

STRATEGIJE ELASTIČNOSTI U FARMACEUTSKIM LANCIMA SNABDEVANJA

RESILIENT STRATEGIES IN PHARMACEUTICAL SUPPLY CHAINS

Andela Zdravić¹, Biljana Cvetic², Miljana Luković³

^{1,2,3}Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka,

¹andjelazdravic@gmail.com, ORCID: 0009-0009-8055-2289

²biljana.cvetic@fon.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-2398-4327

³miljana.lukovic@fon.bg.ac.rs, ORCID: 0009-0002-8880-6182

Apstrakt: Lanci snabdevanja farmaceutske industrije su složeni i visoko regulisani sistemi koji moraju da funkcionišu efikasno, precizno i pouzdano kako bi obezbedili stabilnost snabdevanja lekovima i medicinskim sredstvima. Sve više, posebno od pojave pandemije COVID-19, javila se potreba da oni budu i elastični, odnosno sposobni da se dinamički prilagode različitim vrstama poremaćaja kao što su nestašice u snabdevanju, fluktuacije tražnje, ograničenja kapaciteta, poremećaji u transportu, prirodne katastrofe i političke krize. Cilj ovog rada je da se identifikuju i predstavje sedam grupa strategija koje se mogu koristiti radi povećanja elastičnosti farmaceutskih lanaca snabdevanja. To su: diversifikacija dobavljača, geografska lokalizacija i regionalna skladišta, scenario planiranje i simulacije, sigurnosne zalihe, zeleni i održivi lanci snabdevanja, digitalizacija i saradnja sa regulatornim telima. Takođe, fokus će biti i na predstavljanju primera kompanija koje primenjuju ove strategije elastičnosti u svojim farmaceutskim lancima snabdevanja. Rezultati ovog rada donose nove praktične uvide u vezi sa strategijama elastičnosti u lancima snabdevanja farmaceutske industrije.

Ključne reči: elastični lanci snabdevanja, strategije elastičnosti, farmaceutska industrija.

Abstract: The supply chains of the pharmaceutical industry are complex and highly regulated systems that must function efficiently, accurately and reliably in order to ensure the stability of the supply of drugs and medical devices. Increasingly, especially since the emergence of the COVID-19 pandemic, there has been a need for them to be resilient, and be able to dynamically adapt to different types of disruptions such as supply shortages, demand fluctuations, capacity limitations, transport disruptions, natural disasters and political crises. The aim of this paper is to identify and present seven groups of strategies that can be used to increase the resilience of pharmaceutical supply chains. These are: supplier diversification, geographic localization and regional warehouses, scenario planning and simulations, safety stocks, green and sustainable supply chains, digitization and cooperation with regulatory bodies. Also, the focus will be on presenting examples of companies that apply these resilience strategies in their pharmaceutical supply chains. The results of this paper bring new practical insights regarding resilience strategies in pharmaceutical industry supply chains.

Keywords: Resilient supply chains, resilient strategies, pharmaceutical industry.

1. UVOD

Farmaceutska industrija ima vrlo važnu ulogu u očuvanju zdravlja i života ljudi širom sveta. U ovoj industriji, lanci snabdevanja predstavljaju složene i visoko regulisane sisteme koji moraju da funkcionišu efikasno, precizno i pouzdano počev od nabavke sirovina pa sve do isporuke proizvoda krajnjim korisnicima. Neka od svojstava farmaceutskih lanaca snabdevanja su: osetljivost na temperaturu i vlagu, kratki rokovi trajanja, kritičnost proizvoda, visoki regulatorni zahtevi, kao i globalna disperzija proizvodnje i distribucije (Ivanov & Dolgui, 2020). Pandemija COVID-19, poremećaji u transportu i nestašice sirovina su prikazali koliko su zapravo lanci snabdevanja u ovoj industriji osetljivi na uticaje iz okruženja. Zbog svega toga se pojavila potreba za elastičnim lancima snabdevanja koji mogu brzo da se prilagode promenama, ali i da predvide poremećaje i reaguju na njih.

2. ELASTIČNI LANCI SNABDEVANJA U FARMACEUTSKOJ INDUSTRIJI

Lanci snabdevanja u farmaceutskoj industriji moraju da ispunjavaju visoke regulatorne standarde i da obezbeđuju bezbednost i sledljivost lekova i medicinskih sredstava. Istovremeno, oni moraju da budu elastični kako bi mogli da odgovore na različite vrste poremećaja kao što su pandemije, prirodne nepogode, prekidi u snabdevanju, itd. Elastičnost podrazumeva njihovu sposobnost da brzo menjaju tokove, unutrašnje procese, dobavljače i načine isporuke kako bi uspeali da očuvaju isporuku proizvoda.

Neka osnovna svojstva elastičnih lanaca snabdevanja su (Pettit i drugi, 2010):

- Fleksibilnost – promene u izvorima sirovina, rutama transporta i modelima distribucije;
- Visoka vidljivost i pristup informacijama u realnom vremenu;
- Agilna logistika i transport – brzo donošenje odluka u okviru logistike i transporta i brzo reagovanje na promene;
- Saradnja među partnerima – zajedničko rešavanje problema i podela rizika;
- Primena naprednih tehnologija – interneta inteligentnih uređaja IoT (*Internet of Things*), veštačke inteligencije AI (*Artificial Intelligence*), *blockchain*-a, *Big Data*, itd;
- Skladištenje zaliha na više lokacija – uglavnom u okviru regionalnih distributivnih centara.

Prednosti elastičnih farmaceutskih lanaca snabdevanja jesu povećana otpornost na poremećaje, brže reagovanje na tržišne promene, brža isporuka, smanjenje gubitaka ukoliko dođe do zastoja, povećana konkurentnost i povećano zadovoljstvo krajnjih korisnika (Sheffi & Rice, 2005). Pored prednosti oni se suočavaju i sa izazovima koji se odnose na visoku cenu implementacije, potrebu za visokom digitalnom pismenošću zaposlenih, povećanu kompleksnost upravljanja, upravljanje višestrukim dobavljačima, upravljanje promenljivim rutama i sigurnost podataka (Tang, 2006; Wieland & Durach, 2021).

3. STRATEGIJE ELASTIČNOSTI U FARMACEUSTKOJ INDUSTRIJI

U cilju ostvarivanja elastičnosti lanaca snabdevanja u farmaceutskoj industriji mogu se koristiti brojne strategije kako bi se osigurala otpornost i sposobnost brzog odgovora na poremećaje, promene tražnje i neočekivane događaje. Nadalje, sedam identifikovanih strategija elastičnosti radi održavanja redovnih isporuka lekova i farmaceutskih proizvoda je prikazano. Takođe, izvršeno je i njihovo poređenje na osnovu izabranih kriterijuma.

3.1. Diversifikacija dobavljača

Diversifikacija dobavljača je strategija koja podrazumeva uspostavljanje odnosa sa više dobavljača za iste sirovine ili komponente kako bi se smanjio rizik od prekida u farmaceutskom lancu snabdevanja. Njene glavne prednosti su smanjenje rizika, povećana mogućnost lanca da odgovara na iznenadne događaje, bolje konkurentске cene i brže reagovanje na promene u tražnji (*Chopra & Sodhi, 2014; Ivanov, 2021*). Iako sa sobom nosi i određene izazove kao što su povećani troškovi, regulatorni zahtevi i kompleksnost logistike, važnost ove strategije u farmaceutskoj industriji postaje sve izraženija, naročito u situacijama globalnih kriza koje ugrožavaju stabilnost snabdevanja lekovima.

Kompanije *Roche*, *Pfizer* i *Sanofi* su koristile strategiju diversifikacije dobavljača za ključne aktivne farmaceutske supstance i ambalažu u toku pandemije *COVID-19*, tako što su imale alternativne izvore snabdevanja u slučaju zastoja proizvodnje u Kini ili Indiji. Ovo je bilo naročito važno za lekove koji su bili deo terapija koje ne smeju da se prekidaju (*Flanders, 2022; Health Leaders, 2023*).

3.2. Geografska lokalizacija i regionalna skladišta

Geografska lokalizacija i regionalna skladišta se primenjuju da bi se smanjila zavisnost od udaljenih dobavljača, skratilo vreme isporuke, smanjili troškovi transporta i povećala sposobnost brze reakcije na poremećaje u farmaceutskim lancima snabdevanja. Geografska lokalizacija podrazumeva usmeravanje kapaciteta ka regionalnim tržištima, odnosno proizvodnju i skladištenje robe bliže krajnjim korisnicima. Cilj regionalnih skladišta je da smanje zavisnost od isporuka preko okeana i mora i da povećaju brzinu odgovora. Prednosti su kraće vreme isporuke, manji uticaj globalnih poremećaja, lakše praćenje u lancu snabdevanja i moguće brzo reagovanje ukoliko dođe do neke nepredvidive situacije, dok su izazovi potencijalno visoki troškovi proizvodnje na lokalnom nivou, visoki troškovi ulaganja u infrastrukturu i složenost logističkih procesa kada se prelazi sa globalnog na lokalni model (*Govindan i drugi, 2015; Ivanov & Dolgui, 2020*).

Kompanija *Novartis* je nakon pandemije *COVID-19* preusmerila deo svoje proizvodnje iz Azije u Evropu i SAD, uz otvaranje regionalnih skladišnih centara u Nemačkoj i Italiji. Proizvodni pogon koji su otvorili u Nemačkoj poseduje sve potrebne sertifikate, zapošljava oko 300 ljudi i njegov cilj je da bude jedan od najvećih pogona koji proizvodi vakcine protiv pandemije (*Biontech*, 2020). Kompanija *Pfizer* je investirala u proširenje skladišnih kapaciteta u Belgiji i to povećanjem proizvodnih kapaciteta, zatim unapređivanjem mogućnosti za skladištenje lekova u hladnjačama i proširivanjem kapaciteta za procese pakovanja (*Flanders*, 2022).

3.3. Scenario planiranje i simulacije

Scenario planiranje se koristi za kreiranje i analiziranje različitih događaja u budućnosti kako bi se unapred pripremile odgovarajuće reakcije. Simulacije koriste digitalne alate da bi se upravljalo efektima koje različiti rizici mogu da imaju na lanac snabdevanja. Ove strategije se oslanjaju na *AI*, digitalne blizance i prediktivnu analitiku (*Ivanov & Dolgui*, 2020; *Queiroz* i drugi, 2022).

Kompanije *Bayer* i *Johnson&Johnson* koriste digitalne blizance za simulaciju potencijalnih poremećaja kao što su nestašice sirovina, zatvaranje granica, kao i za pravovremeno prilagođavanje operacija. *IoT* senzori beleže podatke u realnom vremenu, a prediktivna analitika uočava odstupanja u radu opreme i predviđa kvarove kako bi se pravovremeno intervenisalo. Upotrebom savremenih tehnologija kompanija *Bayer* je uspela da smanji logističke troškove za 4% i da poboljša dostavu na vreme za 3% (*LogiPharma*, 2018). Integracijom tehnologija, kompanija je omogućila praćenje isporuka u realnom vremenu, što znači da mogu da reaguju i pre nego što se problem dogodi. Kompanija *Johnson&Johnson* koristi *IoT* senzore za prikupljanje podataka iz raznih proizvodnih procesa, kao i za sprečavanje kvarova mašina pre nego što do njih dođe (*LogiPharma*, 2018; *SupplyChain*, 2024).

3.4. Sigurnosne zalihe

Sigurnosne zalihe jesu dodatne količine robe ili sirovina koje kompanija drži iznad očekivane potrošnje kako bi zaštitila lanac snabdevanja od nepredviđenih poremećaja, kao što su kašnjenja isporuka, iznenadni skokovi u tražnji ili problemi u proizvodnji. Ova strategija podrazumeva planirano povećanje zaliha sirovina, ambalažnog materijala i gotovih proizvoda, kao rezerve u slučaju poremećaja u lancu snabdevanja. Glavni cilj jeste da se smanji rizik od nestašice, da se obezbedi neprekidno poslovanje i da se obezbedi visok nivo usluge za kupce (*Brunaud* i drugi, 2019; *Van Cruchten*, 2016).

Tokom pandemije *COVID-19*, kompanija *Moderna* je objavila da investira u sopstvene i partnerske proizvodne kapacitete kako bi do 2022. povećala globalni kapacitet proizvodnje *COVID-19* vakcina i kritičnih lekova poput insulina i antibiotika. Kompanija je objavila da će time omogućiti rast sigurnosnih zaliha sirovina i gotovih proizvoda kako bi

se osigurale isporuke za ugovorene količine. Takođe, kompanija *Pfizer* je povećala kapacitete za proizvodnju lipidnih nanočestica kako bi smanjila rizik od prekida i povećala snabdevanje (King, 2024).

3.5. Zeleni i održivi lanci snabdevanja

Zeleni lanci snabdevanja se odnose na integraciju ekološke dimenzije koja je zasnovana na različitim konceptima - odbijanja, smanjenja, ponovne upotrebe, promene svrhe i recikliranja u upravljanju lancem snabdevanja. Njihov cilj je da se minimizira negativan uticaj na životnu sredinu, uz održavanje ekonomske efikasnosti (Badi & Murtagh, 2019; Tseng i drugi, 2019). Održivi lanci snabdevanja koriste lokalne, ekološki prihvatljive sirovine, smanjuju upotrebu plastike, recikliraju ambalažu i koriste obnovljive izvore energije. Oni uključuju ekonomsku, ekološku i socijalnu dimenziju (Cetinkaya i drugi, 2011).

Kompanija *AstraZeneca* je uvela zeleni lanac snabdevanja i koristi električne kamione i biorazgradivu ambalažu. Cilj je smanjenje emisije CO₂ i jačanje otpornosti na klimatske poremećaje. *Moderna* je za svoje partnere uzela proizvođače ambalaže koji koriste 100% reciklirane materijale i optimizovala je svoje hladne lance upotrebom energetski efikasnih zamrzivača i pakovanja sa manjim ugljeničnim otiskom. Takođe, kompanija *Novartis* je počela da koristi ambalažu pogodnu za reciklažu i uvođenje biorazgradivih blister pakovanja kod nekih generičkih lekova koje proizvodi preko kompanije *Sandoz* (*AstraZeneca*, 2023; *Moderna*, 2023; *Novartis*, 2024).

3.6. Digitalizacija

Savremene tehnologije imaju ključnu ulogu u stvaranju elastičnih farmaceutskih lanaca snabdevanja. Uvođenje tehnologija kao što su *IoT*, *RFID* (*Radio-Frequency Identification*), *blockchain*, digitalni blizanci, *cloud computing* i *AI* omogućava praćenje svakog dela lanca snabdevanja. Upotreba *IoT* omogućava praćenje temperature, lokacije, vlažnosti i stanja proizvoda, *RFID* omogućava automatsku identifikaciju i praćenje proizvoda, *blockchain* obezbeđuje transparentnost i bezbednost podataka u celom lancu snabdevanja, digitalni blizanci pružaju mogućnost virtuelne simulacije lanca snabdevanja, *cloud computing* deli podatke između učesnika u lancu snabdevanja u realnom vremenu, *AI* vrši automatizovano donošenje odluka i optimizaciju ruta, itd (Belu, 2019; Ivanov i drugi, 2019).

Kompanija *Novartis* koristi *IoT* senzore za nadzor temperature tokom transporta vakcina. Takođe, uvela je i „*Control Tower*“, koncept koji se koristi za digitalni nadzor lanca snabdevanja uz pomoć *AI*, *cloud computing*-a, i koji se koristi za upravljanje rizicima i otkrivanje slabosti. Kompanija *Pfizer* primenjuje *IoT* i *blockchain* tehnologije za praćenje distribucije COVID-19 vakcina u realnom vremenu, što omogućava brzo reagovanje na poremećaje u hladnom lancu. Farmaceutska kompanija *Roche* koristi digitalne blizance za simulaciju različitih događaja kako bi optimizovala proizvodne i distribucione tokove (Accenture, 2022; IMC, 2021; Roche, 2023).

3.7. Saradnja sa regulatornim telima

Strategija saradnje sa regulatornim telima u farmaceutskim lancima snabdevanja ima važnu ulogu u ubrzanju procesa, povećanju otpornosti sistema i smanjenju rizika u vanrednim situacijama. Elastični lanci snabdevanja moraju da budu dovoljno fleksibilni i agilni, ali i usklađeni sa strogim zakonima i propisima. Farmaceutska industrija funkcioniše u okviru strogih regulatornih okvira – EMA (*European Medicines Agency*) i FDA (*Food and Drug Administration*). Uspostavljanje elastičnih odnosa sa regulatorima omogućava brzo reagovanje na nove uslove i olakšava izdavanje hitnih odobrenja (Golan i drugi, 2020).

Tokom pandemije, kompanija Pfizer je uspostavila direktne komunikacione kanale sa FDA i EMA za brzu razmenu informacija o novim vakcinama, što je omogućilo ubrzano odobravanje i distribuciju. AstraZeneca je sarađivala sa WHO *Prequalification* timom i lokalnim regulatorima u Africi i Aziji kako bi distribuirala vakcinu u preko 100 zemalja kroz COVAX mehanizam. Umesto odvojene registracije u svakoj zemlji, WHO je omogućio centralizovano odobrenje, koje je priznato od strane lokalnih agencija (*World Health Organization*, 2022).

3.8. Poređenje strategija elastičnosti

Prethodno identifikovane strategije elastičnosti koje se mogu primeniti u lancima snabdevanja su nadalje upoređene prema izvedenim kriterijumima, kao što su prednost primene, nedostaci primene, trošak implementacije i potrebno vreme planiranja (Tabela 1).

Tabela 1: Poređenje strategija elastičnosti

RB*	Prednosti primene	Nedostaci primene	Troškovi implementacije	Vremensko planiranje
1	Smanjuje rizik od prekida; bolje cene; fleksibilnost	Veći troškovi, regulatorne barijere, složenija logistika	Srednji	Kratkoročno–srednjoročno
2	Kraće vreme isporuke, manja zavisnost od globalnih tokova	Visoki troškovi proizvodnje i infrastrukture	Visoki	Srednjoročno–dugoročno
3	Prediktivno reagovanje, optimizacija troškova	Potrebne napredne tehnologije i stručnjaci	Srednji–visoki	Srednjoročno
4	Odmah dostupna roba, smanjen rizik od nestašica	Povećani troškovi skladištenja, zastarevanje	Srednji	Kratkoročno
5	Manji CO ₂ otisak, društvena odgovornost, otpornost na klimatske rizike	Potencijalno veći inicijalni troškovi	Srednji	Dugoročno
6	Visoka vidljivost, efikasnost, optimizacija procesa	Zahteva velika ulaganja i digitalnu pismenost	Visoki	Srednjoročno–dugoročno
7	Brže odobrenje, smanjen rizik u krizama	Zavisnost od regulatornih politika	Niski–srednji	Kratkoročno–srednjoročno

*1-diversifikacija dobavljača, 2-geografska lokalizacija i regionalna skladišta, 3-scenarij planiranja i simulacije, 4-sigurnosne zalihe, 5-zeleni i održivi lanci snabdevanja, 6-digitalizacija i 7-saradnja sa regulatornim telima.

4. ZAKLJUČAK

Farmaceutski lanci snabdevanja se svakim danom suočavaju sa brojnim izazovima koji se odnose na različite vrste poremećaja, sve strožije regulatorne zahteve, porast tražnje za personalizovanim terapijama i potrebe brzog reagovanja na promene. Upravo zato važan je razvoj elastičnih farmaceutskih lanaca snabdevanja koji su sposobni da se brzo prilagode promenama u okruženju i da u isto vreme očuvaju kontinuitet poslovanja i zadovolje zahteve tržišta. U ovom radu predstavljene su strategije koje se mogu koristiti radi povećanja elastičnosti farmaceutskih lanaca snabdevanja. To su: diversifikacija dobavljača, geografska lokalizacija i regionalna skladišta, scenario planiranje i simulacije, sigurnosne zalihe, zeleni i održivi lanci snabdevanja, digitalizacija i saradnja sa regulatornim telima. Takođe, predstavljeni su primeri farmaceutskih kompanija koje su primenile neke od ovih strategija elastičnosti u svojim farmaceutskim lancima snabdevanja. Komparativnom analizom identifikovanih strategija elastičnosti uočeno je da se one razlikuju po vremenu potrebnom za primenu rešenja, stepenu ulaganja i prirodi izazova koje rešavaju. Strategija kao što su sigurnosne zaliha, ne zahteva dug process planiranja, već se vrlo brzo može primeniti u preduzeću čime je omogućeno brzo reagovanje, ali uz potencijalne visoke operativne troškove. Sa druge strane, strategije poput digitalizacije ili prelazak na zelene i održive lance snabdevanja zahtevaju visoka ulaganja i strategijske promene u vidu dugoročne orijentacije ka novom načinu poslovanja, ali za rezultat imaju visok stepen otpornosti i konkurentске prednosti. Diversifikacija dobavljača i geografska lokalizacija pokazale su se kao "zlatna sredina" između kratkoročne zaštite i dugoročnog ulaganja, dok strategija saradnje sa regulatornim telima predstavlja specifičan faktor farmaceutske industrije koji može značajno ubrzati reakciju u kriznim situacijama. Kombinacijom ovih strategija, uz prilagođavanje kapacitetima i ciljevima preduzeća, dovodi se do jačanja elastičnosti farmaceutskih lanaca snabdevanja. Budući pravci istraživanja mogu biti usmereni na kreiranje arhitekture za primenu nekih od navedenih strategija, kao i na analizu mogućnosti primene ovih strategija u lancima snabdevanja drugih industrija.

LITERATURA

- [1] Accenture (2022). *Reimagining medicine through data-led transformation*. Link: [Life Sciences Digital Transformation | Novartis Case Study | Accenture](#) (pristupano 20.07.2025).
- [2] AstraZeneca (2023). *Sustainability at AstraZeneca*. Link: [Sustainability at AstraZeneca](#) (pristupano 20.07.2025).
- [3] Badi, S., & Murtagh, N. (2019). Green supply chain management in construction: A systematic literature review and future research agenda. *Journal of cleaner production*, 223, 312-322.
- [4] Belu, M. G. (2019). Application of blockchain in international trade: An overview. *The Romanian Economic Journal*, 71(22), 2-16.
- [6] Biontech (2020). *BioNTech to Acquire GMP Manufacturing Site to Expand COVID-19 Vaccine Production Capacity in First Half 2021*. Link: [BioNTech to Acquire GMP Manufacturing Site to Expand COVID-19 Vaccine Production Capacity in First Half 2021 | BioNTech](#) (pristupano 20.07.2025).

- [8] Brunaud, B., Laínez-Aguirre, J. M., Pinto, J. M., & Grossmann, I. E. (2019). Inventory policies and safety stock optimization for supply chain planning. *AIChE journal*, 65(1), 99-112.
- [9] Cetinkaya, B., Cuthbertson, R., Ewer, G., Klaas-Wissing, T., Piotrowicz, W., & Tyssen, C. (2011). Sustainable supply chain management: practical ideas for moving towards best practice. *Springer Science & Business Media*.
- [10] Chopra, S., & Sodhi, M. (2014). Reducing the risk of supply chain disruptions. *MIT Sloan management review*, 55(3), 73-80.
- [15] Flanders (2022). *Pfizer (US) invests a whopping EUR 1.2 billion in Flanders*. Link: [Pfizer \(US\) invests a whopping EUR 1.2 billion in Flanders | Invest in Flanders](#) (pristupano 19.07.2025).
- [16] Golan, M. S., Jernegan, L. H., & Linkov, I. (2020). Trends and applications of resilience analytics in supply chain modeling: systematic literature review in the context of the COVID-19 pandemic. *Environment Systems and Decisions*, 40(2), 222-243.
- [17] Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European journal of operational research*, 240(3), 603-626.
- [18] HealthLeaders (2023). *Pfizer Reducing Risk of Supply Chain Disruptions Through Scale*. Link: [Pfizer Reducing Risk of Supply Chain Disruptions Through Scale | HealthLeaders Media](#) (pristupano 19.07.2025).
- [20] IMC (2021). *Controlant IoT monitors Pfizer Covid vaccine supply chain*. Link: [Controlant IoT monitors Pfizer Covid vaccine supply chain - IoT M2M Council](#) (pristupano 18.07.2025).
- [21] Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International journal of production research*, 57(3), 829-846.
- [23] Ivanov, D. (2021). Supply chain viability and the COVID-19 pandemic: a conceptual and formal generalisation of four major adaptation strategies. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3535-3552.
- [25] King, M. L. (2024). How manufacturing won or lost the COVID-19 vaccine race. *Vaccine*, 42(5), 1004-1012.
- [27] LogiPharma (2018). *Here's How Johnson & Johnson Is Harnessing Data and Robotics to Optimise the Supply Chain End-to-End*. Link: [Here's How Johnson & Johnson Is Harnessing Data and Robotics to Optimise the Supply Chain End-to-End](#) (pristupano 15.07.2025).
- [28] Moderna (2023). *Impacting Human Health: Reflecting on our ESG Progress*. Link: [ESG Progress: Impacting Health & Sustainability](#) (pristupano 20.07.2025).
- [29] Novartis (2024). *Impact & Health Equity Update 2024*. Link: [ESG | Novartis](#) (pristupano 20.07.2025).
- [30] Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2010). Ensuring supply chain resilience: development of a conceptual framework. *Journal of business logistics*, 31(1), 1-21.
- [31] Queiroz, M. M., Ivanov, D., Dolgui, A., & Fosso Wamba, S. (2022). Impacts of epidemic outbreaks on supply chains: mapping a research agenda amid the COVID-19 pandemic through a structured literature review. *Annals of operations research*, 319(1), 1159-1196.
- [32] Roche (2023). *Delivering value through digital manufacturing*. Link: [Roche | Delivering value through digital manufacturing](#) (pristupano 18.07.2025).
- [34] Sheffi, Y., & Rice Jr, J. B. (2005). A supply chain view of the resilient enterprise. *MIT Sloan management review*.
- [36] Supply Chain (2024). *Bayer: Modernising its End-to-End Global Logistics Operation*. Link: [Bayer: Modernising its End-to-End Global Logistics Operation | Supply Chain Magazine](#) (pristupano 14.07.2025).

- [37] Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International journal of production economics*, 103(2), 451-488.
- [41] Tseng, M. L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resources, conservation and recycling*, 141, 145-162.
- [42] Van Cruchten, A. (2016). Multi-Echelon Safety Stock Optimization under Supply, Process and Demand Uncertainties as a part of Operational Risk Management: A Case Study in the Pharmaceutical Industry. *Eindhoven University of Technology*, Eindhoven.
- [45] Wieland, A., & Durach, C. F. (2021). Two perspectives on supply chain resilience. *Journal of Business Logistics*, 42(3), 315-322.
- [48] World Health Organization (2022). *Collaborative Registration Procedure for prequalified medicines and vaccines*. Link: [Regulation and Prequalification](#) (pristupano 18.07.2025).