

## HW REALIZÁCIA EDGE COMPUTINGU V RIADENÍ MOSTOVÉHO ŽERIAVA

Pavol Dzurňák<sup>1</sup>, Martin Mantič<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Strojnícka fakulta, Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, dzurnak@tuke.sk

<sup>2</sup>Strojnícka fakulta, Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, martin.mantic@tuke.sk

### HW REALIZATION OF EDGE COMPUTING IN BRIDGE CRANE CONTROL

**Abstract:** Bridge cranes represent one of the most frequently employed lifting systems in industrial operations, where safe, precise, and efficient handling of heavy and oversized loads is required. Ensuring reliable performance necessitates accurate real-time acquisition and processing of operational data in order to suppress structural skewing, minimize load oscillations, and reduce downtime due to wear or damage. This contribution addresses the hardware implementation of edge computing in the control of a laboratory bridge crane model simulating a container terminal environment. The system architecture integrates multiple sensor modalities, including strain-gauge load cells, gyroscopic inclination sensors, vision modules based on ESP32-CAM, RFID identification units, and high-resolution incremental encoders. Primary data processing is executed by ESP32 microcontrollers utilizing the edge computing paradigm, whereby raw sensor signals are preprocessed locally and only relevant features are transmitted to the supervisory control layer. This approach reduces latency associated with data transfer and command generation, thereby enabling deterministic control of drives through PWM-regulated DC motors. The proposed implementation demonstrates enhanced responsiveness of crane motion control, improved reliability of autonomous container handling, and potential for integration with digital twin frameworks and AI-based object detection methods. The presented results form a basis for subsequent research in advanced crane automation and optimization of intermodal logistics processes.

**Key words:** bridge crane, edge computing, ESP32

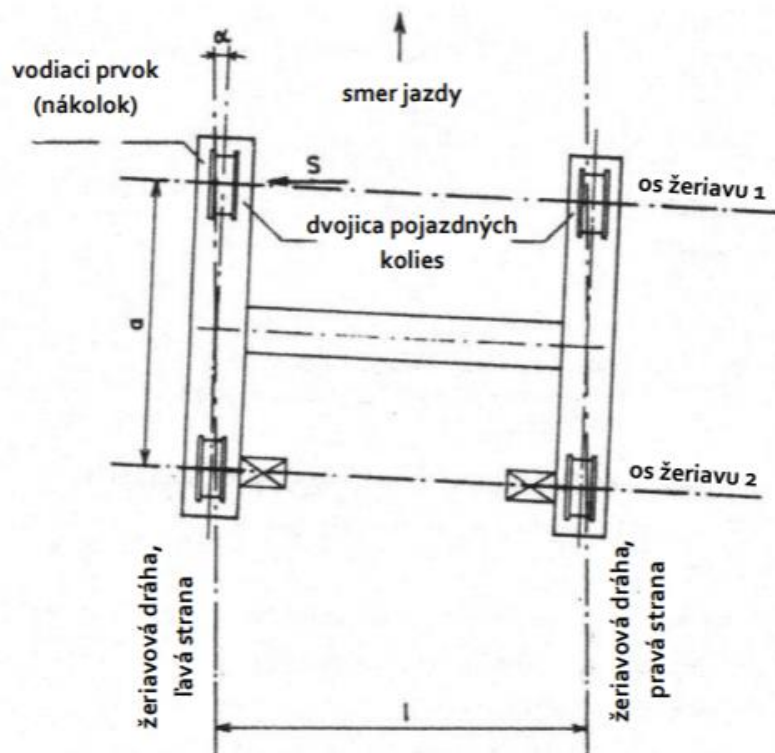
## ÚVOD

Mostové žeriavy patria medzi najpoužívanejšie zdvíhacie zariadenia v priemysle. Svojou konštrukciou umožňujú manipuláciu s ťažkými a rozmernými bremenami v halách, skladoch či výrobných prevádzkach, kde je potrebná presná a bezpečná preprava materiálu. Ich hlavnou výhodou je pohyb v troch osiach, čo zabezpečuje maximálne pokrytie pracovného priestoru a flexibilitu pri manipulácii.

Typický mostový žeriav pozostáva z mostovej konštrukcie, ktorá sa pohybuje po žeriavových dráhach umiestnených na stenách alebo stĺpoch objektu. Na moste sa pohybuje vozík s kladkostrojom alebo navijakom, ktorý zdvíha a spúšťa bremeno prostredníctvom háku alebo špeciálneho uchopovacieho zariadenia. Vďaka modulárnemu riešeniu je možné mostové žeriavy prispôbiť konkrétnym podmienkam prevádzky – od menších jednotiek s nosnosťou niekoľko

stoviek kilogramov až po konštrukcie schopné manipulovať s desiatkami ton. Stručný prehľad typov mostových žeriavov je možné nájsť napríklad v [1].

Na žeriavy počas prevádzky, ale aj v čase kľudu, pôsobia rôzne vlastné a vonkajšie sily a zaťaženia, ktoré je potrebné zohľadniť pri samotnom návrhu žeriavu tak, aby budúce využitie žeriava vykazovalo čo najmenšie prestoje z dôvodu opotrebenia príp. poškodenia niektorej zo súčasti konštrukcie žeriava. Jedným z hlavných nežiadúcich javov, vznikajúcich pri pohybe mosta žeriava po pojazdovej dráhe, je priečenie (Obr.1).



Obr. 1 Znárodnenie uhlu spriečenia a bočnej sily pri priečení žeriava [3]

Eliminácia priečenia je čiastočne možná konštrukčným riešením, ale veľmi efektívnym nástrojom je návrh vhodného riadiaceho systému riadenia pohonov žeriava.

## FUNKČNÉ MODELY MOSTOVÝCH ŽERIAVOV

V rámci testovania rôznych prístupov riadenia mostových žeriavov využívame na Katedre konštrukčného a dopravného inžinierstva fyzicky model mostového žeriava (max. nosnosť bremena 50 kg). Implementácia riadenia je založená na zbere dát z viacerých typov senzorických systémov [2], ktoré sú následne spracované riadiacim systémom Simatic IoT2040. Merané fyzikálne veličiny sú v tomto prípade spracovávané rôznymi analogovo-digitálnymi prevodníkmi (HX711, EMS170) a následne spracované a odoslané do riadiaceho systému priamo, príp. využitím mikroradiča ARDUINO. Zásadným problémom uvedenej konfigurácie je nízka reakčná rýchlosť procesu riadenia žeriava, tj. meranie dát - digitálna transformácia – prenos dát – generovanie riadiacích povelov pre riadenie pohonov žeriava. Z uvedeného vyplýva požiadavka na riešenie optimálneho zberu,

transformácie a prenosu dát do riadiaceho systému, ktorý bude následne schopný generovať riadiace povely pohonom žeriava v reálnom čase. Aby bolo možné efektívne hľadať riešenia vo všetkých troch oblastiach výskumu riadenia mostových žeriavov, bol vybudovaný nový model mostového žeriavu vo formáte modelu prevádzky kontajnerového prekladiska. Vybudovanie tohto modelu umožní do budúcnosti skúmať nielen nové technológie v oblasti senzorických systémov, ale aj inovatívne metódy riadenia mostového žeriavu a to tak z pohľadu eliminácie priečenia, ako aj skúmania nových logistických metód pri prevádzke kontajnerového prekladiska a to napríklad implementáciou digitálnej dvojčky.

## SENZORICKÉ SYSTÉMY

Model mostového žeriava kontajnerového prekladiska pozostáva z nasledovných senzorických systémov:

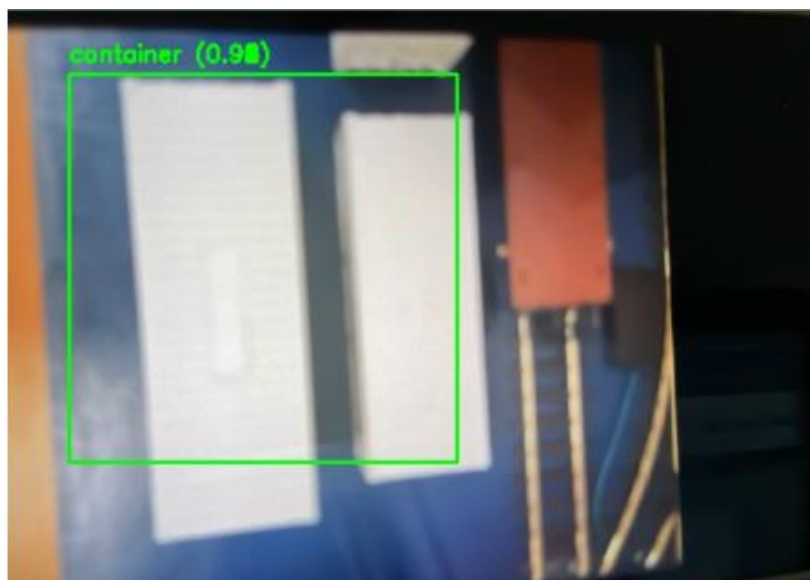
- snímanie hmotnosti váhy bremena (kontajnera),
- snímanie uhla náklonu bremena (gyroskop),
- snímanie obrazu priblíženia spreadera ku kontajneru,
- snímanie RFID tagov,
- snímanie polohy inkrementálnymi snímačmi,
- snímanie koncov dráh koncovými spínačmi,
- snímanie polohy kontajnerového vagóna.

Kvalitný zber dát uvedenými senzorickými systémami je základným predpokladom pre prevádzku riadenia schopného dosiahnuť požadované parametre riadenia v reálnom čase a to nielen s cieľom eliminácie priečenia, ale aj zamedzeniu prekmitu bremena, rešpektovanie zakázaných zón pri presune bremena, dosiahnutie optimálneho času pri vykládke a nakládke kontajnera a pod. Snímanie hmotnosti bremena je realizované inštaláciou tenzometrického snímača hmotnosti [4], u ktorého sa mení hodnota elektrického odporu v závislosti od deformácie (predĺženia alebo prehnutia) kovového prípravku inštalovaného v rámci konštrukcie mačky žeriava, obr. 2.



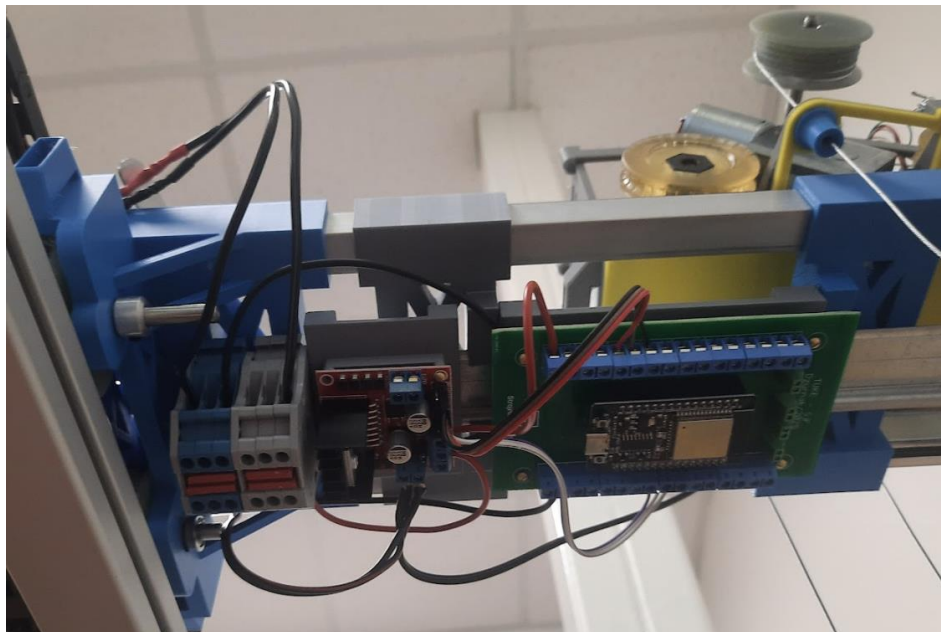
**Obr. 2** Konštrukcia mačky žeriava vrátane snímača hmotnosti bremena

Snímanie náklonu bremena je realizované gyroskopickým snímačom MPU6500, ktorý je dátovým rozhraním I2C pripojený k mikroradiču ESP32, ktorý zabezpečuje spracovanie a vyhodnotenie meraných dát. Okrem uvedeného snímača sú k mikroradiču ešte pripojené snímače dorazu a ovládanie úchyty kontajnera. Na samotnom spreadery je umiestnený ešte mikroradič pre spracovanie obrazu zo snímača ESP32-CAM, ktorý spracováva obraz priblíženia sa spreadera ku kontajneru. Na základe týchto údajov je možné realizovať proces autonómneho uchytenia a prenosu kontajnera z a na požadované miesto. Na obrázku 3 je znázornené spracovanie obrazu z prekladiska a rozpoznanie kontajnera metódami umelej inteligencie. V uvedenom príklade bol použitý model neuronovej siete ResNet-50, ktorý dokázal správne detegovať hrany kontajnera na 98%.



**Obr. 3** Spracovanie obrazu zo snímača ESP32-CAM modelom neuronovej siete ResNet-50

Okrem snímania polohy spreadera obrazovým snímačom je presné určenie polohy závislé aj od inkrementálnych snímačov SIKO IV5800-0041 s rozlíšením 2000 impulzov/obeh. Snímače sú spriahnuté s voľne sa otáčajúcimi kolesami na oboch priečnikoch žeriava. Impulzy sú spracované mikroradičom umiestneným na konštrukcii nosníka žeriava, obr.4.



**Obr. 4** Inštalácia mikroradiča ESP32, vrátane výkonovej časti, na konštrukcii nosníka žeriava

V rámci modelu kontajnerového mostového žeriavu je inštalovaný snímač RFID, ktorý slúži na jednoznačnú identifikáciu kontajnera, ktorý obsahuje tzv. tag s jedinečným identifikátorom UID (Unique Identifier), ktorý je prečítaný snímačom RFID pri vstupe kontajnera do modelového prekladiska. Príslušné UID je spolu s metadátami (typ a hmotnosť nákladu) uložená do databázy prekladiska.

## RIADIACI SYSTÉM

Ako už bolo spomínané, prvotné spracovanie dát je realizované prostredníctvom mikroradičov ESP32. Jedná sa o produkt spoločnosti Espressif Systems, ktorá sa zaoberá vývojom a výrobou HW pre implementáciu technológií v oblasti IoT (Internet of Things) využívajúc metódu modelu distribuovaného výpočtu tzv. Edge Computing, kedy sú dáta spracované pri zdroji ich získavania a ďalej sú už zasielané len výsledky tohto spracovania / výpočtu. Pre implementáciu tohto modelu je možné použiť viaceré druhy mikroradičov ESP32 [5] a to podľa vhodnosti dostupných dátových rozhraní, požiadaviek na napájanie a pod. Samotné riadenie žeriava je potom realizované povelmi na pohony žeriava, ktorými sú jednosmerné motory ovládané pulznou moduláciou PWM. Aby bolo možné prevádzkovať riadenie s požadovanou kvalitou, k tomu je potrebný matematický model [6], ktorý bude v tomto prípade predmetom ďalšieho výskumu.

## ZÁVER

Model kontajnerového prekladiska s využitím mostového žeriava umožní v ďalších fázach výskumu implementovať nielen technológie IoT ale aj rôzne typy logistických procesov. Z pohľadu IoT sa pozornosť sústreďí predovšetkým na optimalizáciu dátovej komunikácie a to tak v rámci internej výmeny dát medzi jednotlivými distribuovanými mikroradičmi, ako aj smerom na externé IT systémy rešpektujúc platné požiadavky na kybernetickú bezpečnosť. Posudzované budú viaceré komunikačné rozhrania (WiFi, ESP-NOW, 5G, ZigBee) ako aj technológie umožňujúce efektívne centrálné spracovanie dát a generovanie riadiacich povelov v reálnom čase (Nvidia Jetson Nano, Orion) čím sa vyrieši základný problém staršieho modelu mostového žeriava s riadením na báze Simatic IoT2040. Zároveň sa zefektívni testovanie a vývoj nových metód riadenia, ktoré po otestovaní v laboratórnych podmienkach bude možné implementovať aj na významne konštrukčne väčších mostových žeriavoch.

## LITERATÚRA

- [1] KULKA, J.; MANTIČ, M.; PUŠKÁR, M.: Žeriavy mostového typu, TU v Košiciach, Typopress, 2017, s. 11-13. ISBN 978-80-553-2908-6
- [2] Lumnitzer J.; Martin M.; Michal F.: Projektowanie, badania i eksploatacja Tom 1. - Bielsko-Biala (Poľsko) : Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej s. 237-246. ISBN 978-83-65182-93-7
- [3] von Berg, D.: Krane und Kranbahnen: Berechnung, Konstruktion, Ausführung. Stuttgart: Teubner, 1989. 270 s. ISBN 978-3-322-96767-1
- [4] Techfun s.r.o., <https://techfun.sk/produkt/hx711-ad-prevodnik-24-bitovy/>, (online 1.8.2025)
- [5] Malý M.: ESP32 prakticky Od základných obvodu k pokročilým aplikáciám, CZ.NIC, 2024, 532s. ISBN 978-80-88168-79-9
- [6] ČERKALA, J.; JADLOVSKÁ, A.: Matematické modelovanie a riadenie kolesových mobilných robotov, 274s., elfa s.r.o., 2019, ISBN 978-80-8086-273-2

### **PodĎakovanie**

*Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA 044TUKE-4/2024 Aplikácia virtuálnej a rozšírenej reality do vzdelávania s cieľom inovácie konštrukčných študijných programov.*