

Z DIGITALNIM DVOJČKOM DO OPTIMALNE POSTAVITVE IN LOGISTIKE PROIZVODNJE V PODJETJU UNIOR

Hugo Zupan, Boštjan Jegrišnik, Uroš Matavž, Niko Herakovič

Izvleček:

Prispevek prikazuje uporabo digitalnega dvojčka kot ključnega orodja za optimizacijo tlorisov in notranje logistike v podjetju UNIOR. Zaradi zaprtja ene izmed proizvodnih enot je bilo potrebno preseliti več strojev in tehnologij na dve obstoječi lokaciji, pri čemer je bil cilj zagotoviti učinkovito razporeditev brez dodatnih gradbenih posegov. Z uporabo digitalnega dvojčka smo izvedli natančne simulacije, analizirali različne scenarije in optimizirali materialne tokove, kar je omogočilo povečanje števila izvedenih operacij za več kot 320 %, skrajšanje poti materialov za 43 % ter odpravo potrebe po zunanjih logističnih storitvah. Primerjava z začetno rešitvijo, pripravljeno pred začetkom optimizacije, je pokazala, da pristop z digitalnim dvojčkom vodi do bistveno boljše učinkovitosti, boljše izrabe prostora in racionalizacije notranje logistike. Prispevek ne prikazuje le uspešnega primera reorganizacije proizvodnih kapacitet, temveč tudi dokazuje, da je digitalni dvojček nepogrešljivo orodje pri optimizaciji in reorganizaciji obstoječih proizvodnih postavitvev v sodobnem industrijskem okolju.

Ključne besede:

digitalni dvojček, optimizacija proizvodnje, postavitve proizvodnje, notranja logistika, simulacija proizvodnih procesov, Sankeyjev diagram, prilagodljiva proizvodnja, pametna tovarna

1 Uvod

V okviru projekta reorganizacije proizvodnje smo v podjetju UNIOR, d. d., divizija ročno orodje, uporabili digitalni dvojček kot ključno orodje za optimizacijo razporeditve kapacitet in materialnih tokov. Zaradi strateškega zaprtja proizvodne enote v Starem trgu je nastala potreba po preselitvi več strojev in tehnologij na dve preostali lokaciji – v Zreče in Vitanje.

Glavni cilj reorganizacije je bil zagotoviti učinkovito razporeditev proizvodnih kapacitet, izboljšati pretočnost materialnih tokov in maksimizirati izrabo obstoječih prostorskih zmogljivosti, vse to brez obsežnih gradbenih posegov, kot so gradnje dodatnih plavajočih temeljev. Pri tem je bilo ključnega pomena, da nova postavitve ne le zadovolji trenutne proizvodne potrebe, temveč omogoči tudi fleksibilnost za prihodnje spremembe in rast.

Uporaba digitalnega dvojčka je omogočila natančno preslikavo obstoječega stanja, simulacijo različnih »kaj-če« scenarijev in primerjavo alternativnih rešitev za preselitev strojev. Že v zgodnjih fazah smo lahko na podlagi analiziranih podatkov prepoznali rešitve z največjim potencialom za izboljšanje proizvodne učinkovitosti, skrajšanje transportnih poti in optimizacijo notranje logistike, kar nam je omogočilo sprejemanje premišljenih odločitev in postavitve trdnih temeljev za nadaljnjo optimizacijo proizvodnih procesov.

2 Izzivi in priložnosti

Pred začetkom reorganizacije je podjetje UNIOR proizvajalo ročno orodje na štirih ločenih lokacijah: v Zrečah, Vitanju, Lenartu in Starem trgu (*slika 1*).

Lokacija Stari trg je bila logistično zahtevna, saj je omejena povezljivost med obratoma oteževala transport produktov, usklajevanje podpornih procesov in izvedbo delovnih nalog.

Zaradi strateške odločitve o zaprtju proizvodnje v Starem trgu je bilo potrebno izvesti natančno načrtovano selitev strojev, tehnologij in procesov na dve preostali lokaciji – Zreče in Vitanje. Ta selitev pa ni predstavljala zgolj logističnega izziva, temveč tudi priložnost za temeljito optimizacijo tlorisov, izboljš-

Dr. Hugo Zupan, univ. dipl. inž., DIGITEH, d. o. o., Ljubljana; **Boštjan Jegrišnik**, **Uroš Matavž**, oba UNIOR, d. d., Zreče; **prof. dr. Niko Herakovič**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-3.03>



Slika 1 : Transportne poti med različnimi lokacijami

šanje materialnih tokov in boljšo izrabo obstoječih proizvodnih površin.

V prvi fazi reorganizacije smo izvedli podroben pregled vseh obstoječih lokacij. S tem smo pridobili celovit vpogled v trenutno stanje, prepoznali ključne omejitve in definirali izhodiščne pogoje, ki so bili podlaga za načrtovanje optimalne preselitve. Posebno pozornost smo namenili prepoznavanju ozkih grl, analizi prostorskih možnosti in določanju prioritarnih področij za izboljšave.

3 Proces optimizacije

Proces optimizacije proizvodnje je bil zasnovan v treh glavnih fazah, ki so si logično sledile in se med seboj nadgrajevale.

3.1 Analiza obstoječega stanja

V začetni fazi smo z uporabo digitalnega dvojčka (slika 2) natančno analizirali obstoječe stanje.

Pregledali smo materialne tokove, logistične poti in postavitev strojev ter identificirali ključne omejitve



Slika 2 : Preslikava realnega sistema v digitalni dvojček

in priložnosti za izboljšave. V digitalni dvojček smo vključili vse pomembne podatke: tlorise proizvodnih prostorov, dimenzije in karakteristike strojev, sezname vseh delovnih nalogov in operacij ter dodatne omejitve, kot so prostorske zahteve in zahteve po temeljih.

Od podjetja UNIOR smo prejeli seznam vseh strojev in tehnologij, predvidenih za selitev iz Starega trga. Skupno je bilo preseljenih **29** strojev, kar je predstavljalo pomemben logistični in organizacijski izziv.

3.2 Simulacija možnih rešitev

Na podlagi vnesenih podatkov smo v digitalnem dvojčku oblikovali in primerjali več alternativnih »kaj-če« scenarijev preselitve in optimizacije. Pri tem smo upoštevali naslednje ključne kriterije:

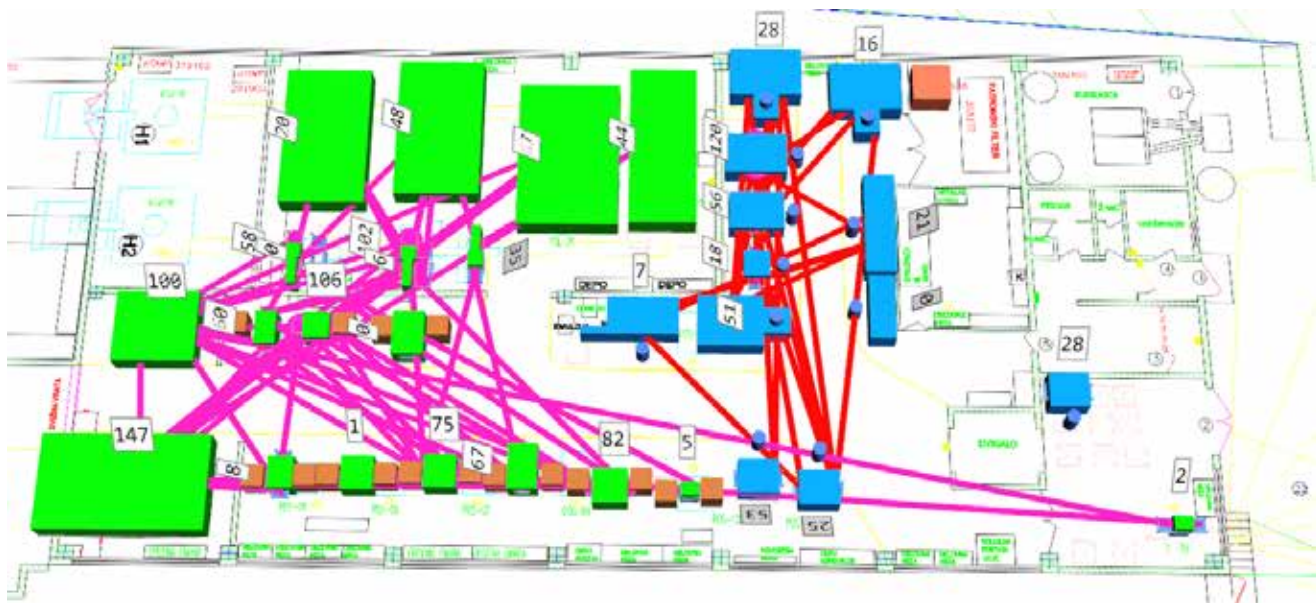
- ▶ *zmanjšanje nepotrebnih materialnih tokov*: zmanjšanje premikov med posameznimi fazami proizvodnje;
- ▶ *prostorska učinkovitost*: kar najboljši izkoristek obstoječih zmogljivosti;
- ▶ *fleksibilnost*: možnost prilagoditve bodočim proizvodnim zahtevam;
- ▶ *minimalne gradbene prilagoditve*: čim manjša potreba po novih temeljih (na koncu je bil potreben le en dodatni temelj);
- ▶ *optimalna postavitev strojev*: zasnova, kjer lahko en operator upravlja več strojev;
- ▶ *združevanje tehnoloških družin*: bližina strojev s sorodnimi procesi;
- ▶ *minimalne spremembe obstoječih tlorisov*: optimizacija brez obsežnih sprememb trenutne postavitve.

Za boljšo primerjavo in vizualizacijo materialnih tokov smo v vsaki različici postavitve pripravili tudi *Sankeyjev diagram*, ki jasno prikazuje količino in smer premikov med posameznimi stroji oziroma proizvodnimi območji.

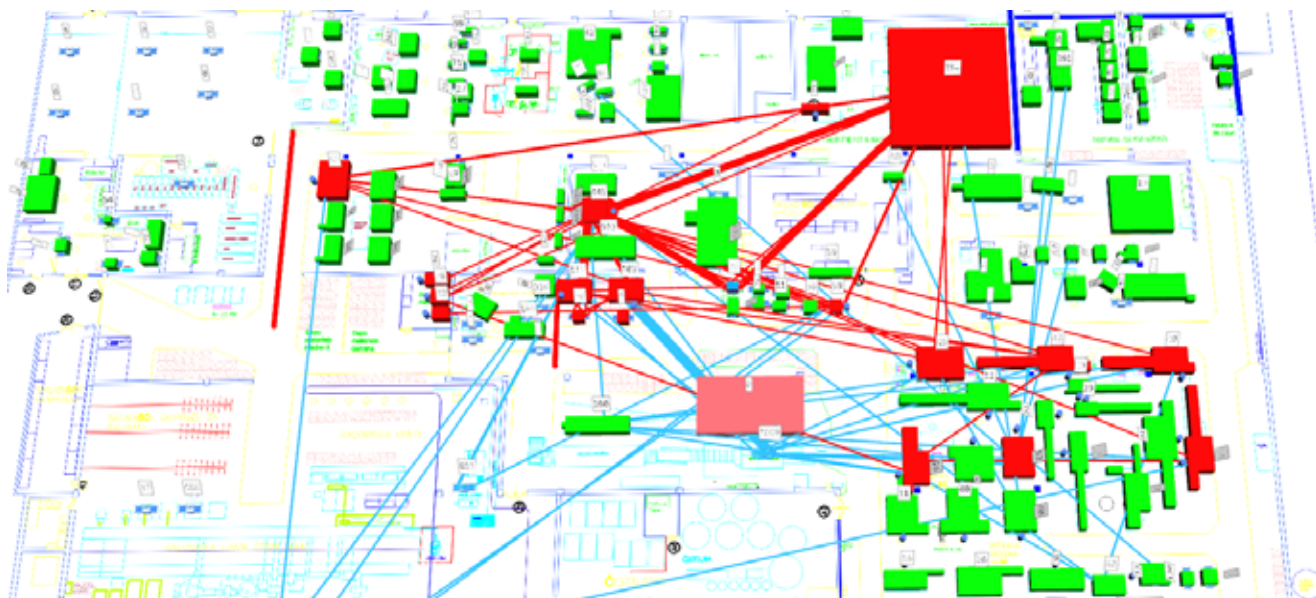
Gre za orodje za vizualizacijo tokov, pri katerem debelina povezav ponazarja količinsko intenzivnost posameznega toka. Takšna predstavitev je bistveno pripomogla k lažjemu prepoznavanju ozkih grl in logičnejši razporeditvi strojev po proizvodnem prostoru. Sankeyjev diagram se je tako izkazal kot pomembno podporno orodje pri sprejemanju odločitev o optimalni postavitvi.

3.3 Izbor optimalne rešitve

Na podlagi rezultatov simulacij in izmenjav z ekipo UNIOR smo določili končno postavitev strojev za lokaciji Vitanje (slika 3) in Zreče (slika 4). Pri izboru smo posebno pozornost namenili čim večji proizvodni učinkovitosti, skrajšanju transportnih poti, boljši izrabi prostora in izboljšanju ergonomije delovnih mest. Tako smo oblikovali rešitev, ki ne samo



Slika 3 : Optimiziran tloris Vitanje s prikazom delnega Sankeyjevega diagrama



Slika 4 : Optimiziran tloris Zreče s prikazom delnega Sankeyjevega diagrama

ustreza trenutnim proizvodnim zahtevam, temveč omogoča tudi prilagodljivost za prihodnje širitve ali spremembe proizvodnih programov.

Na *sliki 3* in *sliki 4* so poleg postavitev strojev prikazani tudi delni Sankeyjevi diagrami, ki ponazarjajo materialne tokove znotraj posameznih oddelkov. Ti prikazi omogočajo hiter vizualni vpogled v povezave med stroji ter intenzivnost posameznih tokov. Celotnega Sankeyjevega diagrama vseh povezav nismo vključili, saj bi bila njegova berljivost zaradi kompleksnosti in velikega števila tokov močno omejena.

Zeleni elementi predstavljajo obstoječe stroje v Vitanju, modri pa stroje, ki so bili v okviru optimizacije preseljeni z lokacije Starega trga. Barvne linije pri-

kazujejo materialne tokove: rdeče linije ponazarjajo tokove med modrimi (preseljenimi) stroji, rožnate pa povezave med obstoječimi stroji. Debelina linij odraža količinsko intenzivnost posameznega toka v opazovanem obdobju.

Zeleni elementi predstavljajo obstoječe stroje v Zrečah, medtem ko rdeči označujejo stroje, ki so bili preseljeni z lokacije Starega trga. Rdeče linije v Sankeyjevem diagramu prikazujejo materialne tokove med preseljenimi stroji, svetlo modre linije pa tokove med preseljenimi in obstoječimi stroji.

Zaradi preglednosti Sankeyjev diagram ne vključuje tokov med obstoječimi stroji, saj bi bil prikaz zaradi njihove gostote in prepletenosti nepregleden.

4 Rezultati optimizacije

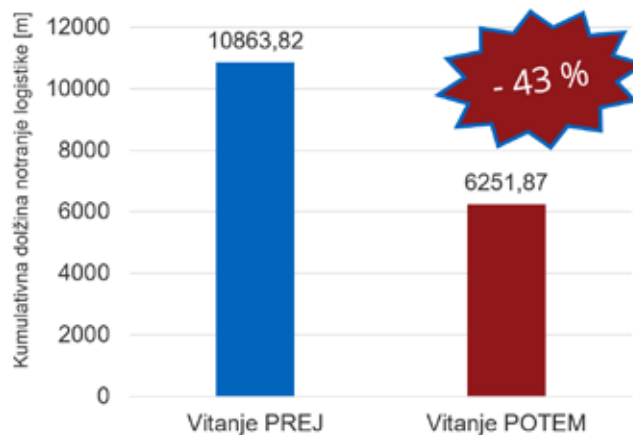
V zaključni fazi projekta smo predlagane rešitve, razvite s pomočjo digitalnega dvojčka, primerjali s tlorisi, zasnovanimi na strokovnem znanju brez uporabe simulacijskih orodij, ki jih je podjetje UNI-OR izdelalo pred začetkom optimizacije za lokaciji Zreče in Vitanje. S to primerjavo smo preverili skladnost rešitev in dodatne možnosti za izboljšave ter zagotovili, da smo v končni razporeditvi proizvodnih kapacitet upoštevali vse ključne dejavnike.

4.1 Vitanje

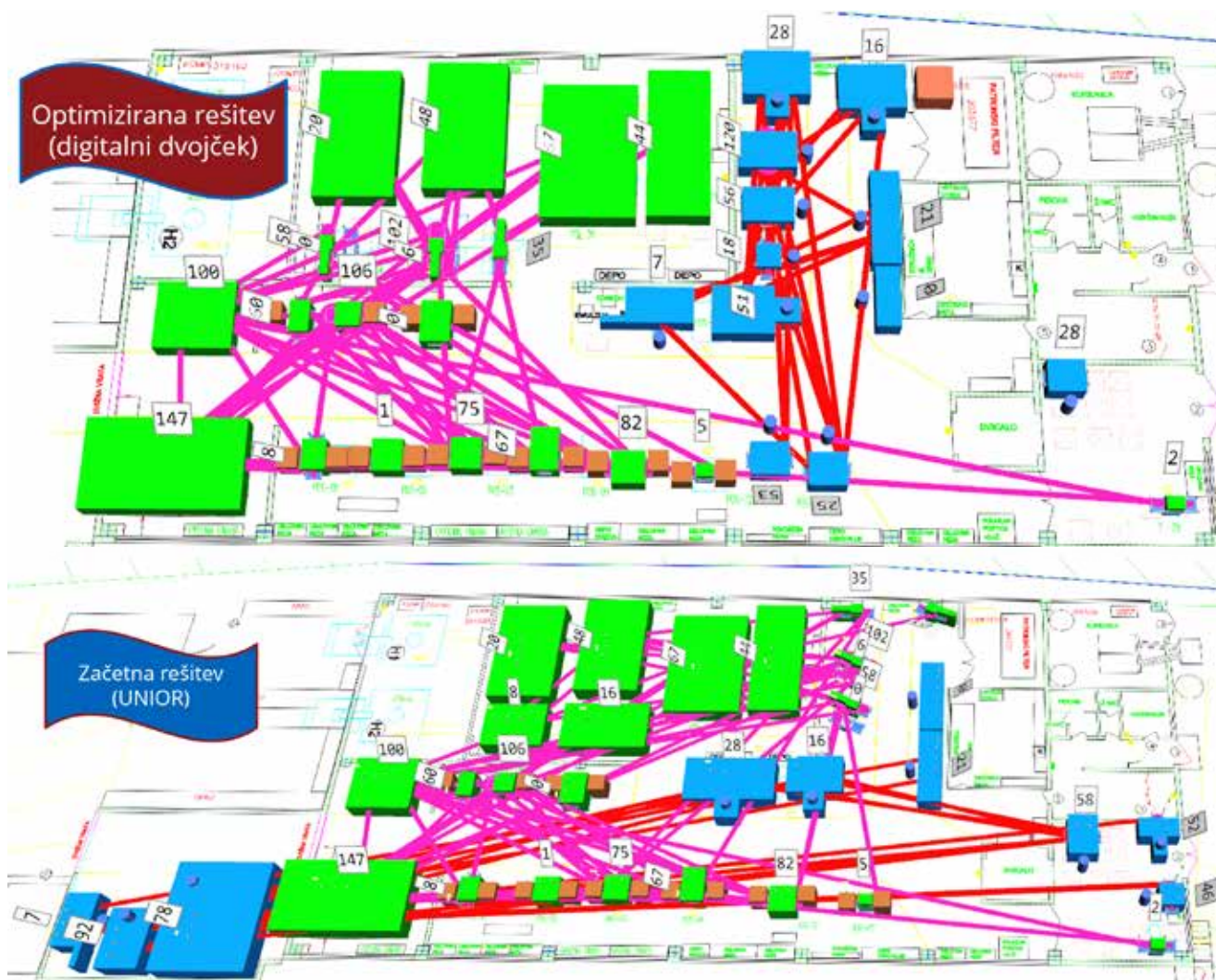
V Vitanju je primerjava med tlorisom, zasnovanim na strokovnem znanju brez uporabe simulacijskih orodij, in končno rešitvijo (slika 5), razvito s pomočjo digitalnega dvojčka, pokazala naslednje ključne izboljšave:

- ▶ povečanje števila preseljenih strojev: z 10 na 12;
- ▶ skrajšanje dolžine materialnih tokov: za 43 % glede na opazovano obdobje (slika 6);
- ▶ izboljšana izraba prostora in optimizacija poteka proizvodnih operacij.

Dolžina materialnih tokov



Slika 6 : Skrajšanje dolžine materialnih tokov za opazovano obdobje za -43 %



Slika 5 : Primerjava tlorisov UNI-OR/DD - Vitanje

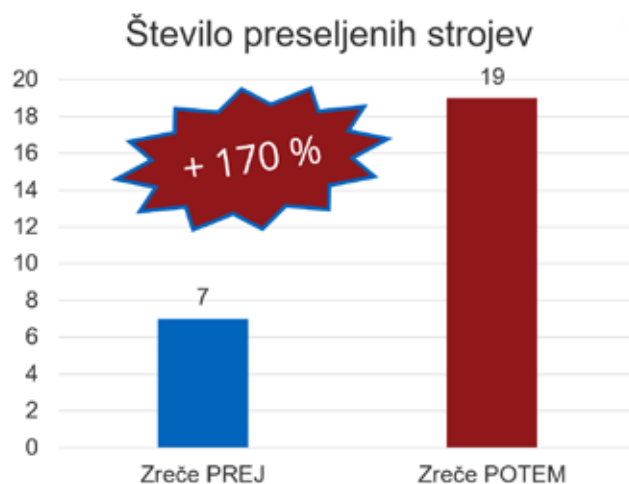
4.2 Zreče

Tudi v Zrečah je primerjava pokazala pomembne razlike med tlorisom, zasnovanim na strokovnem znanju brez uporabe simulacijskih orodij, in optimizirano postavitvijo.

Na primerjavi tlorisov (slika 7) je jasno razvidno, da ima optimizirana postavitve bistveno več povezav med posameznimi stroji, kar je neposredna posledica večjega števila uspešno preseljenih strojev in boljše organizacije proizvodnih procesov.

Rezultati primerjave so pokazali:

- ▶ povečanje števila preseljenih strojev: s 7 na 19 (slika 8);



Slika 8 : Povečanje števila preseljenih strojev za 170 %



Slika 7 : Primerjava tlorisov UNIOR/DD - Zreče

rahlo povečanje dolžine materialnih tokov, kar je posledica večjega števila izvedenih operacij;

- ▶ *povečanje proizvodne zmogljivosti*: število izvedenih operacij na preseljenih strojih se je povečalo za 327 %, kar predstavlja občutno izboljšanje izkoristka proizvodne površine.

5 Sklep

Projekt reorganizacije proizvodnje v podjetju UNIOR je jasno pokazal, kako lahko uporaba digitalnega dvojčka bistveno prispeva k učinkovitemu načrtovanju in izvajanju kompleksnih sprememb v proizvodnem okolju.

Z analizo na podlagi podatkov smo uspešno identificirali ozka grla, optimizirali razporeditev strojev in racionalizirali materialne tokove, kar je pripeljalo do občutnih izboljšav v prostorski izrabi in logistični učinkovitosti.

Iterativni simulacijski postopek nam je omogočil oblikovanje tlorisov, ki so:

- ▶ izboljšali prostorsko razporeditev strojev;
- ▶ zmanjšali notranjo logistiko in odpravili potrebo po zunanjih prevozi;

- ▶ skrajšali transportne poti in povečali izrabo razpoložljivega delovnega prostora ter
- ▶ omogočili večjo prilagodljivost za prihodnje spremembe v proizvodnji.

Ključna prednost digitalnega dvojčka se je izkazala v možnosti testiranja različnih rešitev že v fazi načrtovanja, kar je omogočilo sprejemanje bolj premišljenih odločitev brez tveganj za motnje v realnem proizvodnem procesu.

V tesnem sodelovanju z ekipo UNIOR smo izbrali najbolj uravnoteženo rešitev, pri čemer smo upoštevali tudi ergonomijo delovnih mest, združevanje sorodnih tehnologij in minimalne posege v obstoječo infrastrukturo.

Izkušnje iz projekta kažejo, da uporaba digitalnega dvojčka ni omejena zgolj na preselitve proizvodnih kapacitet, temveč predstavlja nepogrešljivo orodje tudi pri optimizaciji in reorganizaciji obstoječih postavitev.

Z uporabo digitalnega dvojčka lahko podjetja preidejo od improviziranih rešitev k podatkovno vodenemu načrtovanju proizvodnje, optimizirajo vsak meter prostora in si ustvarijo trajno konkurenčno prednost v industriji prihodnosti.

Optimizing Production Layout and Logistics Using a Digital Twin at UNIOR

Abstract:

This paper presents the optimization efforts at the company UNIOR. Following the closure of one of its production units, it was necessary to relocate several machines and technologies to two existing locations, with the goal of achieving an efficient arrangement with minimal construction interventions. Using the digital twin, we conducted precise simulations, analysed various scenarios, and optimized material flows, which enabled a more than 320% increase in the number of operations performed, a 43% reduction in material transport distances, and the elimination of the need for external logistics services. To support analysis and decision-making, we also used Sankey diagrams, which visualized the intensity and direction of material flows and significantly contributed to identifying bottlenecks and selecting the optimal layout. A comparison with the initial layout, developed based on expert knowledge without the use of simulation tools, showed that the digital twin approach leads to significantly better efficiency, improved space utilization, and more streamlined internal logistics. The paper not only presents a successful case of production capacity reorganization but also demonstrates that the digital twin is an indispensable tool for optimizing and reorganizing existing production setups in modern industrial environments.

Keywords:

digital twin, production optimization, production layout, internal logistics, simulation of production processes, Sankey diagram, flexible manufacturing, smart factory

