

Svet Dopravy

01/2021



www.svetdopravy.sk

Redakčná rada

slovenská:

- prof. Ing. Alica Kalašová, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- prof. Ing. Jozef Gnap, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- prof. Ing. Jozef Majerčák, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- prof. Ing. Miloš Poliak, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- doc. Ing. Vladimír Konečný, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- Dr. h. c. prof. Ing. Tatiana Čorejová, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- Mgr. Ján Popaďák, MOTION RECORD INTELLIGENCE, s.r.o

zahraničná:

- doc. Dr. Ing. Jerzy Mikulski Silesian University of Technology, fakulty of transport, Poland
- Dr. Ing. Marek Jaškiewicz, Kielce University of Technology
- prof. Ing. Dr. Mirek Svitek, Intelligent Transport systems&Services, Sdružení pro dopravní telematiku – ITS&S Czech Republic
- Prof. dr hab. Elzbieta Zaloga, Faculty for Management and Services Economics, Szczecin University. Poland
- Ing. Roman Srp, Intelligent Transport systems&Services Sdružení pro dopravní telematiku – ITS&S. Czech Republic
- doc. Ing. Pavel Hrubeš, PhD. České vysoké učení technické, fakulta dopravní, Praha,
- Ing. Zuzana Bělinová, PhD. České vysoké učení technické, fakulta dopravní, Praha

výkonný redaktor

- Ing. Ľubomír Černický, PhD.

Vydavateľ

**Asociácia Poskytovateľov Monitorovacích Satelitných Technológií a Inteligentných
Dopravných systémov ASATECH**



Obsah

| | |
|--|-----------|
| APLIKÁCIA TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN V INTELIGENTNOM MESTE | 4 |
| EKOLOGICKÉ A ENERGETICKY ÚSPORNÉ VOZIDLÁ CESTNEJ DOPRAVY PODĽA SMERNICE EÚ 2019/1161..... | 15 |
| Stanovenie nepresnosti ukazovateľa spotreby paliva vo vozidle | 25 |
| MOŽNOSTI AUTOMATICKEJ DIAGNOSTIKY KOLAJOVÉHO ROŠTU | 34 |

APLIKÁCIA TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN V INTELIGENTNOM MESTE

Autori:

Mikuláš ČERNÝ¹, Marián GOGOLA²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Mikuláš Černý, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: mikulas.cerny@stud.uniza.sk

²doc. Ing. Marián Gogola, PhD., Katedra cestnej a mestskej dopravy, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: marian.gogola@fpedas.uniza.sk

Abstrakt: *Koncept inteligentného mesta sa v súčasnosti dostáva čoraz viac do popredia. Nové technológie umožňujú mestu stať sa inteligentným a tým zefektívniť mestské procesy a zvýšiť kvalitu života obyvateľov. Jednou z týchto technológií je technológia Blockchain, ktorá bola uvedená Sakomotom Nakamoshim v roku 2009 v súvislosti s kryptomenou BitCoin. Vďaka vlastnostiam ako je nemeniteľnosť údajov, decentralizovaný systém, distribuovaná blockchainová sieť a transparentnosť sa možnosti presiahol potenciál tejto technológie oblasť kryptomien a začal nachádzať uplatnenie aj v ostatných oblastiach spoločnosti. Cieľom tohto príspevku je popísať pre aké oblasti inteligentného mesta je možné aplikovať technológiu Blockchain. Navyše, stanovíme aké výzvy je potrebné prekonať pri implementácii blockchainu v smart city.*

Kľúčové slová: Inteligentné mesto, technológia Blockchain, aplikovanie, výzvy

JEL: R41

APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN SMART CITY

Abstract: The concept of a smart city is now gaining more and more prominence. New technologies enable the city to become intelligent and thus streamline urban processes and increase the quality of life of its inhabitants. One of these technologies is Blockchain technology, which was introduced by Sakomot Nakamoshi in 2009 in connection with the cryptocurrency BitCoin. Thanks to features such as immutability of data, decentralized system, distributed blockchain network and transparency, the potential of this technology exceeded the area of cryptocurrencies and began to find application in other areas of society. The aim of this paper is to describe for which areas of the smart city it is possible to apply Blockchain technology. In addition, we determine what challenges need to be overcome when implementing a blockchain in smart city.

Keywords: Smart City, Blockchain technology, applications, challenges

1 Úvod

Napriek tomu, že pojmy ako Smart City a Blockchain sa ešte len dostávajú do povedomia, existujú prípady ich prepojenia. Technológia blockchain sa prvý krát objavila v spojení s kryptomenou Bitcoin. Avšak, jej potenciál presiahol hranice kryptomien. V súčasnosti sa skúmajú prínosy ale aj výzvy v rôznych oblastiach spoločenského života. Oblasť „inteligentných miest“ nie je výnimkou. Existuje niekoľko projektov vedených vládami zameraných na aplikovanie Blockchainu v Smart City. Napríklad v Švajčiarskom meste Zug a v Estónsku sa využíva Blockchain na vydanie e-ID ako aj na digitalizovanie registrovaní ID. Vo

viacerých krajinách ako je Ukrajina, Estónsko alebo Austrália sa budujú systémy elektronického hlasovania založenom na technológií Blockchain [7]. Od roku 2016 do roku 2020 bolo vybudovaných viac ako 100 inteligentných miest v Číne. Preto, bol spustený systém identifikácia založenom na Blockchaine. Cieľom tohto systému je vytvoriť lepšie prepojenie a výmenu údajov medzi týmito mestami [8]. Mesto Dubaj patrí k prvým mestám, ktoré vytvorili iniciatívu „inteligentného mesta“ založeného na Blockchaine. Prijatím tejto technológie sa v Dubaji ušetrilo len na spracovaní dokumentov viac ako 1 miliarda eur [17].

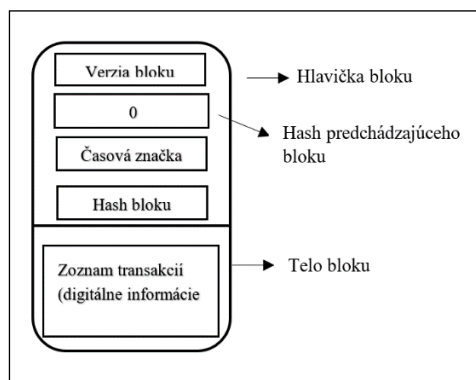
V štúdií boli popísané aj požiadavky na prostredie Blockchainu v Smart City, ide o sieť typu P2P (verejná, čiastočné alebo úplne súkromná); distribuovaná databáza na princípe účtovnej knihy, kde sa zaznamenávajú všetky transakcie jednotlivých uzlov (členovia) v sieti; kryptografické procesy; algoritmus konsenzu; motivačný mechanizmus [14].

Autori [11] preskúmali najnovšie pokroky vo výskume ako potenciálne riešenia pre inteligentné mesta založené na blockchain. Autori [3,14] sa vo svojich štúdiách zaoberali niektorými aplikáciami blockchainu v Inteligentnom meste. Navyše, stanovili aj niektoré výzvy a ich možné riešenia v oblasti implementácie blockchainu v inteligentnom meste.

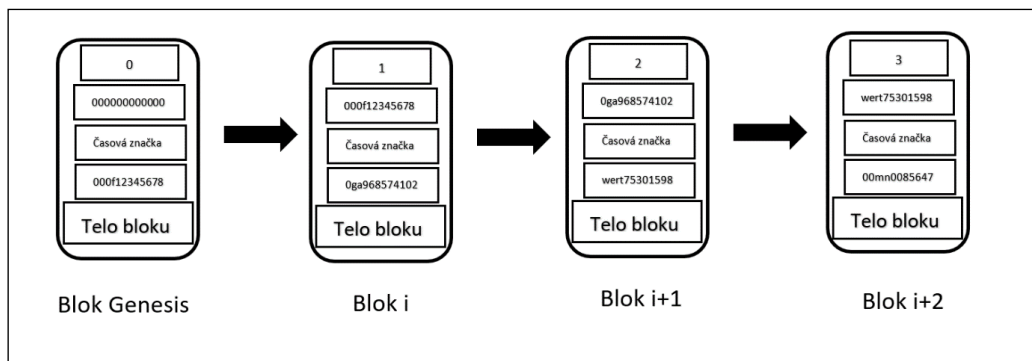
2 Teoretické pozadie

2.1 Technológia Blockchain

Základom Blockchain je digitálna účtovná kniha, ktorá zaznamenáva a ukladá informácie vo forme transakcií. Transakciou môže byť čokoľvek; účtovné knihy, hlasovacie lístky, autorské práva, záznam o vlastníctve, informácie o produktoch, v podstate všetko čo sa dá vyjadriť v kódach. Tieto transakcie sú ukladané do blokov, ktoré sú navzájom poprepájané prostredníctvom princípov kryptografie. Každý blok obsahuje vlastný Hash (ide o rad čísel vygenerovaný hashovacou funkciou) a Hash predchádzajúceho bloku. Hashovacia funkcia konvertuje akýkoľvek dlhý vstup (čísla) na pevne danú dĺžku výstupu pomocou algoritmu. V blockchaine sa najčastejšie používa Hash SHA 256. Prvý blok v reťazci sa nazýva „Genesis Blok“. Blok pozostáva z tela bloku, ktorý obsahuje transakcie a počítadlo transakcií) a hlavičky bloku, ktorá obsahuje časový značku, metadáta (nonce), Merkle hash, verziu bloku) [3,9]. Obrázok č. 1 zobrazuje stavbu bloku a obrázok č. 2 zobrazuje štruktúru Blockchainu.



Obrázok 1 Stavba bloku [9]



Obrázok 2 Štruktúra Blockchainu [9]

Koncept Blockchainu je možné rozdeliť do troch skupín:

Blockchain bez povolenia - môžeme sem zaradiť napr. BitCoin alebo Ethereum. Ide o decentralizované, plne verejné siete typu peer-to-peer, kde sa môže pripojiť každý člen bez povolenia ostatných členov [6]. V týchto verejných blockchainoch majú všetci členovia rovnaké práva a každý môže vytvárať, overovať a prijímať transakcie, ktoré sú verejné [1].

Blockchain s povolením - v takomto type rozhoduje o prijatí jednotlivých členov konzorcium existujúcich členov [6]. Nový účastník siete musí splniť určité podmienky aby sa mohol pripojiť k sieti a vytvárať, prijímať alebo overovať transakcie [1].

Súkromný Blockchain - takýto Blockchain je vlastnený jednou organizáciou, ktoré sama rozhoduje, kto bude môcť vstúpiť do siete. Avšak takýto typ blockchainu naruša princíp decentralizácie. Ak do siete súkromného blockchainu budú vstupovať len členovia, ktorých vlastníci (organizácia) siete pozná a dôveruje im, stráca sa zmysel blockchainu a princíp budovania dôvery. Preto nastáva otázka či je typ súkromného blockchainu relevantný a potrebný. Naskytujú sa jednoduchšie spôsoby ako medzi členmi takého blockchainu zdieľať informácie. Napr. jednoduchšia verzia technológie zdieľanej účtovnej knihy (DLT) [6]

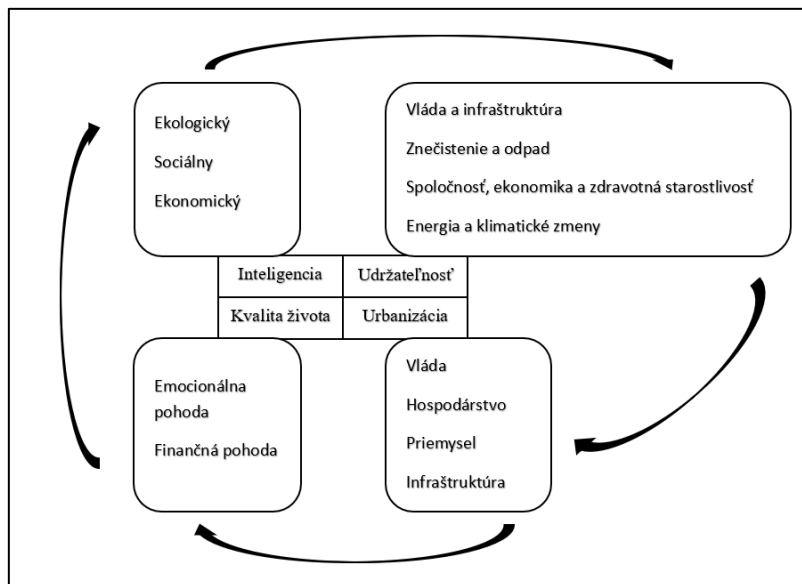
2.2 Inteligentné mesto

Inteligentné mesto nemá jednoznačné definovanie. V tejto časti sú uvedené niektoré známe definície:

- Inteligentné mesto je technologický náročne vyspelé mesto, ktoré spája obyvateľov, informácie a mestské elementy prostredníctvom najnovších technológií a vytvára tak udržateľné, ekologicky priaznivé prostredie, konkurencie schopnú a inovatívnu ekonomiku a obchod, a zvýšenú kvalitu života obyvateľov [4].
- Inteligentné mesto znamená byť mestom, ktoré využíva všetky dostupné technológie a zdroje koordinovaným a inteligentným spôsobom na rozvoj miest na udržateľné, obývateľné a integrované [5].
- Inteligentné mesto využíva technológie na transformovanie svojich základných systémov a optimalizovanie svojich obmedzených zdrojov. Inteligentné mesto je systém založený na vedomostiach a informáciách, ktoré poskytujú prehľad o skutočnostiach v reálnom čase. Toto umožňuje orgánom proaktívne riadiť jednotlivé podsystemy mesta. Avšak na dosiahnutie je potrebné efektívne spravovať informácie, ktoré má riadiaci orgán k dispozícii [21].

- Inteligentné mesto je mesto, ktoré vyvinulo technologickú infraštruktúru, ktorá umožňuje zhromažďovať, ucelovať a analyzovať údaje v reálnom čase a iniciuje využitie týchto údajov na zlepšenie životnej úrovne obyvateľov mesta. Iniciatíva inteligentného mesta zahŕňa tri zložky: informačné a komunikačné technológie, ktoré slúžia na zhromažďovanie a vytváranie údajov; analytické nástroje, ktoré analyzujú tieto údaje a vytvárajú z nich použiteľné informácie; organizačné štruktúry, ktoré vytvárajú podmienky a prostredie na spoluprácu, inovácie a podporujú aplikovanie nadobudnutých informácií na vyriešenie spoločenských problémov a vytvorenie kvalitnejšieho života v meste [18].
- Koncept inteligentného mesta spočíva vo využívaní inteligentných výpočtových technológií na vytvorenie komponentov kritickej infraštruktúry a služieb mesta viac inteligentných, prepojených, efektívnejších a účinnejších. Medzi tieto komponenty patria správa mesta, vzdelanie, zdravotná starostlivosť, verejná bezpečnosť, nehnuteľnosti, riadenie dopravy a verejné služby [15].

Inteligentné mesto je postavené na niekoľkých atribútoch: udržateľnosť, inteligencia, urbanizácia a kvalita života., ktoré sú navzájom prepojené. Na obrázku č. 3 je znázornená charakteristika inteligentného mesta.



Obrázok 3 Charakteristika Inteligentného mesta [4]

3 Oblasti aplikovania technológie Blockchain v Inteligentnom meste

V tejto časti sú opísané niektoré oblasti aplikácie technológie Blockchain v „inteligentnom meste“. Musíme však podotknúť, že možnosti aplikovania tejto technológie sú v podstate neobmedzené. Blockchain je možné uplatniť do všetkých oblastí, ktoré si vyžadujú bezpečné, efektívne, rýchle, transparentné a dôveryhodné zdieľanie údajov, informácií, dokumentov, peňazí medzi viacerých účastníkov na princípe peer-to peer.

3.1 Inteligentné elektronické hlasovanie

Elektronické hlasovanie je hlasovanie založené na využívaní digitálnych technológií, namiesto klasického hlasovania, pri ktorom sú používané papierové hlasovacie lístky a volič sa preukáže dokladom totožnosti. V rámci elektronického hlasovania sú voliči overovaní pomocou biometrie a digitálnych podpisov prostredníctvom softvérovej platformy. V porovnaní s tradičným hlasovaním ma elektronické hlasovanie nasledovné výhody: pozitívny vplyv na životné prostredie (nahradenie papierových hlasovacích lístkov), menšia chybovosť pri sčítaní hlasov, sčítanie a spracovanie hlasov v reálnom čase. Avšak, súčasný koncept elektronického hlasovania je ohrozovaný kybernetickými útokmi a neopravnou manipuláciou na úrovni používateľa alebo systému [3].

Technológia Blockchain umožňuje vytvoriť sieť, ktorá nemá jediný bod poruchy (v prípade poruchy jedného uzla sieť dokáže fungovať ďalej), tak isto túto sieť nekontroluje a nespravuje jediný orgán, alebo autorita. Blockchain poskytuje súkromný kľúč pre každého používateľa na digitálne podpísanie jeho transakcie (napr. hlas vo voľbách), ktorý sa následne pridá do digitálnej knihy v Blockchaine. Tieto vlastnosti Blockchainu je možné využiť v koncepte elektronického hlasovania založenom na Blockchaine. V takomto koncepte má každý volič pridelenú peňaženku so svojím súkromným kľúčom, ktorý slúži na overenie voliča počas hlasovania. V tejto peňaženka je počas hlasovania pripísaná „minca“, ktorú môže každý užívateľ použiť iba raz na odovzdanie hlasu. Voličov je možné overiť a napriek tomu je možné zachovať ich anonymitu [8]. Systém elektronického hlasovania založenom na Blockchaine sa začínajú budovať a uvádzať do prevádzky ako pilotné projekty v niektorých krajinách ako je na napr. Estónsko, Ukrajina alebo Austrália [7]. V Austrálii vznikla digitálna demokratická organizácia MiVot, ktorá poskytuje platformu elektronického hlasovania používajúca Blockchain. Na Ukrajine používajú distribuovaný register E-Vox založenom na Ethereume pre miestne voľby [14].

3.2 Zdravotná starostlivosť

Blockchain môže priniesť vyššiu kvalitu do oblasti zdravotnej starostlivosti. Elektronické zdravotné záznamy je možné ukladať do Blockchainu. Vďaka inteligentným zmluvám a technológiám umožnenia prístupu založenej na blockchaine bude možné vyriešiť problémy s prístupom k informáciám, overovanie identity a ochrany súkromia. Blockchain vytvára decentralizovanú sieť v ktorej má každý účastník prístup ku všetkým informáciám uložených v blockchaine. Princíp súkromného a verejného kľúča umožňuje aby pacient zostal anonymný a konkrétne zdravotné záznamy neboli priradené k jeho osobe [11,16].

Jednou z významných vlastností Blockchainu je, že s údajmi uloženými v Blockchaine nie je možné manipulovať. Blockchain teda môže zabrániť k stratám zdravotných záznamov pacientov. Navyše, táto technológia dokáže ušetriť milióny eur na ochrane týchto záznamov. Využíva kryptografické šifrovanie, ktoré prevedie informácie do algoritmickej kódy. Blockchain neuchováva všetky údaje a informácie na jednom mieste, ale zdieľa ich medzi všetkých účastníkov. Vďaka, tomuto nehrozí, že ak nastane poškodenie centrálného úložiska hrozí riziko straty všetkých údajov. Technológiu Blockchain je možné implementovať aj do riadenia farmaceutického dodávateľského reťazca. Dôsledkom toho by bolo možné znížiť podvody a zvýšiť pravdepodobnosť odhalenia falšovania liekov. Zvýšila by sa aj úroveň sledovania liekov a liečiv. Spoločnosti by mali väčší priestor na reakciu a stiahnutie škodlivých liekov z obehu. Rovnako by sa zvýšila dôvera vo farmaceutické spoločnosti, pretože by sa stal pôvod liekov transparentnejší [12].

3.3 Vzdelávanie

Vzdelávacie inštitúcie kvôli pandémií COVID – 19 čelia mnohým novým výzvam. Vzdelávací proces sa preniesol do virtuálneho prostredia a aj keď súčasné technológie dostatočne poskytujú možnosti pre plynulé zabezpečenie vzdelávania existuje niekoľko problémov, ktorým musia pedagógovia čeliť. Medzi tieto výzvy patrí transparentnosť pri hodnotení študentov, rozvoj učebných osnov a overenie elektronického vzdelávania. Autori [10] navrhli systém elektronického vzdelávania založenom na Blockchaine s názvom „Blockchain University“.

V oblasti vzdelávania existuje veľké množstvo záznamov o študentoch medzi ktoré patrí napr. dosiahnutý stupeň vzdelania, získané diplomy, certifikáty, osvedčenia. Tieto záznamy je potrebné zdieľať medzi rôznymi inštitúciami, úradmi, zamestnávateľmi a inými osobami. V súčasnosti nastáva riziko sfaľšovania a manipulácie týchto záznamov, čím sa znižuje dôveryhodnosť a pravdivosť týchto záznamov. Tieto záznamy by mohli byť ukladané vo forme blokov v Blockchaine. Vďaka povahe a vlastnostiam Blockchainu by takto uložené a zdieľané záznamy mohli byť považované za pravdivé, správne a dôveryhodné. Navyše, výmena takýchto záznamov by bola rýchla, efektívna a transparentná. Na podobnom princípe by mohli fungovať aj rôzne oprávnenia v iných sférach spoločenského života [14].

3.4 Inteligentná doprava

Inteligentný dopravný systém zahŕňa použitie moderných technológií, výpočtových zariadení, sietí senzorov, bezdrôtovú komunikáciu, systém riadenia dopravných signálov, kamerový systém detekcie rýchlosti, automatické rozpoznávanie EČV, systémy CCTV (uzavretý televízny okruh) na monitorovanie v reálnom čase a systém riadenia dopravných parkovacích lístkov. V kombinácii s najnovšími stratégiami a technikami riadenia dopravy vytvárajú dopravný systém, ktorý je efektívny, bezpečný, rýchly, ekonomický a prepojený. Avšak, problémom súčasných IDS je vysoký objem získaných údajov a ich následné využitie a adresovanie. Blockchain môže zabezpečiť bezpečné zdieľanie týchto údajov, vďaka nemennosti a distribuovanej sieti. Navyše, údaje nie sú uložené na jednom centralizovanom mieste [11].

Okrem toho, môže Blockchain vyriešiť problém komunikácie a spolupráce medzi jednotlivými prvkami a objektmi IDS. Blockchain môže byť využívaný aj systéme zdieľaných jász, kde bude vytvorená sieť P2P. Zákazník a poskytovateľ prepravnej služby budú môcť medzi sebou komunikovať bez zásahu tretej strany, čo môže viesť k nižším poplatkom za prepravu. Ďalšou možnosťou aplikácie technológie Blockchain v oblasti dopravy v oblasti meste je implementovanie Inteligentných zmlúv v oblasti elektrických vozidiel a ich nabíjania. Inteligentné zmluvy môžu uľahčiť obchodovanie s elektrickou energiou medzi vozidlami a nabíjacími stanicami. Informácie o dopyte po elektrických vozidlách, o polohe a cenníku nabíjacích staníc sa môže uložiť do Blockchainu a elektrické vozidlo na základe toho môže zvoliť optimálnu nabíjaciu stanicu [3,11].

Inteligentné zmluvy, senzory, systém automatického rozpoznávania EČV, systém CCTV môžu vyriešiť problém prekračovanie niektorých dopravných priestupkov ako sú napr. prekračovanie rýchlosti, vjazd do zakázaných mestských zón, nelegálne parkovanie a pod. V inteligentnej zmluve budú preddefinované priestupky a ak ich identifikované vozidlo splní, tak sa danému vozidlu priradí tento priestupok a prostredníctvom Blockchainovej siete bude majiteľ vozidla pokutovaný.

Prostredníctvom Blockchainu a tokenov môžu obyvatelia platiť za používania cestnej siete, parkovania, vstup do emisných zón, parkovanie, lístok na verejnú dopravu, poplatok za registráciu vozidla a iných poplatkov spojených s dopravou. V súčasnosti existujú bezhotovostné platby, platba cez mobilné telefóny, aplikácie a pod. Blockchain eliminuje sprostredkovateľov, to znamená že obyvatelia by platili

priamo poskytovateľovi služby (napr. mestu), platby by boli ľahko sledovateľné a bolo by možné ich jednoducho overiť a priradiť konkrétnej osobe. Navyše, takto získané údaje by sa mohli využívať v rôznych výskumoch a pod. [3].

3.5 Riadenie dodávateľského reťazca

Dodávateľský reťazec predstavuje komplexnú sieť hmotných tokov (tovar, výrobky), služieb a nehmotných tokov (informácie, financie) z miesta nadobudnutia po miesto spotreby. Na dodávateľskom reťazci sa zúčastňuje dvaja alebo viac výrobcov, dopravcov, zasielateľov, kontrolných orgánov, maloobchodníkov a ostatných organizácií, ktoré zabezpečujú zachovanie plynulosti reťazca. Riadenie dodávateľského reťazca si vyžaduje efektívne a v reálnom čase zdieľať údaje o stave a polohe výrobkov. Navyše, pri veľkom množstve zúčastnených strán je nevyhnutné zachovať transparentnosť, správnosť a autentickosť údajov a informácií v rámci dodávateľského reťazca [3]. Dodávateľský reťazec založený na Blockchaine môže vďaka svojim vlastnostiam tieto požiadavky splniť. Obzvlášť v mestskom prostredí, v ktorom pôsobí veľké množstvo objektov dodávateľského reťazca, je nevyhnuté tieto požiadavky zabezpečiť.

Existujú pilotné projekty zamerané na sledovanie tovarov prostredníctvom technológie Blockchain. Spoločnosť Walmart vďaka implementovaniu Blockchainu dokázala vysledovať produkt v priebehu pár sekúnd, v porovnaní so súčasnou úrovňou sledovania tovarov, ktorá je na úrovni dni až týždňov je to obrovský rozdiel. Pre mestskú oblasť sú kľúčové dva dodávateľské reťazce, pri ktorých je kritické dodržiavať stanovené podmienky prepravy alebo skladovania. Ide o potravinársky a farmaceutický dodávateľský reťazec. Okrem vysokej úrovne vysledovania, Blockchain môže zabezpečiť rýchle a bezpečné zdieľanie kľúčových informácií o pôvode výrobkov, aktuálnom stave. Týmto je možné zabezpečiť splnenie napr. teplotných podmienok v rámci dodávateľského reťazca a znížiť riziko ohrozenia zdravia a života občanov škodlivým tovarom [20].

Autori [2] navrhli protokol spravodlivosti pre riadenie dodávateľského reťazca. Protokol zaisťuje spoľahlivý obchod s tovarom medzi maloobchodníkmi a dodávateľmi prenosom nemenných obchodných informácií prostredníctvom Blockchainu a systém vymáhania pokút formou inteligentnej zmluvy. Inteligentné zmluvy by bolo možné použiť aj pri riešení problému nadmernej produkcie a umelom zvyšovaní nákladov. V inteligentnej zmluvy by boli uložené finančné prostriedky a výrobca by začal výrobu až po dosiahnutí určitého množstva [14]. Predovšetkým pre mestskú oblasť by to mohlo mať pozitívne vplyvy, pretože by obchodníci nenakupovali zbytočný tovar po ktorom by nebol dopyt, toto by mohlo mať efekt nižšie množstva preprav v rámci mesta.

3.6 Energie, inteligentná rozvodná sieť

Blockchain môže podporiť vznik decentralizovaného, transparentného a dôveryhodného trhu s elektrickou energiou. Transakcie s elektrickou energiou by boli ukladané vo forme blokov v distribuovanej účtovnej knihe. Inteligentné zmluvy by zautomatizovali obchodovanie a platby za energiu. Ďalším využitím Blockchain v tejto oblasti by mohlo byť zabezpečenie rozvodnej siete a vďaka vlastnostiam ako nemennosť údajov, decentralizácia a zvýšená transparentnosť by nedochádzalo k manipulovaniu meracích zariadení spotreby energie. Navyše by bolo možno efektívne sledovať spotrebu energie ako aj miesta vzniku spotreby. Blockchain. Autori [13] popisovali aplikovanie Blockchaine v inteligentnej sieti napr. monitorovanie elektrickej siete v reálnom čase, nájdenie optimálneho miesta na nabíjanie eklektického vozidla v rámci mestskej oblasti.

Power Ledger je austrálsky startup, ktorý vytvoril lokálny trh na predaj nadbytočnej obnoviteľnej energie prostredníctvom kryptomien. Systém založený na technológií Blockchain umožňuje predaj nevyužitej energie vyrobenej v domácnostiach alebo komerčných zariadeniach, ktoré sú pripojené k existujúcim distribučným sieťam alebo v rámci mikrosiete. Tento princíp umožní vlastníkom takejto energie rozhodnúť, komu ďalej túto energiu predajú. V roku 2017 bol spustený európsky pilotný program zameraný na obchodovanie s energiou použitím vývojovej platformy založenej na Blockchaine od BTL Group v Kanade. Program bol spustený a dokončený v spolupráci BP, Eni Trading & Shipping a Wien Energie. Pilotný projekt využíva technológiu Blockchain na zefektívnenie cezhraničných transakcií a procesov vo vnútri spoločností ako sú napr. potvrdenia, aktualizácie, faktúry, auditovanie a dodržiavanie predpisov počas celého životného cyklu obchodu s energiou. Spoločnosť BTL chce vytvoriť komerčnú verziu riešení obchodovania s energiou, ktorá by odhalila významnú úsporu nákladov uplatniteľnú v mnohých oblastiach obchodu s energiou [19].

4 Výzvy

Napriek veľkému potenciálu technológie Blockchain v „inteligentnom meste“, existujú výzvy a bariéry ktoré je potrebné preskúmať pri prijatí a implementácií. Autori [12] označili bezpečnosť a ochranu osobných údajov, priepustnosť transakcií, ukladanie blockchainových dát a skladovanie údajov, energetickú náročnosť, odmeňovacie a pokutové mechanizmy, náklady a legislatívu ako výzvy a bariéry, ktoré je potrebné prekonať a preskúmať pri implementácií Blockchainu v inteligentných mestách. Autori [3] uviedli ako ďalšie výzvy a prekážky pri naplnení potenciálu a cieľu Blockchainu v Inteligentnom meste. Ide o nasledovne: škálovateľnosť, kybernetická ochrana, štandardizácia a interoperabilita, prevádzková a investičné náklady, regulácie oneskorenia a politický vplyv. Ďalej, autori [11] poukázali na udržateľnosť, algoritmus konsenzu, škálovateľnosť, latenciu, vysoký výkon výpočtovej techniky, bezpečné ekonomické modely, identita a súkromie používateľov a nemennosť inteligentnej zmluvy ako ďalšie výzvy pri prijatí Blockchainu v inteligentnom meste.

5 Prípadové štúdie

Tabuľka č.1 zobrazuje mestá a spoločnosti a oblasti, v ktorých vytvorili projekty aplikovanie technológie Blockchain.

Tabuľka 1 Prípady aplikovania technológie Blockchain

| Prípadová štúdia | Oblasť aplikovania technológie Blockchain |
|---------------------------------|--|
| Dubaj (Spojené Arabské Emiráty) | Nahradenie papierových dokumentov Vládny sektor |
| Soul (Južná Kórea) | Inteligentné parkovanie |
| Ukrajina | Elektronické hlasovanie – E-vox |
| Austrália | Elektronické hlasovanie – MiVot Obchodovanie s energiami – Power Ledger |
| Estónsko/Tallin | Elektronické hlasovanie E- Vláda Digitálna identita |
| USA | Zdravotníctvo, správa lekárskeho predpisov a zásob |
| Čína/Walmart a IBM | Sledovanie potravín Zníženie plytvania s jedlom Zníženie vplyvov škodlivých potravín |
| ChainYard a IBM | Riadenie dodávateľského reťazca |
| Japonsko/ Sony Global Education | Vzdelanie – zdieľanie, ukladanie a overovanie údajov o študentoch |
| Walmart a DLT Labs | Správa faktúr |

V oblasti Inteligentného mesta je najviac rozšírené mesto Dubaj, ktoré vytvorilo iniciatívu „Dubai Blockchain Strategy“. Vďaka tejto iniciatíve bolo možné ušetriť približne 1 miliardu dolárov len nahradením papierových dokumentov elektronickými uloženými a zdieľanými v Blockchaine [22]. Ďalším mestom, ktoré investovalo najviac do vývoja a prijatia Blockchainu je hlavné mesto Estónska Tallin [23]. V meste Soul zaviedli inteligentné parkovanie, predpokladá sa zníženie nelegálneho parkovania o 41%. Ďalej sa predpokladá, že vďaka implementácii Blockchainu v oblasti zdravotníctva je možné ušetriť 180 miliónov dolárov na správe receptov a 1,4 miliardy dolárov na riadení zásob. Vďaka Blockchainu nebude nutné udržiavať nadmerné množstvo bezpečných zásob [24]. Vďaka implementácii Blockchainu do riadenia dodávateľského reťazca predpokladá spoločnosť ChainYard v spolupráci so spoločnosťou IBM zníženie nákladov na overenie a spravovanie informácií o dodávateľoch až o 50% a zníženie času nájdenia nového dodávateľa zo 60 na 3 dni [25]. Predpokladá sa že až 140 miliárd dolárov je viazaných na urovanie sporov s faktúrami, napr. na preplatky, nedoplatky a pod. Znamená to, že až 14 miliárd dolárov ročne je určené na urovanie sporov s faktúrami. Vďaka implementovaniu technológie Blockchain a inteligentným zmluvám by bolo možné tieto peniaze ušetriť a investovať do rozvoja a vývoja [26].

6 Záver

Inteligentné mesto sa vyznačuje používaním najmodernejších technológií na efektívne riadenie procesov v ňom čo má za následok zvyšovanie životnej úrovne obyvateľov mesta. Tento príspevok poskytuje prehľad niektorých oblastí aplikovania technológie Blockchain v Inteligentnom meste, ide predovšetkým o oblasti vládneho sektora, zdravotníctva, vzdelávania, mestských dodávateľských reťazcov, oblasť energie a riadenie dopravy. Vlastnosti technológie Blockchain ako je nemennosť uložených údajov, kryptografický princíp ukladania údajov, systém verejného a súkromného kľúča, systém decentralizácie a distribuovaná sieť peer – to – peer, umožňujú efektívne, rýchlo, bezpečne a transparentne zdieľať akékoľvek údaje všetkým účastníkom Blockchainovej siete alebo platformy. Avšak je potrebné brať do úvahy výzvy a bariéry pri prijatí a implementovaní technológie Blockchain v Inteligentnom meste

7 Literatúra

- [1] Aggarwal, S., Kumar, N., 2020. Blockchain 2.0: Smart contracts - Working model., *Advances in Computers*, Elsevier. ISSN 0065-2458. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2020.08.015>
- [2] Alahmadi, A. a Lin, X., 2019, Towards Secure and Fair IIoT-Enabled Supply Chain Management via Blockchain-Based Smart Contracts, ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1-7, doi: 10.1109/ICC.2019.8761216.
- [3] Bagloee, S.A., Heshmati, M., Dia, H., Ghaderi, H., Pettit, Ch., Asadi, M., 2021, Blockchain: The operating system of smart cities, *Cities*, Volume 112, 103104, ISSN 0264-2751, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103104>
- [4] Bakıcı, T., Almirall, E. & Wareham, J. A., 2013, Smart City Initiative: The Case of Barcelona. *J Knowl Econ* 4, 135–148. <https://doi.org/10.1007/s13132-012-0084-9>
- [5] Barrionuevo, J.M., Berrone, P., Ricart, J.E., 2012, Smart Cities, Sustainable Progress: Opportunities for Urban Development, *IESE Insight*, DOI:10.15581/002.ART-2152
- [6] Dujak D., Sajter D., 2019, Blockchain Applications in Supply Chain. In: Kawa A., Maryniak A. (eds) *SMART Supply Network. EcoProduction (Environmental Issues in Logistics and Manufacturing)*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91668-2_2
- [7] Jun, M.S., 2018. "Blockchain government - a next form of infrastructure for the twenty-first century" *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* 4, no. 1: 7. <https://doi.org/10.1186/s40852-018-0086-3>
- [8] Kshetri, N., a Voas, J., 2018, Blockchain-enabled E-voting. *IEEE Software*, 35(4), 95-99. doi:10.1109/MS.2018.2801546
- [9] Li, S., 2018, Application of Blockchain Technology in Smart City Infrastructure, 2018 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT), pp. 276-2766, doi: 10.1109/SmartIoT.2018.00056.
- [10] Lam, T.Y., a Dongol, B., 2020, A blockchain-enabled e-learning platform, *Interactive Learning Environments*, DOI: 10.1080/10494820.2020.1716022
- [11] Majeed, U., Khan, L.U., Yaqoob, I., Ahsan Kazmi, S.M., Salah, K., Hong, CH.S., 2021, Blockchain for IoT-based smart cities: Recent advances, requirements, and future challenges, *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 181, 103007, ISSN 1084-8045, <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103007>.
- [12] Mettler, M., 2016, Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here, 2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), pp. 1-3, doi: 10.1109/HealthCom.2016.7749510.
- [13] Musleh, A.S., Yao G., Muyeen, S.M., 2019, "Blockchain Applications in Smart Grid—Review and Frameworks," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 86746-86757, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2920682
- [14] Salha, R., El-Hallaq, M. and Alastal, A., 2019, Blockchain in Smart Cities: Exploring Possibilities in Terms of Opportunities and Challenges. *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 7, 118-139. doi: 10.4236/jdaip.2019.73008.
- [15] Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, RA, Hayes, NM a Nelson, LE, 2010, Helping CIOs Understand "Smart City" Initiatives Defining The Smart City, Its Drivers, And The Role Of The CIO. Forrester Research, Inc., Cambridge, MA. <http://public.dhe.ibm.com/partnerworld/pub/smb/smarterplan>
- [16] Xie, J., a kolektív, 2019, A Survey of Blockchain Technology Applied to Smart Cities: Research Issues and Challenges, in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2794-2830, thirdquarter, doi: 10.1109/COMST.2019.2899617.
- [17] Inteligentný Dubaj. Dostupné online: <https://www.smartdubai.ae/initiatives/blockchain> [cit. 20.6.2021].
- [18] NATIONAL LEAGUE OF CITIES, 2018, Blockchain in Cities RESTORING TRUST AND TRANSPARENCY IN DIGITAL TRANSACTIONS https://www.nlc.org/wp-content/uploads/2018/05/CSAR_Blockchain-Report-PRINT.pdf

- [19] DHL Trend Research, 2018. Blockchain in Logistics. Dostupné online: <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core> [cit. 22.6.2021]
- [20] Walmart a IBM – Blockchain. Dostupné online: <https://techcrunch.com/2018/09/24/walmart-is-betting-on-the-blockchain-to-improve-food-safety/> [cit. 22.6.2021]
- [21] IBM Inteligentnejšie mestá 5 ročná výzva, Dostupné online: <https://labs.sogeti.com/ibms-smarter-cities-challenge-5-year-evaluation/> [cit. 22.6.2021]
- [22] Smart Dubai. Dostupné online: <https://www.smartdubai.ae/initiatives/blockchain> [cit. 24.6.2021]
- [23] E-Estonia. Dostupné online: <https://e-estonia.com/> [cit. 24.6.2021]
- [24] LedgerDomain prípadová štúdia. Dostupné online: <https://www.hyperledger.org/learn/publications/ledgerdomain-case-study> [cit. 24.6.2021]
- [25] ChainYard prípadová štúdia. Dostupné online: <https://www.hyperledger.org/learn/publications/chainyard-case-study> [cit. 24.6.2021]
- [26] DLT Labs prípadová štúdia. Dostupné online: <https://www.hyperledger.org/learn/publications/dltlabs-case-study> [cit. 24.6.2021]

EKOLOGICKÉ A ENERGETICKY ÚSPORNÉ VOZIDLÁ CESTNEJ DOPRAVY PODĽA SMERNICE EÚ 2019/1161

Autori:

Marek DOČKALIK¹, Jozef GNAP²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Marek Dočkalik, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: marek.dockalik@stud.uniza.sk

²prof. Ing. Jozef Gnap, PhD., Katedra cestnej a mestskej dopravy, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: jozef.gnap@fpedas.uniza.sk

Abstrakt: *Snahou Európskej únie je v čo najväčšej možnej miere sa zamerať na eliminovanie negatívnych dopadov na životné prostredie. Z týchto dôvodov boli prijaté viaceré záväzky Európskej únie do budúcnosti na znižovanie produkcie emisií, aby aj vozidlá v cestnej nákladnej a osobnej doprave boli viac ekologické. Na úrovni Európskej únie bola prijatá smernica 2019/1161, prostredníctvom ktorej sú pre členské štáty stanovené minimálne požadované podiely obstarávania ekologických vozidiel pri vykonávaní konkrétnych služieb v dvoch referenčných obdobiach. Cieľom tejto smernice je, aby sa využitím verejného obstarávania stimuloval trh s ekologickými vozidlami a vo väčšej miere sa zvyšoval ich trhovú podiel. V súčasnom období sa už používajú vozidlá v cestnej osobnej i nákladnej doprave, ktoré využívajú alternatívne palivá alebo sú podľa definície považované za ekologické, najmä v štátoch západnej a severnej Európy a pre tieto krajiny sú do budúcnosti stanovené aj vyššie požadované percentuálne podiely ekologických vozidiel. Na druhej strane toto opatrenie sa dotkne aj tých štátov a dopravcov, ktorí doteraz neobstarávali takýto druh vozidiel alebo len veľmi výnimočne. Cieľom článku je popísať a analyzovať legislatívny rámec prichádzajúci do platnosti v problematike obstarávania ekologických vozidiel. V článku je uvedený rozbor súčasného stavu vozidlových parkov prevádzkovaných v MHD v krajských mestách Slovenskej republiky z pohľadu podielov ekologických vozidiel definovaných smernicou Európskej únie 2019/1161. Z analyzovaných údajov v príspevku je vidieť, že i v SR sú už teraz dopravcovia vo vybraných krajských mestách, ktorí by nemali už v súčasnosti problém plniť požadované podiely ekologických vozidiel a z vlastnej iniciatívy už obstarávali vozidlá, ktoré možno považovať za ekologické.*

Kľúčové slová: cestná doprava, životné prostredie, ekologické vozidlo, smernica EÚ 2019/1161

JEL: L91

ECOLOGICAL AND ENERGY-SAVING ROAD TRANSPORT VEHICLES ACCORDING TO EU DIRECTIVE 2019/1161

Abstract: *The European Union seeks to eliminate, as far as possible, negative effects on the environment. For these reasons, several commitments have been made by the European Union in the future to reduce emissions so that road haulage and passenger transport vehicles are also more environmentally friendly. At the European Union level, Directive 2019/1161 was adopted, which sets out the minimum required shares for the Member States to procure clean vehicles in the performance of specific services in two reference periods. The aim of this directive is to stimulate the market for clean vehicles and to increase their market share to a greater extent through the use of public procurement. At present, road passenger and freight vehicles that use alternative fuels or are defined as environmentally friendly are already in use, especially in the countries of Western and Northern Europe, and higher percentages of clean vehicles are set for these countries in the future. On the other hand, this measure will also affect those states and carriers that have not yet procured this type of vehicle or only very exceptionally. The aim of the paper is to describe and analyze the legislative framework coming into force in the issue of green vehicle procurement. The article presents an analysis of the current state of vehicle fleets operated in public transport in regional cities of the*

Slovak Republic in terms of the shares of ecological vehicles defined by the European Union Directive 2019/1161. From the analyzed data in the paper it can be seen that even in the Slovak Republic there are already carriers in selected regional cities, which would no longer have a problem meeting the required shares of ecological vehicles and on their own initiative have procured vehicles that can be considered ecological.

Keywords: road transportation, environment, ecological vehicle, Directive EU 2019/1161

1 Úvod

Snahou Európskej únie je dosiahnuť udržateľný, konkurencieschopný, bezpečný a dekarbonizovaný energetický systém. Európska únia si stanovila ambiciózne záväzky ďalšieho znižovania emisií skleníkových plynov aspoň o 40% do roku 2030 v porovnaní s úrovňami z roku 1990, zvýšenia podielu spotreby energie z obnoviteľných zdrojov aspoň o 27%, dosiahnutia aspoň 27% úspor energie a zvýšenia energetickej bezpečnosti, konkurencieschopnosti a udržateľnosti v Únii. Musí sa urýchliť dekarbonizácia odvetvia dopravy a bude teda potrebné stabilne znižovať emisie skleníkových plynov a látok znečisťujúcich ovzdušie z dopravy, aby sa do polovice storočia dosiahli ich nulové hodnoty. Navyše je potrebné bezodkladne výrazne znížiť dopravné emisie látok znečisťujúcich ovzdušie, ktoré škodia zdraviu a životnému prostrediu. Možno to dosiahnuť rôznymi politickými iniciatívami vrátane opatrení, ktoré podporujú modálny prechod na verejnú dopravu a využitia verejného obstarávania na podporu ekologických vozidiel [1].

Podpora ekologických vozidiel by mala prebiehať súbežne s ďalším rozvojom verejnej dopravy ako spôsob, ktorým možno znížiť počet vozidiel na cestách a vďaka tomu znížiť emisie a zlepšiť kvalitu ovzdušia. Inovácie v oblasti nových technológií pomáhajú znižovať emisie CO₂ vozidiel a znižovať znečistenie ovzdušia a hlukové zaťaženie, pričom zároveň podporujú dekarbonizáciu sektora dopravy. Intenzívnejším využívaním cestných vozidiel s nízkymi a nulovými emisiami sa znížia emisie CO₂, ako aj určitých znečisťujúcich látok (pevné častice, oxidy dusíka a iné uhľovodíky ako metán) alepší sa tým kvalita ovzdušia v mestách a iných znečistených oblastiach. Zatiaľ čo je Únia jedným z vedúcich regiónov v oblasti výskumu a vysokohodnotných ekoinovácií, v ázijsko-tichomorskom regióne sa nachádzajú najväčší výrobcovia batériových elektrických autobusov a batérií [1]. Ďalšie aspekty zavádzania najmä elektromobility sú publikované pre štáty strednej Európy v [2] pre severské štáty v [3] a v Španielsku v [4].

Obstarávacie ceny vozidiel s alternatívnym pohonom sú v súčasnosti vyššie než obstarávacie ceny vozidiel so štandardným konvenčným pohonom. Trhové prognózy však odhadujú, že nákupné ceny ekologických vozidiel budú klesať. Očakávané zníženie nákupných cien ešte viac zníži prekážky brániace dostupnosti a zavádzaniu ekologických vozidiel na trhu v nasledujúcom desaťročí [1].

Dostupnosť dostatočnej nabíjacej a čerpacej infraštruktúry je nevyhnutná pre zavedenie vozidiel na alternatívne palivá. Komisia prijala v novembri 2017 akčný plán na podporu urýchleného zavedenia infraštruktúry pre alternatívne palivá v Únii vrátane posilnenej podpory zavedenia verejne dostupnej infraštruktúry prostredníctvom finančných prostriedkov Únie, čo pomôže vytvoriť priaznivejšie podmienky na prechod na ekologické vozidlá, a to aj vo verejnej doprave. Okrem vozidiel s nulovými emisiami existuje v súčasnosti len málo vozidiel s emisiami látok znečisťujúcich ovzdušie vo výške 80% alebo menej v porovnaní so súčasnými emisnými limitmi. Očakáva sa však, že počet takýchto vozidiel sa v nasledujúcich rokoch zvýši, najmä hybridných vozidiel s možnosťou pripojenia na elektrickú sieť. V záujme zlepšenia kvality ovzdušia v mestách je nevyhnutné obnoviť vozidlový park tak, aby ho tvorili ekologické vozidlá. Plány udržateľnej mestskej mobility môžu pri dosahovaní cieľových hodnôt Únie zohrávať dôležitú úlohu, pokiaľ ide o znižovanie emisií CO₂, hlukového zaťaženia a znečistenia ovzdušia [1]. Prínosy ekologických vozidiel sú však nesporné ako je uvedené aj v príspevku [5].

Ak sa vezme do úvahy, že verejné výdavky na tovar, práce a služby predstavovali v roku 2018 približne 16% HDP, verejné orgány môžu svojou politikou verejného obstarávania stimulovať a podporiť trhy s inovačnými tovarmi a službami. Minimálne cieľové hodnoty posilnia budovanie trhov s ekologickými vozidlami v celej Únii. Stanovením minimálnych cieľových hodnôt obstarávania možno účinne napomôcť dosiahnutiu cieľa, ktorým je propagácia a stimulovanie trhového uplatnenia ekologických vozidiel.

Požiadavka, aby sa polovica minimálnych cieľových hodnôt pre autobusy obstarané v uvedených referenčných obdobiach splnila prostredníctvom obstarávania autobusov s nulovými emisiami, navyše posilňuje záväzok k dekarbonizácii odvetvia dopravy. Malo by sa poznamenať, že trolejbusy sa považujú za autobusy s nulovými emisiami za predpokladu, že sú poháňané len elektrickou energiou, alebo používajú výhradne hnaciu sústavu s nulovými emisiami [1].

Európsky parlament vyzval členské štáty, aby podporovali politiky ekologického verejného obstarávania prostredníctvom nákupu vozidiel s nulovými emisiami a vozidiel s veľmi nízkymi emisiami orgánmi verejnej správy pre ich vlastné vozidlové parky alebo v rámci verejných alebo zmiešaných programov spoločného využívania vozidiel a aby postupne do roku 2035 eliminovali nové vozidlá emitujúce emisie CO₂ [1]. Verejné orgány sú nabádané tiež k prijímaniu opatrení, ako je napríklad sprístupnenie dostatočných finančných zdrojov verejným obstarávateľom a obstarávateľským subjektom, s cieľom zabrániť tomu, aby náklady na dodržiavanie minimálnych cieľových hodnôt obstarávania stanovených v smernici EÚ 2019/1161 viedli k vyšším cenám cestovných lístkov pre spotrebiteľov alebo k zníženiu počtu dopravných služieb vo verejnom záujme, alebo aby odrádzali od vývoja necestnej ekologickej dopravy, ako sú električky a metro. Trhové uplatnenie ekologických vozidiel a ich infraštruktúry možno ďalej podporiť cieľenou verejnou podporou opatrení na úrovni členských štátov i Únie. Takéto opatrenia zahŕňajú zvýšenie využívania finančných prostriedkov Únie na podporu obnovy vozidlových parkov verejnej dopravy [1].

Smernica EÚ 2019/1161 od členských štátov vyžaduje, aby zabezpečili, že verejní obstarávatelia a obstarávateľské subjekty budú pri obstarávaní určitých vozidiel cestnej dopravy zohľadňovať energetické a environmentálne vplyvy počas životnosti vozidla vrátane spotreby energie a emisií CO₂ a určitých znečisťujúcich látok s cieľom podporovať a stimulovať trh s ekologickými a energeticky úspornými vozidlami a zlepšiť príspevok odvetvia dopravy k politikám Únie v oblasti životného prostredia, klímy a energetiky. Členské štáty zabezpečia, aby sa pri obstarávaní vozidiel a služieb, ako napr. služby verejnej cestnej dopravy, služby osobnej cestnej dopravy na osobitné účely, nepravidelná osobná doprava a pod. dodržali minimálne cieľové hodnoty obstarávania pre ekologické vozidlá [1].

Cieľové hodnoty sú vyjadrené ako minimálne percentuálne podiely ekologických vozidiel na celkovom počte vozidiel cestnej dopravy zahrnutých do súhrnu všetkých zmlúv podliehajúcich smernici EÚ 2019/1161, uzavretých od 2. augusta 2021 do 31. decembra 2025 pre prvé referenčné obdobie, a od 1. januára 2026 do 31. decembra 2030 pre druhé referenčné obdobie.

Riešená výskumná téma v príspevku sa zameriava najmä na oblasť vozidiel kategórií N₂, N₃, M₃ a analyzovanie stavu, ktoré krajské mestá v SR plnia požiadavky na minimálne percentuálne podiely ekologických vozidiel v mestskej hromadnej doprave.

2 Rozsah pôsobnosti

Európska únia vyžaduje od členských štátov, aby transponovaním smernice EÚ 2019/1161 zabezpečili, že verejní obstarávatelia a obstarávateľské subjekty budú pri obstarávaní určitých vozidiel cestnej dopravy zohľadňovať energetické a environmentálne vplyvy počas životnosti vozidla vrátane spotreby energie a emisií CO₂ a určitých znečisťujúcich látok s cieľom podporovať a stimulovať trh s ekologickými a energeticky úspornými vozidlami a zlepšiť príspevok odvetvia dopravy k politikám Únie v oblasti životného prostredia, klímy a energetiky.

Smernica EÚ 2019/1161 sa vzťahuje na obstarávanie prostredníctvom:

- zmlúv o kúpe, lízingu, prenájme alebo nákupe na splátky vozidiel cestnej dopravy zadaných verejnými obstarávateľmi alebo obstarávateľskými subjektmi, pokiaľ sa na nich vzťahuje povinnosť uplatňovať postupy obstarávania uvedené v smerniciach EÚ 2014/24 a 2014/25. V podmienkach SR by malo ísť o nadlimitné zákazky zadávané verejným obstarávateľom a obstarávateľom, ktorých predmetom je kúpa, lízing, kúpa na splátky alebo prenájom vozidla, na ktoré sa vzťahuje smernica EÚ 2019/1161,

- zmlúv o službách vo verejnom záujme v zmysle nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1370/2007, ktorých predmetom je poskytovanie služieb osobnej cestnej dopravy vozidlom, na ktoré sa vzťahuje smernica EÚ 2019/1161 a priemerná ročná hodnota služby alebo jej rozsah vyjadrený počtom najazdených kilometrov za rok presiahne hodnotu 1 000 000 €, resp. 300 000 km.,
- zmlúv o službách stanovených v tabuľke 1, pokiaľ sa na verejných obstarávateľov alebo obstarávateľské subjekty vzťahuje povinnosť uplatňovať postupy obstarávania uvedené v smerniciach EÚ 2014/24 a 2014/25. V podmienkach SR by malo ísť o nadlimitné zákazky zadávané verejným obstarávateľom a obstarávateľom, ktorých predmetom je služba uvedená v tabuľke 1, ak sa poskytuje použitím vozidla, na ktoré sa vzťahuje smernica EÚ 2019/1161 [1].

Tab. 1 Služby podliehajúce smernici EÚ 2019/1161

| Služby podliehajúce smernici EÚ 2019/1161 | |
|---|--|
| Služby verejnej cestnej dopravy | Služby osobnej cestnej dopravy na osobitné účely |
| Nepravidelná osobná doprava | Služby na zber odpadu |
| Cestná doprava poštových zásielok | Doprava balíkov |
| Služby doručovania poštových zásielok | Služby doručovania balíkov |

Zdroj: Spracované autormi na základe [1]

Vozidlami, ktoré podliehajú smernici EÚ 2019/1161 sú vozidlá M₁, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃ a trolejbusy. Existuje aj viacero výnimiek pre vozidlá, na ktoré sa daná smernica neuplatňuje. Konkrétne sa nevzťahuje na:

- vozidlá navrhnuté a vyrobené alebo prispôsobené len na použitie ozbrojenými silami,
- vozidlá navrhnuté a vyrobené na použitie najmä na stavenisku, v kameňolome, v prístave alebo na letisku,
- vozidlá navrhnuté a vyrobené alebo prispôsobené na použitie civilnou ochranou, požiarnou službou alebo orgánmi verejnej moci zodpovednými za udržiavanie verejného poriadku,
- pancierové vozidlá určené na ochranu prepravovaných osôb alebo nákladu,
- sanitné vozidlá určené na prepravu chorých alebo ranených osôb,
- pohrebné vozidlá určené na prepravu zosnulých osôb,
- vozidlá určené na prepravu osôb na invalidnom vozíku,
- samohybný žeriav,
- pásové vozidlá,
- poľnohospodárske vozidlá alebo lesné vozidlá,
- dvojkoľosové vozidlá alebo trojkoľosové vozidlá a štvorkolky,
- vozidlo s vlastným pohonom, ktoré je osobitne navrhnuté a vyrobené na vykonávanie práce, ktoré z dôvodu jeho konštrukčných vlastností nie je vhodné na prepravu osôb alebo tovaru a ktoré nie je strojovým zariadením upevneným na podvozku motorového vozidla,
- vozidlo kategórie M3, ktoré nie je vozidlom triedy I alebo triedy A, čiže jeho kapacita nepresahuje 22 cestujúcich okrem vodiča [1].

3 Ekologické vozidlá

V smernici EÚ 2019/1161 je uvedené pre každý členský štát Európskej únie, aké by mali byť minimálne percentuálne podiely ekologických vozidiel na celkovom počte vozidiel cestnej dopravy zahrnutých do súhrnu všetkých zmlúv podliehajúcich danej smernici Európskej únie. Pri obstarávaní vozidiel, ktoré podliehajú rozsahu pôsobnosti spomínanej smernice a snahe plniť minimálne percentuálne podiely ekologických vozidiel na celkovom počte vozidiel je dôležité dodržať podmienky definície ekologického

vozidla podľa tejto konkrétnej smernice. Prostredníctvom týchto legislatívnych opatrení je snaha zvyšovať trhovú podiel ekologických vozidiel, prípadne sa jedná aj o vozidlá, pre ktoré sa využíva pojem ťažké vozidlá s nulovými emisiami. Charakteristika vozidiel, ktoré sú považované za ekologické vozidlá, prípadne ťažké vozidlá s nulovými emisiami je uvedená v tabuľke 2.

Tab. 2 Ekologické vozidlá a ťažké vozidlá s nulovými emisiami

| | | Kategória | do 31.12.2025 | od 1.1.2026 |
|-----------------------------------|--------------------------|----------------|---|--|
| ekologické vozidlo | ekologické ľahké vozidlo | M ₁ | CO ₂ g/km: max. 50 PN a NO _x z emisných limitov Euro 5 a Euro 6: 80 % | CO ₂ g/km: 0 PN a NO _x z emisných limitov Euro 5 a Euro 6: neuplatňuje sa |
| | | M ₂ | | |
| | | N ₁ | | |
| | ekologické ťažké vozidlo | M ₃ | využívajúce alternatívne palivá: elektrická energia, vodík, biopalivá (z biomasy), syntetické a parafinické palivá, zemný plyn (CNG a LNG), skvapalnený ropný plyn (LPG) | |
| | | N ₂ | | |
| | | N ₃ | | |
| ťažké vozidlo s nulovými emisiami | | M ₃ | využívajúce alternatívne palivá a emituje menej ako 1 g CO ₂ /kWh alebo emituje menej ako 1 g CO ₂ /km | |
| | | N ₂ | | |
| | | N ₃ | | |

Zdroj: Spracované autormi na základe [1]

Alternatívne palivá sú palivá alebo zdroje energie, ktoré slúžia, aspoň čiastočne, ako náhrada fosílnych zdrojov ropy v dodávkach energie pre dopravu a ktoré majú potenciál prispievať k eliminácii emisií uhlíka a vylepšujú environmentálne charakteristiky odvetvia dopravy. Vozidlá kategórie N₂, N₃, a M₃ využívajúce alternatívne palivá je možné považovať za ekologické vozidlo. Vozidlá kategórie M₁, M₂ a N₁ musia spĺňať limit uvedený v tabuľke 2, inak nie je možné vozidlo považovať za ekologické.

Pri zameraní sa na kategórie vozidiel N₂, N₃, a M₃ je možné konštatovať vzhľadom k súčasným dostupným vozidlám na trhu, že v autobusovej doprave sa používajú ako ekologické vozidlá najmä autobusy využívajúce alternatívne palivá, elektrickú energiu a stlačený alebo skvapalnený zemný plyn, prípadne skvapalnený ropný plyn.

V cestnej nákladnej doprave v kategórii vozidiel N₂ a N₃ sú v súčasnosti dostupné a bežne v praxi využívané vozidlá s alternatívnym druhom pohonu, ktoré používajú ako palivo skvapalnený alebo stlačený zemný plyn. Predpokladá sa, že v budúcnosti sa v cestnej nákladnej doprave, prípadne v diaľkovej autobusovej doprave budú v oveľa väčšej miere využívať vozidlá s vodíkovým druhom pohonu.

4 Požadované podiely ekologických vozidiel

Povinnosťou členských štátov Európskej únie je zabezpečiť, aby sa pri obstarávaní vozidiel a služieb podliehajúcich rozsahu pôsobnosti smernice EÚ 2019/1161 dodržali požadované minimálne cieľové hodnoty obstarávania ekologických vozidiel. Tieto percentuálne podiely sú uvedené osobitne pre každý členský štát Európskej únie a v závislosti od referenčného obdobia. Jedná sa o dve referenčné obdobia, prvým je obdobie od 2. augusta 2021 do 31. decembra 2025. Druhým referenčným obdobím je obdobie od 1. januára

2026 do 31. decembra 2030. V prípade, ak sa neprijmú nové cieľové hodnoty pre obdobie po 1. januári 2030, cieľové hodnoty stanovené pre druhé referenčné obdobie sa budú uplatňovať naďalej v nasledujúcich päťročných obdobiach.

Stanovené minimálne cieľové hodnoty obstarávania pre podiel ľahkých úžitkových vozidiel sú identické pre prvé i druhé referenčné obdobie. Pre nákladné vozidlá kategórie N₂ a N₃ a autobusy kategórie M₃ sú medzi referenčnými obdobiami rozdiely v minimálnych požadovaných hodnotách pre ekologické vozidlá. V druhom referenčnom období sa vyžaduje vyšší podiel ekologických autobusov v porovnaní s prvým. V prípade autobusov sú tieto percentuálne podiely oveľa vyššie v porovnaní s nákladnými vozidlami, v druhom referenčnom období sú podiely vo väčšine až nad 50 %. Tým sa vytvára požiadavka, aby polovica, prípadne aj viac autobusov bolo tzv. ekologických a aj takýmto spôsobom sa zvyšovala kvalita verejnej osobnej dopravy a kvalita životného prostredia v mestách. Dôležité je tiež uviesť, že polovica minimálnej cieľovej hodnoty podielu ekologických autobusov musí byť splnená prostredníctvom obstarávania autobusov s nulovými emisiami v zmysle vymedzenia pojmu „ťažké úžitkové vozidlo s nulovými emisiami“.

Požadované minimálne podiely ekologických vozidiel v SR, ktoré podliehajú rozsahu pôsobnosti smernice EÚ 2019/1161 sú uvedené v tabuľke 3.

Tab. 3 Minimálne cieľové hodnoty obstarávania pre podiel ekologických vozidiel v SR

| | Od 2. augusta 2021 do 31. decembra 2025 | Od 1. januára 2026 do 31. decembra 2030 |
|--|---|---|
| M ₁ , M ₂ a N ₁ | 22 % | 22 % |
| N ₂ a N ₃ | 8 % | 9 % |
| M ₃ | 34 % | 48 % |

Zdroj: Spracované autormi na základe [6]

Minimálne cieľové hodnoty obstarávania pre podiel ekologických vozidiel v SR uvedené v návrhu zákona o podpore ekologických vozidiel cestnej dopravy sú úplne identické s hodnotami uvedenými pre SR v smernici 2019/1161, i keď by bolo možné mať v slovenskej legislatíve vyššie percentuálne hodnoty a vyžadovať vyšší podiel ekologických vozidiel.

V niektorých členských štátoch Európskej únie sú v porovnaní so SR vyššie požadované cieľové hodnoty obstarávania pre podiel ekologických vozidiel v kategórii vozidiel N₂, N₃ a M₃. V tabuľke 4 sú uvedené konkrétne minimálne požadované hodnoty podľa smernice EÚ 2019/1161 pre každý členský štát. V tabuľke sú uvedené i údaje za Spojené kráľovstvo. Z údajov jasne vyplýva, že vyššie percentuálne podiely ekologických vozidiel budú vyžadované najmä v štátoch západnej a severnej Európy, keďže v týchto štátoch už v súčasnosti sa oveľa viac využívajú vozidlá s alternatívnym druhom pohonu alebo vozidlá, ktoré spĺňajú podmienky definície ekologické vozidlo, keďže tieto štáty považujú tému ekológie a životného prostredia za veľmi dôležitú. V kategórii nákladných vozidiel kategórie N₂ a N₃ sú tieto podiely vo väčšine prípadov na úrovni 10 % v prvom referenčnom období a v druhom referenčnom období je to vo väčšine prípadov požadovaná hodnota 15 %. V kategórii vozidiel M₃ sú tieto podiely oveľa vyššie, v prvom referenčnom období je vo väčšine prípadov na úrovni 41 až 45 % a v druhom referenčnom období je to hodnota od 59 % vyššie, vo väčšine až 65 %. Týmto spôsobom bude zabezpečená prevádzka verejnej autobusovej dopravy najmä ekologickými vozidlami.

Naopak, v druhej časti tabuľky sú uvedené štáty, pre ktoré sú stanovené v istej miere nižšie minimálne cieľové hodnoty obstarávania pre podiel ekologických vozidiel. Jedná sa najmä o pobaltské štáty, štáty V4 a štáty Balkánu a juhovýchodnej Európy. Uvedené požadované hodnoty sú podľa smernice EÚ 2019/1161 iba minimálne a každý štát sa môže prostredníctvom vlastnej legislatívy zaviazat' k vyšším hodnotám. SR sa tiež nachádza v druhej časti tabuľky medzi štátmi, pri ktorých je nižšia požadovaná cieľová hodnota obstarávania ekologických vozidiel v porovnaní so štátmi západnej a severnej Európy. Keďže Spojené kráľovstvo bolo donedávna členským štátom Európskej únie, minimálne cieľové hodnoty obstarávania pre podiel ekologických vozidiel boli tiež uvedené, a to rovnaké ako pre väčšinu štátov západnej Európy.

Tab. 4 Minimálne cieľové hodnoty obstarávania pre podiel ekologických vozidiel v členských štátoch Európskej únie v kategórii vozidiel N₂, N₃ a M₃

| Členský štát | Nákladné vozidlá kategórie N ₂ a N ₃ | | Autobusy kategórie M ₃ | |
|--------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | Od 2. 8. 2021 do 31. 12. 2025 | Od 1. 1. 2026 do 31. 12. 2030 | Od 2. 8. 2021 do 31. 12. 2025 | Od 1. 1. 2026 do 31. 12. 2030 |
| Luxembursko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Švédsko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Dánsko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Nemecko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Holandsko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Rakúsko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Belgicko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Taliansko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Írsko | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Malta | 10% | 15% | 45% | 65% |
| Španielsko | 10% | 14% | 45% | 65% |
| Cyprus | 10% | 13% | 45% | 65% |
| Francúzsko | 10% | 15% | 43% | 61% |
| Fínsko | 9% | 15% | 41% | 59% |
| Česko | 9% | 11% | 41% | 60% |
| Portugalsko | 8% | 12% | 35% | 51% |
| Grécko | 8% | 10% | 33% | 47% |
| Litva | 8% | 9% | 42% | 60% |
| Maďarsko | 8% | 9% | 37% | 53% |
| Lotyšsko | 8% | 9% | 35% | 50% |
| Slovensko | 8% | 9% | 34% | 48% |
| Poľsko | 7% | 9% | 32% | 46% |
| Estónsko | 7% | 9% | 31% | 43% |
| Slovinsko | 7% | 9% | 28% | 40% |
| Bulharsko | 7% | 8% | 34% | 48% |
| Chorvátsko | 6% | 7% | 27% | 38% |
| Rumunsko | 6% | 7% | 24% | 33% |
| Spojené kráľovstvo | 10% | 15% | 45% | 65% |

Zdroj: Spracované autormi na základe [1]

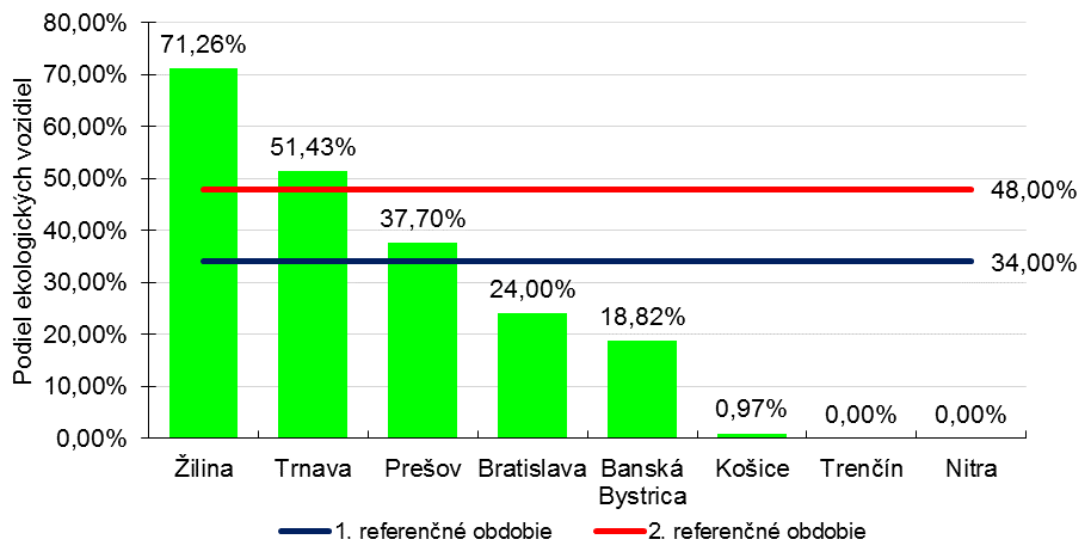
Rovnako ako v niektorých štátoch najmä západnej a severnej Európy, tak aj niektorých mestách SR už boli z vlastnej iniciatívy obstarávané ekologické vozidlá, ktoré sú súčasťou vozidlových parkov dopravcov, poskytujúcich mestskú hromadnú dopravu. Analyzovali sme štruktúru vozidlového parku dopravcov poskytujúcich MHD v krajských mestách SR a údaje o počte vozidiel podľa druhu pohonu sú uvedené v tabuľke 5 k dátumu 10.10.2020, kedy bol vykonaný zber údajov.

Tab. 5 Štruktúra vozidlového parku dopravcov MHD v krajských mestách SR

| | autobusy (nafta) | trolejbusy | elektrická energia | CNG | hybrid | električky |
|--------------------|---------------------|------------|-----------------------|-----|--------|------------|
| Banská Bystrica | 138 | 32 | --- | --- | --- | --- |
| Nitra | 95 | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trnava | 17 | --- | --- | 18 | --- | --- |
| Košice | 208 | 3 | --- | --- | --- | 98 |
| Bratislava | 455 | 139 | 18 | 48 | --- | 194 |
| Trenčín | 43 | --- | --- | --- | --- | --- |
| Žilina | 25 | 44 | 2 | --- | 16 | --- |
| Prešov | 76 | 46 | --- | --- | --- | --- |

Zdroj: Spracované autormi na základe [7]

I v týchto mestách pri obnove vozidlového parku a obstarávaní nových vozidiel od 2. augusta 2021 budú platiť minimálne požadované podiely ekologických vozidiel z celkového počtu obstarávaných vozidiel. V niektorých mestách cestujúcich MHD už teraz prepravujú ekologické autobusy a významná časť vozidlového parku je tvorená ekologickými autobusmi. Naopak, v súčasnosti sú i mestá, v ktorých je minimum alebo žiaden ekologický autobus v prevádzke MHD. Podrobný prehľad percentuálneho podielu ekologických vozidiel z celkového počtu autobusov jednotlivých dopravcov MHD v krajských mestách SR je uvedený na obrázku 1.



Zdroj: Spracované autormi na základe [7]

Obr. 1 Súčasný podiel ekologických autobusov v krajských mestách SR

Je evidentné, že najlepšie z tejto analýzy vzišlo mesto Žilina, v ktorom 71,26 % autobusov MHD sú ekologické autobusy a podľa týchto hodnôt by nemali problém už teraz plniť požadované minimálne cieľové hodnoty ekologických vozidiel pre druhé referenčné obdobie. Dopady obnovy vozidlového parku na kvalitu ovzdušia boli vy kalkulované v príspevku [8]. Podobne je na tom i mesto Trnava, v ktorom viac ako 50 % autobusov MHD sú ekologické. Rovnako i v krajských mestách Prešov, Bratislava a Banská Bystrica majú skúsenosti s prevádzkou ekologických autobusov MHD. Naopak v Košiciach, Trenčíne a Nitre disponujú minimálnym počtom ekologických autobusov alebo nemajú v prevádzke žiaden.

5 Záver

Ambiciózne ciele Európskej únie v oblasti znižovania skleníkových plynov, produkcie CO₂, zvyšovaniu podielu spotreby energie z obnoviteľných zdrojov, väčšiemu využívaniu alternatívnych druhov energie a pre dosiahnutie týchto cieľov je dôležité venovať veľkú pozornosť nástrojom, vďaka ktorým by bolo možné sa k nim v konečnom dôsledku aj dopracovať. Jednou z možností je aj vytváranie politických iniciatív, prostredníctvom ktorých sa môže vytvárať pozitívny tlak na obstarávanie väčšieho počtu ekologických vozidiel v cestnej doprave. Postupne sa aj v cestnej osobnej alebo nákladnej doprave začínajú využívať vozidlá s alternatívnym druhom pohonu a ďalšími opatreniami sa môže tento trend vyvíjať pozitívnym smerom.

Prostredníctvom verejného obstarávania sa môže ovplyvniť a posilniť budovanie trhu s ekologickými vozidlami. Keďže v roku 2018 v Európskej únii verejné výdavky na tovar, práce a služby predstavovali 16 % HDP, Európska únia sa rozhodla prijať smernicu 2019/1161, ktorou sa stanovujú pre členské štáty minimálne požadované hodnoty ekologických vozidiel pri obstarávaní vozidiel alebo pri vykonávaní konkrétnych služieb. Navyše pri autobusoch musí byť polovica z požadovaného podielu tvorená autobusmi s nulovými emisiami. Takýmito krokmi sa kladie dôraz na zvyšovanie kvality ovzdušia a zlepšovanie životného prostredia v mestách, čo môže mať v konečnom dôsledku kladný vplyv aj na zdravie a životy obyvateľov.

V súčasnosti dopravcovia vykonávajúci služby MHD v SR nemali zákonnú povinnosť obstarávať ekologické vozidlá alebo vozidlá s nulovými emisiami. V západnej a severnej Európe sa už tieto vozidlá využívajú vo väčšej miere a máme i v SR prípady dopravcov, ktorí majú vo svojom vozidlovom parku takéto vozidlá. Síce cena vozidiel využívajúcich alternatívne druhy palív je vyššia v porovnaní s konvenčnými a môže tento fakt odrádzať dopravcov od nákupu vozidiel, očakáva sa, že s celkovým zvyšovaním trhového podielu vozidiel s alternatívnym druhom pohonu bude aj ich cena klesať a cenový rozdiel sa bude znižovať. Z analyzovaných údajov je vidieť, že niektoré mestá v SR už pri obnove vozidlového parku obstarávali ekologické vozidlá, ako napr. Žilina, Trnava, Prešov a nemali by problém spĺňať minimálne požadované cieľové hodnoty obstarávania ekologických vozidiel pre SR v prípade prvého ale i druhého referenčného obdobia. Dôležité tiež bude, aby sa obstaranie ekologických vozidiel nepremietlo neprimeraným spôsobom napr. na zvyšovanie cestovného alebo zníženie počtu spojov, pretože dôležité je snažiť sa aj čo najviac priláhať ľudí k využívaniu verejnej dopravy v prospech životného prostredia. Rovnako využitím tohto nástroja je očakávané vyššie využitie vozidiel s alternatívnymi druhmi palív aj v cestnej nákladnej doprave, keďže v tejto oblasti v súčasnosti na trhu absolútne dominujú vozidlá s konvenčným druhom pohonu.

Je potrebné sa zaoberať aj v oblasti výskumu dlhodobým financovaním obnovy vozidlového parku vo verejnej osobnej doprave. Je potrebné vytvoriť systém financovania, ktorý nie je založený len na štrukturálnych fondoch resp. pláne obnovy Európskej únie. Je potrebné merať a skúmať efekty elektromobility pre mestskú mobilitu [9]. Plnenie strategických cieľov v oblasti dopravy by však malo byť v súčinnosti s priemyslom a ostatnými činnosťami, ktoré výrazne ovplyvňujú kvalitu ovzdušia lebo kvalita ovzdušia nekončí na hraniciach štátov. Niektorými výskumnými otázkami tejto problematiky sa zaoberá príspevok [10].

6 Literatúra

- [1] Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/1161 z 20. júna 2019, ktorou sa mení smernica 2009/33/ES o podpore ekologických a energeticky úsporných vozidiel cestnej dopravy.
- [2] SKRÚCANÝ, T. - KENDRA, M. - STOPKA, O. - MILOJEVIĆ, S. - FIGLUS, T. - CSISZÁR, C. Impact of the Electric Mobility Implementation on the Greenhouse Gases Production in Central European Countries. In *SUSTAINABILITY*. 2019. 11, 4948. [cit. 2021-04-21]. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11184948>.

- [3] GRIJALVA, E.R. - LÓPEZ MARTÍNEZ, J.M. Analysis of the Reduction of CO₂ Emissions in Urban Environments by Replacing Conventional City Buses by Electric Bus Fleets: Spain Case Study. In *ENERGIES*. 2019. 12, 525. [cit. 2021- 04- 21]. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12030525>.
- [4] TUCKI, K. - ORYNYCZ, O. - MITORAJ-WOJTANEK, M. Perspectives for Mitigation of CO₂ Emission due to Development of Electromobility in Several Countries. In *ENERGIES*. 2020. 13, 4127. [cit. 2021- 04- 21]. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13164127>.
- [5] VARGA, B.O. - MARIASIU, F. - MICLEA, C.D. - SZABO, I. - SIRCA, A.A. - NICOLAE, V. Direct and Indirect Environmental Aspects of an Electric Bus Fleet Under Service. In *ENERGIES*. 2020. 13, 336. [cit. 2021- 04- 21]. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13020336>.
- [6] Zákon 214/2021 Z. z. o podpore ekologických vozidiel cestnej dopravy a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
- [7] <https://imhd.sk/transport/vozidla-menu> [cit. 2020.10.10].
- [8] KONEČNÝ, V. - GNAP, J. - SETTEY, T. - PETRO, F. - SKRÚCANÝ, T. - FIGLUS, T. Environmental Sustainability of the Vehicle Fleet Change in Public City Transport of Selected City in Central Europe. In *ENERGIES*. 2020. 13, 3869. [cit. 2021- 04- 21]. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13153869>.
- [9] PIETRZAK, O. - PIETRZAK, K. The Economic Effects of Electromobility in Sustainable Urban Public Transport. In *ENERGIES*. 2021. 14, 878. [cit. 2021- 04- 21]. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14040878>.
- [10] HOU, J. - DENG, X. - SPRINGER, C.H. - TENG, F. A global analysis of CO₂ and non-CO₂ GHG emissions embodied in trade with Belt and Road Initiative countries. In *ECOSYSTEM HEALTH AND SUSTAINABILITY*. 2020. 1761888. [cit. 2021- 04- 21]. DOI: <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1761888>.

Stanovenie nepresnosti ukazovateľa spotreby paliva vo vozidle

Autori:

Michal LOMAN¹, Branislav ŠARKAN²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹ Ing. Michal Loman, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SLOVENSKO, E-mail: loman@stud.uniza.sk

² Ing. Branislav Šarkan, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SLOVENSKO, E-mail: branislav.sarkan@fpedas.uniza.sk

Abstrakt: Meranie spotreby paliva je náročný proces a je zložité stanoviť jej presné vyjadrenie. Spotreba sa môže zisťovať rôznymi spôsobmi. Jedným zo spôsobov ako stanoviť spotrebu, je pomocou jazdných skúšok. Je známych viacero druhov jazdných skúšok. Súčasná vozidlá dokážu poskytovať množstvo údajov vodičovi priamo počas prevádzky vozidla. Jedným z nich je údaj o spotrebe zobrazovaný prostredníctvom ukazovateľa spotreby (palubným počítačom), ktorý sa nachádza vo vozidle. Údaje, ktoré sú poskytované vodičovi nemusia odrážať realitu. Vo väčšine sú tieto údaje nepresné a nezodpovedajú skutočnosti. Preto predmetom výskumu bude overiť práve už spomínanú nepresnosť poskytovaných údajov o spotrebe vozidla samotným ukazovateľom spotreby (palubným počítačom). Cieľom výskumu bude stanovenie do akej miery sú údaje o spotrebe pravdivé. Spotreba vozidla, a tiež merania sú vykonávané na jednom vozidle v bežnej prevádzke. Práve to nám zabezpečilo možnosť vzájomného porovnávania nameraných údajov. Výsledky výskumu je možné interpretovať aj širšej verejnosti nakoľko pojednávajú o problematike, ktorá je častým cieľom diskusií.

Kľúčové slová: spotreba paliva, vozidlo, ukazovateľ spotreby paliva, neistota merania,

JEL: L62

Determination of inaccuracy of the fuel consumption indicator in the vehicle

Abstract: Measuring fuel consumption is a demanding process and it is difficult to determine its exact expression. Consumption can be determined in various ways. One way to determine consumption is through driving tests. Several types of driving tests are known. Current vehicles can provide a wealth of data to the driver directly during vehicle operation. One of them is the consumption data displayed by means of a consumption indicator (on-board computer) located in the vehicle. The information provided to the driver may not reflect reality. For the most part, these data are inaccurate and do not correspond to the facts. Therefore, the subject of the research will be to verify the already mentioned inaccuracy of the provided data on vehicle consumption by the consumption indicator itself (on-board computer). The aim of the research will be to determine the extent to which consumption data are true. Vehicle consumption as well as measurements are performed on one vehicle in normal operation. This is what provided us with the possibility of mutual comparison of measured data. The results of the research can also be interpreted to the general public as they discuss issues that are a frequent goal of discussions.

Keywords: consumption, vehicle, fuel consumption indicator, measurement uncertainty

1 Úvod

Vodič svojou technikou jazdy dokáže vo výraznej miere ovplyvniť spotrebu automobilu.[1,2] Táto spotreba v konečnom dôsledku dokáže ovplyvniť aj množstvo vyprodukovaných emisií.[3,4] Zisťovanie spotreby vozidla ako aj stanovenie množstva vyprodukovaných emisií je veľmi náročná činnosť. Nikdy

nemôžeme s určitou presnosťou vyjadriť presnú spotrebu paliva. Častokrát prichádzame do rozporu medzi reálnou spotrebou paliva a spotrebou, ktorú deklaruje výrobca. Môže to byť spôsobované technikou jazdy, zaťažením vozidla alebo dokonca rozdielnou metódou zisťovania spotreby. V súčasnosti prebieha veľký výskum v oblasti posudzovania spotreby vozidla a produkcie emisií pri vozidlách poháňaných iným ako spaľovacím motorom. [5,6,7,8]

Spôsoby akými možno zistiť a následne pozorovať spotrebu automobilu je viacero [9,10,11]. V každom prípade ide o jazdnú skúšku, ktorej podkladom je vopred spracovaná metodika. Táto metodika stanovuje podmienky merania, postup merania, aby jej výsledkom bolo čo najobjektívnejšie vyjadrenie spotreby vozidla.[12,13] Pri prevádzkovaní motorového vozidla v bežnej premávke sa častokrát stretávame s monitorovaním spotreby paliva. Takáto kontrola spotreby je zavádzaná najmä v podnikateľskom prostredí, pri firemných vozidlách, ktoré sú poskytované užívateľom na služobné účely. Služobné vozidlá môžu byť vybavené rôznymi zariadeniami, ktoré dokážu sledovať a v čase zaznamenávať nárast, a úbytok paliva v nádrži vozidla. Je to zavádzané najmä za účelom prehľadu o hospodárení s pohonnými látkami. Sledovanie nárastu alebo úbytku paliva v nádrži môže byť zabezpečované viacerými spôsobmi:

- **Hladinová sonda** – spotrebu počíta na základe merania úbytku paliva v nádrži. Jej výhodou je, že dokáže prevádzkovateľa upozorniť aj na úbytok paliva z nádrži (krádež).
- **Prietokomer** – využívajú sa na miestach, kde tvar a umiestnenie nádrže nedovoľuje použitie hladinovej sondy. Prietokomer je jednoduché zariadenie, ktoré detekuje množstvo pretečeného paliva za jednotku času. Nevýhodou je nemožnosť detekcie dotankovania alebo rýchly úbytok paliva (krádež).
- **Zber dát s radiacej jednotky prostredníctvom CAN / FMS/ COTEL zbernice** – slúži na vizualizáciu prietoku paliva do motora, hladinu paliva v nádrži. Tiež dokáže poskytnúť údaje o stave tachometra, teplote, otáčkach, brzdení, tempomate a mnohých iných prevádzkových vlastnostiach.

V súvislosti s touto problematikou existuje na trhu celý rad firiem, ktoré sa zaoberajú s poskytovaním týchto služieb prostredníctvom vlastných softvérov. [14,15,16]

2 Predpisy súvisiace s meraním spotreby

Spotrebu paliva môžeme merať pomocou rôznych metód. Tie sa ďalej členia a záleží podľa ktorej sa bude pri meraní postupovať. Na samotné meranie spotreby vozidla sa môžeme pozerieť z viacerých hľadísk:

Spôsob merania :

- objemové meranie,
- hmotnostné meranie,
- meranie na základe emisií,
- iné (vnútorná diagnostika atď.).

Miesto merania:

- laboratórium,
- cestná skúška.

Použitá metodika (norma), podľa ktorej sa postupuje pri meraní

- Slovenské technické normy (STN 30 0510, STN 30 0515),
- Európske normy (predpis EHK č.101),
- Vlastné meranie (nutnosť prípravy vlastnej metodiky).

Každé meranie, ktoré sa uskutočňuje podľa vyššie uvedených predpisov ich musí dodržiavať a spĺňať podmienky, ktoré sú v ňom uvedené.

Meraniami podľa STN 30 0510 a STN 30 0515 sa zaoberá množstvo spoločností. Všetky tieto spoločnosti sú zároveň akreditované SNAS (Slovenská národná akreditačná služba) na výkon úradného merania spotreby paliva motorových vozidiel a mechanizmov. Takéto merania sa vykonávajú najmä vtedy, keď vozidlo dosahuje vyššiu spotrebu, ako je spotreba uvedená v osvedčení o evidencii. Je to z toho dôvodu, že spotreba paliva uvádzaná v osvedčení o evidencii vozidla je zisťovaná v laboratórnych podmienkach, kde nie je možné dosiahnuť reálne prevádzkové podmienky. Výsledkom tohto merania je vystavené osvedčenie o úradnom meraní, ktoré v plnej miere nahrádza hodnoty uvedené v osvedčení o evidencii.

Pri výskume bola posudzovaná spotreba paliva na základe jász vykonaných za dlhšie časové obdobie. Počas tohto obdobia sa vozidlom jazdilo v bežných prevádzkových podmienkach. Je dôležité poznamenať, že údaje o počte ubehnutých kilometrov a čerpaných pohonných hmotách boli po celú dobu výskumu evidované. Na základe týchto skutočností a zistení je možné vysloviť záver. Celý priebeh merania ako aj samotná metodika je popísaná v ďalšom texte príspevku.

3 Stanovenie presnosti vykonaného merania

Konečné stanovenie spotreby paliva je náročná činnosť. Výsledná hodnota spotreby vozidla závisí od viacerých údajov (počet prejdenných kilometrov, objem spotrebovaného paliva atď.). Každú z týchto hodnôt je potrebné nejakým spôsobom stanoviť.

Pri meraní bolo potrebné spoliehať sa na presnosť iných meracích zariadení. Pri vyčíslení ubehutej vzdialenosti to bol odometer na meranom vozidle, pri stanovení objemu čerpaného paliva to bol prietokomer na výdajnom stojane. Podľa metrologie, každé zariadenie má od výrobcu stanovenú najväčšiu dovolenú chybu. To znamená, že ani jedno zariadenie ktoré sa používa pri takýchto meraniach nie je schopné poskytnúť používateľovi presný výsledok. Vždy tam bude zohrávať úlohu tolerancia chyby ktorá je stanovená výrobcom týchto zariadení. Táto chyba je zvyčajne udávaná v %. [17,18]

Každý výdajný stojan na čerpacích staniách je vybavený určeným meradlom, to znamená, že podlieha pravidelným kontrolám (úradnému overovaniu určeného meradla). Podľa prílohy 15 vyhlášky Úradu pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky o meradlách a metrologickej kontrole spadá do skupiny meradiel: objemové prietokové meradlá na kvapaliny okrem vody. V znení tejto prílohy sa uvádza že najväčšia dovolená chyba meradla je 0,5% z meraného množstva. Toto overovanie musí byť opakované každé 2 roky. Podľa vyššie uvedeného zákona na území Slovenskej Republiky môže takúto činnosť vykonávať jedine Slovenská legálna metrologia.[19,20]

3.1 Neistota merania

Neistota merania je parameter charakterizujúci interval hodnôt meranej veličiny okolo výsledku merania, ktorý podľa očakávania obsahuje skutočnú hodnotu veličiny. Je kvantitatívnym ukazovateľom výsledku a vyjadruje aj kvalitu merania. Neistota, môžeme ju označiť ako u_x , určuje interval hodnôt ($x - u_x$, $x + u_x$), čo budeme zapisovať ($x \pm u_x$).

Neistotu merania môžeme vyjadrovať viacerými spôsobmi. V bežnej praxi rozlišujeme 2 typy neistôt meraní. [21,22]

Štandardné neistoty typu A - označené u_A - sa získajú z opakovaných meraní veličiny štatistickou analýzou nameraných hodnôt. Charakteristickou vlastnosťou u_A je, že s rastúcim počtom meraní sa znižuje. Pri meraní jednej veličiny je u_A rovné smerodajnej odchýlke aritmetického priemeru

Ako sme už uviedli v predchádzajúcej časti, neistota typu A je rovná smerodajnej odchýlke priemeru n meraní tej istej veličiny tým istým meracím prístrojom a pri tých istých podmienkach merania. Neistota typu A teda vyjadruje istú „nestabilitu“ merania spôsobenú vo všeobecnosti náhodnými chybami meracieho

prístroja, nešpecifikovanými zmenami podmienok merania, šumom a podobne. Prejavuje sa získaním rôznych hodnôt meranej veličiny pri opakovanom meraní, pričom z pohľadu výskumníka boli dodržané tie isté podmienky merania.

Pri našom výskume sme zaoberali práve týmto typom neistoty nakoľko sme vykonávali opakované merania a porovnávali sme iba jednu veličinu, a to spotrebu vozidla. To znamená že neistotu merania môžeme vyjadriť smerodajnou odchýlkou s nameraných hodnôt. Smerodajnú odchýlku vieme vypočítať pomocou nasledovného vzorca:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Štandardné neistoty typu B – označené u_B - sú neistoty určené iným ako štatistickým spôsobom. Neistoty typu B sa viažu na známe, identifikovateľné zdroje, na rozdiel od neistôt typu A, kde príčiny náhodných chýb sú neznáme. Neistota typu B sa viaže na známe, resp. identifikované a kvantifikované zdroje, ktoré už niekto v minulosti identifikoval a kvantifikoval. V prípade priameho merania jednej veličiny sú jediným zdrojom neistoty typu B chyby meracieho prístroja v referenčných podmienkach, ktorých hranice $\pm \Delta_{max}$ deklaruje (zaručuje) výrobca meracieho zariadenia.

Štandardná neistota typu B sa vypočíta zo vzťahu:

$$u_B = \frac{\Delta_{max}}{\chi} \quad (2)$$

kde hodnota χ vyjadruje pomer medzi maximálnou hodnotou chyby a zodpovedajúcou smerodajnou odchýlkou. Hodnota χ závisí od priebehu pravdepodobnosti chýb meracieho prístroja v intervale $\pm \Delta_{max}$. Rozdelenie pravdepodobnosti chýb meracieho prístroja sa skutočne odhaduje veľmi ťažko. Preto pri počítaní môžeme uvažovať s rovnomerným rozdelením, t. j. predpokladáme, že chyby merania sa v intervale $\pm \Delta_{max}$ vyskytujú rovnako často. Pre rovnomerné rozdelenie je $\chi = \sqrt{3}$ a štandardná neistota typu B sa väčšinou počíta z maximálnej absolútnej chyby údajov meracieho prístroja Δ_{max} podľa jednoduchšieho vzťahu ktorý má tvar:

$$u_B = \frac{\Delta_{max}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

4 Popis vozidla a metodika výskumu

Na vykonanie merania sme vybrali osobné vozidlo kategórie M1 Ford Focus II facelift.

Pri výbere vozidla sme prihliadali na to, aby výsledky výskumu boli použiteľné a poskytovali užitočné informácie aj pre širší okruh čitateľov (vodičov, prevádzkovateľov motorových vozidiel a pod.). Vozidlo je bežne dostupné a často stretávané na cestách. Jazdné vlastnosti a motorizácia je porovnateľná s inými vozidlami, ktoré sú používané v premávke na pozemných komunikáciách.

Počas vykonávania jednotlivých meraní bolo vozidlo využívané v bežnej premávke na pozemných komunikáciách. Nebrali sme do úvahy jeho zaťaženie pri konkrétnych meraniach. Máme za to, že práve týmto spôsobom bežného využívania vozidla sme nasimulovali ideálny stav. Týmto stavom môžeme chápať fakt, že výsledky meraní budú plne použiteľné pre prax a bežnú prevádzku iných vozidiel. Informácie, ktoré budú výsledkom výskumu budú tvoriť podklad alebo aspoň možnosť, informovanosti iných vodičov, resp. prevádzkovateľov vozidiel o údajoch, ktoré poskytuje ukazovateľ spotreby paliva. Vozidlo pred začatím merania spĺňalo výrobcom stanovené parametre. Pred vykonaním skúšky nebolo nijak upravované, stav počítadla prejdenej vzdialenosti ukazoval 229 000 km. To, že vozidlo je pripravené na meranie sme overovali aj prostredníctvom OBD diagnostiky vyčítaním pamäte závad. OBD diagnostikou neboli zistené žiadne chyby.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 1. Vozidlo použité pri meraní

Tab. 1. Technické parametre meraného vozidla

| Technické parametre vozidla | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Značka | Ford |
| Obchodný názov | Focus |
| Počet valcov | 4 |
| Zdvihový objem valcov | 1 560 cm ³ |
| Najvyšší výkon motora | 80,00 kW |
| Otáčky pri max. momente | 4 000 min ⁻¹ |
| Najvyššia konštrukčná rýchlosť | 188 km.h ⁻¹ |
| Kód motora | G8DB |
| Druh paliva | NM |
| Šírka | 1 839 mm |
| Dĺžka | 4 468 mm |
| Výška | 1 537 mm |
| Prevádzková hmotnosť | 1 391 kg |
| Najväčšia prípustná celková hmotnosť | 1 885 kg |
| Rozmer a druh pneumatík | 205/55 R16 91H |

Zdroj: osvedčenie o evidencii - časť II.

Ako bolo spomenuté vyššie, jednou z možností ako sledovať spotrebu paliva je prostredníctvom ukazovateľa spotreby (palubný počítač vozidla). Presnosť týchto zariadení je rôzna. Počítač v jednom vozidle môže pracovať s 96% presnosťou, zatiaľ čo v druhom vozidle pracuje s presnosťou len 75%. V podstate sú tieto údaje relatívne presné, avšak prevádzkovateľ vozidla ich musí brať s rezervou [23]. Pri overovaní presnosti ukazovateľa spotreby je nutné dodržiavať určité zásady a postupy. Týmito postupmi sme sa riadili aj pri vykonávaní merania. Pri meraní bola zisťovaná skutočná spotreba paliva, ktorá bola

následne porovnávaná s údajom dostupným prostredníctvom ukazovateľa spotreby paliva. Postup zisťovania reálnej spotreby je jednoduchý a v konečnom dôsledku aj veľmi presný.

- 1) V prvom kroku je kľúčové zvoliť si čerpaciu stanicu, kde budeme čerpať PHM počas celého obdobia merania. Na tejto čerpacej stanici si zvolíme konkrétny stojan s tankovacou pištoľou. Dôvodom takéhoto konania je odlišnosť (chybovosť) tankovacích pištolí pri tankovaní plnej nádrže. Výber čerpacej stanice je nutné dodržať vzhľadom na kvalitu PHM, ktorá sa mení v závislosti od výrobcu.
- 2) Pri prvom tankovaní je nutné vynulovať počítadlo ubehnutých kilometrov. Tento údaj bude neskôr zohrávať kľúčovú úlohu pri zistení spotreby. Pri meraní sme nulovali celý obsah ukazovateľa spotreby (palubného počítača) z dôvodu porovnávania údajov za jednotlivé tankovacie cykly.
- 3) Podmienkou merania je, že vždy čerpáme plnú nádrž. Tankovacia pištoľ bola po umiestnení do hrdla nádrže zaistená a je nutné počkať na jej automatické vypnutie. Tento postup je dôležitý uchovať po celú dobu merania.
- 4) Pri takomto meraní platí zásada, čím viac najjazdených kilometrov, tým lepšie (meranie bude presnejšie). V rámci výskumu a meraní sa s vozidlom jazdilo mimo mesta.
- 5) Pri ďalšom čerpaní PHM je nutné dodržať tento postup. Znova je nutné načerpať plnú nádrž a zo stojana si odpísať objem načerpaného paliva.
- 6) Tento údaj (označený ako X) poskytuje informáciu o tom koľko paliva bolo spotrebované. Následne je predelený počtom ubehnutých kilometrov (označenie Y) a následne (na záver) pre násobený číslom 100.

$$\text{Spotreba paliva} = \frac{X [l]}{Y [km]} \cdot 100 = XY \text{ l}/100\text{km} \quad (4)$$

- 7) Výsledná hodnota predstavuje reálnu priemernú spotrebu paliva pre dané vozidlo. V našom výskume a meraní je takýchto čerpaní urobili viac, aby zistená odchýlka bola čo najpresnejšia. Zistené spotreby sú následne porovnávané s údajmi získanými prostredníctvom ukazovateľa spotreby za konkrétne obdobie.

Tab. 2. Overenie presnosti ukazovateľa spotreby meraného vozidla

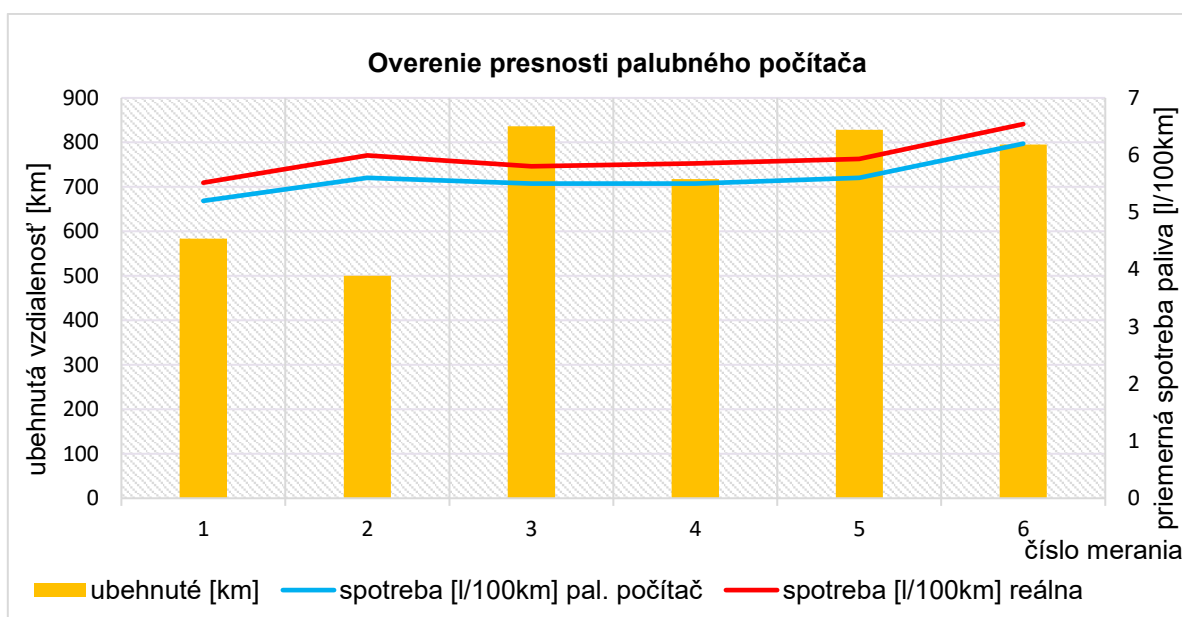
| číslo merania | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|--------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| čerpanie PHM [l] | 32,2 | 30 | 48,5 | 42 | 49,15 | 52 | |
| ubehnuté [km] | 583,5 | 500,4 | 835,9 | 717,7 | 828,4 | 794,9 | |
| spotreba [l/100km] | pal. počítač | 5,2 | 5,6 | 5,5 | 5,5 | 5,6 | 6,2 |
| | reálna | 5,518 | 5,995 | 5,802 | 5,852 | 5,933 | 6,542 |
| odchýlka [l/100km] | 0,318 | 0,395 | 0,302 | 0,352 | 0,333 | 0,342 | |
| priemerná odchýlka | 0,34 | | | | | | |
| neistota merania | 0,029 | | | | | | |

Zdroj: Autor

Z tabuľky 2 je zrejmé že, ukazovateľ spotreby paliva na meranom vozidle pracuje s odchýlkou (chybovosťou). Tento fakt sa nám potvrdil tým, že sme zistili rozdiel pri porovnávaní spotreby vozidla ktorú poskytol ukazovateľ spotreby a spotreby, ktorú sme stanovili metódou dotankovania. Nepresnosť ukazovateľa spotreby sme stanovili priemernou hodnotu zistených rozdielov pri vykonávaní porovnávania.

Z výskumu môžeme odvodiť nasledovné: Priemerná odchýlka ukazovateľ spotreby paliva na meranom vozidle predstavuje hodnotu 0,34 l/100km. Aby bolo meranie presnejšie a poskytovalo čitateľom plnohodnotné informácie, uviedli sme k výpočtu aj hodnotu neistoty merania. Ako sme písali vyššie miera

neistoty merania určuje hodnotu o ktorú sa vypočítaný výsledok môže líšiť. To znamená že výsledná hodnota nášho merania predstavuje interval v ktorom sa nachádza výsledná odchýlka ukazovateľa spotreby. Nakoľko sa jedná o štandardnú neistotu typu A, jej veľkosť sme určili smerodajnou odchýlkou. Veľkosť smerodajnej odchýlky a tiež aj neistoty merania je v našom prípade 0,029. Pre zhrnutie, informácia o spotrebe udávaná prostredníctvom ukazovateľa spotreby vozidla sa pohybuje s chybou a to v rozmedzí od 0,311 až 0,369 l/100km. Tento interval je stanovený na základe neistoty merania ($0,34 \pm 0,029$). V percentuálnom vyjadrení je to 6,68 %. Tiež je možné si všimnúť, že s vyšším nárastom ubehnutých kilometrov je meranie presnejšie a odchýlka nižšia. Môžeme teda potvrdiť náš predpoklad, že ukazovateľ spotreby v skutočnosti neposkytuje presné informácie o spotrebe vozidla. Z vykonaných meraní si, ale môžeme všimnúť že pracuje s konštantnou chybou, to znamená, že prevádzkovateľ vozidla už bude mať túto informáciu a v budúcnosti s ňou môže kalkulovať. Pre lepšie predstavenie popísaných informácií je k dispozícii grafické vyjadrenie výsledkov zistených meraní (obr. 2).



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 2. Overenie presnosti ukazovateľa spotreby meraného vozidla

V obr. 2. je možné sledovať priebeh kriviek ktoré reprezentujú spotrebu vozidla. Ich rozdiel je viditeľný, to znamená že ukazovateľ spotreby vo vozidle skutočne pracuje s chybou. Avšak, tento rozdiel medzi týmito krivkami (sivá, oranžová) je takmer konštantný. V jednoduchosti to znamená, že ukazovateľ spotreby v meranom vozidle síce pracuje s chybou, ale táto chyba je po celú dobu konštantná. Ako sme písali vyššie, vodičovi stačí takýmto meraním raz stanoviť túto odchýlku a už do budúcnosti s ňou môže kalkulovať. Tento spôsob však platí výlučne pri pozorovaní priemernej spotreby poskytnutej ukazovateľom spotreby paliva vo vozidle.

5 Záver

Praktická časť výskumu nám v plnom rozsahu potvrdila našu predpokladanú teóriu.[24] Vzhľadom na vykonané merania sme boli schopní zhodnotiť a porovnať namerané hodnoty. Výsledkom tohto výskumu sú návrhy a odporúčania, ktorých využitím je možné stanoviť priemernú spotrebu vozidla a tiež aj overiť presnosť ukazovateľa spotreby paliva vo vozidle.

Praktická časť bola vykonávaná na osobnom vozidle. To znamená, že výsledky a konečné zhodnotenie riešenej problematiky je plne využiteľné v praxi. Výstupom merania je porovnanie údajov o spotrebe vozidla. Výskum porovnáva pravdivosť poskytovaných informácií o priemernej spotrebe vozidla vodičovi. Tieto informácie poskytuje ukazovateľ spotreby paliva (palubný počítač) vo vozidle. Našou úlohou bolo práve jeho overenie. Overovali sme do akej miery sú takto poskytované údaje pravdivé. Práve na túto kontrolu nám poslúžila vypracovaná metodika na základe ktorej sme boli schopný vypočítať priemernú spotrebu paliva. Podstatou metodiky je stanovenie priemernej spotreby vozidla jeho opakovaným dotankovaním. Práve týmto spôsobom sme mali k dispozícii údaje o spotrebe ktoré sme mohli medzi sebou porovnať a vysloviť záver. Fakt o ktorom mnohí vodiči nemajú vedomosť je práve odchýlka ukazovateľa spotreby od skutočnej spotreby paliva. V závere je možné zhodnotiť, že meranie bolo vykonané na konkrétnom vozidle. Ak by podobné meranie bolo vykonané na inom vozidle, resp. aj na vozidle ktoré je zhodné s meraným, odchýlka by mohla dosahovať úplne inú hodnotu. Dôležité je však to, že metodika obsiahnutá vo výskume je platná (použiteľná) pre akékoľvek iné vozidlo.

6 Literatúra

- [1] Rievaj, V., Mokrickova, L. & Rievaj, J. (2016). Impact of driving techniques on fuel consumption. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina* 18(2), 72-75. ISSN: 2585-7878
- [2] Faria, M. V., Duarte, G. O., Varella, R. A., Farias, T. L., & Baptista, P. C. (2019). How do road grade, road type and driving aggressiveness impact vehicle fuel consumption? Assessing potential fuel savings in Lisbon, Portugal. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 72, 148-161., DOI: 10.1016/j.trd.2019.04.016
- [3] Luk, J. M., Kim, H. C., De Kleine, R., Wallington, T. J., & MacLean, H. L. (2017). Review of the fuel saving, life cycle GHG emission, and ownership cost impacts of lightweighting vehicles with different powertrains. *Environmental science & technology*, 51(15), 8215-8228. ISSN: 0013-936X
- [4] Liaquat, A. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., & Jayed, M. H. (2010). Potential emissions reduction in road transport sector using biofuel in developing countries. *Atmospheric Environment*, 44(32), 3869-3877., DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.07.003
- [5] Liu, F., Zhao, F., Liu, Z., & Hao, H. (2018). The impact of fuel cell vehicle deployment on road transport greenhouse gas emissions: the China case. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(50), 22604-22621., DOI:10.1016/j.ijhydene.2018.10.088
- [6] Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., & Masjuki, H. H. (2011). A review on emissions and mitigation strategies for road transport in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3516-3522., DOI: 10.1016/j.rser.2011.05.006
- [7] Howey, D. A., Martinez-Botas, R. F., Cussons, B., & Lytton, L. (2011). Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(6), 459-464., DOI: 10.1016/j.trd.2011.04.001
- [8] Rievaj, V., & Synák, F. (2017). Does electric car produce emissions?. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska.*, DOI: 10.20858/sjsutst.2017.94.17
- [9] Hunt, S. W., Odhams, A. M. C., Roebuck, R. L., & Cebon, D. (2011). Parameter measurement for heavy-vehicle fuel consumption modelling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 225(5), 567-589., DOI: 10.1177/2041299110394512
- [10] Li, Y., Duan, X., Fu, J., Liu, J., Wang, S., Dong, H., & Xie, Y. (2019). Development of a method for on-board measurement of instant engine torque and fuel consumption rate based on direct signal measurement and RGF modelling under vehicle transient operating conditions. *Energy*, 189, 116218., DOI: 10.1016/j.energy.2019.116218

- [11] Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., & Van Aerde, M. (2002). Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. *Journal of transportation engineering*, 128(2), 182-190., ISSN: 1364-0321
- [12] Frey, H. C., Unal, A., Roupail, N. M., & Colyar, J. D. (2003). On-road measurement of vehicle tailpipe emissions using a portable instrument. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(8), 992-1002., DOI: 10.1080/10473289.2003.10466245
- [13] Ben-Chaim, M., Shmerling, E., & Kuperman, A. (2013). Analytic modeling of vehicle fuel consumption. *Energies*, 6(1), 117-127., DOI: 10.3390/en6010117
- [14] Yao, Y., Zhao, X., Liu, C., Rong, J., Zhang, Y., Dong, Z., & Su, Y. (2020). Vehicle fuel consumption prediction method based on driving behavior data collected from smartphones. *Journal of Advanced Transportation*, 2020., DOI: 10.1155/2020/9263605
- [15] Driving style: <https://www.webdispecink.cz/sk/unikatne-vlastnosti-webdispecingu/jazdny-styl/> (accessed on 30.01.2021)
- [16] Pitera, K., Boyle, L. N., & Goodchild, A. V. (2013). Economic analysis of onboard monitoring systems in commercial vehicles. *Transportation research record*, 2379(1), 64-71., DOI: 10.3141/2379-08
- [17] Li, L., Sun, H., Yang, S., Ding, X., Wang, J., Jiang, J., ... & Guo, Y. (2018). Online calibration and compensation of total odometer error in an integrated system. *Measurement*, 123, 69-79., DOI: 10.1016/j.measurement.2018.03.044
- [18] Nemeč, D., Janota, A., Hrušoš, M., & Šimák, V. (2019). Design of an electronic odometer for DC motors. *Transportation Research Procedia*, 40, 405-412. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.07.059
- [19] Decree no. 131/2019, Office for Standardization, Metrology and Testing of the Slovak Republic on measuring instruments and metrological control., 27.5.2019 (accessed on 31.01.2021)
- [20] Legislation in metrology: http://kz.slm.sk/?legislativa_druhy-urceny-ch-meradiel.html (accessed on 31.01.2021)
- [21] Meyer, V. R. (2007). Measurement uncertainty. *Journal of Chromatography A*, 1158(1-2), 15-24., DOI: 10.1016/j.chroma.2007.02.082
- [22] Kukučka, Peter. 2009. Uncertainties of measurement of electrical quantities (2). In *AT&P journal*. [online]. 2009, vol. 2 [accessed on 31.01.2021]. https://www.atpjournals.sk/buxus/docs/casopisy/atp_2009/pdf/atp-2009-02-64.pdf. ISSN 1336-233X
- [23] Palubní počítač, dostupné online: <https://www.autosalon.tv/novinky/nova-auta/udaj-o-prumerne-spotrebe-na-palubnim-pocitaci-muze-byt-presny-i-uplne-mimo-misu-ukazal-test-80-aut> (cit. 7.5.2021)
- [24] Hiraoka, T., Terakado, Y., Matsumoto, S., & Yamabe, S. (2009, September). Quantitative evaluation of eco-driving on fuel consumption based on driving simulator experiments. In *Proceedings of the 16th World Congress on Intelligent Transport Systems* (pp. 21-25).

MOŽNOSTI AUTOMATICKEJ DIAGNOSTIKY KOĽAJOVÉHO ROŠTU

Autori:

Juraj KANIS¹, Vladislav ZITRICKÝ², Vlastimil Hebelka³

Tituly a pôsobisko autorov:

¹ Ing. et Ing. Juraj Kanis, PhD., SMARTRONIC s.r.o., Černyševského 10, 851 01 Bratislava, Slovenská republika, E-mail: kanisj@smartronic.eu

² doc. Ing. Vladislav Zitrický, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy spojov, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, E-mail: vladislav.zitricky@fpedas.uniza.sk

³ Ing. Vlastimil Hebelka, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Studentská 95, 532 10 Pardubice 2, Česká republika, E-mail: vhebelka@protonmail.com

Abstrakt: Údržba železničnej infraštruktúry je nevyhnutnou súčasťou jej prevádzkovania a jej cieľom je zabezpečiť technický stav železničnej siete na úrovni zodpovedajúcej požiadavkám na bezpečnú prevádzku železničnej dopravy. Neodmysliteľnou súčasťou údržby železničných tratí je ich pravidelná diagnostika, ktorej úlohou je včasná a presná identifikácia defektov na železničnej trati. Najčastejšie sa diagnostika železničných tratí na našom území vykonáva pravidelnou vizuálnou kontrolou. Súčasný rozvoj vednej oblasti informačných a komunikačných technológií umožňuje priniesť aj do tejto oblasti nové možnosti a aplikovať inovatívne riešenia v procese údržby železničnej infraštruktúry. Cieľom článku je oboznámiť čitateľa s možnosťami automatickej detekcie chýb, ktoré sa vyskytujú na používanej železničnej infraštruktúre. Článok zároveň prezentuje čiastkové výsledky výskumnej úlohy: „Výskum nových poznatkov a pozorovateľských skúseností diagnostických systémov novej generácie v priemyselnej výrobe a v dopravnom priemysle – výskum fyzikálnej podstaty automatizovaného systému video inšpekcie koľajového roštu“, podporovaného Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR.

Kľúčové slová: diagnostika, metódy diagnostiky, železničná infraštruktúra, koľajový rošt

JEL: L92

INNOVATIVE DIAGNOSTICS OF THE TRACK SUPERSTRUCTURE

Abstract: The maintenance of the railway infrastructure is an essential part of its operation and its aim is to ensure the technical condition of the railway network at a level corresponding to the requirements for the safe operation of railway transport. An integral part of the maintenance of railway infrastructure is its regular diagnostics. The task of railway lines diagnostic is the timely and accurate identification of defects on the railway line. In the condition of Slovak railways, it's the most often used method for diagnostic railway infrastructure regular visual inspection. Development of information and communication technologies creates new possibilities and opportunities into railway lines diagnostic as well and to apply innovative solutions in the process of maintenance of railway infrastructure. The aim of the article is to present the reader with the possibilities of automatic detection of errors on the railway infrastructure, that arise from its use. The article also presents partial results of the research task: "Research of New Phenomena and Observable Facts of New Generation Diagnostic Systems in Industrial Production and in the Transport Industry – Research of the Physical Nature of the Automated Video Inspection System of the Rail Grate."

Keywords: diagnostics, diagnostic methods, railway infrastructure, rail grate

1 Úvod

Technický stav železničnej infraštruktúry ma výrazný vplyv na bezpečnosť železničnej dopravy a je dôležitou súčasťou činností, ktoré sú nevyhnutné na plynulé zabezpečenie jazdy vlakov. Medzi hlavné podmienky prevádzkovania železničnej dopravy patrí pravidelná údržba koľajového zvršku a jeho častí. Správna a pravidelná údržba má viacero benefitov, ktoré následne ovplyvňujú kvalitatívne parametre železničnej dopravnej prevádzky, napríklad rýchlosť, bezpečnosť, pohodlie cestujúcich, nákladovosť prevádzkovania železničnej dopravy a pod. [1]

Včasná a kvalitná diagnostika technického stavu železničnej trate predlžuje jej životnosť a v minimálnej miere zhoršuje jej kvalitatívne parametre spôsobenej opotrebením materiálov použitých pri jej výstavbe alebo rekonštrukcii. Vedecký výskum a vývoj v oblastiach vedy a techniky môže priniesť inovačné riešenia aj v oblasti diagnostiky. Trend automatizácie a digitalizácie je možné aplikovať aj do možnosti diagnostiky technického stavu železničnej infraštruktúry. Možnosti inovatívneho riešenia diagnostiky koľajového roštu, ako základného stavebného prvku železničného zvršku, pozostávajú z aplikácie neinvazívnych metód diagnostiky s využitím automatického snímania počas jazdy diagnostického vlaku [2].

Diagnostiku a defektoskopiu železničnej infraštruktúry je v súčasnosti možné zefektívniť na základe dynamického rozvoja informačných a komunikačných technológií. Súčasný rozvoj technológií je spätý z rozvojom priemyslu 4.0, ktorý so sebou prináša inovatívne riešenia aplikovateľné aj v podmienkach údržby železničnej infraštruktúry. Medzi inovatívne riešenia detekcie technického stavu koľajového roštu možno zaradiť jeho vizuálnu kontrolu pomocou snímacej kamery. Vizuálna kontrola koľajového roštu sa vykonáva dynamicky, teda v pohybe koľajového vozidla a je možná aj pri dodržiavaní maximálnej traťovej rýchlosti. Môžeme teda hovoriť o automatizovanom systéme video inšpekcie koľajového roštu.

2 Charakteristika skúmaného prvku

Koľajový rošt je stavebnou súčasťou koľajnicového zvršku, ktorý tvorí základný stavebný prvok železničných tratí. Samotná konštrukcia koľajnicového roštu pozostáva z koľajnic, podvalov a koľajnicového upevnenia. Úlohou koľajnic, ako základného konštrukčného prvku železničných tratí, je prenos statických a dynamických síl vyvolaných prevádzkou železničných vozidiel a zároveň slúžia aj na smerové a výškové vedenie koľajových vozidiel. Podvaly sú koľajnicové podpory, ktoré spolu s upevnením koľajnic (drobným koľajivom) zabezpečujú prenos zaťaženia z koľajnic do podvalového podložia, udržiavajú predpísaný rozchod koľaje a pevnosť koľajového roštu [3].

Prevádzkovanie železničnej dopravy, ako aj environmentálne vplyvy, majú za následok opotrebenie súčastí železničného zvršku a spodku, koľajnicového roštu nevynímajúc. Vplyv prevádzkového zaťaženia železničnej trate sa prejavuje trvalými zmenami geometrických parametrov a materiálových charakteristík koľajového roštu. Zmeny v konštrukcii železničného zvršku môžu mať za následok zníženie bezpečnosti, plynulosti a kvality prevádzkovania železničnej dopravy na železničných tratiach. Na zníženie rizika negatívnych zmien v konštrukcii železničných tratí je nevyhnutná identifikácia miest vzniku zmien konštrukčných prvkov železničných tratí. Následnou činnosťou a odstránením zistených nedostatkov je možné optimalizovať ich čo najúčinnnejšie odstránenie. Predmetné činnosti zabezpečuje vhodná diagnostika konštrukčných prvkov železničnej trate [4].

Diagnostika koľajového roštu sa realizuje viacerými diagnostickými metódami a prostriedkami. Diagnostiku koľajového roštu je možné vykonávať od najjednoduchších spôsobov formou priamych meraní s použitím ručných meracích prístrojov a pomôcok, až po moderné kontinuálne bezkontaktné merajúce zariadenia s elektronickým záznamom a počítačovým vyhodnocovaním kvality jednotlivých meraných parametrov alebo celých úsekov konštrukcie železničnej trate.

Metódy diagnostiky koľajového roštu

Diagnostikou koľajového roštu sa zisťuje technický stav a kvalita skúmanej konštrukčnej skupiny alebo konkrétneho konštrukčného prvku. Na zistenie aktuálneho stavu alebo k dovoľeným odchýlkam skúmaných parametrov sú definované diagnostické metódy jednotlivých parametrov so stanovenými postupmi na dosiahnutie predpísanej presnosti merania [5].

Diagnostika koľajového roštu pozostáva zo skúmania nasledujúcich oblastí:

- priestorovej polohy,
- konštrukčného a geometrického usporiadania,
- konštrukčných prvkov.

Najčastejšie metódy diagnostiky koľajového roštu delíme na:

- vizuálne,
- geometrické,
- graficko-výpočtové a výpočtové,
- fyzikálne nedeštruktívne.

2.1 Vizuálne metódy diagnostiky

Vizuálne metódy diagnostiky železničnej trate sa používajú na realizáciu prevádzkovej diagnostiky vlastností konštrukčných skupín a prvkov železničného zvršku, ktoré je možné vizuálne sledovať v statickom alebo dynamickom stave. Podľa postavenia a rýchlosti skúmaného subjektu rozdeľujeme vizuálne metódy diagnostiky na metódu dohliadania koľajovej dráhy a metódu kontrolných jázd po koľajovej dráhe [3,5].

Pre metódu dohliadania koľajovej dráhy je charakteristické, že diagnostikujúci subjekt skúma konštrukčné skupiny alebo prvky železničnej trate priamo v statickom postavení (respektíve minimálnom dynamickom postavení pri rýchlosti chôdze). Táto metóda je postavená na subjektívnom vizuálnom zisťovaní a hodnotení diagnostikovaných parametrov. Aplikácia metódy dohliadania koľajovej dráhy si vyžaduje odborné znalosti a skúsenosti vykonávacieho subjektu. Najčastejšie je to realizované v pravidelných časových intervaloch osobou kontrolóra železničnej trate (pochôdzkarom) [3,5].

Metóda kontrolných jázd po koľajovej dráhe je doplnujúcou metódou dohliadania koľajovej dráhy, pričom subjekt vykonávajúci diagnostiku kontroluje konštrukčné skupiny alebo prvky železničnej trate nepriamo v dynamickom postavení rýchlosťou pohybujúceho sa koľajového vozidla (hnacie dráhové vozidlo, vozeň na konci vlaku alebo merací vlak). Počas kontrolných jázd sa zisťuje subjektívne vizuálne zisťovanie a hodnotenie sklamaných parametrov na železničnej infraštruktúre spolu so subjektívnym vnímaním odozvy počas jazdy koľajového vozidla [3,5].

2.2 Geometrické metódy diagnostiky

Geometrické metódy diagnostiky železničnej trate sa využívajú na realizáciu prevádzkovej a vstupnej diagnostiky, pričom ich základom je meranie uhlov a dĺžok skúmaných prvkov železničnej infraštruktúry.

Metódy geometrickej diagnostiky je možné rozčleniť na:

- metódy prvého sledu: priame alebo nepriame meranie skúmaných parametrov,
- metódy druhého sledu: zložené metódy, kde sa hodnoty skúmaných parametrov stanovia na základe výpočtu z nameraných hodnôt.

Podstatou priamych metód geometrickej diagnostiky je odmeranie hodnoty skúmaného konštrukčného prvku železničnej infraštruktúry a jej porovnanie s hodnotou stanovenou v technickej dokumentácii. Princípom nepriamych metód geometrickej diagnostiky je odmeranie veľkosti odchýlky skúmaného parametra, a to medzi aktuálnou hodnotou parametra a medzi hodnotou predpísanej v technickej dokumentácii. Meranie odchýlky je zabezpečené konštrukciou účelového meradla. V rámci nepriamych geometrických metód je možné aplikovať doplňujúce metódy: polygonovú, dlhej tetivy alebo nivelačnú [3,6].

2.3 Graficko-výpočtové a výpočtové metódy diagnostiky

V diagnostike konštrukčného a geometrického usporiadanie koľaje v oblúkoch je možné aplikovať metódy oblúkových súradníc [3]. Táto metóda zaznamenáva, spracováva a vyhodnocuje obvodové súradnice geometrických kriviek. Princíp metódy je založený na zistení krivosti v jednotlivých bodoch oblúka, ktoré sú od seba vzdialené v konštantných vzdialenostiach. Podľa spôsobu spracovania hodnôt parametrov pri metóde oblúkových súradníc je možné metódy rozdeliť na:

- výpočtové (metódy statických momentov Hallsde–Šistek alebo Corini-Linek),
- graficko-výpočtové (metóda Nalenz-Hofer-Schramm),
- grafické.

2.4 Fyzikálne nedeštruktívne metódy diagnostiky

V železničnej prevádzke v rámci diagnostiky zisťovania skrytých chýb a nedostatkov koľajového roštu a jeho konštrukčných prvkov sa využívajú fyzikálne nedeštruktívne metódy. Medzi najčastejšie fyzikálne metódy môžeme zaradiť nasledujúce metódy:

- ultrazvuková,
- rádiografická,
- kapilárna [6].

Skúšanie ultrazvukom je založené na zisťovaní chýb pomocou mechanických kmitov častíc prostredia okolo rovnovážnej polohy s frekvenciami vyššími ako 20 kHz. Vychádza zo zákonitostí, ktoré platia pre prechod, lom, odraz, rýchlosť šírenia a útlm ultrazvukového zväzku hmotným prostredím. Touto metódou je možné zistiť chyby v koľajniciach a komponentoch výhybiek, ktoré sú prevažne orientované kolmo na os ultrazvukového zväzku. Minimálna zistiteľná veľkosť chyby (len v smere kolmom na os zväzku) je väčšia ako polovičná dĺžka vlny použitého ultrazvukového vlnenia. Rozmery hľadanej chyby musia mať minimálne porovnateľné rozmery a orientáciu ako umelá chyba na príslušnej etalónovej vzorke, ktorá by mala byť vyrobená z rovnakého materiálu ako je skúšaná koľajnica (komponenty výhybiek) [6].

Fyzikálny princíp rádiografických metód spočíva v interakcii ionizujúceho röntgenového alebo gama žiarenia s hmotou výrobku (koľajnicového materiálu) a v následnom zviditeľnení preniknutého žiarenia za kontrolovaným výrobkom (koľajnicovým materiálom) vhodným detektorom. Takýmto spôsobom je možné zviditeľniť tie miesta v koľajnici, v ktorých sa vyskytujú nehomogenity (napr. vo zvarovom kove bubliny), v ktorých dochádza ku zmene intenzity žiarenia v menšom množstve ako okolo v zdravom materiáli. Pri röntgenovom žiarení sú zdrojmi žiarenia röntgenové lampy, pri gama žiarení uzatvorené rádionuklidové žiariče (tzv. rádioizotopy) [6].

Kapilárna metóda je založená na využití charakteristických vlastností kvapalín, tzv. kapilárnych javov. Princíp týchto metód spočíva vo využití vztlakovosti a zmáčavosti vhodných kvapalín, ich farebnosti, alebo fluorescencie. Skúška kapilárnou metódou sa využíva na zisťovanie otvorených povrchových necelistvostí (chýb), prípadne podpovrchových necelistvostí (chýb) korešpondujúcich s preverovaným povrchom srdcoviek alebo jazykov výhybiek, ako sú napr. trhliny a póry. Pri kapilárnej skúške sa často využívajú látky, ktoré sú horľavé alebo prchavé, preto musia byť zaistené a dodržiavané príslušné bezpečnostné opatrenia [6].

3 Automatická detekcia chýb koľajového roštu

Bezchybný stav železničnej infraštruktúry je nutnou podmienkou prevádzkovania železničnej dopravy. Nehody spôsobené z dôsledku zanedbania údržby infraštruktúry alebo jej chybnej diagnostiky môžu viesť k vysokým škodám. Príčiny z dôvodu defektov a nedostatkov na železničnej infraštruktúre v Spojených štátoch amerických predstavovali 30 až 40% [7].

Pri intenzívnom využívaní železničnej infraštruktúry, veľkom zaťažení náprav a meniacich sa podmienkach prostredia sa môžu aj malé chyby na železničnej trati rozvinúť do vážneho poškodenia [8,9]. Z čoho vyplýva nutná potreba intenzívnej a pravidelnej diagnostiky prvkov železničného zvršku, aby sa minimalizovala možnosť nehôd, respektíve nehodových udalostí na železničnej infraštruktúre. Údržba a diagnostika železničných tratí je nielen značne nákladová činnosť pre správcov železničnej infraštruktúry, ale aj personálne náročná. Počet personálu určených na údržbu a diagnostiku železničných tratí v spoločnosti britského manažéra infraštruktúry Network rail tvorí takmer dve tretiny z celkového počtu zamestnancov [10].

Jednou z možností ako minimalizovať nehodovosť a nehodové udalosti je pravidelná a včasná diagnostika poškodenia infraštruktúry využívajúca nové poznatky z oblastí informačných technológií. Jednou z možností je vývoj zariadení, ktoré prinesú možnosť zautomatizovať detekciu porúch železničnej infraštruktúry a vykonávať ju v pravidelnejších intervaloch. Jednou z ciest je aj automatická video inšpekcia koľajového roštu vyvíjaná spoločnosťou SMARTRONIC, s.r.o. v rámci vedeckého výskumu „Výskum nových poznatkov a pozorovateľských skúseností diagnostických systémov novej generácie v priemyselnej výrobe a v dopravnom priemysle – výskum fyzikálnej podstaty automatizovaného systému video inšpekcie koľajového roštu“.

3.1 Metódy automatickej diagnostiky koľajového roštu

V rámci inovačných metód automatickej detekcie technického stavu železničnej infraštruktúry je možné aplikovať viaceré metódy na efektívnu diagnostiku koľajového roštu. V rámci výskumného projektu realizovaného spoločnosťou SMARTRONIC, s.r.o. je riešenie automatickej diagnostiky koľajového roštu realizované pomocou [2]:

- optometrickej metódy,
- fotometrických metód,
- optickej metódy.

A) Optometrické metódy

Z tejto oblasti metód je vo výskume aplikované lineárne riadkovanie kamier s vysokou frekvenciou snímania obrazu (meranie bolo vykonané v železničnej prevádzke, keď systém bol namontovaný na merací vozeň a pohyboval sa rýchlosťou až do 120 km/h). Obraz z lineárnych riadkových kamier sa v princípe skladá z nekonečnej fotky. Nad takto vzniknutou nekonečnou fotkou bola venovaná pozornosť najmä prieskumu algoritmov, ktoré sa dajú využiť pre [2]:

- identifikáciu miest, kde je potenciál defektov,
- vektorizáciu objektu v mieste potenciálneho defektu,
- klasifikáciu defektu, keď sa určuje konkrétny typ chýb podľa katalógu chýb.

Pri tejto metóde boli aplikované metódy hlbokého učenia, Markovový rozpoznávací proces spätnoväzbového učenia, neurónových sietí s prvkami umelej inteligencie a moderných IT riešení založených na knižniciach pre strojové videnie a neurónové siete.

B) Fotometrické a súvisiace fotogrammetrické metódy

V oblasti fotogrammetria sa výskum sústredil na zariadenia, ktoré sa súhrnne nazývajú 3D kamery. Ide o zariadenia, ktoré umožňujú nasnímať objekty z rôznych uhlov, nad vzniknutým zloženým 3D obrazom potom vykonávajú fotogrammetrické algoritmy, t.j. zisťujú sa vzdialenosti bodov od referenčného bodu vzťažnej sústavy na základe automatizovaného odmeriavania z fotografií toho istého miesta z rôznych uhlov (princíp priestorového videnia, ktorý má aj ľudské oko). Výstupom týchto metód sú 3D modely meraného miesta. Sú vhodné najmä pre sledovanie plastických defektov, ktoré sú zle viditeľné na plnom riadkovom obraze a tým vhodne dopĺňajú celý systém videoinšpekcie [2].

C) Optické metódy

V oblasti optických metód sa vyhodnocoval najmä potenciál využitia laseru a laserových meračov vzdialenosti. Typickým modelom využitia na výskum pri hľadaní konštrukcií nedostatkov a defektov sú v súčasnej dobe laserové zameriavače, ktoré dokážu poskytovať, s dostatočne vysokou frekvenciou, mračná bodov a pre každý z bodov v získanom mračne na svojom výstupe poskytujú odmeranú vzdialenosť od referenčného bodu optometrickej sústavy. Linearizáciou a vektorizáciou potom hľadáme taký model, ktorý sa odlišuje o konfigurovateľné diferencie od referenčného modelu koľajiska. Hľadaním anomálií porovnaním zvektorizovaného modelu koľajiska voči referenčnému modelu sme potom schopní identifikovať na trati miesta, ktoré sú potenciálnymi miestami s defektami na železničnej infraštruktúre. Metódy odmeriavania z mračen bodov sú vhodné najmä pre zisťovanie defektov, ktorých charakteristickým prejavom sú posuny v osi z (náhody/dole), ktoré dopĺňajú predchádzajúce dve oblasti v pre nich najslabšom mieste [2].

3.2 Snímacie zariadenie

V rámci riešenia výskumného projektu „Výskum nových javov a pozorovateľných skutočností diagnostických systémov novej generácie v priemyselnej výrobe a v dopravnom priemysle – výskum fyzikálne podstaty automatizovaného systému video inšpekcie koľajového roštu“ bolo skonštruované technické zariadenie na automatickú detekciu stavu koľajového roštu, ktoré pozostáva zo snímacieho zariadenia (obr. 1) a z dátovej skrine umiestenej v diagnostickom vozidle, ktorá je znázornená na obrázku 2.



Zdroj: [2]

Obr. 1 Kameraný systém pre snímanie dát



Zdroj: [2]

Obr. 2 Technológia zberu dát umiestnená vo vnútri vozidla

Základná charakteristika snímacieho systému vyvinutého na automatickú detekciu technického stavu koľajové roštu je uvedená v tabuľke 1.

Tab. 1. Charakteristika použitého snímacieho systému

| Parameter | Hodnota |
|----------------------------------|------------------------|
| Dopravná rýchlosť | až 250 km / h |
| Počet lineárnych kamier | min. 4 |
| Snímacia frekvencia kamier | min. 60 kHz |
| Rozlíšenie kamier | min. 1024 px na snímku |
| Počet videoinspekčných kanálov | v 4-16 |
| Vzdialenosť medzi dvoma snímkami | od 0,5 mm |
| Farebná hĺbka | 12 bit |

3.3 Merania v rámci prebiehajúceho výskumu

Z hľadiska skúmaných parametrov bol výskum automatickej identifikácie defektov na koľajovom rošte v počiatočnej fáze zameraný na hľadanie takých defektov, ktoré sú dôležité pre konštrukčné prvky železničného zvršku a jeho súdržnosti pri údržbe železničnej dopravnej cesty. Jedna sa teda o automatickú identifikáciu poškodenia koľajového roštu, ktoré sú významné z hľadiska udržiavania bezpečnosti železničnej prevádzky.

Snímky boli zaobstarané sadou lineárnych kamier, ktoré snímajú celú šírku koľajového roštu s doplnkovým snímkovaním profilu koľajnice zo strany. Hlavné snímkovanie koľajového roštu prebieha nasledovne:

- snímanie lineárneho obrazu prebiehalo sadou kamier,
- obraz sa sníma vo viditeľnej časti svetelného spektra,
- ide o snímanie obrazu z pohľadu zhora,
- pre zachytenie celej šírky koľajového roštu sú potrebné tri kamery, kde dve krajné, zachytávajú pravú a ľavú koľajnicu a tretia kamera, umiestnená uprostred, zachytáva strednú časť roštu,
- výsledný obraz tohto typu snímania je poskladaný zo všetkých troch kamier programom,
- jedná sa o lineárne kamery, keď dochádza s vysokou frekvenciou snímkovania k záznamu vždy líniových scanov,
- vysoká frekvencia snímkovania zaisťuje, že i pri rýchlostiach do 100 km/h sa darí snímkovať prúžky o šírke rádovo v milimetroch,
- skladaním nasnímaných scanov a zložením obrazu zo všetkých troch kamier v jednej línii, získavame kompletný obraz koľajového roštu.

Výsledný obraz je analyzovaný algoritmi pre rozpoznávanie objektov v obraze a podľa preddefinovanej sady modelov defektov železničného roštu. Systém automatizovane vyhodnocuje kvalitu meraných úsekov železničného roštu. Systém poskytoval kontinuálne zachytenie a spracovanie informácií o stave železničnej trate a jej súčastí.

Jednotlivé rezy snímok s nevyhnutným prekrytím v diaľkovom smere koľajnic boli postupne vyhodnocované špecializovaným softvérom. Analytický program mal implementované metódy pre rozpoznávanie objektov v obraze, metódy pre vektorizáciu nájdených signifikantných línii v obraze a ich prevod na matematický popis vektorov. Tento matematický opis bude štatisticky porovnávaný so sadou naučených modelov.

Počas skúmania a hodnotenia vykonaných činností automatickej diagnostiky koľajového roštu navrhnutý systém zaznamenáva a hodnotí tieto druhy udalostí:

- povrchové chyby a trhliny na hlavách koľajnic, jazykov a srdcoviek,
- povrchové chyby a trhliny podvalov a pevnej jazdnej dráhy,
- kompletnosť uzlov upevnenia,
- správnu pozíciu jednotlivých súčastí uzlu upevnenia,
- deformácia jednotlivých súčastí koľajového roštu, s prípadnou detekciou chýb a trhlín na jasne viditeľných súčastiach,
- veľkosť dilatačných škár,
- úplnosť podvalov,
- profil koľajového lôžka,
- stav lisov (deformácia, stav izolačných vložiek, známky „horenia“).

Každý typ udalosti si vyžaduje odlišný prístup k vyhodnocovaniu a využitiu, odlišné rozloženie pravdepodobnosti pre vyhodnotenie a označenie úseku pre daný typ kategorizácie detegovanej poruchy podľa identifikovaného modelu. Pre každý z modelov sa uskutočňovali testy, vyhodnotenie a nastavenie prevádzkovo optimálnych parametrov.

Dátové hospodárstvo a bezpečnosť IKT v oblasti diagnostiky a metrológie je tiež súčasťou výskumnej úlohy v rámci riešeného projektu. Je to nutnosťou vzhľadom na rozsah a povahu zbieraných a vyhodnocovaných informácií. Základný výskum realizovaného projektu v ďalších etapách výskumu posúdi inteligenciu rôznych systémov vrátane hardvéru a softvéru pre bezkontaktné meranie video inšpekcie železničného roštu.

Identifikácia konštrukčných prvkov koľajového roštu pre detekciu v rámci vykonávaného výskumu bola nasledovná :

- svorka Skl 14 a jej prítomnosť v uzle upevnenia,

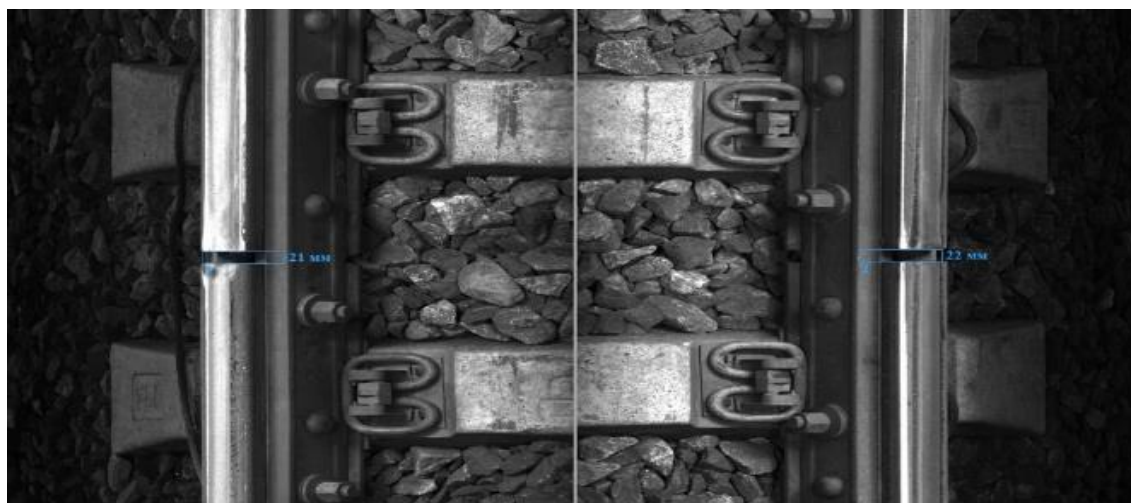
- prítomnosť vrtule R1,
- podložka pod päť koľajnice WS-7,
- spona FC 1501 a jej prítomnosť v uzle upevnenia,
- izolátor spony,
- bočné izolátory,
- podložka pod päť koľajnice 6530 a jej prítomnosť v uzle upevnenia,
- kotva v podvale,
- svorka T a jej prítomnosť v uzle upevnenia,
- vrtule R1 s krúžkom Fe6 a jej prítomnosť v uzle upevnenia.

Na obrázku 3 môžeme vidieť identifikované defekty na koľajovom rošte v rámci uskutočnených meraní. Následne je na obrázku 4 možné vidieť ďalší príklad defektu v konštrukcii koľajového roštu. Ide o identifikáciu dilatačnej špáry a jej odchýlku od predpísaných noriem.



Zdroj: [2]

Obr. 3 Prasknutá svorka Skl 14



Zdroj: [2]

Obr. 4 Detekcia defektov dilatačnej špáry

Záver

Vzhľadom k štádiu riešenia výskumného projektu je predpoklad ďalších výskumných úloh, ktoré je nevyhnutné uskutočniť, aby sa dosiahla inovatívna automatická detekcia chýb koľajového roštu. V ďalšom skúmaní je nevyhnutné sa zamerať na:

- odmeriavanie pomocou laserových detektorov a meračov pomocou mračen bodov, vektorizáciu a linearizáciu získaných modelov skúmaného miesta,
- odmeriavanie vzdialeností bodov, konštrukcie 3D modelov a využitie týchto 3D modelov pri porovnávaní voči referenčným modelom s využitím 3D kamier.

Zároveň je nevyhnutné doriešiť aj oblasti:

- testovania video inšpekčného zariadenia a nových matematických algoritmov,
- optimalizácie dátového zberu, archivácie, vyhodnocovania, interpretácie, distribúcie a redistribúcie dát z meracích vozidiel na diagnostické pracoviská,
- vypracovanie experimentálneho elektronického nástroja pre inteligentný diagnostický systém videoinspekcie kovových častí a železničného roštu.

Napriek značne náročným úlohám a časovej náročnosti, ktoré je nevyhnutné vykonať v systéme automatickej detekcie chýb koľajového roštu je možné konštatovať, že dochádza k výrazným posunom a inováciám v oblasti údržby železničnej infraštruktúry. Navrhnutý systém automatickej detekcie koľajového roštu môže výraznou mierou prispieť k zvýšeniu bezpečnosti prevádzkovania železničnej dopravy, ako aj následne optimalizovať náklady na údržbu železničnej infraštruktúry.

Literatúra

- [1] FEDORKO, G., MOLNÁR, V., BLAHO, P., GAŠPARÍK, J., ZITRICKÝ, V. 2020. Failure analysis of cyclic damage to a railway rail – A case study. *Engineering Failure Analysis* vol. 116, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2020.104732
- [2] Smratronic, s.r.o., Podrobnejšia súhrnná správa základného výskumu spoločnosti SMARTRONIC, s.ro. za hodnotené obdobie pre oponentúru 01. 01. 2019 - 31. 12. 2019. Bratislava, 2020.
- [3] IŽVOLT, L., ŠESTÁKOVA, J., ŠMALO, M. *Železničné staviteľstvo 2: diagnostika, mechanizácia prác a technologické postupy údržby železničnej jazdnej dráhy*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, s. 313, 2015, ISBN 978-80-554-1169-9.
- [4] IŽVOLT, L., HODAS, S. ŠESTÁKOVÁ, J. *Železničné staviteľstvo 1: projektovanie, stavby a konštrukcie železničných tratí a staníc*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, s. 561, ISBN 978-80-554-1122-4.
- [5] Železnice Slovenskej republiky, S 3-3 Chyby koľajníc, 2019, Predpis ŽSR
- [6] Železnice Slovenskej republiky, TS 3-4, Nedeštruktívne skúšanie koľajníc, 2013, Predpis ŽSR
- [7] XIE, J., HUANG, J., ZENG, C., JIANG, S., PODLICH, N. (2020). Systematic literature review on data-driven models for predictive maintenance of railway track: Implications in geotechnical engineering. *Geosciences (Switzerland)*, vol. 10, č. 11, s. 1-24. doi:10.3390/geosciences10110425
- [8] LYNGBY, N. Railway Track Degradation: Shape and Influencing Factors. *Int. J. Perform. Eng.* 2009, vol. 5, č. 2, s. 177-186.
- [9] JAMSHIDI, A.; HAJIZADEH, S.; SU, Z.; NAEIMI, M.; NÚÑEZ, A.; DOLLEVOET, R.; De SCHUTTER, B.; LI, Z. A decision support approach for condition-based maintenance of rails based on big data analysis. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2018, vol. 95, s. 185–206.
- [10] SHEERAN, R.; KAY, M. *A Short Guide to Network Rail*; National Audit Office: London, UK, 2015

Článok vznikol v rámci riešenia projektu: „Výskum nových poznatkov a pozorovateľských skúseností diagnostických systémov novej generácie v priemyselnej výrobe a v dopravnom priemysle – výskum fyzikálnej podstaty automatizovaného systému video inšpekcie koľajového roštu“, ktorý je podporovaný Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci poskytnutých stimulov pre výskum a vývoj zo štátneho rozpočtu v zmysle Zákona č. 185/2009 Z. z. Registračné číslo projektu: 2018/14571:1-26C0.