomického zamerania získal najvyšší počet bodov Daniel Miščík z Gymnázia Šrobárova 1 v Košiciach. Druhé miesto obsadila Simona Bukajová z Gymnázia arm. gen. L. Svobodu v Humennom. Tretie miesto patrí Dominikovi Hatalovi, ktorý rovnako ako víťaz reprezentoval Gymnázium Šrobárova 1 v Košiciach.

V kategórii stredné školy ekonomického zamerania sa na prvom mieste umiestnil Michal Bergel z Obchodnej akadémie, Akademika Hronca 8, Rožňava. Druhé miesto patrí Alexandre Slávkovej a tretie Alexovi Skokanovi, ktorí sú taktiež študentmi tej istej obchodnej akadémie v Rožňave.

V kategórii stredné školy zamerané na služby dosiahla najlepší výsledok Anna Poliaková z Hotelovej akadémie, Južná trieda 10, Košice. Druhý najvyšší počet bodov získal Libor Slávo Grinč zo Strednej športovej školy, Trieda SNP 104, Košice. Na treťom mieste skončil Daniel Kleščinský, ktorý je rovnako študentom tejto športovej školy.

Vďaka Olympiáde podnikový hospodár sme zaznamenali výrazný nárast počtu uchádzačov o štúdium na našej fakulte. Táto súťaž, ktorá sa zameriava na rozvoj finančnej gramotnosti, podnikovej ekonomiky a ďalších dôležitých oblastí, motivovala mnohých študentov stredných škôl, aby si vybrali našu fakultu pre svoje ďalšie vzdelávanie. Pozitívna skúsenosť a úroveň súťaže zvýšili záujem študentov o ekonomické a finančné štúdium, čo nám umožňuje privítať stále viac talentovaných a ambiciózných mladých ľudí. Veríme, že tento trend bude pokračovať aj v budúcnosti a Olympiáda podnikový hospodár sa stane pevnou súčasťou ich vzdelávacieho a kariérneho rastu.



Graf. 1 Počet účastníkov OPH v jednotlivých rokoch konania olympiády

V priebehu šiestich ročníkov Olympiády podnikový hospodár (2019/2020 – 2024/2025) sa ukazuje stabilný záujem stredných škôl aj študentov o účasť v súťaži. Prvý ročník odštartoval s 61 školami a 852 študentmi, pričom do celoslovenského kola postúpilo 143 účastníkov. Druhý ročník zaznamenal nárast vo všetkých ukazovateľoch vrátane rekordného počtu 209 finalistov. Od tretieho ročníka sa zaviedlo samostatné individuálne kolo, ktorého sa pravidelne zúčastňovalo viac ako 750 študentov ročne. Najmenej finalistov (82) bolo v treťom ročníku, hoci počet registrovaných študentov zostal vysoký. V šiestom ročníku sa prihlásilo až 942 študentov z 58 škôl, čo je najvyšší počet v doterajšej histórii olympiády. Napriek tomu do celoslovenského kola postúpilo len 64 z nich, čo poukazuje na zvyšujúce sa nároky výberového procesu a vysokú úroveň konkurencie. Celkovo možno konštatovať, že olympiáda si vybudovala silnú a rešpektovanú pozíciu, pričom dôsledne posilňuje kvalitatívne kritériá a zvyšuje úroveň výberu najlepších študentov z celého Slovenska.

Záver

Príprava šiesteho ročníka Olympiády podnikový hospodár prebiehala ako premyslený a systematický proces, v ktorom jednotlivé kroky plynulo nadväzovali a smerovali k spoločnému cieľu. K organizácii sme pristupovali s vysokou mierou zodpovednosti a nasadenia, s cieľom posilniť postavenie tejto súťaže ako rešpektovanej platformy pre stredoškóľakov na Slovensku. Ďakujeme všetkým, ktorí akýmkoľvek spôsobom prispeli k jej realizácii – ich podpora a spolupráca boli neoceniteľné.

Vyvrcholením tohto ročníka bolo celoslovenské finále, ktorého sa zúčastnilo 64 najúspešnejších súťažiacich v troch samostatných kategóriách. O víťazoch rozhodli výsledky v oblastiach finančnej gramotnosti, podnikovej ekonomiky, ekonómie, poznatkov o Európskej únii a spoločenských vedách.

Olympiáda podnikový hospodár sa stala stabilnou a rešpektovanou platformou, ktorá každoročne spája desiatky stredoškolákov z celého Slovenska so záujmom o oblasť ekonómie, podnikania a finančného riadenia. Jej jedinečnosť spočíva v prepojení teórie a praxe, keďže študenti majú možnosť overiť si nielen vedomosti z ekonomických a podnikových disciplín, ale aj schopnosť logického myslenia, riešenia problémov a prezentácie vlastných nápadov. Súť až tak prirodzene podporuje rozvoj kritického myslenia, finančnej gramotnosti a podnikateľskej iniciatívy, čo sú kľúčové kompetencie pre úspešné uplatnenie v praxi. Organizácia olympiády si vyžaduje úzku spoluprácu fakulty so strednými školami, učiteľmi aj samotnými študentmi. Tento proces upevňuje vzťahy medzi univerzitným a stredoškolským prostredím a otvára nové možnosti pre spoločné vzdelávacie aktivity. Fakulta tak aktívne naplňa svoje poslanie nielen v oblasti vysokoškolského vzdelávania a výskumu, ale aj v oblasti popularizácie ekonómie a hospodárskych vied na úrovni stredoškolskej mládeže.

V neposlednom rade je olympiáda aj významným prvkom marketingovej a reprezentačnej činnosti fakulty. Prostredníctvom nej sa darí budovať pozitívny obraz Podnikovohospodárskej fakulty EUBA v Košiciach ako modernej, otvorenej a študentom naklonenej inštitúcie, ktorá ponúka kvalitné vzdelanie a perspektívne možnosti uplatnenia.

Do budúcnosti je ambíciou olympiády pokračovať v raste a pritiahnuť ešte väčší počet súťažiacich. Fakulta plánuje ďalej inovovať zadania, rozširovať spoluprácu so strednými školami a prinášať nové formáty, ktoré ešte viac podporia praktické uplatnenie teoretických poznatkov. Olympiáda podnikový hospodár tak aj naďalej zostáva priestorom, kde sa stretáva talent, usilovnosť a záujem o ekonomické poznanie, pričom svojim účastníkom otvára dvere do akademického sveta a pripravuje ich na výzvy modernej ekonomiky.

Teší nás, že sa nám už po šiesty krát podarilo úspešne zorganizovať všetky tri kolá olympiády – individuálne, školské aj celoslovenské. Naša vďaka patrí všetkým koordinátorom na stredných školách, ako aj ich študentom, s ktorými sa tešíme na osobné stretnutie na Podnikovohospodárskej fakulte v novom akademickom roku. Veríme, že sa v rovnako hojnom počte stretneme aj pri príprave a realizácii ďalších ročníkov Olympiády podnikový hospodár.

Literatúra

1. *Registračné formuláre Olympiády podnikový hospodár*
2. *Výsledkové listiny individuálneho kola*
3. *Výsledkové listiny školského kola*
4. *Výsledkové listiny celoslovenského kola*

ANALÝZA VPLYVU VOLATILITY NA CENU VYBRANÝCH ŠTRUKTÚROVANÝCH PRODUKTOV

ANALYSIS OF VOLATILITY EFFECTS ON THE PRICING OF SELECTED STRUCTURED PRODUCTS

Ing. Monika TIMKOVÁ, PhD.

Technical University of Košice
Faculty of Economics
Department of Finance
Němcovej 32
040 01 Košice, Slovak Republic

monika.timkova@tuke.sk

Key words

Volatility, options, structured products, investment certificates

Abstrakt

This paper examines the impact of volatility on the pricing of selected structured products in the context of investment decision-making, with a particular focus on guaranteed, index, outperformance, sprint, discount, and discount plus certificates. Volatility can represent a crucial investment criterion that investors take into account when selecting specific products. The primary objective of this study is to demonstrate how changes in implied volatility, together with fluctuations in the value of underlying assets, significantly influence the valuation and performance of modern structured products over their lifetime. Furthermore, the analysis considers additional parameters affecting certificate prices and discusses the mechanisms through which they exert their influence. The results of this study provide a systematization of this group of investment certificates based on the examined criteria and contribute to a deeper understanding for individual investors when making informed product selection decisions.

Úvod

Diverzifikácia finančných služieb v posledných rokoch umožnila finančným inštitúciám emitovať štruktúrované produkty, ktoré flexibilne reagujú na dynamiku finančných a komoditných trhov. Tieto nástroje sú koncipované tak, aby zohľadňovali rizikový profil investorov z pohľadu očakávaného výnosu a miery podstupovaného rizika. V literatúre sú štruktúrované produkty najčastejšie charakterizované ako kombinácia tradičných finančných aktív a derivátov, pričom ich základným cieľom je optimalizácia výnosov pri súčasnom riadení rizika. Podľa Hulla (2021) a Fabozziho a kol. (2009) hodnotu týchto produktov zásadne determinujú parametre, akými sú volatilita, úroková miera či dividendový výnos. Choudhry (2004) opisuje štruktúrované produkty ako nástroje vznikajúce kombináciou akcií, dlhopisov alebo fondov s derivátovými komponentmi, pričom ich konštrukcia reflektuje špecifické investičné ciele a rizikový profil investorov. Podobne Kolb a Overdahl (2003) zdôrazňujú ich syntetickú povahu a komplexnosť, ktorá predpokladá dôkladné porozumenie zo strany investorov. V opačnom prípade môže podľa Tolleho (2008) dôjsť k zvýšenému riziku straty kapitálu. Blümke (2009) sa zameriava na investičné stratégie a riadenie rizika pri štruktúrovaných produktoch a poskytuje systematickú klasifikáciu ich jednotlivých foriem.

Z hľadiska trhovej praxe predstavujú významný segment štruktúrovaných produktov investičné certifikáty, medzi ktoré patria garantované, indexové, outperformance, sprint, diskontné a diskont plus certifikáty. Podľa klasifikácie Deutscher Derivate Verband a mapy derivátov EUSIPA možno štruktúrované produkty rozdeliť na dva základné segmenty – investičné a pákové. Investičné produkty bez zabudovaných exotických opcií zahŕňajú napríklad indexové, košové či diskontné certifikáty, ako aj reverzne konvertibilné nástroje, zatiaľ čo pákové produkty sú zastúpené najmä plain vanilla warrantmi a knock-out produktmi. Problematike štruktúrovaných produktov sa vo svojej práci venovali viacerí autori, napríklad Azarmi (2017), Knop (2002), Rossetto a Bommel (2009) či Yen a Kin Keung (2015), ktorí rozpracovávajú ich charakteristiku a špecifiká z rôznych perspektív.

Keďže klasické finančné nástroje, ako jeden z komponentov produktu, sú viac známe a nie sú natoľko zložité, väčšia pozornosť je venovaná opciám, konkrétne niektorým druhom korelačných a bariérových opcií patriacich do podskupiny exotických opcií. Hull (2021) definuje vanilla opciu ako finančnú zmluvu, ktorá poskytuje jej držiteľovi (kupujúcemu) právo, ale nie povinnosť, kúpiť (call opcia) alebo predat' (put opcia) dané podkladové aktívum za stanovenú budúcu cenu (realizačná cena alebo realizačná cena) opcie kedykoľvek v rámci stanoveného obdobia expirácie opcie (americký štýl) alebo v čase expirácie opcie (európsky štýl). Za toto právo sa predávajúcemu opcie (vypisovateľovi) platí opčná prémie. Exotické opcie majú v porovnaní s vanilla opciami niektoré odlišné vlastnosti, základné znaky sú však rovnaké. Podrobnejšie popisy klasických vanilla a exotických opcií existujú v literatúre (Nelken, 1996; Zhang, 1998; Haug, 2007).

Štruktúrované produkty sú preto v literatúre opisované ako nástroje spájajúce potenciál vyšších výnosov s možnosťou prispôsobenia rizika, avšak za cenu vyššej komplexnosti a zložitejšej mechaniky oceňovania. Predmetom tohto príspevku je analýza faktorov ovplyvňujúcich oceňovanie vybraných investičných certifikátov, so zameraním na implikovanú volatilitu a jej interakciu s hodnotou podkladových aktív. Cieľom je ukázať, ako tieto faktory determinujú vývoj hodnoty moderných štruktúrovaných produktov, a zároveň identifikovať ďalšie parametre, ktoré vstupujú do procesu tvorby cien a ovplyvňujú investičné rozhodovanie. Výsledky príspevku majú ambíciu prispieť k systematizácii poznatkov v tejto oblasti a k prehĺbeniu porozumenia mechanizmov oceňovania, čo môže predstavovať praktický prínos pre investorov pri výbere vhodného produktu.

Štruktúra článku je nasledovná: Časť 1 načrtáva metodologický rámec výskumu. Časť 2 poskytuje empirickú analýzu vplyvu volatility na vybrané investičné certifikáty, a to prostredníctvom skúmania ich tvorby, vplyvu volatility na cenu call opcií a jej následného efektu na ceny certifikátov. Časť 3 prináša zhodnotenie výsledkov a ich implikácie.

1 Metodológia práce

Ak investor neplánuje držať štruktúrovaný produkt do splatnosti alebo má záujem s ním aktívne obchodovať, nevyhnutnou podmienkou je sledovanie parametrov, ktoré ovplyvňujú jeho hodnotu počas trvania. Medzi tieto parametre patrí najmä volatilita, ktorá vyjadruje mieru kolísania hodnoty podkladového aktíva a tým zásadným spôsobom determinuje vývoj hodnoty štruktúrovaného produktu. V rámci metodologickej časti práce je preto pozornosť sústredená na analýzu volatility a prístupov k jej meraniu.

Volatilita predstavuje fundamentálny determinant rizikovosti finančných nástrojov, keďže kvantifikuje rozsah variability výnosov podkladového aktíva v čase (Hull, 2021). Štandardne sa vyjadruje prostredníctvom smerodajnej odchýlky výnosov v danom období, najčastejšie na ročnej báze. Vyššie hodnoty signalizujú zvýšenú rizikovosť, ktorá je spojená nielen s potenciálom väčšej straty, ale aj s možnosťou dosiahnutia nadpriemerného výnosu. Z tohto dôvodu je volatilita kľúčovým vstupom do oceňovacích modelov derivátov a štruktúrovaných finančných produktov.

Podľa Dohna (2002) možno rozlišovať viaceré druhy volatility. Historická volatilita vychádza z empirických údajov o minulom vývoji cien aktíva, implikovaná volatilita je odvodená z trhovej ceny opcií a predstavuje očakávanú volatilitu v budúcnosti, zatiaľ čo predpovedaná volatilita reflektuje subjektívne alebo modelové prognózy ďalšieho vývoja. Pre oceňovanie štruktúrovaných produktov je osobitne významná implikovaná volatilita, ktorá priamo vstupuje do určovania hodnoty opčných komponentov. Jej rast sa premieta do zvýšenia opčných prémie, čo následne ovplyvňuje hodnotu celého štruktúrovaného produktu.

Metodologický rámec hodnotenia rizikivosti v európskom prostredí je založený na viacerých prístupoch. Najrozšírenejší je EDG (Expected Distribution Gap), ktorý sa dominantne využíva na nemeckom trhu, najväčšom a najvýznamnejšom trhu štruktúrovaných produktov. Doplnkovo sa uplatňuje KID (Key Information Document), ktorý v súlade s európskou reguláciou poskytuje investorom štandardizované ukazovatele rizikivosti a porovnateľnosť medzi produktmi.

Významnou časťou metodologického rámca je aj oceňovanie štruktúrovaných produktov, keďže ich hodnota je odvodená od ceny opčných kontraktov. V literatúre sú prezentované viaceré prístupy založené na numerických metódach, simuláciách či riešení parciálnych diferenciálnych rovníc. Baule a Tallau (2011) analyzujú oceňovanie bonusových certifikátov, Hernández a kol. (2014) sa venujú oceňovaniu exotických bonusových certifikátov, zatiaľ čo Wilkens a Stoimenov (2007) empiricky skúmajú oceňovanie indexových certifikátov na nemeckom trhu. Podobne Hernández et al. (2013) sa sústreďujú na outperformance certifikáty a Baule (2011) na diskontné certifikáty. Ďalší autori, ako Benet a kol. (2006), Breuer a Perst (2007), Grunbichler a Wohlwend (2005), Stoimenov a Wilkens (2005), Henderson a Pearson (2011), poskytujú teoretické i empirické prístupy k oceňovaniu ďalších foriem štruktúrovaných produktov.

Osobitná pozornosť v literatúre sa sústreďuje na problematiku volatility. Albeverio a kol. (2018) poukazujú na to, že pri produktoch s ochranou kapitálu má kombinácia nízkych úrokových sadzieb a vysokej volatility negatívny vplyv na kľúčové parametre. Azarmi (2017) využíva tzv. volatilné povrchy na zvýšenie presnosti oceňovania na nemeckom sekundárnom trhu a zdôrazňuje regulačný i spoločenský rozmer problematiky. Choi a kol. (2020) identifikujú volatilitu ako hlavný determinant variácie spreadov tranží, čo má priamy dosah na rizikovosť a oceňovanie produktov. Sovan (2011) poskytuje komplexný prehľad modelov volatility a oceňovania opcií – od modelov konštantnej volatility cez stochastické až po hybridné prístupy – a analyzuje rozdiely medzi implikovanou a realizovanou volatilitou, ktoré sú priamo aplikovateľné na oceňovanie štruktúrovaných produktov.

Keďže štruktúrované produkty obsahujú opčné prvky, súčasťou metodológie je aj aplikácia modelov oceňovania opcií. Najvýznamnejším z nich je Black-Scholesov model (Black a Scholes, 1973), ktorý umožňuje určiť teoretickú cenu opcie na základe ceny podkladového aktíva, realizačnej ceny, bezrizikovej úrokovej miery, času do splatnosti a volatility. V práci bude tento model využitý na demonštráciu vplyvu volatility na hodnotu call opcií, ktoré tvoria základ oceňovania mnohých štruktúrovaných produktov. Ak teda vezmeme do úvahy európsku vanilla call opciu na akcie bez dividendy, teoretickú cenu možno vypočítať pomocou Black-Scholesovho vzorca v tvare:

$$c = SN(d_1) - Xe^{-rT} N(d_2) \quad (1)$$

kde

$$d_1 = \frac{\ln \frac{S}{X} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right) T}{\sigma \sqrt{T}} \quad (2)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T} = \frac{\ln \frac{S}{X} + \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) T}{\sigma \sqrt{T}} \quad (3)$$

$N(d_1)$ a $N(d_2)$ sú hodnoty štandardnej normálnej kumulatívnej distribučnej funkcie. Cena call opcie je podľa vzťahu (1) – (3) funkciou spotovej ceny podkladového aktíva S , realizačnej ceny X , implikovanej volatility podkladového aktíva σ , bezrizikovej úrokovej miery r (odvodenej z výnosov štátnych dlhopisov) a času do splatnosti opcie T . Zmena niektorého parametra má vplyv na zmenu ceny opcie.

Označme cenu podkladového aktíva v čase t S_t , cenu podkladového aktíva v čase S_{t-1} , počet pozorovaní N , obdobie pozorovania t_s , potom implikovaná volatilita σ sa vypočíta podľa nasledujúceho vzťahu (Ambrož, 2002):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\bar{X} - X_i)^2}{N-1}} * \sqrt{t_s} \quad (4)$$

kde

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}, \quad (5)$$

$$X_i = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}. \quad (6)$$

Klasický Black-Scholesov prístup nie je priamo vhodný pre bariérové opcie, pretože ďalší faktor, bariéra, ovplyvňuje výšku opčnej prémie. Merton (1973) upravil Black-Scholesov model a odvodil prvý vzťah na výpočet ceny európskej call opcie s poklesom a knock-out opciou. Neskôr Rubinstein a Reiner (1991) aplikovali Black-Scholesov-Mertonov vzorec na osem základných typov bariérových opcií a Haug (2007) na všetkých šestnást typov. Náš prístup je založený na teoretickej cene štandardných európskych bariérových opcií podľa analytického modelu Hauga (2007). Všetky výpočty cien vanilkových a bariérových opcií boli implementované v štatistickom programe R. (Iacus, 2001).

2 Analýza vplyvu volatility na vybrané investičné certifikáty

V nasledujúcej časti sa analyzuje konštrukcia vybraných investičných certifikátov, konkrétne indexových, garantovaných, outperformance, sprint, diskontných a diskontných certifikátov s bariérou. Pozornosť je zameraná na mechanizmus ich tvorby, pričom osobitný dôraz sa kladie na analýzu vplyvu volatility na cenu opcií, ktoré predstavujú základnú zložku týchto produktov. Cieľom je identifikovať, akým spôsobom sa zmeny volatility premietajú do hodnoty jednotlivých certifikátov a aká je korelácia medzi volatilitou a cenou vybraných investičných produktov.

2.1 Tvorba vybraných investičných certifikátov

Investičné certifikáty predstavujú štruktúrované produkty, ktorých výnosový profil je odvodený od zvolenej konštrukcie a podkladového aktíva. V rámci príspevku sú analyzované vybrané typy investičných certifikátov, pričom každý z nich je založený na špecifickej kombinácii finančných nástrojov a derivátových prvkov.

Indexové certifikáty kopírujú vývoj vybraného indexu a umožňujú investorovi participovať priamo na jeho výnose. Vyznačujú sa symetrickým rizikovo-výnosovým profilom a vďaka pomerovému nastaveniu umožňujú aj drobným investorom prístup k diverzifikovaným stratégiám s relatívne nízkym kapitálovým vkladom. Certifikát môže byť konštruovaný aj bez derivátovej zložky, čím sa znižuje jeho komplexnosť, pričom jeho hodnota je priamo odvodená od hodnoty podkladového indexu alebo koša aktív. **Garantované certifikáty** sú zložené z garantovanej a výkonnostnej časti. Zabezpečujú návratnosť nominálnej hodnoty v deň splatnosti, pričom konštrukcia pozostáva zo zakúpenia bezkupónového dlhopisu pod nominálnou hodnotou a využitia rozdielu na nákup call opcie na podkladové aktívum (Mishkin, 2006). Táto kombinácia poskytuje ochranu investovaného kapitálu a zároveň umožňuje participáciu na raste trhu. **Outperformance certifikáty** poskytujú nadproporcionálnu participáciu na raste podkladového aktíva. Ich konštrukcia spočíva v kombinácii kúpy podkladového aktíva (S_0) a kúpy $(m-1)$ call opcií s realizačnou cenou rovnajúcou sa aktuálnej cene podkladového aktíva, kde parameter m vyjadruje multiplikátor nadpriemernej výkonnosti. **Sprint certifikáty** znásobujú výnos pri miernom raste podkladového aktíva, avšak ich výnos je obmedzený hornou hranicou (cap level, C). Konštrukčne sú vytvorené kúpou $(m-1)$ call opcií s realizačnou cenou

rovnou aktuálnej cene podkladového aktíva (S_0), financovanou predajom m call opcií s realizačnou cenou na úrovni cap levelu (C). Na druhej strane **diskontné certifikáty** sú emitované za cenu nižšiu než je hodnota podkladového aktíva, čo investorovi poskytuje určitú ochranu pri poklese ceny. Typická konštrukcia pozostáva z nákupu podkladového aktíva (S_0) a súčasného predaja call opcie s realizačnou cenou rovnou úrovni cap levelu ($C > S_0$). Tento mechanizmus umožňuje obchodovanie s diskontom a vytvára tzv. ochranný vankúš. Zároveň **diskontné plus certifikáty** rozširujú základnú konštrukciu o prvok podmienenej ochrany kapitálu do výšky bariéry. Maximálny výnos je dosiahnuteľný iba v prípade, že počas životnosti certifikátu nedôjde k prelomeniu vopred stanovenej bariéry (B). Produkt je vytvorený kombináciou nákupu podkladového aktíva (S_0), predaja call opcie s realizačnou cenou na úrovni cap levelu (C) a súčasného nákupu down-and-out put opcie s bariérou B a realizačnou cenou rovnou cap levelu (C).

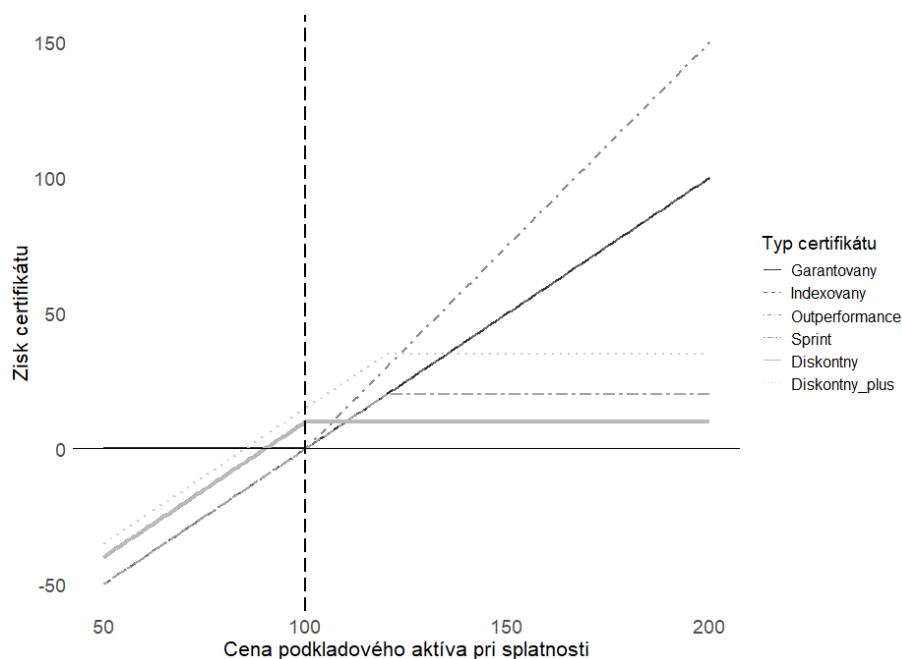
Tabuľka 1 poskytuje súhrnný prehľad konštrukcie analyzovaných investičných certifikátov, pričom zobrazuje ich zostavenie ako kombináciu podkladového aktíva a príslušných opčných pozícií.

Tab. 1 Štruktúra vybraných štruktúrovaných produktov

Štruktúrovaný produkt	Podkladové aktívum	Pozície v opcií				
		Kúpa call opcie	Kúpa put opcie	Predaj call opcie	Predaj put opcie	Kúpa down-out put opcie
Garantovaný certifikát	Áno	Áno	Nie	Nie	Nie	Nie
Index/basket certifikáty	Áno	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
Outperformance certifikáty	Áno	Áno	Nie	Nie	Nie	Nie
Sprint certifikáty	Áno	Áno	Nie	Áno	Nie	Nie
Diskontné certifikáty	Áno	Nie	Nie	Áno	Nie	Nie
Diskont plus certifikáty	Áno	Nie	Nie	Áno	Nie	Áno

Zdroj: vlastné spracovanie

Ziskový profil analyzovaných investičných certifikátov je prezentovaný na Obrázku 1, ktorý znázorňuje závislosť potenciálneho výnosu od hodnoty podkladového aktíva pri splatnosti jednotlivých produktov. Graf umožňuje vizuálne porovnanie rôznych typov certifikátov, vrátane indexových, garantovaných, outperformance, sprint, diskontných a diskontných certifikátov s bariérou a ilustruje rozdiely v rizikovo-výnosovom profile a citlivosti na pohyby podkladového aktíva. Táto vizualizácia poskytuje čitateľovi intuitívny prehľad o mechanizmoch tvorby výnosu a rizika pri jednotlivých typoch certifikátov.



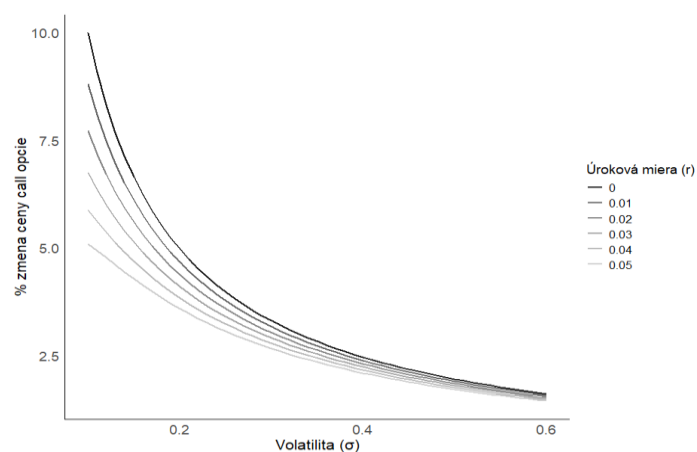
Obr. 1 Funkcia zisku vybraných investičných certifikátov v čase splatnosti

Zdroj: vlastné spracovanie

2.2 Vplyv volatility na cenu call opcií

Volatilita podkladového aktiva predstavuje kľúčový faktor ovplyvňujúci cenu derivátových komponentov v štruktúrovaných produktoch a tým aj celkovú hodnotu týchto investičných nástrojov. Z teórie opcií vyplýva, že rast implikovanej volatility zvyšuje hodnotu opcií, pričom efekt závisí od typu zaujatej pozície, dlhá pozícia (long) vedie k rastu hodnoty, krátka pozícia (short) naopak k jej poklesu.

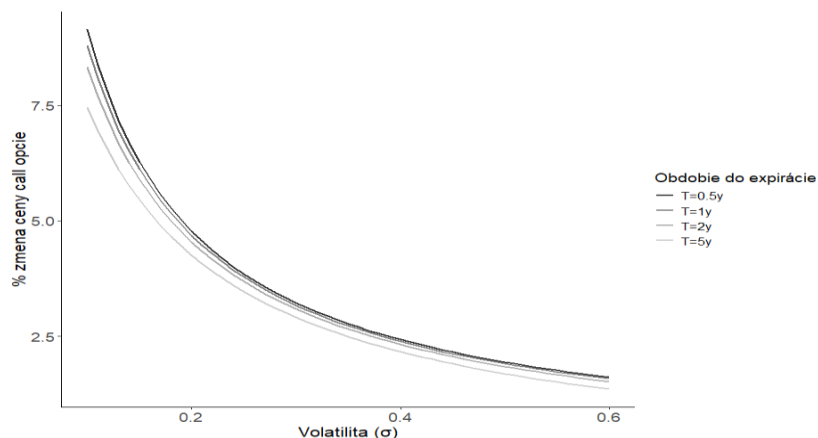
Obrázok 2 zobrazuje percentuálnu zmenu ceny call opcie pri zvýšení implikovanej volatility o 1 % v rozmedzí 10 % až 60 % pre rôzne úrovne bezrizikových úrokových mier. Predpokladá sa, že podkladové aktívum neprináša dividendy, jeho aktuálna cena a realizačná cena opcie sú nastavené na 100 EUR a doba do splatnosti je 1 rok. Hodnoty sú vypočítané pomocou klasického Black-Scholesovho modelu pre „at-the-money“ call opciu.



Obr. 2 Miera zmeny ceny opcie pri raste implikovanej volatility o 1 percentuálny bod pre rôzne úrokové sadzby

Zdroj: vlastné spracovanie

Analýza ukazuje, že percentuálna zmena ceny call opcie pri náraste volatility je kladná a klesá s rastom pôvodnej úrovne volatility. To znamená, že opcia je citlivejšia na zmenu volatility pri nízkych hodnotách implikovanej volatility, pričom pri vyšších hodnotách volatility už každé dodatočné zvýšenie o 1 % spôsobuje menší relatívny nárast ceny. Navyše, vyššie úrokové miery mierne zvyšujú percentuálnu citlivosť ceny opcie na zmeny volatility, čo je v súlade s teoretickými očakávaniami Black-Scholesovho modelu. Záverom je, že percentuálna zmena ceny „at-the-money“ call opcie pri náraste volatility je vždy pozitívna, avšak intenzita tohto efektu sa znižuje so zvyšujúcou sa pôvodnou volatilitou, pričom úroková miera moduluje veľkosť tejto citlivosti. Obrázok 2 znázorňuje percentuálnu zmenu ceny „at-the-money“ call opcie pri náraste implikovanej volatility o 1 percentuálny bod pre rôzne pôvodné úrovne volatility, pričom je uvažovaná fixná bezriziková úroková miera 1 %. Analýza zahŕňa rôzne doby do splatnosti opcie: 0,5 roka, 1 rok, 2 roky a 5 rokov.



Obr. 3 Miera zmeny ceny opcie (v hotovosti) rastom implikovanej volatility o 1 percentuálny bod pre rôzne časy do splatnosti

Zdroj: vlastné spracovanie

Výsledky ukazujú, že percentuálna zmena ceny call opcie klesá so zvyšujúcou sa pôvodnou úrovňou volatility. To znamená, že opcia je citlivejšia na zmenu volatility pri nízkych hodnotách implikovanej volatility, pričom pri vyšších hodnotách každé dodatočné zvýšenie o 1 % spôsobuje menší relatívny nárast ceny. Zároveň platí, že dlhšie doby do splatnosti zvyšujú percentuálnu citlivosť opcie, pretože časový faktor zväčšuje časovú hodnotu opcie a tým aj jej relatívnu reakciu na volatilitu. Závislosť je nepriamo úmerná, pričom nárast volatility má klesajúci efekt na percentuálnu zmenu ceny, efekt rastu volatility je výraznejší pri nízkych σ a postupne sa zmiernuje pri vyšších σ .

2.3 Vplyv volatility na cenu vybraných investičných certifikátov

V tejto časti sa sústreďujeme na empirickú analýzu vplyvu implikovanej volatility na hodnotu vybraných investičných certifikátov v EUR. Cieľom je identifikovať, ako zmeny volatility podkladového aktíva (aktuálna cena je na úrovni 100 EUR) ovplyvňujú ceny derivátových zložiek jednotlivých produktov a tým aj celkovú hodnotu certifikátov. Analýza umožňuje porovnať citlivosť rôznych typov produktov, vrátane outperformance, sprint, garantovaných a diskontných certifikátov, na pohyby volatility a poskytuje prehľad o tom, ktoré konštrukčné prvky zvyšujú alebo znižujú hodnotu investície pri jej zmene. Takéto zistenia sú kľúčové pre pochopenie rizikovo-výnosového profilu produktov a pre informované rozhodovanie investorov pri správe portfólia.

Tabuľka 2 poskytuje systematický prehľad konštruovaných certifikátov s ohľadom na rôzne úrovne implikovanej volatility (10%, 11% a 30%) a časov do splatnosti (1 rok a 5 rokov). Pri návrhu jednotlivých produktov boli zohľadnené odlišné hodnoty participačného faktora m (2 a 3), úrovne cap levelu C (120 a 130 EUR) a bariérových hodnôt B (90 a 80 EUR), čo umožňuje komplexnú analýzu citlivosti ceny certifikátov na tieto kľúčové konštrukčné parametre.

Tab. 2 Prehľad cien konštruovaných certifikátov v závislosti od rôznych úrovni volatility a časov do splatnosti

	Volatilita	Cena certifikátu v EUR (doba splatnosti 1 rok)	Cena certifikátu v EUR (doba splatnosti 5 rokov)
Outperformance certifikáty	10% (m=2)	104,49	111,34
	10% (m=3)	108,97	122,68
	11% (m=2)	104,88	112,18
	11% (m=3)	109,76	124,37
	30% (m=2)	112,37	128,13
	30% (m=3)	124,74	156,27
Sprint certifikáty	10% (m=2, C = 120)	104,11	103,20
	10% (m=2, C = 130)	104,44	106,80
	10% (m=3, C = 120)	108,41	110,47
	10% (m=3, C = 130)	108,91	115,87
	11% (m=2, C = 120)	104,28	102,43
	11% (m=2, C = 130)	104,79	106,34
	11% (m=3, C = 120)	108,86	109,73
	11% (m=3, C = 130)	109,62	115,60
	30% (m=2, C = 120)	100,94	84,98
	30% (m=2, C = 130)	104,81	90,24
	30% (m=3, C = 120)	107,59	91,54
	30% (m=3, C = 130)	113,41	99,43
Diskontné certifikáty	10% (C = 120)	99,81	95,93
	10% (C=130)	99,98	97,73
	11% (C = 120)	99,70	95,12
	11% (C =130)	99,95	97,08
	30% (C = 120)	94,29	78,42
	30% (C =130)	96,22	81,05
Diskont plus certifikáty	10% (C = 120, B = 90)	110,70	98,23
	10% (C=130, B = 90)	117,85	102,30
	10% (C = 120, B = 80)	117,90	103,85
	10% (C = 130, B = 80)	127,58	110,68
	11% (C = 120, B = 90)	109,25	96,94
	11% (C=130, B = 90)	115,91	100,73
	11% (C = 120, B = 80)	117,25	101,89
	11% (C = 130, B = 80)	126,76	108,22
	30% (C = 120, B = 90)	95,39	78,53
	30% (C=130, B = 90)	98,46	81,29
	30% (C = 120, B = 80)	99,13	79,02
	30% (C = 130, B = 80)	104,22	82,10

Zdroj: vlastné spracovanie

Poznámka: m faktor participácie, C cap level, B bariéra

Z analýzy údajov uvedených v tabuľke 2 vyplývajú nasledujúce závery. **Garantované certifikáty**, ktoré obsahujú dlhú pozíciu v call opcii ako súčasť výkonnostnej zložky, reagujú na zvýšenie implikovanej volatility podobne ako outperformance certifikáty, ich hodnota rastie, čo podporuje ochranu kapitálu a súčasnú participáciu na raste trhu. Pre **outperformance certifikáty**, ktoré obsahujú dlhú pozíciu v call opcii, zvýšenie implikovanej volatility vedie k rastu hodnoty certifikátu, keďže cena nakúpenej opcie rastie, zatiaľ čo samotná dlhá pozícia v podkladovom aktíve nie je na volatilitu citlivá. Pri **sprint certifikátoch**, kde sa kombinujú dlhé a krátke pozície v opciách, je efekt volatility zložitejší. Predané call opcie (short) majú mierne vyšší vplyv než nakúpené call opcie (long), čo spôsobuje, že s rastom volatility celková hodnota certifikátu mierne klesá. V prípade **diskontných certifikátov**, kde je súčasťou produktu krátka pozícia v call opcii, zvýšenie volatility znižuje hodnotu produktu, pretože vyššia volatilita zvyšuje cenu predanej opcie, čím sa znižuje čistá hodnota certifikátu. **Diskontné certifikáty s bariérou**, ktoré kombinujú predaj call opcie a nákup down-and-out put opcie s bariérou, reagujú na rast volatility podobne ako klasické diskontné certifikáty. Keďže cena bariérovej opcie je nižšia než cena vanilla opcie, zvýšenie implikovanej volatility vedie k celkovému poklesu hodnoty produktu.

Tieto výsledky jasne ilustrujú, že vplyv volatility na hodnotu investičných certifikátov závisí od štruktúry derivátových zložiek a typu zaujatej pozície, pričom dlhé pozície profitujú zo zvýšenej volatility, zatiaľ čo krátke pozície ju penalizujú. Tento mechanizmus poskytuje investorom nástroj na lepšie pochopenie rizikovo-výnosového profilu jednotlivých produktov a umožňuje predvídať citlivosť ich hodnoty na tržové výkyvy.

3 Zhodnotenie výsledkov výskumu

Analýza vplyvu implikovanej volatility na hodnotu vybraných investičných certifikátov ukazuje, že volatilita predstavuje kľúčový faktor determinujúci časovú hodnotu opcií, ktoré tvoria základnú konštrukciu moderných štruktúrovaných produktov. Na základe reakcie ceny certifikátu na zmeny implikovanej volatility je možné segment investičných produktov systematizovať do troch základných skupín:

Produkty pozitívne korelujúce s volatilitou, pri ktorých zvýšenie implikovanej volatility vedie k nárastu hodnoty produktu a naopak. Medzi tieto produkty patria napríklad garantované a outperformance certifikáty, kde dlhá pozícia v call opcii umožňuje profitovať z rastúcej volatility.

Produkty negatívne korelujúce s volatilitou, pri ktorých zvýšenie implikovanej volatility spôsobuje pokles hodnoty produktu. Sem patria diskontné certifikáty, diskon, diskon plus a sprint certifikáty, kde sa v štruktúre nachádza krátka pozícia v opcii a produkt má obmedzený maximálny výnos („strop“), čo určuje jeho negatívnu citlivosť na volatilitu.

Produkty nekorelujúce s volatilitou, kde zmeny implikovanej volatility nemajú významný dopad na hodnotu certifikátu. Medzi tieto patria indexové a basket certifikáty, ktorých výnos je priamo viazaný na vývoj podkladového aktíva alebo koša aktív, pričom derivátové komponenty sú buď absentujúce, alebo neovplyvňujú citlivosť produktu na volatilitu.

Výsledky zároveň ukazujú, že negatívna korelácia s volatilitou je typická pre produkty s obmedzeným výnosovým potenciálom, ktoré obsahujú krátku pozíciu v opcii, zatiaľ čo pozitívna korelácia je charakteristická pre produkty s dlhými opčnými pozíciami. Dôležité je tiež zdôrazniť, že vplyv zmien implikovanej volatility je relevantný len počas životnosti produktu; v deň splatnosti sa volatilita na hodnotu certifikátu premieta iba nepriamo prostredníctvom hodnoty podkladového aktíva.

Celkovo tieto zistenia umožňujú systematizovať štruktúrované produkty podľa citlivosti na volatilitu a poskytujú investorom prehľad o rizikovo-výnosových charakteristikách jednotlivých typov certifikátov, čo je kľúčové pre informované investičné rozhodovanie.

Záver

Analýza vplyvu implikovanej volatility na hodnotu vybraných investičných certifikátov potvrdila, že volatilita je kľúčovým faktorom determinujúcim časovú hodnotu opcií, ktoré tvoria základnú konštrukciu moderných štruktúrovaných produktov.

Výskum umožnil systematizovať štruktúrované produkty do troch základných skupín podľa ich citlivosti na volatilitu. Prvou skupinou sú produkty pozitívne korelujúce s volatilitou, medzi ktoré patria napríklad garantované a outperformance certifikáty; u týchto produktov rast implikovanej volatility vedie k zvýšeniu hodnoty, pričom dlhé pozície v call opciách umožňujú profitovať z rastúcej volatility. Druhou skupinou sú produkty negatívne korelujúce s volatilitou, kam patrí diskontné, diskon plus a sprint certifikáty; zvýšenie volatility u týchto produktov znižuje ich hodnotu v dôsledku prítomnosti krátkych opčných pozícií a limitovaného maximálneho výnosu. Tretia skupina zahŕňa produkty nekorelujúce s volatilitou, typicky indexové a basket certifikáty, pri ktorých zmeny implikovanej volatility nemajú významný dopad na hodnotu, keďže ich výnos je priamo viazaný na podkladové aktíva a derivátové komponenty neovplyvňujú citlivosť produktu na volatilitu.

Výskum ďalej potvrdil, že negatívna korelácia s volatilitou je typická pre produkty s obmedzeným výnosovým potenciálom a krátkymi opčnými pozíciami, zatiaľ čo pozitívna korelácia je charakteristická pre produkty obsahujúce dlhé opčné pozície. Zistenia zároveň zdôrazňujú, že vplyv implikovanej volatility je relevantný primárne počas životnosti produktu; v deň splatnosti sa volatilita na hodnotu certifikátu premieta len nepriamo prostredníctvom vývoja podkladového aktíva.

Medzi obmedzenia výskumu patrí úzke zameranie na vybrané typy investičných certifikátov a analýza založená predovšetkým na historických trhových údajoch a teoretických modeloch, bez zohľadnenia dynamických trhových podmienok alebo behaviorálnych faktorov investorov. Ďalšie štúdie by mohli rozšíriť analýzu o ďalšie kategórie štruktúrovaných produktov, skúmať vplyv makroekonomických premenných či aplikovať pokročilé numerické metódy a simulácie na modelovanie volatilného správania podkladových aktív.

Celkovo výsledky poskytujú systematizovaný prehľad o citlivosti štruktúrovaných produktov na volatilitu a môžu slúžiť investorom ako podklad pre informované rozhodovanie pri výbere produktov s ohľadom na riziko a očakávaný výnos.

Literatúra

- ALBEVERIO, S. – STEBLOVSKAYA, V. – WALLBAUM, K. 2018. The volatility target effect in structured investment products with capital protection. *Review of Derivatives Research*, 21(2), s. 201–229. ISSN 1380-6645. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11147-017-9138-2>
- AZARMI, T. F. 2017. Social costs and benefits of structured products. *Journal of Applied Management and Investments*, 6(1), s. 1–4. ISSN 2306-9847.
- BAULE, R. 2011. The order flow of discount certificates and issuer pricing behavior. *Journal of Banking & Finance*, 35(11), s. 3120–3133. ISSN 0378-4266. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.04.014>
- BAULE, R. – TALLAU, C. 2011. The pricing of path-dependent structured financial retail products: The case of bonus certificates. *Journal of Derivatives*, 18(4), s. 54–71. ISSN 1074-1240. Dostupné z: <https://doi.org/10.3905/jod.2011.18.4.054>
- BENET, B. A. – GIANNETTI, A. – PISSARIS, S. 2006. Gains from structured product markets: The case of reverse-exchangeable securities. *Journal of Banking & Finance*, 30(1), s. 111–132. ISSN 0378-4266. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2005.01.008>
- BLACK, F. – SCHOLES, M. 1973. Pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), s. 637–654. ISSN 0022-3808. Dostupné z: <https://doi.org/10.1086/260062>
- BLÜMKE, A. 2009. How to invest in structured products: a guide for investors and asset managers. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd. 392 s. ISBN 978-0-470-74679-0.
- BREUER, W. – PERST, A. 2007. Retail banking and behavioral financial engineering: The case of structured products. *Journal of Banking & Finance*, 31(3), s. 827–844. ISSN 0378-4266. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbankfin.2006.06.011>
- CHOI, Y. S. – DOSHI, H. – JACOBS, K. – TURNBULL, S. M. 2020. Pricing structured products with economic covariates. *Journal of Financial Economics*, 135(3), s. 754–773. ISSN 0304-405X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.08.002>
- CHOUDHRY, M. 2004. Corporate bonds and structured financial products. Veľká Británia: Elsevier Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-6261-1.
- DOHN, J. 2002. Volatility arbitrage and pairs trading. In: *World Scientific reference on the strategic analysis of financial markets*. Singapore: World Scientific. Chapter 22. Dostupné z: https://doi.org/10.1142/9789813225107_0011
- FABOZZI, J. F. – PETERSON, P. D. 2009. Finance: Capital markets, financial management, and investment management. s.l.: Wiley. ISBN 0470407352.
- GRÜNBICHLER, A. – WOHLWEND, H. 2005. The valuation of structured products: Empirical findings for the Swiss market. *Financial Markets and Portfolio Management*, 19(4), s. 361–380. ISSN 1555-4961. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11408-005-6457-3>
- HAUG, E. G. 2007. The complete guide to option pricing formulas. 2. vyd. New York: McGraw-Hill Education. Dostupné z: <https://www.mheducation.com/highered/mhp/product/complete-guide-option-pricing-formulas?pd=search>
- HENDERSON, B. J. – PEARSON, N. D. 2011. The dark side of financial innovation: A case study of the pricing of a retail financial product. *Journal of Financial Economics*, 100(2), s. 227–247. ISSN 0304-405X. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfineco.2010.12.006>

- HERNÁNDEZ, R. – BRUSA, J. – LIU, P. 2014. An option pricing analysis of exotic bonus certificates: The case of bonus certificates PLUS. *Theoretical Economics Letters*, 4(5), s. 331–340. ISSN 2162-2078. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.4236/tel.2014.45044>.
- HERNÁNDEZ, R. – LEE, W. Y. – LIU, P. – DAI, T. S. 2013. Outperformance certificates: Analysis, pricing, interpretation, and performance. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 40(4), s. 691–713. ISSN 0924-865X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11156-012-0294-z>
- HULL, J. C. 2021. *Options, futures, and other derivatives*. 11. vyd. London: Pearson Education. Dostupné z: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/options-futures-and-other-derivatives/P200000005938/9780136939917>
- IACUS, S. M. 2011. *Option pricing and estimation of financial models with R*. 1. vyd. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd. 456 s. ISBN 978-0-470-74584-7.
- KNOP, R. 2002. *Structured products*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0-471-48647-7.
- KOLB, R. W. – OVERDAHL, J. A. 2003. *Financial derivatives*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-23232-7.
- MERTON, R. C. 1973. Theory of rational option pricing. *Journal of Economics and Management Science*, 4(1), s. 141–183. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/3003143>
- MITRA, S. 2011. A review of volatility and option pricing. *International Journal of Financial Markets and Derivatives*, 2(3), s. 149–179. ISSN 1756-7132.
- NELKEN, I. 1996. *The handbook of exotic options: Instruments, analysis, and applications*. New York: McGraw-Hill. 362 s. ISBN 978-1557389046.
- ROSSETTO, S. – BOMMEL, J. 2009. Endless leverage certificates. *Journal of Banking & Finance*, 33(8), s. 1543–1553. ISSN 0378-4266. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbankfin.2009.03.006>
- RUBINSTEIN, M. – REINER, E. 1991. Breaking down the barriers. *Risk*, 4(8), s. 28–35. Dostupné z: <https://toaz.info/doc-view-3>
- STOIMENOV, P. A. – WILKENS, S. 2005. Are structured products 'fairly' priced? An analysis of the German market for equity-linked instruments. *Journal of Banking & Finance*, 29(12), s. 2971–2993. ISSN 0378-4266. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbankfin.2004.11.001>
- WILKENS, S. – STOIMENOV, P. A. 2007. The pricing of leverage products: An empirical investigation of the German market for 'long' and 'short' stock index certificates. *Journal of Banking & Finance*, 31(3), s. 735–750. ISSN 0378-4266.
- YEN, J. – KEUNG, L. K. 2015. *Emerging financial derivatives: Understanding exotic options and structured products*. New York: Routledge. ISBN 978-0415749549.
- ZHANG, P. G. 1998. *Exotic options*. 2. vyd. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 692 s. ISBN 9810234821.

WHEN STRONG RULES DO NOT GUARANTEE DISCIPLINE: FISCAL RULE INDEX AND COMPLIANCE IN THE EUROPEAN UNION

Ing. Andrea TKÁČOVÁ, PhD.

Technical University of Kosice
Faculty of Economics
Bozeny Nemcovej 32
040 01 Kosice, Slovak Republic

andrea.tkacova @tuke.sk

Key words

*Fiscal rules; Fiscal Rule Index (FRI); Compliance Index;
Fiscal discipline; European Union; Public finance
sustainability*

Abstract

Fiscal rules are a key instrument for ensuring the long-term sustainability of public finances; however, their effectiveness depends not only on institutional strength but also on the degree of actual compliance. This study examines the relationship between the Fiscal Rule Index (FRI), which measures the robustness of fiscal frameworks, and a newly constructed Compliance Index (CI), which aggregates compliance with four main rules – the deficit rule, debt rule, structural balance rule, and expenditure rule. The results for European Union member states over the period 2000–2023 reveal considerable heterogeneity across countries and clear procyclicality of fiscal discipline: rules are most frequently violated during economic downturns. The analysis further shows that the strengthening of fiscal rules is predominantly reactive, with new rules typically introduced only after fiscal problems have already emerged, which casts doubt on their preventive effectiveness. Methodologically, the study contributes by constructing the Compliance Index and employing cross-correlations, which provide a better understanding of the interaction between the quality of fiscal rules and their practical enforcement. The findings carry important implications for the ongoing reform of the European fiscal framework, highlighting the need for simpler, enforceable, and politically sustainable rules.

Introduction

Fiscal rules represent formal constraints on budgetary policy designed to ensure the long-term sustainability of public finances. In the European Union, the number and scope of such rules have significantly expanded over the past two decades, both at the EU level (e.g., the 3% deficit ceiling and 60% debt limit under the Stability and Growth Pact) and at the level of national budgets (e.g., national debt brakes and expenditure ceilings). To quantify the strength and quality of fiscal rules, the literature commonly employs the Fiscal Rules Index (FRI). This index accounts for several characteristics of fiscal rules – such as legal enforceability, institutional coverage, the presence of independent monitoring, correction mechanisms in the event of non-compliance, and resilience to economic shocks (Larch et al., 2023). It is based on the methodology developed by the European Commission (DG ECFIN) and enables comparisons of the overall stringency of fiscal frameworks across countries and over time. FRI values in the EU have increased over time, as many countries have introduced new rules or strengthened existing ones (particularly after the breaches of the Stability and Growth Pact in the early 2000s and during the sovereign debt crisis of 2008–2012) (Eyraud

& Wu, 2015). These reforms have moved toward “second-generation” fiscal rules, which combine greater flexibility with more stringent enforcement (Caselli et al., 2018). Overall, the literature suggests that stronger and better-designed rules should impose harder budget constraints and thereby foster fiscal discipline (Heinemann et al., 2018; Badinger & Reuter, 2017).

Given the growing importance of fiscal rules for the stability of public finances, the aim of this study is to analyze the link between their formal strength and their actual compliance. The study uses the Fiscal Rule Index (FRI) and the aggregated Compliance Index (CI) and focuses on the member states of the European Union in the years 2000–2023.

1 Literature review

A vast body of empirical literature investigates whether fiscal rules indeed lead to more responsible budgetary policy. The overall findings are fairly consistent: countries with established and stringent fiscal rules tend to exhibit better fiscal outcomes on average than countries without rules or with weaker ones. The meta-analysis by Heinemann et al. (2018), covering dozens of studies, confirms that the presence of numerical fiscal rules is statistically associated with lower deficits and slower debt accumulation. Similarly, Badinger and Reuter (2017) find, based on a sample of EU countries, that the strengthening of fiscal institutions leads to a significant improvement in the budget balance. Several other studies (e.g., Fall et al., 2015; Caselli & Reynaud, 2020) provide robust evidence that fiscal rules enhance fiscal performance – resulting in smaller deficits, lower debt burdens, and often lower volatility of public expenditures. Moreover, there is evidence that rules increase the credibility of fiscal policy: governments with well-designed rules deliver more accurate budget forecasts and achieve better credit ratings (Afonso & Jalles, 2019; Luechinger & Schaltegger, 2013). Importantly, appropriately designed rules need not have negative side effects – research has not found systematic crowding out of public investment or an increase in the procyclicality of fiscal policy in countries with fiscal rules, provided that the rules contain adequate flexibility clauses (Guerguil et al., 2017). These findings underscore that fiscal rules can serve as an effective instrument of fiscal discipline, particularly when they are well-designed and embedded within a broader institutional framework (Christofzik et al., 2018).

Despite the positive potential of fiscal rules, the EU’s historical record shows mixed results regarding their compliance. Several studies have analyzed the extent to which member states actually meet their rule-based budgetary targets. A new database compiled by the European Fiscal Board (EFB), which tracks numerical compliance with the four main SGP rules (deficit, debt, structural balance, and expenditure) since 1998, reveals that on average, across countries and years, only slightly more than half of the annual limits were met (Lach et al., 2023). In other words, roughly 50% of the time governments complied with the fiscal rule, while in the other half they breached or significantly deviated from it. Moreover, there are substantial cross-country differences: some states (e.g., Scandinavian countries and Luxembourg) have consistently high compliance rates, whereas others (notably Southern European countries) show repeated violations of the rules (Larch et al., 2023). Another recurring phenomenon is the cyclical pattern of compliance: during “good times” (periods of economic growth), countries are more likely to meet deficit and debt criteria, which may lead to a false sense of security and procyclical fiscal loosening. Conversely, during recessions fiscal positions deteriorate sharply, and the rules are breached – often invoking exceptional circumstances clauses. This procyclical element implies that compliance is highest during upswings, precisely when governments should be building buffers (Larch et al., 2023).

Empirical analyses also point to “threshold behavior”: for instance, Caselli & Wingender (2018) identified “bunching around the 3% threshold” for government deficits, indicating that many countries deliberately managed their budgets to just meet the deficit ceiling – often through one-off measures or optimistic forecasts. This phenomenon confirms the behavioral impact of rules on governments, but also raises questions about the sustainability of compliance: if rules are met only formally, without genuine fiscal consolidation, fiscal discipline may be illusory (Eyraud et al., 2017).

A key research question is to what extent stricter (stronger) fiscal rules also lead to better compliance and genuine fiscal discipline. Several recent EU-focused studies stress that the quality and design of the rules are decisive. Larch et al. (2023) argue that stronger domestic fiscal institutions and governance go hand in hand with greater willingness to adhere to EU budgetary limits. The presence of well-crafted rules and robust institutions creates “domestic ownership” of fiscal commitments, thereby reducing the tendency to breach

the rules during adverse periods. By contrast, weak rules (e.g., with easily adjustable targets or no sanctions) fail to provide a credible barrier against expansionary pressures, allowing governments to circumvent them.

Independent fiscal oversight and the broader institutional environment also play a crucial role in compliance. Reuter (2019) finds, in an analysis of national fiscal rule breaches in the EU, that countries with active independent fiscal councils and well-enforced rules violate their targets less frequently. Independent fiscal councils enhance transparency and increase the political cost of non-compliance, thereby fostering adherence (Beetsma et al., 2019; Reuter, 2019). Conversely, political cycles and electoral incentives can undermine discipline: in election years, governments have a tendency to loosen or bypass fiscal rules, a pattern confirmed by empirical data (e.g., Căpraru et al., 2025a observed a statistically significant drop in compliance in election years and during frequent government changes) (Ardanaz et al., 2024).

An interesting perspective is provided by the recent study of Căpraru et al. (2025b), which examines the number of rules and compliance in the EU. The authors identify a non-linear relationship: up to a certain point, more rules (a larger set of fiscal anchors) correlate with better compliance – likely because multiple budgetary constraints reinforce the government’s commitment. However, beyond a certain “saturation threshold,” additional rules may become counterproductive: an overly complex system of parallel rules may undermine transparency and enforceability, leading to weaker overall discipline (Căpraru et al., 2025b). This finding can be summarized as “less is sometimes more” – excessive complexity in the fiscal framework may facilitate rule-evasion or erode credibility in the eyes of the public.

The literature thus converges on the view that fiscal rules can significantly contribute to fiscal discipline, particularly when they are sufficiently strong, well-designed, and rigorously enforced. Stronger rules – as measured by the FRI – are associated with better budgetary outcomes and higher compliance with the prescribed limits. However, the mere existence of rules is not a panacea: success depends on political will, the quality of institutions (independent fiscal councils, transparent accounting), and adequate flexibility that allows for countercyclical responses. EU experience suggests that when rules are realistically designed and violations carry real reputational or financial costs, compliance is more likely (Reuter, 2019; Larch et al., 2023). These insights are highly relevant in the context of the ongoing reform of the European fiscal framework, as they point to the need for simpler and more enforceable rules to achieve better budgetary discipline without unnecessary regulatory complexity (Căpraru et al., 2024).

2 Methodology

The objective of this scientific study is to analyze the relationship between the strength of fiscal rules and their compliance in the EU member states over the period 2000–2023. The analysis relies on two main data sources. The Fiscal Rule Index (FRI) was obtained from the European Commission dataset, which quantifies the institutional strength of fiscal rules in EU member states. Data on compliance with the four main fiscal rules (deficit, debt, structural balance, and expenditure rule) were taken from the numerical fiscal rules database (European Commission, 2025b; Lach et al., 2023).

Based on these data, a Compliance Index (CI) was constructed, summarizing compliance with individual rules into a single indicator. The computation procedure was as follows:

1. Deviations from the rules were normalized to the interval $\langle 0,1 \rangle$ using a min–max transformation:

$$x_{i,t,r}^{norm} = \frac{x_{i,t,r} - \min(x_{t,r})}{\max(x_{t,r}) - \min(x_{t,r})} \quad (1)$$

where $x_{i,t,r}$ represents the deviation of country i in year t for rule r .

2. For all rules, a higher deviation indicates a breach; therefore, after normalization, the scale was inverted. The transformation was applied so that a value of 1 denotes full compliance and 0 denotes a violation of the rule.

$$c_{i,t,r} = 1 - x_{i,t,r}^{norm} \quad (2)$$

3. The Compliance Index was obtained as the arithmetic mean of the values across the four rules:

$$CI_{i,t} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R c_{i,t,r} \quad (3)$$

where $R=4R = 4R=4$ represents the number of rules considered. The interpretation of the index is straightforward: values closer to 1 indicate high fiscal discipline, while values closer to 0 signal frequent or severe rule violations.

To examine the relationship between the institutional strength of the rules (FRI) and their actual compliance (CI), we employed cross-correlations with time lags ranging from -3 to $+3$ years. In our case, the relationship between FRI and CI is nonlinear and discontinuous, as FRI increases in discrete jumps when new rules are introduced, whereas CI fluctuates according to the economic cycle and fiscal policy stance. For this reason, we selected Spearman's rank correlation, which is more robust as it captures monotonic (but not necessarily linear) relationships, better reflecting the reality of fiscal reforms and compliance behavior.

3 Results

3.1 Fiscal Rule Index

The Fiscal Rule Index (FRI) is a composite indicator that evaluates the institutional strength of fiscal rules across European Union countries. It takes into account the legal basis, coverage, monitoring mechanisms, correction procedures, and the flexibility of the rules. The higher the value of the index, the stronger and more robust the institutional framework of fiscal policy, and the greater the likelihood that the rules will contribute to the long-term sustainability of public finances in practice (European Commission, 2025).

Figure 1 displays boxplots of FRI values for individual EU countries over the period 2000–2023. This approach allows for visualization not only of the average level of institutional strength of fiscal rules but also of their variability over time.

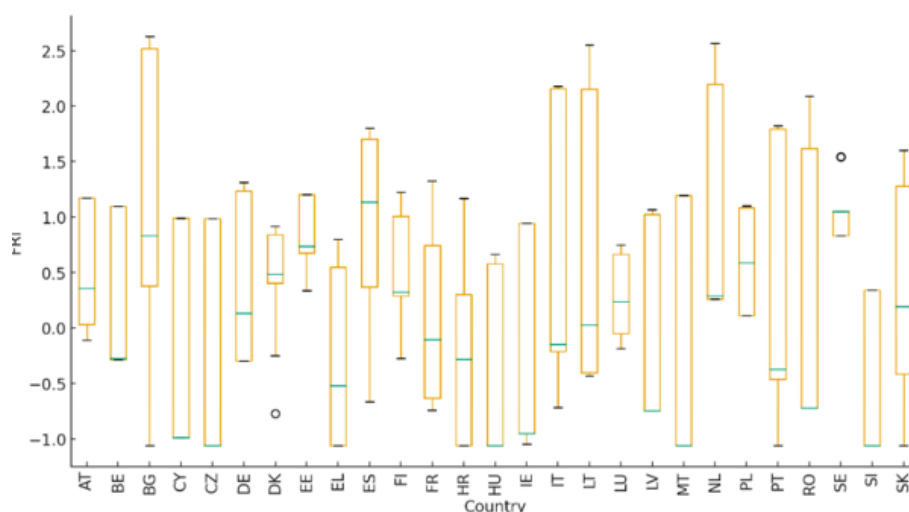


Figure 1 Fiscal Rule Index (2000-2023) – distribution by country

Source: own calculation

The results point to several important findings. First, the Nordic countries such as Sweden and Finland, as well as the Netherlands, belong to the group of countries with consistently high FRI values. These are states with a strong tradition of fiscal responsibility, where fiscal rules are firmly embedded in the legal system, cover a broad range of public institutions, and are supported by independent oversight. Their boxplots show not only a high median value but also low variability, indicating a stable fiscal framework.

Second, some countries—particularly the new member states such as Slovakia, Croatia, and Slovenia—experienced a significant increase in FRI only after 2010. This shift is associated with reforms introduced in the aftermath of the global financial crisis and the European sovereign debt crisis, which necessitated the strengthening of national fiscal rules, the adoption of constitutional debt brakes or expenditure ceilings, and the establishment of fiscal councils. The boxplots of these countries display a wider range of values, reflecting the dynamic process of institutional strengthening during the observed period.

Third, several countries such as Italy, Greece, and Portugal remain in the lower part of the distribution. Their fiscal rules have a weaker legal basis, lack effective correction mechanisms, and have historically been

characterized by insufficient enforceability. The high variability of FRI values in these cases indicates repeated attempts at reform that have failed to produce long-term stable results.

Overall, it can be concluded that the FRI in the EU has gradually increased, particularly after 2010, when member states responded to fiscal imbalances. Nevertheless, significant heterogeneity persists across countries: while some have firmly entrenched and stable fiscal rules, others have undergone only partial reforms, leaving their fiscal frameworks less robust. These differences can be explained by divergent fiscal cultures, the quality of institutions, and the political will to support fiscal discipline.

3.2 Compliance with Fiscal Rules

Compliance with fiscal rules represents the practical dimension of fiscal discipline, complementing the institutional strength of the rules as measured by the FRI. While the FRI assesses the quality and robustness of the rules *de jure*, compliance reflects the extent to which these rules are actually observed *de facto*.

To provide a clearer picture of compliance with fiscal rules, Figures 2 and 3 were constructed. Figure 2 displays the total number of breaches of individual fiscal rules in EU member states over the period 2000–2024. The graph allows for a comparison of which countries most frequently fell out of compliance with the rules and simultaneously shows which rules were violated the most.

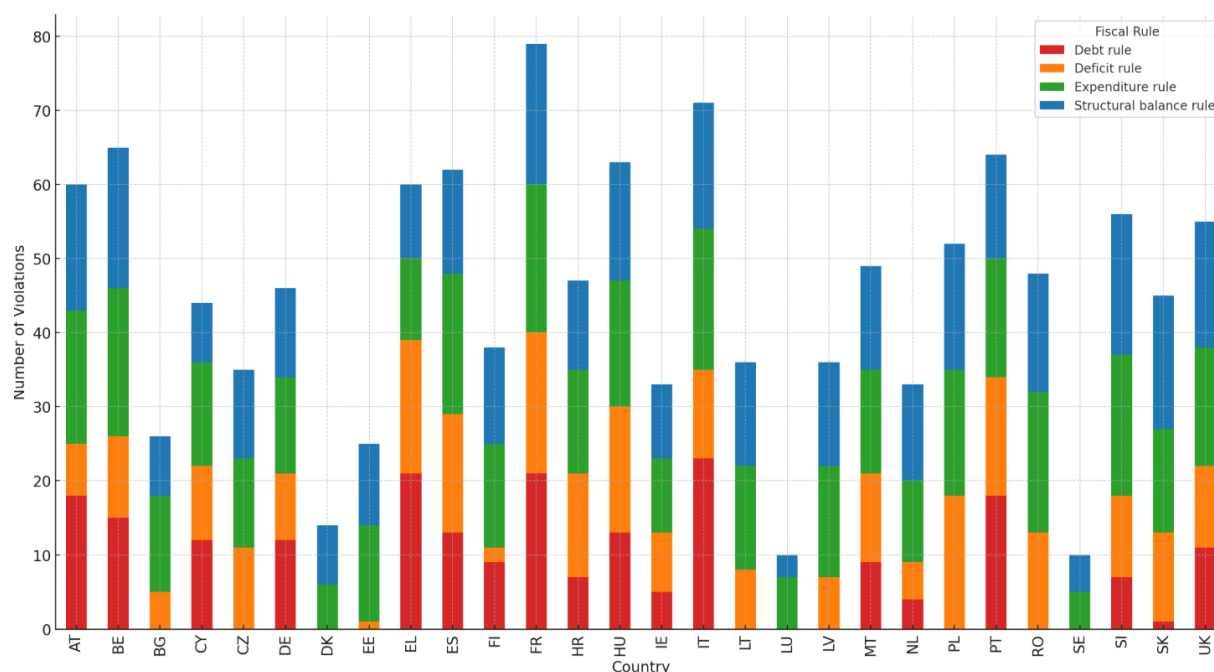


Figure 2 Number of Rule Violations by Country (2000-2024)

Source: own calculations

Výsledky jasne naznačujú rozdiely medzi jednotlivými regiónmi EÚ. **Južná Európa** (Grécko, Taliansko, Portugalsko a Španielsko) patrí medzi krajiny s najvyšším počtom porušení, pričom dominantné sú najmä **deficitné a dlhové pravidlo**. To odráža dlhodobu pretrvávajúcu fiškálnu nerovnováhu a vysoké zadlženie v týchto krajinách, ktoré sa ešte zvýraznili počas krízových období. **Francúzsko a Belgicko** sa taktiež vyznačujú vysokým počtom porušení, najmä v oblasti dlhového pravidla, čo korešponduje s dlhodobým prekračovaním hranice 60 % HDP.

Naopak, **severské krajiny** (Švédsko, Fínsko, Dánsko) a **niektoré menšie ekonomiky** (Estónsko, Luxembursko, Malta) majú výrazne nižší počet porušení, čo poukazuje na ich stabilnejšiu fiškálnu politiku a väčšiu disciplínu pri dodržiavaní stanovených limitov. **Stredná a východná Európa** (napr. Slovensko, Česká republika, Poľsko, Maďarsko) dosahuje stredné hodnoty, pričom porušenia sa v týchto krajinách sústredili najmä na deficitné pravidlo, čo súvisí s expanzívnu fiškálnou politikou po hospodárskej kríze a počas pandémie.

Celkovo je z Obrázku 2 zrejmé, že **deficitné a dlhové pravidlo sú najčastejšie porušovanými nástrojmi fiškálneho rámca v EÚ**, zatiaľ čo štrukturálne a výdavkové pravidlo sa porušovalo menej často. To potvrdzuje, že práve udržanie dlhovej a deficitnej disciplíny je pre mnohé členské štáty najväčšou výzvou. V priemere sa za krajiny v danom období pravidlá nedodržovali na úrovni 44,8%.

Obrázok 3 zobrazuje počet porušení jednotlivých fiškálnych pravidiel v členských štátoch Európskej únie podľa rokov v období 2000–2024. Umožňuje sledovať dynamiku dodržiavania pravidiel v čase a identifikovať obdobia, kedy dochádzalo k ich najčastejšiemu porušovaniu.

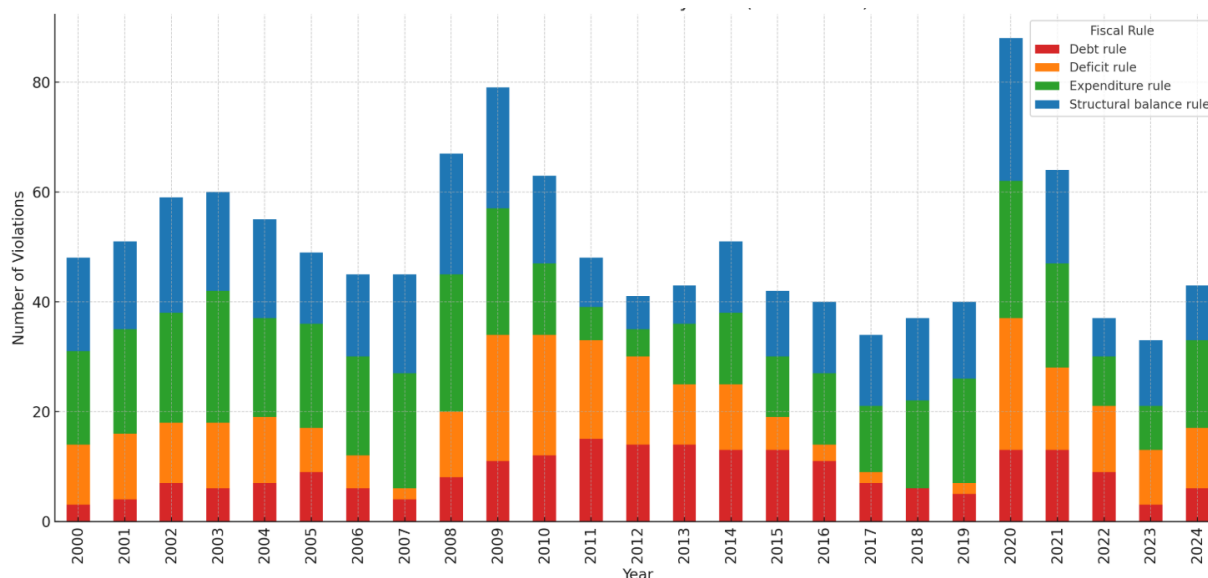


Figure 3 Number of Rule Violations by Years (2000-2024)

Source: own calculations

The results clearly indicate significant differences across EU regions. Southern Europe (Greece, Italy, Portugal, and Spain) belongs to the group of countries with the highest number of violations, with the deficit and debt rules being the most frequently breached. This reflects long-standing fiscal imbalances and high debt levels in these countries, which became even more pronounced during crisis periods. France and Belgium also exhibit a high number of breaches, particularly of the debt rule, consistent with their persistent exceedance of the 60% of GDP threshold.

In contrast, the Nordic countries (Sweden, Finland, Denmark) and some smaller economies (Estonia, Luxembourg, Malta) show a markedly lower number of violations, indicating more stable fiscal policies and stronger discipline in adhering to the established limits. Central and Eastern European countries (e.g., Slovakia, Czech Republic, Poland, Hungary) fall within the middle range, with breaches concentrated primarily on the deficit rule, which is related to expansionary fiscal policies implemented after the financial crisis and during the pandemic.

Overall, Figure 2 demonstrates that the deficit and debt rules are the most frequently violated components of the EU fiscal framework, whereas the structural balance and expenditure rules have been breached less often. This confirms that maintaining debt and deficit discipline remains the greatest challenge for many member states. On average, across all countries in the observed period, the rules were not complied with 44.8% of the time.

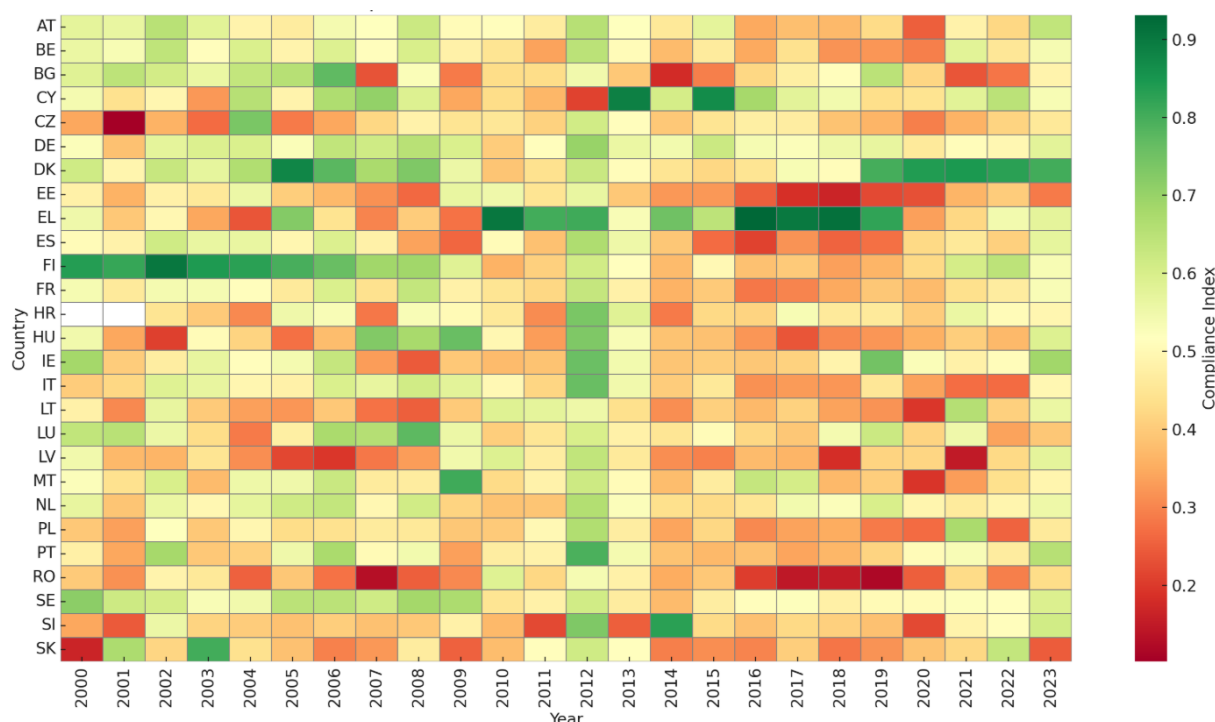
Figure 3 presents the number of breaches of the individual fiscal rules by year for EU member states in the period 2000–2024. It allows tracking of the dynamics of rule compliance over time and identification of periods in which violations were most frequent.

3.3 Compliance index

The dataset of the European Fiscal Board (2024), which covers the four main rules – deficit, debt, structural balance, and expenditure – also makes it possible to measure compliance based on numerical deviations

from the established limits. In this way, it is possible to distinguish not only binary compliance or non-compliance with a rule but also the magnitude of the breach or overshoot of the limit.

In order to create a more comprehensive indicator capable of aggregating the specific magnitudes of fiscal rule breaches, we constructed the Compliance Index (CI), which aggregates information on compliance with all four rules into a single figure, following the procedure described in the methodology section. This index therefore synthetically expresses the extent to which a country complied with fiscal rules in a given year. Figure 4 presents the CI results for the period 2000–2023.



Notes: green = higher discipline (closer to 1); red = weaker compliance (closer to 0)

Figure 4 Compliance Index (2000–2023)

Source: authors' own calculations

The results displayed in Figure 4 highlight several key findings. First, there is substantial heterogeneity across countries. The Nordic states (Sweden, Finland, Denmark) and Estonia maintain index values close to 1, indicating their long-standing fiscal discipline. By contrast, the Southern European countries (Greece, Italy, Portugal, and often Spain) record persistently low values, reflecting repeated rule breaches and persistent challenges to public finance stability.

Second, crisis periods are clearly visible. The global financial crisis of 2008–2010 caused a sharp decline in the Compliance Index across the EU, particularly for the deficit and debt rules. An even more pronounced drop occurred in 2020 during the COVID-19 pandemic, when virtually all countries loosened fiscal policy and temporarily suspended rule compliance. This development confirms that compliance with fiscal rules is highly procyclical—improving during periods of economic growth and deteriorating during recessions.

Third, in the post-2012 period, a moderate improvement in the index can be observed among the new EU member states. This is related to the adoption of the Fiscal Compact and the introduction of constitutional debt brakes, expenditure ceilings, and independent fiscal councils. Although not all of these measures led to permanent compliance, they enhanced the credibility of fiscal frameworks and shifted index values toward higher levels.

Overall, the Compliance Index shows that the EU as a whole struggles with consistent adherence to fiscal rules, particularly during crises. At the same time, distinct groups of countries can be identified—those that are consistently disciplined, those with unstable discipline, and those that are chronic rule-breakers.

3.4 CI a FRI

To better understand the relationship between the institutional strength of fiscal rules (*de jure*) and their actual compliance (*de facto*), we constructed a two-dimensional representation based on two key indicators: the Fiscal Rule Index (FRI) and the aggregated Compliance Index. The horizontal axis represents the strength of fiscal rules (FRI), while the vertical axis captures the level of compliance. Cross-axes drawn through the EU average values divide the space into four quadrants representing a typology of countries:

1. Strong rules and high discipline.
2. Weak rules and high discipline.
3. Strong rules and low discipline.
4. Weak rules and low discipline.

Given the size of the dataset (2000–2023), results are not presented for every year but for a representative selection shown in Figures 5 to 8. The analysis includes the years 2000, 2008, 2012, and 2020, which capture key economic and institutional milestones: the beginning of the observation period and pre-accession phase (2000), the onset of the global financial crisis (2008), the adoption of the Fiscal Compact and strengthening of fiscal frameworks (2012), and the fiscal shock caused by the COVID-19 pandemic (2020). This selection allows for a comparison of country behavior under different conditions without sacrificing the clarity of results.

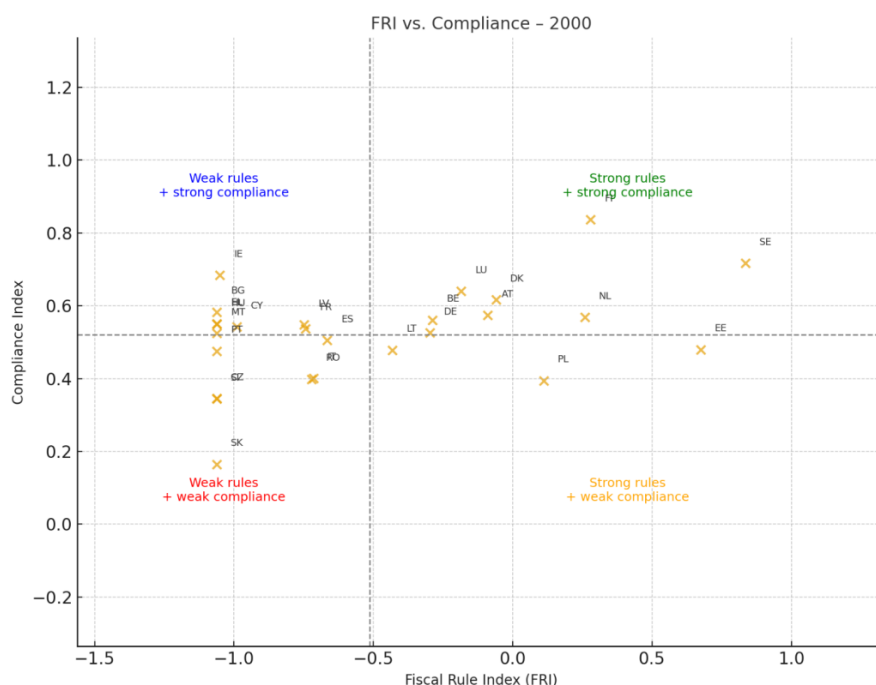


Figure 5 FRI vs. Compliance Index 2000

Source: authors' own calculation

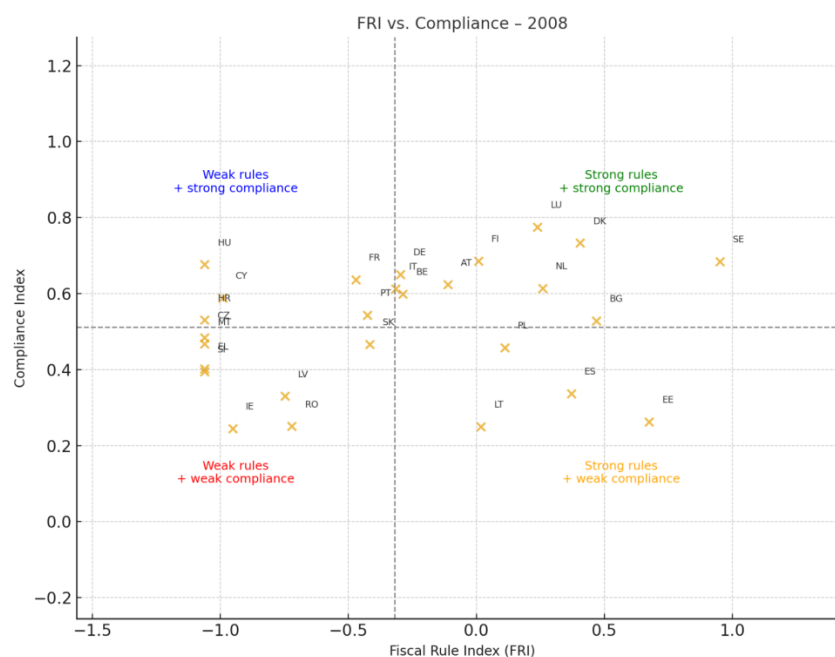


Figure 6 FRI vs. Compliance Index 2008

Source: authors' own calculations

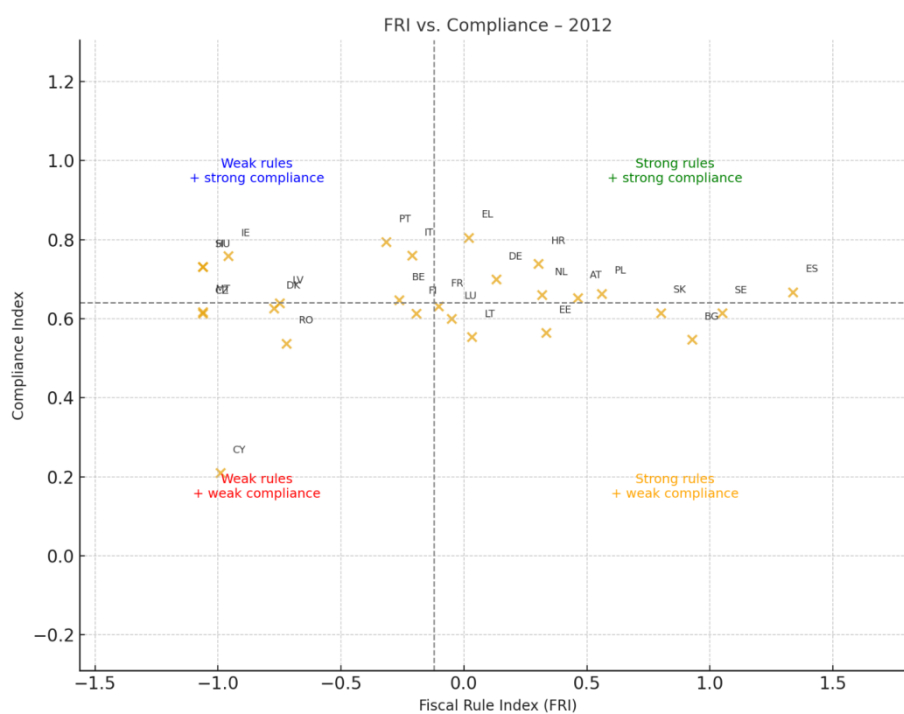


Figure 7 FRI vs. Compliance Index 2012

Source: authors' own calculations

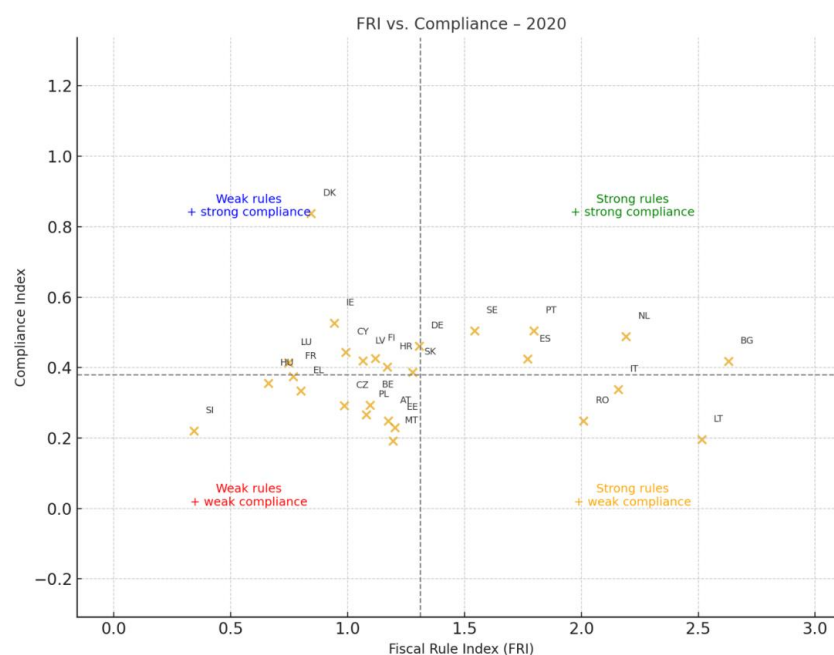


Figure 8 FRI vs. Compliance Index 2020

Source: authors' own calculations

The results presented in Figures 5 to 8 indicate that the positioning of countries within the quadrants was not random but reflected their historical experience, the degree of institutional entrenchment of fiscal rules, and their capacity to respond to economic shocks.

In 2000 (Figure 5), most EU countries were concentrated in the lower quadrants, as fiscal rules were not yet fully developed and the CI was more closely linked to the prevailing economic situation than to the strength of the institutional framework. For instance, the Baltic states were located predominantly in the “weak rules but disciplined” quadrant, whereas Southern countries such as Greece and Italy already combined weaker rules with low discipline at that time.

In 2008 (Figure 6), at the onset of the global financial crisis, the differences between countries deepened. The Nordic states and some core countries (Sweden, Finland, Germany, the Netherlands) were positioned in the “strong rules and high discipline” quadrant, reflecting their stable fiscal policies and high credibility of the rules. Conversely, countries with large deficits and rising debt, such as Greece and Portugal, moved further into the “weak rules and low discipline” quadrant.

The year 2012 (Figure 7) marked a visible shift for several countries, particularly the new member states and the periphery of the euro area. Following the adoption of the Fiscal Compact and the introduction of constitutional debt brakes, the FRI increased, shifting these countries further to the right on the horizontal axis. However, differences in compliance remained evident: while Slovakia and Slovenia moved closer to the middle, Italy and France remained in the “strong rules but low discipline” quadrant, illustrating the gap between formal frameworks and actual policy implementation.

The pandemic year 2020 (Figure 8) was characterized by a dramatic deterioration in CI across virtually all countries. Even traditionally disciplined states dropped lower on the compliance axis, shifting closer to the lower quadrants. Nevertheless, a clear distinction remained between countries with robust rules, which maintained some degree of credibility even during the crisis (e.g., Germany, Finland), and those where the combination of high debt and weak institutions was most apparent (Greece, Italy, Portugal).

Overall, the observed periods confirm a positive but incomplete relationship between the strength of fiscal rules and compliance. The countries with the most stable position in the “strong rules and high discipline” quadrant are those that have long combined a robust legal framework with a strong fiscal culture (Nordic states, Germany, the Netherlands). By contrast, countries in the lower quadrants repeatedly return there despite formal reforms, pointing to persistent problems with political will and structural imbalances.

1.5 Relationship between the Compliance Index and FRI

To complement the two-dimensional analysis of the relationship between the strength of fiscal rules and their compliance, we calculated cross-correlations between the Fiscal Rule Index (FRI) and the Compliance Index with time lags of up to three years forward and backward. The aim was to examine whether there is a systematic relationship between the introduction or strengthening of fiscal rules and subsequent compliance, or conversely, whether new rules are adopted as a reaction to previous problems with fiscal discipline.

Table 1 Results of cross-correlations between FRI and CI

Country	Lag -3	Lag -2	Lag -1	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3
AT	-0.593	-0.518	-0.613	-0.485	-0.484	-0.481	-0.392
BE	-0.779	-0.650	-0.580	-0.470	-0.483	-0.501	-0.380
BG	-0.466	-0.451	-0.471	-0.500	-0.505	-0.439	-0.390
CY	0.037	0.156	0.326	0.352	0.219	0.117	-0.043
CZ	0.017	0.012	-0.037	-0.105	-0.267	-0.265	-0.220
DE	-0.109	-0.236	-0.300	-0.305	-0.359	-0.443	-0.375
DK	-0.433	-0.169	-0.067	0.045	0.249	0.418	0.615
EE	-0.594	-0.518	-0.594	-0.672	-0.517	-0.494	-0.443
EL	0.608	0.523	0.418	0.352	0.287	0.271	0.199
ES	-0.618	-0.507	-0.408	-0.351	-0.298	-0.363	-0.364
FI	-0.702	-0.501	-0.340	-0.282	-0.184	-0.098	-0.074
FR	-0.676	-0.747	-0.612	-0.503	-0.527	-0.533	-0.508
HU	-0.364	-0.375	-0.332	-0.307	-0.281	-0.325	-0.388
IE	-0.135	0.091	0.191	0.077	0.102	0.127	-0.018
IT	-0.408	-0.516	-0.737	-0.619	-0.555	-0.619	-0.457
LT	-0.111	0.024	0.058	0.113	0.181	0.147	0.310
LU	-0.374	-0.316	-0.337	-0.366	-0.224	-0.171	-0.071
LV	0.075	-0.055	-0.033	-0.231	-0.236	-0.042	-0.046
MT	-0.173	-0.245	-0.383	-0.391	-0.295	-0.298	-0.450
NL	-0.185	-0.102	-0.248	-0.188	-0.123	-0.160	-0.006
PL	-0.312	-0.200	-0.350	-0.365	-0.308	-0.466	-0.514
PT	-0.190	-0.087	-0.131	-0.123	-0.158	-0.279	-0.102
RO	-0.379	-0.286	-0.332	-0.296	-0.297	-0.322	-0.275
SE	-0.489	-0.512	-0.604	-0.602	-0.511	-0.487	-0.587
SI	0.187	0.159	0.227	0.138	0.043	0.146	0.157
SK	-0.083	0.001	0.127	-0.135	-0.424	-0.457	-0.324
HR	0.126	0.205	0.265	0.181	0.206	0.099	-0.086

Source: authors' own calculations

The results of Spearman's correlation (Table 1) show that in most EU countries the relationship between the strength of fiscal rules and their actual compliance is weak, with significant values (above $|0.5|$) occurring only in a limited number of cases. Most often, the correlations are negative – for example in Belgium, France, Italy, Finland, Estonia, Austria, Spain, and Poland. This means that the strengthening of fiscal rules in these countries has generally been a reaction to previous fiscal problems and has not led to an improvement in discipline in the following years. This trend is most pronounced in Southern European countries, where post-2010 rule reforms were driven by pressure from the European Union and financial markets but failed to fundamentally change government behavior regarding adherence to budgetary limits.

Positive correlations exceeding the significance threshold occurred only in exceptional cases – for instance, in Greece and Denmark, and only for specific time lags. In the case of Greece, this is more a consequence of extreme fiscal adjustment in the aftermath of the debt crisis, when the strengthening of rules was accompanied by some effort at fiscal discipline. In Denmark, the positive relationship is associated with a stable fiscal framework and a tradition of compliance with budgetary rules, but this represents an exception rather than a typical pattern in the EU.

Overall, these results suggest that fiscal rules in the EU are predominantly reactive in nature – countries tighten them only after experiencing deficit or debt problems, but this does not automatically lead to improved compliance. The true effectiveness of fiscal rules thus depends not only on their formal design but above all on political will and institutional capacity to enforce them.

Discussion

The results of our analysis highlight significant differences between the formal strength of fiscal rules and their actual compliance in EU member states. While in some countries there is a clear correlation between high FRI values and stable rule compliance (e.g., Sweden, Finland, Estonia), in other cases we identified a mismatch, where strong rules were accompanied by frequent breaches (e.g., Italy, France). These findings are consistent with the literature emphasizing that the mere existence of rules does not guarantee their effectiveness unless they are supported by strong institutions and political commitment (Reuter, 2024; Larch, Malzubris & Santacroce, 2025).

The aggregated Compliance Index made it possible to capture not only binary compliance with individual rules but also the overall fiscal discipline of countries over time. From our perspective, this represents an important step forward, as the existing literature often points to the problem of “formal compliance” with criteria without genuine fiscal consolidation (Caselli & Wingender, 2018). Our heat-map analysis showed that the deficit and debt rules were the most frequently breached, which is in line with the findings of Căpraru (2025), who emphasizes that these two rules are most exposed to political cycles and short-term fiscal pressures.

An important finding from our cross-correlation analysis is that the relationship between the FRI and the Compliance Index is predominantly negative, suggesting that countries typically strengthen fiscal rules *ex post* – i.e., in response to fiscal problems rather than as a preventive measure. This “reactive nature of reforms” was previously confirmed by Larch et al. (2025), who showed that changes in national rules often follow episodes of non-compliance with EU criteria. Similarly, Căpraru (2025) documents that the tightening of rules and the strengthening of fiscal institutions frequently occur in response to pressure from financial markets or the EU, which does not necessarily lead to an immediate improvement in discipline.

The question of the number and complexity of rules also deserves attention. Our results show that a higher FRI does not always imply better compliance, consistent with the conclusions of Căpraru, Pappas, and Sprincean (2024), who argue that excessive proliferation of rules can reduce their enforceability and transparency. By contrast, simply designed but well-implemented rules combined with independent oversight may be more effective than a complex set of weakly binding norms.

Overall, our findings support the argument that the key factor behind the effectiveness of fiscal rules is not merely their formal strength but rather their implementation, enforceability, and embedding within the broader institutional environment. In this context, the Compliance Index offers added value, as it makes it possible to measure countries’ fiscal discipline holistically and compare it with the formal strength of fiscal frameworks. This methodological innovation provides a new perspective on why some countries comply with fiscal rules while others do not and can be a relevant contribution to ongoing debates on the reform of the EU fiscal framework (Brändle & Elsener, 2024).

While our results provide an important perspective on the relationship between the strength of fiscal rules and their compliance, several limitations must be acknowledged. First, the Compliance Index aggregates four main rules into a single indicator, which inevitably leads to a loss of detailed information about specific differences between rules. Moreover, the process of normalizing and transforming deviations may affect results, particularly in the presence of countries with extreme violation values that influence the range.

Another limitation is the time horizon: our analysis covers the years 2000–2023, which include several shocks (the financial crisis, the euro area debt crisis, the COVID-19 pandemic) that may have temporarily

disrupted rule compliance and distorted the relationship between FRI and discipline. From a methodological point of view, it is also important to note that Spearman cross-correlations capture only monotonic relationships and cannot fully reveal more complex nonlinear dynamics that may exist between fiscal institutions and government behavior.

Finally, our study relies on data from European Commission databases, which, while consistent, may not perfectly capture qualitative aspects of compliance, such as political culture, the impact of elections, or specific national institutional practices. Future research should therefore combine quantitative approaches with in-depth case studies.

Conclusion

This study analyzed the relationship between the institutional strength of fiscal rules, measured by the Fiscal Rule Index (FRI), and their actual compliance, aggregated into a newly constructed Compliance Index (CI). The analysis covering EU member states over the period 2000–2023 revealed several important findings. First, we confirmed that rule compliance is uneven across countries and over time – the deficit and debt rules were the most frequently violated, with breaches peaking during crisis periods. By contrast, the structural balance and expenditure rules had lower violation rates, highlighting their complementary, rather than primary, role in the fiscal framework.

The visualization results revealed clear regional patterns: while Nordic and some Central European countries show high discipline, Southern Europe and some Western states struggle with repeated breaches. Cross-correlations further confirmed that the tightening of fiscal rules is in most cases reactive – countries tend to adopt new rules only after fiscal problems have emerged rather than as a preventive measure. This conclusion is consistent with the literature emphasizing the need not only for strict rules but also for strong institutions and political will for their enforcement (Reuter, 2024; Larch, Malzubris & Santacroce, 2025).

From a methodological perspective, the main contribution of our study lies in the construction of the Compliance Index, which makes it possible to aggregate information on compliance with multiple rules into a single indicator. This approach provides a new perspective on the relationship between formal fiscal frameworks and actual government behavior and can be used in future empirical studies.

Overall, our results suggest that the mere existence or formal strength of rules does not guarantee fiscal discipline. Success depends on the quality of implementation, independent oversight, and institutional embedding. In this context, the ongoing debate on the reform of the EU fiscal framework is highly relevant – it should aim toward simpler but more effective rules that are transparent, enforceable, and politically sustainable.

Literature

- AFONSO, A. - JALLES, J. T. (2019). Fiscal rules and government financing costs. *Fiscal Studies*, 40(1), 71-90.
- ARDANAZ, M. - ULLOA-SUÁREZ, C. - VALENCIA, O. (2024). Why don't we follow the rules? Drivers of compliance with fiscal policy rules in emerging markets. *Journal of International Money and Finance*, 142, 103046.
- BADINGER, H. - REUTER, W. H. (2017). The case for fiscal rules. *Economic Modelling*, 60, 334-343.
- BEETSMA, R. - DEBRUN, X. - FANG, X. - KIM, Y. - LLEDÓ, V. - MBAYE, S. - ZHANG, X. (2019). Independent fiscal councils: Recent trends and performance. *European Journal of Political Economy*, 57, 53-69.
- CĂPRARU, B. - GEORGESCU, G. - SPRINCEAN, N. (2025b). Fiscal Rules, Independent Fiscal Institutions and Sovereign Risk: Evidence From the European Union. *International Journal of Finance & Economics*.
- CĂPRARU, B. - PAPPAS, A. - SPRINCEAN, N. (2025a). Fiscal rules in the European Union: Less is more. *JCMS: Journal of Common Market Studies*, 63(1), 320-334.
- CASELLI, F. G. - WINGENDER, M. P. (2018). *Bunching at 3 percent: The Maastricht fiscal criterion and government deficits*. International Monetary Fund.
- CASELLI, F. - REYNAUD, J. (2020). Do fiscal rules cause better fiscal balances? A new instrumental variable strategy. *European Journal of Political Economy*, 63, 101873.

- CASELLI, F. - EYRAUD, L. - HODGE, A. - KALAN, F. D. - KIM, Y. - LLEDÓ, V., ... - WINGENDER, P. (2018). Second-generation fiscal rules. *Balancing Simplicity, Flexibility and Enforceability*, Washington (DC).
- EUROPEAN COMMISSION, 2025A. *Fiscal rules dataset*. Available on: <https://data.europa.eu/data/datasets/fiscal-rules-database?locale=en>
- EUROPEAN COMMISSION, 2025B. *Compliance Tracker*. Available on: https://commission.europa.eu/topics/fiscal-policy/european-fiscal-board-efb/compliance-tracker_en
- EYRAUD, L. - WU, M. T. (2015). *Playing by the rules: Reforming fiscal governance in Europe*. International Monetary Fund. Available on: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2015/wp1567.pdf>
- EYRAUD, L. - GASPAR, V. - POGHOSYAN, M. T. (2017). *Fiscal politics in the euro area*. International Monetary Fund. Available on: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2017/01/30/Fiscal-Politics-in-the-Euro-Area-44601>
- FALL, F. - BLOCH, D. - FOURNIER, J. M. - HOELLER, P. (2015). Prudent debt targets and fiscal frameworks.
- GUERGUIL, M. - MANDON, P. - TAPSOBA, R. (2017). Flexible fiscal rules and countercyclical fiscal policy. *Journal of Macroeconomics*, 52, 189-220.
- HEINEMANN, F. - MOESSINGER, M. D. - YETER, M. (2018). Do fiscal rules constrain fiscal policy? A meta-regression-analysis. *European Journal of Political Economy*, 51, 69-92.
- CHRISTOFZIK, D. - FELD, L. P. - REUTER, W. H. - YETER, M. (2018). *Uniting European fiscal rules: How to strengthen the fiscal framework* (No. 04/2018). Arbeitspapier.
- LARCH, M. - MALZUBRIS, J. - SANTACROCE, S. (2023). Numerical compliance with EU fiscal rules: Facts and figures from a new database. *Intereconomics*, 58(1), 32-42.
- LUECHINGER, S. - SCHALTEGGER, C. A. (2013). Fiscal rules, budget deficits and budget projections. *International Tax and Public Finance*, 20(5), 785-807.
- REUTER, W. H. (2019). When and why do countries break their national fiscal rules?. *European Journal of Political Economy*, 57, 125-141.