

Umelá inteligencia v oceliarskom priemysle

Jonáš Sirotňák

Technická Univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky

jonas.sirotnak@student.tuke.sk

Abstract—Tento prehľadový článok sa zaoberá významným vplyvom umelej inteligencie na oceliarsky priemysel a zdôrazňuje jej význam pri zlepšovaní výrobných procesov, stratégií prediktívnej údržby a rozhodovacích rámcov. Využitím pokročilých technológií umelej inteligencie sú výrobcovia ocele schopní riešiť zložité výzvy a zároveň odomknúť nové príležitosti na zlepšenie efektívnosti, zvýšenie kvality a udržateľné postupy.

Integrácia metodík umelej inteligencie umožnila oceliarskym spoločnostiam dosiahnuť zásadnú zmenu v ich činnosti, najmä v oblastiach, ako je prediktívne modelovanie na predpovedanie rozloženia vnútornej teploty počas kľúčových procesov, ako je ohrev a valcovanie. Okrem toho sa prijatie fuzzy systémov vo výrobnom prostredí ukázalo ako účinné pri riadení neistôt a optimalizácii riadenia procesov, čo ďalej zvyšuje využitie zdrojov a prevádzkovú spoľahlivosť.

Využívanie technológií digitálnych dvojčiat navyše zmenilo možnosti simulácie a analýzy v oceliariach, čím sa umožnilo lepšie rozhodovanie a zvýšila sa prevádzková efektívnosť. Digitálne dvojčatá vytvárajú syntetické údaje, ktoré verne odrážajú reálne prevádzkové podmienky, čo umožňuje efektívnejšie a presnejšie trénovať algoritmy umelej inteligencie, a tým dosiahnuť zlepšenie v rôznych prevádzkových aspektoch.

Cieľom tohto dokumentu je prostredníctvom analýzy výskumu a poznatkov z odvetvia poskytnúť prehľad inováčných trendov umelej inteligencie v oceliarskom sektore.

Index Terms—Artificial Intelligence, Steel Industry, Fuzzy Systems, Digital Twin Technology, Physics-Informed Neural Networks(PINN)

I. INTRODUCTION

Nástup umelej inteligencie v oceliarskom sektore predznamenáva zmenu paradigmy v prístupe výrobcov ku kľúčovým aspektom ich činnosti. Riešenia poháňané umelou inteligenciou ponúkajú širokú škálu výhod - od optimalizácie výrobných procesov až po zvýšenie kvality výrobkov a zabezpečenie prevádzkovej spoľahlivosti. Využívaním rozsiahlych súborov údajov a sofistikovaných algoritmov umožňuje umelá inteligencia organizáciám získavať užitočné poznatky, prijímať rozhodnutia založené na údajoch a udržať si tak svoje postavenie v rýchlo sa vyvíjajúcom trhovom prostredí.

II. PREDIKCIA ZALOŽENÁ NA DÁTACH

Metodiky predikcie založené na údajoch sa stávajú čoraz dôležitejšími v rôznych odvetviach, pričom sa zdôrazňuje význam veľkých súborov údajov pri využívaní algoritmov umelej inteligencie. Najnovšie trendy

zdôrazňujú dopyt po vysokokvalitných tréningových údajoch, najmä v scenároch, kde môžu byť údaje zastarané alebo nedostatočné. Táto výzva je obzvlášť výrazná v aplikáciách, ako je oceliarsky priemysel, kde senzory nemusia byť realizovateľné alebo dostupnosť údajov môže byť obmedzená[1].

Na prekonanie tejto medzery sa sľubne ukazujú prístupy založené na modeloch, ako sú pokročilé systémy digitálnych dvojčiat, ktoré generujú syntetické údaje, ktoré presne odrážajú scenáre reálneho sveta na tréning algoritmov umelej inteligencie. Digitálne dvojčatá zohrávajú transformačnú úlohu najmä pri zvyšovaní prediktívnych schopností vytváraním virtuálnych reprezentácií fyzických aktív alebo procesov. Organizácie tak môžu simulovať a analyzovať rôzne scenáre, čo pomáha pri rozhodovaní a optimalizácii prevádzkovej efektívnosti[1].

Integráciou digitálnych dvojčiat s algoritmami strojového učenia môžu organizácie získať cenné informácie o výkonnosti zariadení, optimalizovať časové plány údržby a zvýšiť celkovú prevádzkovú spoľahlivosť. Ak prekročíme teoretické súvislosti, praktická implementácia digitálnych dvojčiat a algoritmov umelej inteligencie zahŕňa niekoľko kľúčových aspektov. Zber údajov z reálneho sveta je rozhodujúci na kalibráciu a overenie modelov, čím sa zabezpečí, že predpovede sú v súlade so skutočnými prevádzkovými podmienkami[1].

Na základe predpovedí je potom možné optimalizovať stratégie údržby, čo vedie k zvýšeniu prevádzkovej efektívnosti a úspore nákladov. Budúce smery výskumu zahŕňajú overovanie týchto metód experimentálnymi testami na skutočných aktívach, skúmanie komplexnejších modelov a rôznych zdrojov údajov a skúmanie potenciálu nových technológií, ako je rozšírená realita a virtuálna realita, pri zlepšovaní prediktívnej údržby v priemyselnom kontexte[1].

Celkovo možno konštatovať, že synergia medzi metodikami predikcie založenými na údajoch a technológiami digitálneho dvojčatá má obrovský potenciál pri pretváraní prediktívnej údržby a prevádzkového rozhodovania v rôznych odvetviach.

III. PREDIKCIA NERONOVÝCH SIETÍ TYPU PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS ZALOŽENÚ NA DÁTACH

Jeden z výskumov, ktorý som prečítal ponúka komplexný pohľad na aplikáciu neurónových sietí informovaných fyzikou (PINN) pri predikcii vnútorných teplotných distribúcií ocelových plechov počas procesu ohrevu pri valcovaní. Model predikcie založený na PINN sa skladá z hlavnej a pomocnej siete, pričom pomocná sieť slúži na predikciu teplôt v peci. Vstupom do tejto pomocnej siete je 8×12 teplotná matica, ktorá prechádza sériou výpočtov vrátane vkladania a kódovania polohy, normalizácie a doprednej propagácie. Nakoniec sú generované predikcie prostredníctvom normálnej a hustej vrstvy, čím sa integrujú fyzikálne informácie pre presné simulácie teplôt[3].

Dôležitosť presnej predikcie vnútorných teplotných distribúcií počas procesu ohrevu pri valcovaní je zásadná pre dosiahnutie optimálnej kvality výrobku a energetickej efektívnosti pri výrobe ocele. Problémom je, že extrémne podmienky v peci bránia priamemu monitorovaniu teplôt ocelových plechov. Tradičné metódy často vyžadujú náročné výpočty a neumožňujú ich reálne časové využitie. Navrhnutý prediktívny model založený na PINN sa snaží riešiť tieto problémy vkladáním termofyzikálneho poznania do neurónovej siete, čo umožňuje efektívne a presné predikcie teplôt ocelových plechov počas ohrevu.

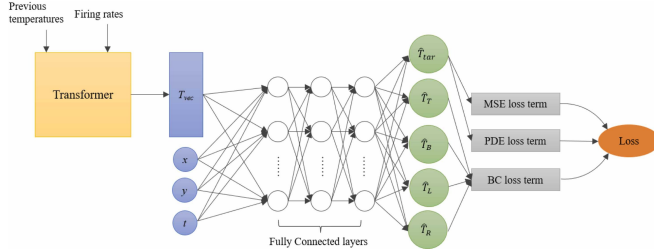


Fig. 1. Celkový diagram štruktúry siete PINN.

V práci sa tiež zdôrazňuje dôležitosť procesu valcovania ocele, ktorý sa často používa v oceliarskom priemysle pre výrobu ocele. Valcovanie prebieha v tesne uzatvorenej peci, kde sa ocelové plechy ohrievajú nad teplotu rekrytalizácie ocele pre valcovanie. Počas tohto procesu je kľúčové dosiahnuť dostatočne homogénnu distribúciu teplôt v peci, aby nedochádzalo k prehriatiu alebo popáleniu ocele. Kvôli extrémnym podmienkam nie je možné teplotu v peci monitorovať priamo a mnohé premenné je tiež ťažké merateľné senzormi[3].

Vedci sa dlhodobo snažia získať vnútorné teploty ocelových plechov v reálnom čase počas procesu ohrevu v peci. Od roku 1970 sa vykonáva rozsiahly výskum, ktorý analyzuje tepelný proces v peciach a simuluje kľúčové premenné charakterizujúce vnútorné prostredie. Najbežnejšou metódou je analýza dostupných údajov pomocou modelov výpočtovej dynamiky tekutín alebo zónových modelov, ktoré začínajú s kontinuálnou nu-

merickou simuláciou počiatočnej teplotnej distribúcie v peci na základe dostupných údajov v reálnom čase. Nakoniec sa pomocou metód numerických analýz vypočítavajú teplotné distribúcie na povrchoch ocelových plechov v rôznych okamihoch. Tieto prístupy čelia mnohým výzvam, ako je vyváženie presnosti s časovými nárokmi na výpočetne náročné riešenia, aby sa dosiahli aplikácie v reálnom čase. Na riešenie týchto nedostatkov bola predložená táto štúdia, ktorá sa zaoberá predikciou vnútornej teplotnej distribúcie ocelových plechov počas procesu ohrevu pri valcovaní pomocou modelu predikcie založeného na neurónovej sieti informovanej fyzikou[3].

IV. FUZZY SYSTÉMY V OPTIMALIZÁCII OCELIARSKÉHO PRIEMYSLU

Aplikácia umelej inteligencie v oceliarskom priemysle zahŕňa rôzne oblasti vrátane návrhu kvality, riadenia procesov a budovania systémov. Najmä expertné systémy a fuzzy riadenie preukázali účinnosť pri zlepšovaní riadenia procesov tam, kde tradičné matematické modely nie sú dostatočné.

Táto integrácia technológií umelej inteligencie, najmä fuzzy systémov, viedla k revolúcii v rôznych aspektoch oceliarskeho priemyslu, pričom výrazne ovplyvnila optimalizáciu procesov, kontrolu kvality a celkovú prevádzkovú efektívnosť[2].

Fuzzy systémy, ktoré sú podmnožinou umelej inteligencie, zohrali kľúčovú úlohu pri zlepšovaní kontroly procesov v oceliarskom odvetví. Tieto systémy vynikajú v spracovaní neistôt a nepresných údajov, ktoré sú v priemyselnom prostredí bežné. Využitím fuzzy logiky a algoritmov dosiahli výrobcovia ocele väčšiu flexibilitu a presnosť pri riadení výrobných procesov, čo viedlo k zvýšeniu kvality výrobkov a využitiu zdrojov.

Jedna z kľúčových silných stránok fuzzy systémov spočíva v ich schopnosti modelovať zložité, nelineárne vzťahy vo výrobných systémoch. Táto schopnosť je obzvlášť cenná pri optimalizácii výrobných procesov, kde tradičné metódy riadenia môžu mať problém zachytiť odchýlky a variácie spojené s priemyselnými operáciami. Vďaka začleneniu fuzzy systémov do riadiacich systémov oceliarske spoločnosti zaznamenali zvýšenie efektívnosti výroby a zníženie plytvania, čo prispelo k úspore nákladov a environmentálnej udržateľnosti[2].

Okrem toho sa aplikácia fuzzy systémov rozširuje aj mimo riadenia procesov na oblasti, ako je prediktívna údržba, riadenie dodávateľského reťazca a zabezpečenie kvality. Tieto systémy umožňujú proaktívne rozhodovanie prostredníctvom analýzy obrovského množstva údajov a identifikácie vzorcov alebo anomálií, ktoré môžu ovplyvniť výsledky výroby. Predpovedaním porúch zariadení, optimalizáciou úrovne zásob a zabezpečením konzistentnej kvality výrobkov fuzzy systémy zvyšujú celkovú prevádzkovú spoľahlivosť[2].

V. CONCLUSIONS

Na základe poznatkov získaných z preskúmaných výskumných prác je zrejmé, že umelá inteligencia zohráva

v oceliarskom priemysle dôležitú úlohu a ponúka inovatívne riešenia zložitých výziev. Integrácia metodík umelej inteligencie, ako je prediktívne modelovanie a fuzzy systémy, ukazuje potenciál revolučne zmeniť rôzne aspekty výroby ocele, od kontroly kvality až po optimalizáciu procesov a prevádzkové rozhodovanie.

Jedným z kľúčových poznatkov je dôležitosť využívania veľkých súborov údajov a pokročilých algoritmov umelá inteligencia na zlepšenie prediktívnych schopností v odvetviach, ako je výroba ocele. Zdôrazňuje sa dopyt po vysokokvalitných tréningových údajoch, najmä v scenároch, kde môžu byť údaje zastarané alebo nedostatočné. Táto výzva je obzvlášť výrazná v odvetviach, ako je oceliarsky priemysel, kde môže byť implementácia senzorov náročná alebo dostupnosť údajov obmedzená[1][2].

Nástup techník založených na digitálnych dvojčatách je prísľubom prekonania týchto nedostatkov údajov prostredníctvom generovania syntetických údajov, ktoré presne odrážajú scenáre reálneho sveta na účely trénovania algoritmov umelej inteligencie[1].

Digitálne dvojčatá zohrávajú dôležitú úlohu najmä pri zlepšovaní prediktívnych schopností vytváraním virtuálnych reprezentácií fyzických prostriedkov alebo procesov. To umožňuje organizáciám simulovať a analyzovať rôzne scenáre, čo pomáha pri rozhodovaní a optimalizácii prevádzkovej efektívnosti[1].

Okrem toho využitie fyzikálne informovaných neurónových sietí (PINN) na predpovedanie rozloženia vnútornej teploty počas procesov ohrevu a valcovania ocele zdôrazňuje použiteľnosť umelej inteligencie pri riešení špecifických priemyselných výziev. PINN so svojou integráciou poznatkov založených na fyzike do neurónových sietí ponúkajú účinné a presné predpovede, ktoré sú rozhodujúce pre dosiahnutie optimálnej kvality výrobkov a energetickej účinnosti pri výrobe ocele[3].

Ďalej sa ukázalo, že fuzzy systémy sú nápomocné pri optimalizácii procesov v oceliarskom priemysle, najmä pri efektívnom riadení neistôt a nelineárnych vzťahov. Schopnosť fuzzy systémov modelovať zložité vzťahy zvyšuje efektívnosť výroby, kontrolu kvality a využitie zdrojov[2].

Na záver možno konštatovať, že spolupráca medzi metodikami predikcie založenými na údajoch, algoritmami umelej inteligencie a technológiami, ako sú digitálne dvojčatá a fuzzy systémy, má obrovský potenciál na premenu prediktívnej údržby a prevádzkového rozhodovania v oceliarskom priemysle. Pokračujúci vývoj umelej inteligencie v oceliarskom sektore predstavuje zmenu paradigmy smerom k inteligentnejším, efektívnejším a udržateľnejším výrobným postupom.

REFERENCES

- [1] Diego D'Urso, Ferdinando Chiacchio, Salvatore Cavalieri, Salvatore Gambadoro, and Soheyl Moheb Khodayee. Predictive maintenance of standalone steel industrial components powered by a dynamic reliability digital twin model with artificial intelligence. *Reliability Engineering & System Safety*, 243:109859, March 2024.
- [2] T. Saito. Application of Artificial Intelligence in the Japanese Iron and Steel Industry. *IFAC Proceedings Volumes*, 22(11):31–38, September 1989.

- [3] Yao Sun, Qianye Zhang, and Samar Raffoul. Physics-informed neural network for predicting hot-rolled steel temperatures during heating process. *Journal of Engineering Research*, February 2024.