

Využitie postupov inteligentného priemyslu pre zvýšenie efektívnosti spracovania hliníkového odpadu

Erika SUJOVÁ, Alžbeta KLIMENTOVÁ, Jozef KRILEK

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta techniky, Študentská 26, 960 01 Zvolen,
e-mail: erika.sujova@tuzvo.sk

Súhrn

Inteligentný priemysel (Industry 4.0) so sebou prináša požiadavku na komplexnú digitalizáciu podnikových procesov, na ktorú reagujú všetci výrobcovia, ktorí chcú držať krok s modernými postupmi. Témou príspevku je návrh zvýšenia efektívnosti výrobných procesov prostredníctvom postupov inteligentného priemyslu. Výskum bol uskutočnený v podniku zaoberajúcom sa spracovaním hliníkového odpadu na separačnej linke hliníkovej drte. Po prvotnej analýze linky bol na základe reálnych údajov vytvorený simulačný model reflektujúci všetky zariadenia a postupy zahrňujúce triediaci proces. Simulačný model bol vytvorený prostredníctvom softvéru Siemens Tecnomatix Plant Simulation. Pre lepšie znázornenie procesov boli vytvorené štatistické grafy efektivity zariadení triediacej linky. V ďalšom kroku bola v simulačnom modeli pôvodnej linky navrhnutá konštrukčná úprava s predpokladom zvýšenia kapacity vibračného triediča. Po následnom vyhodnotení štatistík z inovovaného modelu linky bolo zistené zvýšenie objemu výroby o 8 %. Výskum realizovaný za pomoci vytvorenia simulačných modelov a testovania výsledkov simulácií na reálnom a inovovanom modeli predstavuje jeden z postupov digitalizácie výrobných procesov v kontexte Inteligentného priemyslu. Predmetom ďalšieho výskumu bude vytvorenie digitálneho dvojčaťa analyzovanej linky, ktoré vytvorí reálne informačné prepojenie reálnych zariadení – komponentov separačnej linky a jej simulačného modelu s cieľom jej monitoringu a následného riadenia.

Kľúčové slová: simulačný model; separačná linka; hliníkový odpad; efektivita výrobných procesov

Úvod

Stojíme na prahu technologickej revolúcie, ktorá zásadným spôsobom zmení spôsob, akým žijeme, pracujeme a vzájomne komunikujeme. Vo svojej miere, rozsahu a komplexnosti bude táto transformácia pre ľudstvo tak zásadná, ako žiadna iná technologická zmena z minulosti. Stratégia Industry 4.0 je postavená na tom, že ľudia, stroje, zariadenia, logistické systémy a produkty dokážu navzájom priamo komunikovať a spolupracovať¹. Všetko speje k totálnemu zosieťovaniu. Dôvodom je využitie obrovského množstva doteraz nezachytiteľných informácií na podstatne rýchlejšie a správnejšie rozhodovanie. Tesné prepojenie produktov, zariadení, ľudí zvyšuje efektívnosť výrobných strojov a zariadení, znižuje náklady a šetrí zdroje². Inteligentné sledovanie a transparentné procesy poskytujú spoločnostiam neustály prehľad, ktorý im umožní pružne a rýchlo reagovať na zmeny na trhoch.

Hlavnou myšlienkou inteligentného priemyslu (Industry 4.0) je počítačové prepojenie výrobných strojov, opracovávaných výrobkov a polotovarov a ďalších systémov a subsystémov priemyselného podniku (vrátane ERP systémov, obchodných systémov atď.)^{3,4}.

Identifikovaných bolo niekoľko základných princípov, na ktorých je koncepcia Inteligentného priemyslu založená, a ktoré je nutné rešpektovať pre dosiahnutie jej realizácie:

- Interoperabilita = schopnosť kyberneticko-fyzikálnych systémov CPS, ľudí, výrobkov a všetkých systémov a podsystémov Smart Factories vzájomnej komunikácie na rozhraní IoT a IoS⁵.
- Virtualizácia = schopnosť prepájania fyzických systémov s virtuálnymi modelmi a simulačnými nástrojmi⁶.
- Decentralizácia = skutočnosť, že rozhodovanie prebieha autonómne a paralelne v jednotlivých subsystémoch.

- Práca v reálnom čase = dodržanie požiadavky informácií v reálnom čase je kľúčovou podmienkou pre komunikáciu, rozhodovanie a riadenie v systémoch reálneho sveta.
- Orientácia na služby = preferencie výpočtovej filozofie ponúkajú a využívajú štandardných služieb, to vedie na architektúry typu SOA (Service Oriented Architectures).
- Modularita a rekonfigurabilita systémov = schopnosť systému autonómnej rekonfigurácie na základe rozpoznania danej situácie a vlastností modularity systémov ⁷.

Jednou z najmodernejších technológií, ktorá významnou mierou prispieva k zvyšovaniu konkurencieschopnosti a efektívnemu riadeniu výrobných podnikov je počítačová simulácia. Možnosti jej nasadenia sú veľmi široké, od testovania súčiastok vo fáze vývoja až po simuláciu komplexných výrobných systémov, akým je digitálny podnik ⁸.

Simulácia je reprodukciou reálneho systému a jeho dynamických procesov v modeli. Cieľom je nájdenie prenosných zistení pre realitu. V širšom slova zmysle simulácia znamená prípravu, implementáciu a vyhodnocovanie špecifických experimentov za použitia simulačného modelu⁹. Počítačové simulácie tak veľmi účinne vyplňajú medzeru medzi teóriou a experimentom. Teoretické podklady založené na jednoduchých modeloch môžu byť použité pre zložitejšie systémy namodelované pomocou počítačových simulácií ¹⁰.

Projektovanie výrobného systému zahŕňa 3D simuláciu toku produktu, materiálov, informácií a nastavenia kľúčových parametrov výrobného procesu. V prostredí konceptu Priemyslu 4.0 ide primárne o nastavenie a funkčnú databázu reálnych dát o výrobe pre simuláciu fyzikálneho sveta vo virtuálnom modeli, ktorý zahŕňa stroje, výrobky a človeka. To umožňuje operátorovi testovať a optimalizovať nastavenie strojnej technológie pre danú výrobnú linku vo virtuálnom svete ešte pred fyzickým pretypovaním a nastavením výrobného zariadenia do požadovaného stavu ¹¹.

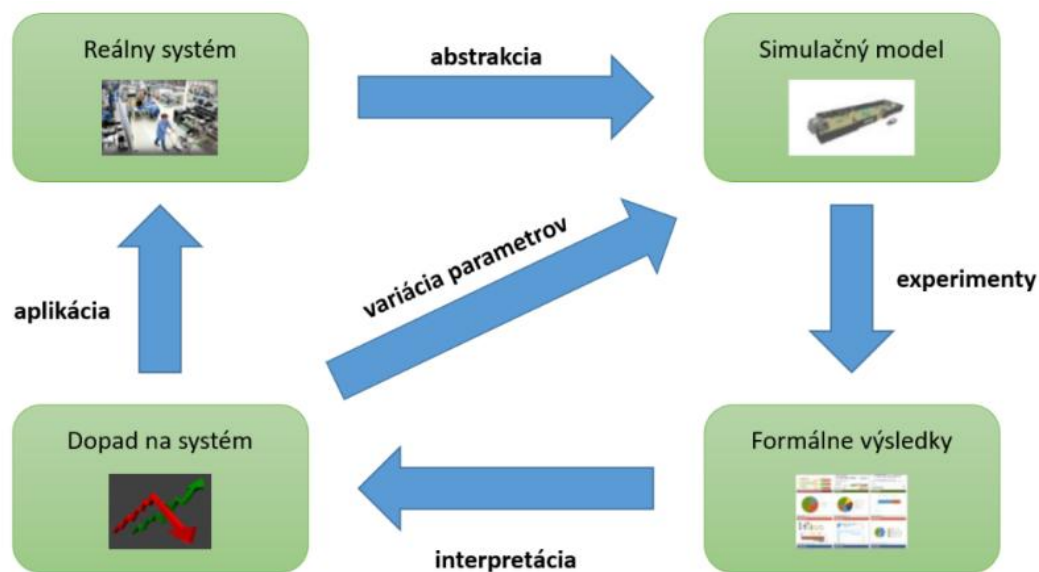
Cieľom článku je navrhnúť možnosti zvýšenia efektívnosti výrobných procesov prostredníctvom postupov inteligentného priemyslu. Výskum bol uskutočnený v podniku zaoberajúcom sa spracovaním hliníkového odpadu na separačnej linke hliníkovej drte. Výskum bol realizovaný prostredníctvom vytvorenia simulačných modelov a testovania výsledkov simulácií na reálnom a inovovanom modeli, čo predstavuje jeden z postupov digitalizácie výrobných procesov v kontexte Inteligentného priemyslu.

Experimentálna časť

Témou uskutočneného výskumu ¹² bolo využitie postupov inteligentného priemyslu (Industry 4.0) pre zefektívnenie výrobných procesov. Predmetom analýzy bola triediaca linka, ktorá slúži na separáciu správnej frakcie hliníkovej drte. Po prvotnej analýze linky bol na základe reálnych údajov vytvorený simulačný model reflektujúci všetky zariadenia a postupy zahrňujúce triediaci proces.

Simulačný model linky bol vytvorený prostredníctvom softvéru Siemens Tecnomatix Plant Simulation. Je to softvér na simuláciu a optimalizáciu podnikových procesov. Pomocou simulácie sa vyhodnocujú zložité a dynamické podnikové pracovné postupy ¹³. Počítačový model umožňuje užívateľovi vykonávať experimenty a prechádzať scenáre typu „čo keby“ bez toho, aby musel experimentovať so skutočným produkčným prostredím.

Všeobecne sa analýza toku materiálu používa, keď prebiehajú diskkrétne výrobné procesy. Tieto procesy sú charakterizované nestálymi materiálovými tokmi, čo znamená, že súčiastka je alebo nie je, posun prebieha alebo neprebieha, stroj pracuje bez chýb alebo hlási poruchu. Všetky tieto procesy je možné nasimulovať v softvéri Tecnomatix Plant Simulation. Princíp simulácie reálneho výrobného systému, vytvorenie simulačného modelu, experimentovanie s ním a interpretáciu výsledkov ilustratívne znázorňuje schéma na obrázku 1.



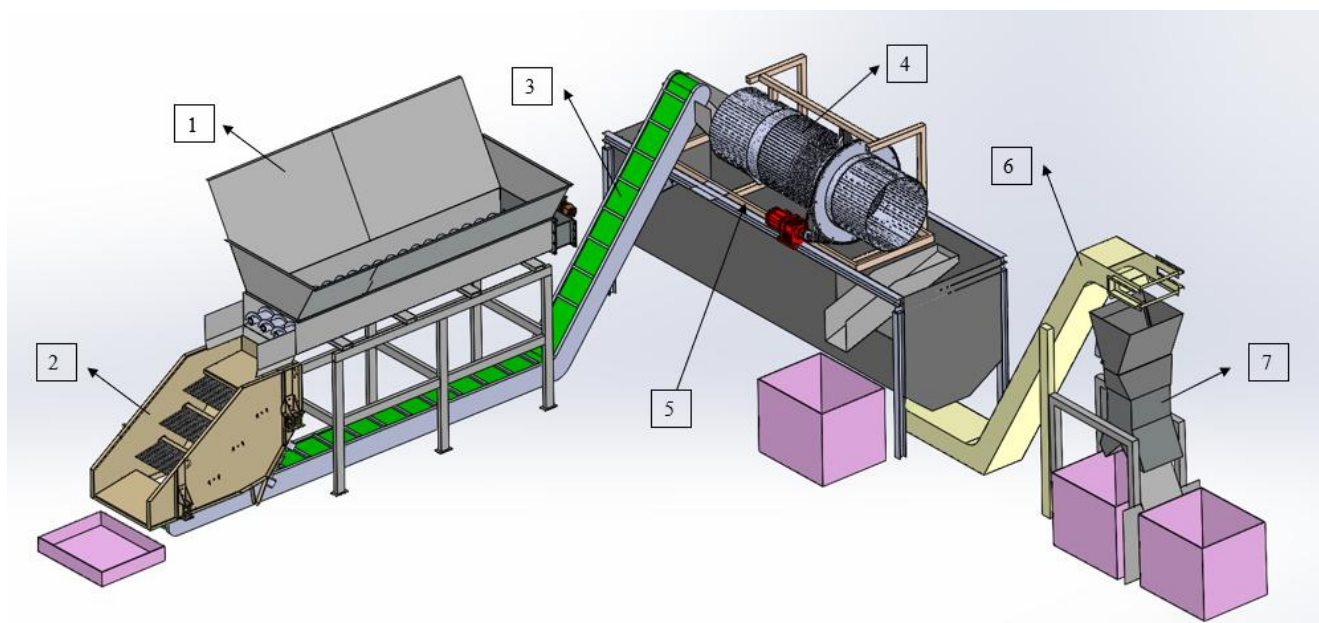
Obrázok 1: Princíp simulácie výrobného systému (spracované podľa Gregor, 2006)

Výskum¹² sa uskutočnil v spoločnosti Confal a.s. Slovenská Ľupča, ktorá je najväčším recyklátorom hliníka na Slovensku. Spoločnosť sa primárne zameriava na výrobu hliníkových zliatin pretavovaných z hliníkového odpadu. Takmer 100 % hliníkovej suroviny, ktorú používajú vo výrobe, je druhotná surovina – odpad. Vďaka pokročilej a ekologickej technológii spracovávajú všetky druhy odpadov z hliníka, od výrobných odpadov z podnikov spracovávajúcich a opracovávajúcich hliník až po odpad z demolácie a likvidácie a zberový odpad z domácností a obalové materiály. Recykláciou jednej tony zliatiny ušetrí približne 4 tony bauxitu a až 95 % energie, ktorá by inak bola potrebná pri výrobe hliníka z prírodnej suroviny. Confal a.s. je tiež recyklátorom hliníkových výrobných odpadov s výrobnou kapacitou 15 000 ton zliatin ročne.

Opis analyzovanej separačnej linky

Pre vypracovanie simulácie bola vybraná linka na separáciu hliníkovej triesky, na ktorej prebieha jeden z hlavných procesov podniku, triedenie hliníkového odpadu dodávaného vo forme rôznorodých triesok (obrázok 2). Do násypky sa nakladacím zariadením nasype vstupný materiál – hliníková trieska. Súčasťou násypky sú štyri závitovkové dopravníky, ktorých úlohou je prepraviť nasypáný materiál do vibračného separátora. Vibračný separátor vytriedi materiál od chuchvalcov a hrubých kusov hliníka nachádzajúcich sa v materiálu. Nevhodný materiál je automaticky posunutý vibračným pohybom do boxu na to určeného. Vytriedená vhodná frakcia prepadne na vynášací reťazový dopravník, idúci do rotačného triediaceho bubna, kde znovu prebehne triedenie, hrubé frakcie sa znovu odseparujú sitom. Pod triediacim bubnom sa nachádza zásobník triesok. V zásobníku sa nachádza závitovkový dopravník, ktorý plynulo dávkuje hliníkové triesky na reťazový dopravník s lopatkami a ten dopraví materiál až k magnetickému separátoru. Magnetický separátor odstráni nežiadúce železné časti z triesky. Zvyšovanie množstva železa spôsobuje zvyšovanie rozmerov defektov a pórovitosť odliatkov, čo sa rovnako prejaví poklesom ťažnosti. Železná trieska je odseparovaná v kontajneri. Hliníkový materiál putuje do kontajnera, kde je pripravený na ďalšie použitie.

Výstupom z linky je čistá hliníková trieska. Vytriedená hliníková trieska sa môže použiť na briketovanie, lisovanie alebo ako priamy vstupný materiál do taviacej pece. Na obrázku 2 je znázornené 3D vyobrazenie analyzovanej separačnej linky. Objem triedenia v separačnej linke je nastavený na jednu tonu vytriedeného materiálu za hodinu. Na zostavenie simulácie separačnej linky potrebujeme poznať presné údaje o zariadeniach, ktoré sú jej súčasťou.



Obrázok 2: 3D model separačnej linky hliníkového odpadu¹²

Pozície: 1 - Násypka so zabudovanými závitkovými dopravníkmi č. 1; 2 - Vibračný separátor; 3 - Vynášací reťazový dopravník č.1; 4 - Rotačný triediaci bubon; 5 - Závitkový dopravník č. 2; 6 - Vynášací reťazový dopravník č.2; 7 - Magnetický separátor

Postup tvorby simulačného modelu linky

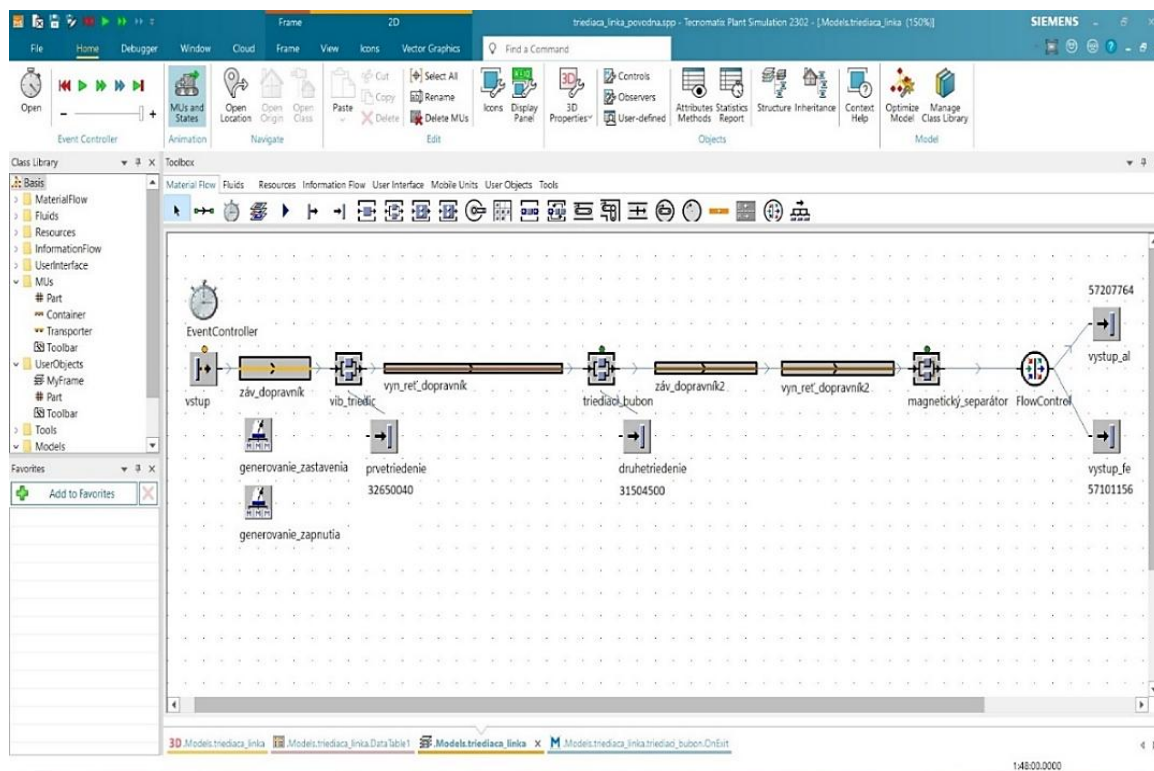
Pri tvorbe simulačného modelu je najdôležitejšou úlohou presne definovať parametre prvkov modelu, ktoré zobrazujú reálne výrobné zariadenia. V našom prípade bolo na úvod potrebné exaktne identifikovať vstupy do linky, čo bola veľmi špecifická úloha. Vstup do linky sme charakterizovali diskretnou hodnotou – číslami, ktoré reprezentujú približný počet hliníkových triesok spracovaných linkou za 1 hodinu. Simulačnú hmotnosť priemernej hliníkovej triesky sme určili na $0,01 \cdot 10^{-3}$ kg. Potrebné bolo aj definovať jednotlivé frakcie triedeného odpadu.

V tabuľke 1 uvádzame parametre triediacej linky, ktoré boli použité pri tvorbe simulačného modelu a boli zadané ako data vstupy do jeho jednotlivých prvkov.

Tabuľka 1: Parametre zariadení simulovanej triediacej linky

Parameter	Hodnota	Jednotka
Čas výrobnej dávky = čas simulácie	1:48:00	h:min:s
Hmotnosť výrobnej dávky	1 800	kg
Podiel vytriedených frakcií hliníkovej triesky	60:20:20	%
Dĺžka závitkového dopravníka č.1	3,9	m
Rýchlosť závitkového dopravníka č.1	43	m.s ⁻¹
Dĺžka vynášacieho reťazového dopravníka č.1	9,85	m
Rýchlosť vynášacieho reťazového dopravníka č.1	43	m.s ⁻¹
Dĺžka závitkového dopravníka č.2	5,6	m
Rýchlosť závitkového dopravníka č.2	43	m.s ⁻¹
Dĺžka vynášacieho reťazového dopravníka č.2	6,2	m
Rýchlosť vynášacieho reťazového dopravníka č.2	43	m.s ⁻¹

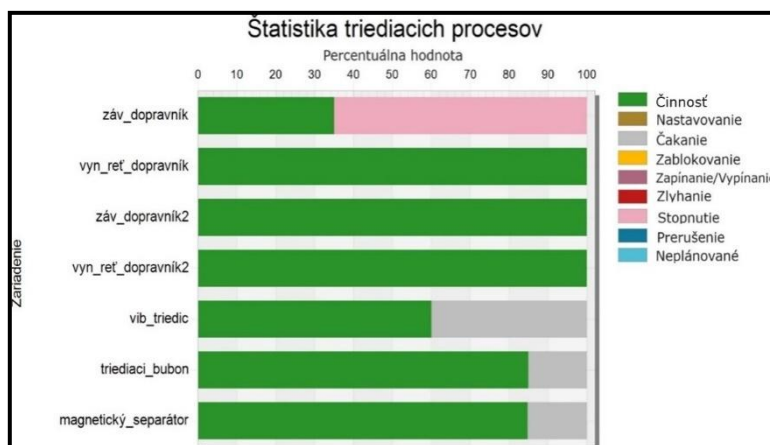
Vstupom do linky, označovaný aj ako „MU = mobile unit“, je teda hliníková trieska, ktorá bude prebiehať cez všetky objekty v procese. Vstup hliníkovej triesky sme rozdelili percentuálne na 20 % – 20 % – 60 % (20 a 20 % odpadové frakcie – 60 % správna frakcia) na základe dlhodobého pozorovaného reálneho podielu frakcií spracovávaného odpadu. To znamená, že prvým triedením neprejde 20 % z celkového množstva materiálu, pri druhom triedení bude percento rovnaké, v magnetickom triediči sa vytriedi posledných 60 % hliníkovej triesky, ktoré považujeme za správnu frakciu. Uvedené údaje sme zadali do tabuľky „DataTable“, odkiaľ sú generované dáta pre simulačný model.



Obrázok 3: Simulačný model pôvodnej triediacej linky¹²

Výsledky a diskusia

Na základe simulačného modelu a priebehu simulácie môžeme vyhodnotiť efektívnosť triediacej linky. Údaje zo simulačného procesu nám poskytli štatistické vyhodnotenie celého triediaceho procesu. Obrázok 4 znázorňuje ako efektívnosť jednotlivých zariadení triediacej linky. Dĺžka stĺpca grafu znázorňuje percentuálnu hodnotu simulovaného času. Percentuálna hodnota 100 % predstavuje jednu hodinu a štyridsaťosem minút, čo bol nastavený čas simulácie a zároveň čas spracovania jedenej výrobnéj dávky.



Obrázok 4: Graf výkonnosti pôvodných simulovaných zariadení

Z prezentovaných výsledkov (obrázok 4) môžeme konštatovať, že najviac vyťažené – konkrétne na hodnotu 100 % simulovaného času, boli zariadenia vynášací reťazový dopravník č.1, závitkový dopravník č.2 a vynášací reťazový dopravník č.2. Zariadenia triediaci bubon a magnetický separátor boli vyťažené na 86 %. Zvyšných 14 % času čakali na materiál. Zariadenie vibračný triedič pracoval podľa grafu 60 % času, zvyšných 40 % čakal na materiál. Závitkový dopravník pracoval zo všetkých zariadení najmenej efektívne, pracoval len 35 % z času, a zvyšných 65 % času bol stopnutý. Je to z kapacitných dôvodov, závitkový dopravník musí byť prerušovane púšťaný len na 8 sekúnd. Zvyšných 12 sekúnd stojí.

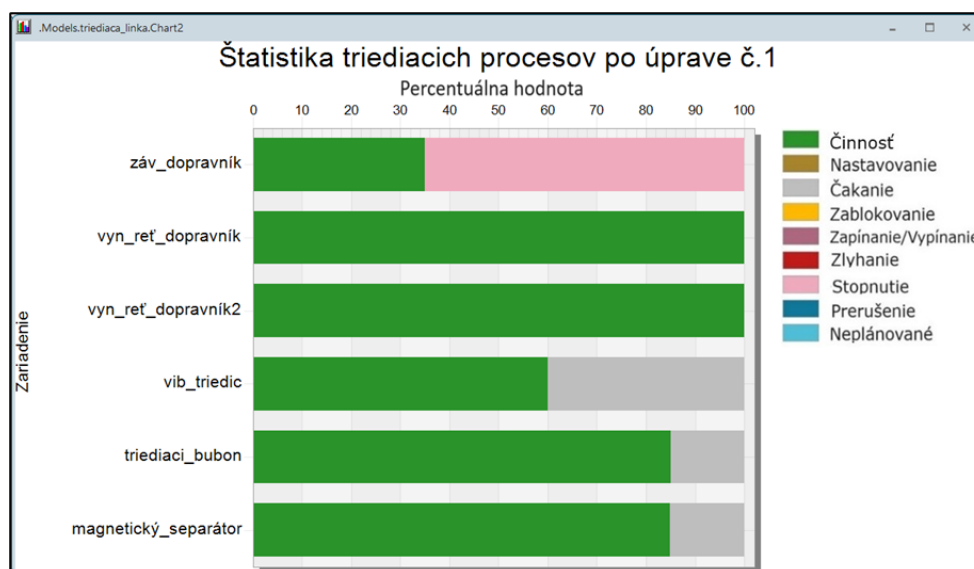
Návrh riešenia pre zvýšenie efektívnosti linky

Návrh zvýšenia efektívnosti triediacej linky spočíval v technickom riešení, ktorého účinky boli overené simuláciou v nových podmienkach. Navrhujeme nahradiť závitkový dopravník č.2 spolu s vynášacím reťazovým dopravníkom č.2 za jeden dlhý vynášací reťazový dopravník. Predpokladáme, že riešenie by zjednodušilo transport výrobkov po triediacej linke, ktorý bude viac kontinuálny. Taktiež by to mohlo znížiť čas triedenia, respektíve zvýšiť celkovú výrobnú kapacitu triediacej linky. Predpoklady boli overené a potvrdené následne pri vyhodnotení štatistík zo simulačného modelu.

Návrh nahradiť závitkový dopravník č.2 s vynášacím reťazovým dopravníkom č.2 za jeden dlhý vynášací reťazový dopravník bol odsimulovaný tak, že sme odstránili prvok: *záv_dopravník2*, a pre prvok: *vyn_reť_dopravník2* sme nastavili dĺžku dopravníka na dĺžku 11,8 m, čo predstavuje dĺžku potrebnú na prepojenie triediaceho bubna a magnetického separátora. Rýchlosť dopravníka zostáva počas simulácie nezmenená.

Simulácia triediacej linky pri implementovaní zmeny ukázala, že pri vymenení dvoch dopravníkov za jeden dlhší dopravník dokážeme pri nezmenenom čase simulácie vytriediť 1943 kilogramov hliníkovej triesky. Oproti pôvodnému stavu triediacej linky, predstavujúcom 1800 kilogramov vytriedených za hodinu, je to rozdiel o 143 kilogramov v prospech návrhu. V percentách nám tento návrh nám oproti pôvodnému stavu prinesie osem percentné navýšenie kapacity výroby.

Výsledky simulácie sú zobrazené v grafe výkonnosti zariadení triediacej linky po implementovaní návrhu (obrázok 5). Z výsledkov je zrejma aj vyťaženosť oboch vynášacích reťazových dopravníkov, ktorá je 100%, tzn. pracujú kontinuálne a sú plne vyťažené.



Obrázok 5: Graf výkonnosti zariadení triediacej linky po implementovaní návrhu

Záver

Cieľom článku bolo opísať využitie postupov inteligentného priemyslu (inak aj Industry 4.0), pre zefektívnenie výrobných procesov. Zamerali sme sa na vytvorenie simulačných modelov triediacej linky na hliníkový odpad s pôvodným reálnom stave a aj v upravenom stave, kde bola navrhnutá konštrukčná úprava dopravníku. Vytvorením simulačných modelov reálnej triediacej linky a zakomponovaním technického riešenia do nového modelu sme si overili, ako sa zvýši efektívnosť triedenia po realizácii technickej zmeny na zariadeniach.

Simulačné modely umožňujú experimentovanie s ich jednotlivými komponentami a prediktívne overenie si výsledkov prezentovaných v štatistikách modelu^{14,15}.

Pod'akovanie

Autori d'akujú agentúre KEGA, ktorá cez projekt KEGA 007TU Z-4/2023 „Inovácia a edukačná podpora predmetov v oblasti technickej diagnostiky poľnohospodárskej a lesníckej techniky s orientáciou na prax“ podporila vznik článku.

Táto publikácia je výsledkom realizácie projektu „Progresívny výskum úžitkových vlastností materiálov a výrobkov na báze dreva (LignoPro)“, ITMS 313011T720 podporeného z Operačného programu Integrovaná infraštruktúra (OPII) financovaného z ERDF.

Literatúra

1. Gregor, T.: Budúce výrobné koncepty. In: ProIn: Productivity and innovation. 2018. ISSN 1339-2271
2. Lee J., Kao H-A., Shanhu Yang S.: Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. Procedia CIRP. Volume 16, 2014, Pages 3 – 8. ISSN 2212-8271. DOI:10.1016/j.procir.2014.02.001
3. Dalenogare L. S., Benitez G.B., Ayala N.F., Frank A.G.: The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. International Journal of Production Economics. Volume 204, October 2018, Pages 383 – 394. ISSN: 1873-7579. DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.08.019
4. Industry4.sk: K Industry 4.0 – Technologie. Available: <http://industry4.sk/technologie/>. Stiahnuté 21. 9. 2024
5. Thoben K.-D., Wiesner S., Wuest, T.: "Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. International Journal of Automation Technology. Vol.11 No.1 pp. 4 – 16. ISSN: 1883-8022. DOI: 10.20965/ijat.2017
6. Brettel M., Friederichsen N., Keller M., Rosenberg M.: How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. International Journal of Information and Communication Engineering. Vol:8, No:1, 2014. ISSN: 2010-4049. DOI: 10.5281/zenodo.1336426
7. Mařík, V.: Je Industry 4.0 opravdu revolucí? <<https://docplayer.cz/23871995-Je-industry-4-0-opravdu-revoluci.html> > Stiahnuté 18. 9. 2024
8. Gregor, M., Grznár, P., Gregor, M. a kol.: Digitálny podnik. Žilina : Slovenské centrum produktivity, 2006. 139 s. ISBN 80-969391-5-7.
9. Bangsow, S.: Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3319-19502-5.
10. Nemanjic, B., Navenka S.: Computer simulations: technology, industrial applications and effects on learning. Hauppauge, NY: Nova Science Publisher's, 2013. ISBN 9781622575800.
11. Chromjaková, F., Tuček, D., Bobák, R.: Projektování výrobních procesů pro Průmysl 4.0. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017. ISBN 9788074546808.
12. Klimentová, A.: Využitie postupov Inteligentného priemyslu (Industry 4.0) pre zefektívnenie procesov: diplomová práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Fakulta techniky. 2024.

13. Grznár, P., Gregor, M., Mozol, Š.: Tecnomatix Plant Simulation: prezentácia. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2024.
14. Kunath, M., Winkler, H.: Integrating the Digital Twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process. 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.192>
15. Wang S., Wan J., Li D., Zhang Ch.: Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks 2016 b(4):1 – 10. ISSN: 1550-1477.
DOI: 10.1155/2016/3159805

Use of smart industry practices to increase the efficiency of aluminum waste processing

Erika SUJOVÁ, Alžbeta KLIMENTOVÁ, Jozef KRILEK

Technical University of Zvolen, Faculty of Technology, Študentská 26, 960 01 Zvolen, Slovak Republic
e-mail: erika.sujova@tuzvo.sk

Summary

The concept of Smart Industry (Industry 4.0) introduces the necessity for the comprehensive digitalization of business processes, a development to which manufacturers are responding in order to keep pace with modern industrial practices. This article addresses the proposal to enhance the efficiency of production processes through the application of Smart Industry methods. The topic of the article is the proposal to increase the efficiency of production processes through Smart Industry methods. The research was conducted in a company engaged in the processing of aluminium waste, on a separation line for aluminium granules. After an initial analysis of the line, a simulation model reflecting all the equipment and procedures involved in the sorting process was created based on real data. The simulation model was created using Siemens Tecnomatix Plant Simulation software. To better illustrate the processes, statistical charts of the efficiency of the sorting line equipment were created. In the next step, a structural modification was proposed in the simulation model of the original line, with the assumption of increasing the capacity of the vibrating sorter. After evaluating the statistics from the upgraded line model, an 8% increase in production volume was found. The research carried out with the help of creating simulation models and testing the simulation results on a real and upgraded model represents one of the approaches to digitalizing production processes in the context of Smart Industry. The subject of further research will be the creation of a digital twin of the analysed line, which will create a real information link between the real devices – components of the separation line and its simulation model, with the aim of monitoring and subsequently managing it.

Keywords: Simulation model, Separation line, Aluminium waste, Efficiency of production processes