

KOMPLEXNÝ SYSTÉM SENZORICKEJ DIAGNOSTIKY A DIGITÁLNEJ TRANSFORMÁCIE KONTINUÁLNYCH DOPRAVNÝCH SYSTÉMOV

Vieroslav Molnár¹, Gabriel Fedorko², Peter Michalik¹, Ján Šaliga³, Marinko Maslarić⁴

¹Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 040 01 Košice, Slovenská republika, vieroslav.molnar@tuke.sk, peter.michalik@tuke.sk

²Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, Bayerova 1, 080 01 Prešov, Slovenská republika, gabriel.fedorko@tuke.sk

³Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 13, 040 01 Košice, Slovenská republika, jan.saliga@tuke.sk

⁴University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21102 Novi Sad, Serbia, marinko@uns.ac.rs

COMPLEX SYSTEM OF SENSOR DIAGNOSTICS AND DIGITAL TRANSFORMATION OF CONTINUOUS TRANSPORT SYSTEMS

Abstract: *The presented article introduces a set of innovative technical solutions aimed at the digital transformation of continuous transport systems. Within the project, five functional modules were developed: a device for dosing bulk material, a device for remote inspection of the conveyor belt, a device for electronic monitoring of belt tension, a device for measuring belt thickness, and a frame vibration sensing device. Together, these solutions form an intelligent diagnostic and control ecosystem capable of ensuring operational optimization, predictive maintenance, and increased safety of transport lines.*

Key words: *intelligent control ecosystem, digital transformation, sensor diagnostics, predictive maintenance*

1. ÚVOD

Kontinuálne dopravné systémy patria k základným stavebným prvkom moderných priemyselných a logistických procesov, pričom ich využitie siaha od ťažobného a stavebného priemyslu, cez energetiku, až po potravinársku výrobu [1]. Efektívna prevádzka týchto systémov závisí od spoľahlivosti jednotlivých komponentov – najmä dopravného pásu, rámovej konštrukcie, hnacích mechanizmov a riadiacej elektroniky [2].

V posledných rokoch je možné sledovať výrazný trend digitalizácie a automatizácie v oblasti údržby a riadenia výrobných liniek. Tento trend je súčasťou konceptu Priemysel 4.0, ktorý prepája fyzické zariadenia s digitálnymi modelmi, senzormi a dátovými platformami [3]. Pre kontinuálne dopravné systémy to znamená presun od reaktívnej údržby k prediktívnej diagnostike, kde sú poruchy identifikované a odstraňované ešte pred tým, než spôsobia neplánovanú odstávku [4].

Medzi hlavné problémy, ktorým tieto systémy čelia, patrí neplánované odstávky, opotrebovanie dopravného pásu, nedostatočná prevádzková diagnostika a riziko havarijných stavov [5]. Zavedenie senzorických a diagnostických systémov umožňuje nepretržité monitorovanie kľúčových parametrov a poskytuje viacero výhod vrátane zvýšenia spoľahlivosti, zníženia nákladov na údržbu a zlepšenia bezpečnosti.

2. METODIKA

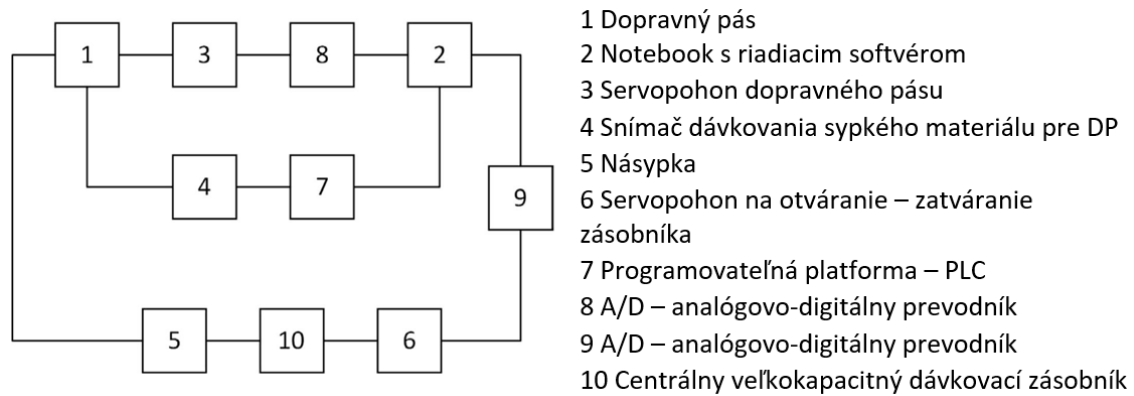
Systém senzorickej diagnostiky bude realizovaný na funkčnom prototypu najmenšieho hadicového dopravníka na svete s dĺžkou len 11m.



Obr. 1 Funkčný prototyp hadicového dopravníka

Navrhnutý systém senzorickej diagnostiky pozostáva z piatich modulov, pričom každý z nich bol navrhnutý s ohľadom na maximálnu funkčnú autonómiu, jednoduchú integráciu a kompatibilitu s existujúcimi priemyselnými štandardmi. Pri návrhu bola použitá metodika inžinierskeho návrhu so zapojením prvkov simulácie, prototypovania a experimentálneho overovania v reálnych prevádzkových podmienkach.

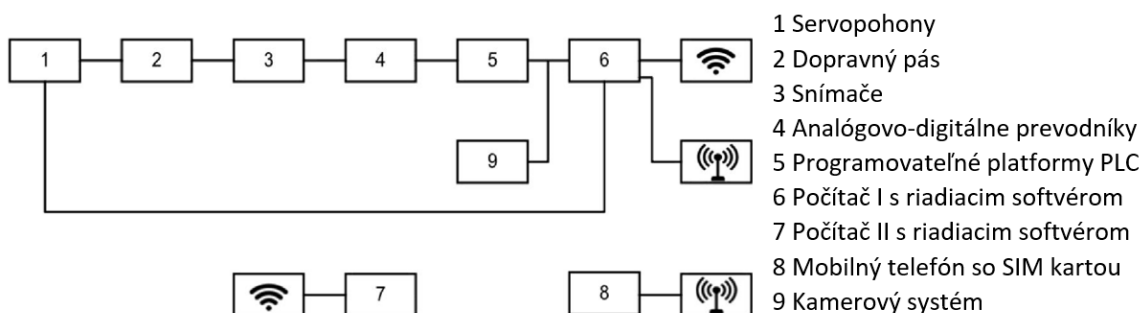
2.1. Zariadenie na dávkovanie sypkého materiálu [6]



Obr. 2 Schéma zariadenia na dávkovanie sypkého materiálu

Schéma znázorňuje mechanizmus riadeného podávania sypkého materiálu s využitím váhových senzorov a PLC jednotky. Konštrukčný návrh zabezpečujú snímače dávkovania sypkého materiálu pre DP (4), programovateľná platforma – PLC (7) a A/D – analógovo-digitálne prevodníky (8, 9), z ktorých signály spracuje notebook s riadiacim softvérom (2) a v prípade nedovoleného zaplnenia násypky (5) prepošle riadiaci signál do servopohonu na otváranie – zatváranie zásobníka (6) na zatvorenie centrálného veľkokapacitného dávkovacieho zásobníka (10). Taktiež zabezpečí zastavenie dopravného pásu (1) pomocou servopohonu dopravného pásu (3). Tento princíp má využitie pre rôzne konštrukcie kontinuálnych dopravných zariadení.

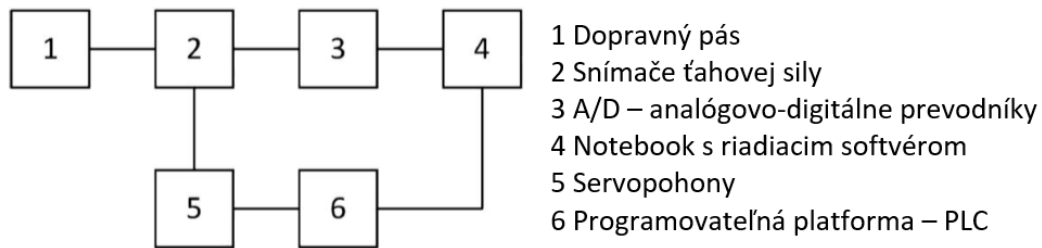
2.2. Zariadenie na diaľkovú inšpekciu dopravného pásu [7]



Obr. 3 Schéma zariadenia na diaľkovú inšpekciu dopravného pásu

Schéma zachytáva konfiguráciu kamery, osvetlenia a prenosovej jednotky pre online diaľkovú inšpekciu stavu dopravného pásu. Konštrukčný návrh zabezpečujú počítač I s riadiacim softvérom (6), počítač II s riadiacim softvérom (7), mobilný telefón so SIM kartou (8) a kamerový systém (9) spolupracujúce so servopohonmi (1) prepojenými s dopravným pásom (2), snímačmi (3), analógovo-digitálnymi prevodníkmi (4) a programovateľnými platformami PLC (5).

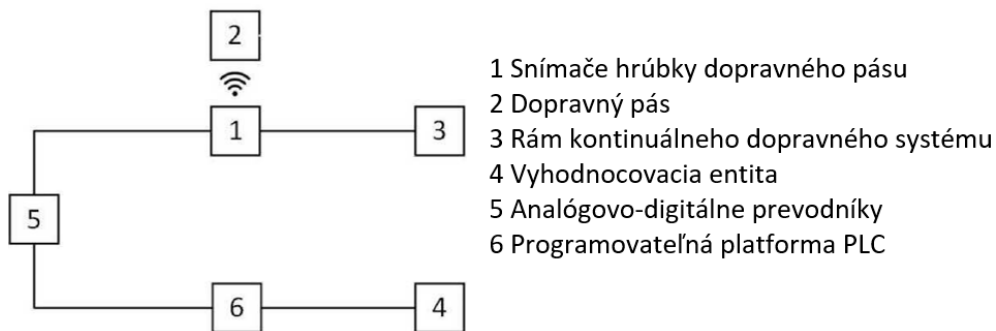
2.3. Zariadenie na elektronickú kontrolu napnutia pásu [8]



Obr. 4 Schéma zariadenia na elektronickú kontrolu napnutia pásu

Schéma ilustruje umiestnenie tenzometrických snímačov a riadiaceho modulu pre udržiavanie optimálneho napnutia pásu. Konštrukčný návrh zabezpečujú servopohony (5) prepojené s dopravným pásom (1), snímačmi ťahových síl (2), A/D – analógovo-digitálnymi prevodníkmi (3) a programovateľnou platformou – PLC (6), spolupracujúcou s notebookom a riadiacim softvérom (4).

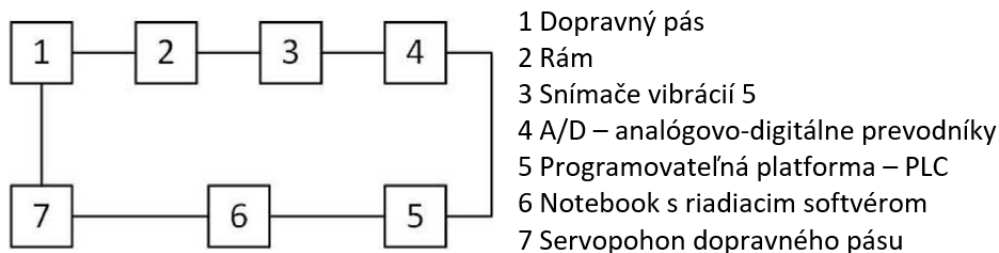
2.4. Zariadenie na meranie hrúbky dopravného pásu [9]



Obr. 5 Schéma zariadenia na meranie hrúbky dopravného pásu

Schéma zobrazuje laserové snímače a merací rám na bezkontaktné zisťovanie hrúbky pásu počas prevádzky. Tento návrh zabezpečujú snímače hrúbky dopravného pásu (1) implementované v dopravnom pásu (2), ktorý je vedený v ráme kontinuálneho dopravného systému (3). V snímačoch hrúbky dopravného pásu (1) vznikajú signály, ktoré sú vysielané do analógovo-digitálnych prevodníkov (5). Tieto ich po transformácii posielajú do programovateľnej platformy PLC (6), ktorá ich pripraví pre vyhodnocovaciu entitu (4), ktorá zaznamená miesta a veľkosť opotrebovania hrúbky dopravného pásu (2). V prípade zistenia prekročenia dovolených hodnôt opotrebovania dopravného pásu odošle vyhodnocovaciu entitu (4) signály na zastavenie prevádzky dopravného pásu (1).

2.5. Snímacie zariadenie vibrácií rámu [10]



Obr. 6 Schéma snímacieho zariadenia vibrácií rámu

Schéma ukazuje akcelerometre a spracovateľskú jednotku pre detekciu veľkosti a miesta vzniku abnormálnych vibrácií na ráme dopravníka. Zariadenie je na ráme (2) zabezpečené snímačmi vibrácií (3) prepojenými s A/D – analógovo-digitálnymi prevodníkmi (4). Programovateľná platforma – PLC (5) spracováva polohu vzniku vibrácií a je spojená s notebookom s riadiacim softvérom (6), ktorý pri prekročení dovolenej hodnoty vibrácií vypne napájanie servopohonu dopravného pásu (7) a zastaví prevádzku dopravného pásu (1).

3. VÝSLEDKY

Každý z modulov umožňuje prevenciu porúch v reálnom čase, integráciu do IoT architektúry závodu, bezobslužnú prevádzku v kritických podmienkach a prediktívnu údržbu prostredníctvom kontinuálneho zberu dát. Testovanie prototypov preukázalo schopnosť systémov detegovať a eliminovať nežiadúce prevádzkové stavy s presnosťou nad 95 %. Implementácia znížila počet havarijných odstávok o viac než 40 % a optimalizovala plán údržby. Modul merania hrúbky pásu dosiahol presnosť $\pm 0,1$ mm, čo umožnilo efektívnejšie plánovanie výmeny pásu. Okrem laboratórnych testov boli jednotlivé moduly nasadené aj v reálnych podmienkach povrchovej bane a logistického skladu. V oboch prípadoch došlo k výraznému zníženiu neplánovaných odstávok a zvýšeniu efektívnosti prevádzky. V prípade bane bol zaznamenaný nárast priepustnosti linky o 12 %, zatiaľ čo v sklade sa podarilo znížiť prevádzkové náklady na údržbu o 18 %. Analýza dát z vibračného modulu potvrdila schopnosť identifikovať začínajúce poruchy ložísk ešte pred ich kritickým zlyhaním, čo umožnilo ich výmenu počas plánovaných odstávok.

4. DISKUSIA

Navrhnutý systém predstavuje krok smerom k plne autonómnym dopravným linkám. V porovnaní s tradičnými riešeniami odstraňuje manuálne zásahy a znižuje čas odstávok. Integrácia viacerých senzoričných systémov umožňuje simultánne monitorovanie mechanických aj prevádzkových parametrov. Výzvou ostáva kompatibilita so staršími zariadeniami a kybernetická bezpečnosť prenosu dát. Nasadenie systému odhalilo aj niekoľko praktických výziev. Jednou z nich je potreba školenia obsluhy, ktorá musí vedieť interpretovať diagnostické výstupy a vykonávať preventívne zásahy. Ďalšou je potreba integrácie s existujúcimi podnikovými informačnými systémami, čo si vyžaduje štandardizáciu dátových formátov. Riešením môže byť využitie otvorených komunikačných protokolov a middleware platforiem. Budúci výskum sa zameria na

využitie umelej inteligencie a adaptívnych algoritmov na optimalizáciu prevádzky. Plánuje sa aj rozšírenie funkcionality o prediktívne modely opotrebovania založené na historických dátach a strojovom učení. Takýto prístup by mohol ďalej znížiť riziko havarijných stavov a predĺžiť životnosť kľúčových komponentov dopravného systému.

5. ZÁVER

Prezentovaný modulárny systém senzorickej diagnostiky a riadenia kontinuálnych dopravných systémov umožňuje efektívnejšiu prevádzku, minimalizáciu porúch a podporuje prechod na priemysel 4.0. Implementácia týchto riešení zvyšuje spoľahlivosť, predlžuje životnosť komponentov a znižuje prevádzkové náklady.

PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol s podporou projektu VEGA 1/0674/24, VEGA 1/0488/23, VEGA 1/0101/22, KEGA 001TUKE-4/2025, KEGA 009STU-4-2025, APVV-21-0195, SK-SRB-23-0054 and CZ.10.03.01/00/22_003/0000048.

LITERATÚRA

- [1] MOLNÁR, V., SABOVČÍK, M. Static testing evaluation of pipe conveyor belt for different tensioning forces. Open Engineering [online]. 2019, 9(1), 580-585. ISSN 2391-5439. Dostupné z: <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0068>.
- [2] KIRJANÓW-BŁAZEJ, A., a kol. Innovative diagnostic device for thickness measurement of conveyor belts in horizontal transport. Scientific Reports [online]. 2022, 12(1). ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11148-1>.
- [3] BORTNOWSKI, P., a kol. Detection of Blockages of the Belt Conveyor Transfer Point Using an RGB Camera and CNN Autoencoder. Energies [online]. 2023, 16(4), 1666. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16041666>.
- [4] RYBA, T., a kol. Monitoring of Rubber Belt Material Performance and Damage. Materials [online]. 2024, 17(3). ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma17030765>.
- [5] HOMISIN, J., a kol. Removal of systematic failure of belt conveyor drive by reducing vibrations. Engineering Failure Analysis [online]. 2019, 99, 192-202. ISSN 1350-6307. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.028>.
- [6] ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SR. SK 10062 – Zariadenie na dávkovanie sypkého materiálu pre kontinuálne dopravné zariadenia. Banská Bystrica: ÚPV SR, 2024.
- [7] ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SR. SK 10074 – Zariadenie na diaľkovú inšpekciu dopravného pásu na digitálnu transformáciu. Banská Bystrica: ÚPV SR, 2024.
- [8] ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SR. SK 10174 – Zariadenie na elektronickú kontrolu napnutia pásu kontinuálnych dopravných systémov pre digitálnu transformáciu. Banská Bystrica: ÚPV SR, 2024.

- [9] ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SR. SK 10228 – Zariadenie na meranie hrúbky dopravného pásu kontinuálnych dopravných systémov na digitálnu transformáciu. Banská Bystrica: ÚPV SR, 2025.
- [10] ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SR. SK 10253 – Snímacie zariadenie vibrácií rámu kontinuálnych dopravných systémov a meracích stojanov na digitálnu transformáciu. Banská Bystrica: ÚPV SR, 2025.