

Vedecký príspevok / Scientific article
Recenzované / Review: 14. 12. 2023
<https://doi.org/10.24040/eas.2023.24.2.86-98>



Možnosti využitia Internet of Things zariadení v doprave v podmienkach miest SR

Potential of IoT Devices: Transportation in Slovak Cities

Marek Gróf^{a*}, Peter Džupka^b

^aEkonomická fakulta, Technická Univerzita v Košiciach, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8542-8521>

^bEkonomická fakulta, Technická Univerzita v Košiciach, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8947-6555>

Abstract:

Current development of information technology offers a wide number of possible data collection approaches, but it is often limited by economic or legal barriers. Cities in Slovakia have a wide range of possible data sources available concerning their inhabitants, services and properties. However, targeted data collection is often lacking when it comes to transport. Larger cities face problems related to traffic congestion and safety, where data of sufficient quality is essential for managing traffic flows and monitoring the condition of roads and parking. This paper focuses on analyzing experience from other countries that use IoT devices to collect data in the field of transport. The goal is to provide inspiration and guidelines for the effective collection of relevant data in Slovak cities. The introduction of these technologies could contribute to better traffic management, increased traffic safety and more efficient use of parking capacities, which would significantly contribute to the development of smart and sustainable cities in Slovakia.

Key words: *IoT. City transport. Data sources. Data-based decision making.*

JEL Classification: R41. R58.

Úvod do problematiky

Zber dát ako zdroja pre tvorbu relevantných rozhodnutí tvorcov politik a rôznych subjektov najmä verejnej správy je v súčasnej dobe kľúčový. Na jednej strane vývoj informačných technológií otvára široké spektrum možností ich aplikácie pre zber údajov, no na druhej strane

* Korešpondujúci autor: Marek Gróf

Ekonomická fakulta, Technická Univerzita v Košiciach, Némcevej 32, 040 01 Košice

e-mail: marek.grof@tuke.sk

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

stoja obmedzenia často ekonomického alebo legislatívneho charakteru. Z pohľadu mesta alebo verejnej inštitúcie môže byť v mnohých prípadoch zber a ukladanie určitých údajov povinné na základe zákona alebo nariadení.

Mestá a obce na SR disponujú už v súčasnosti pomerne rozsiahlymi zdrojmi dát o svojich občanoch a skutočnostiach súvisiacich buď s prenesenými alebo originálnymi kompetenciami miest a obcí. V mnohých prípadoch ide o údaje z kategórie osobných a demografických, ktoré sú zbierané v rámci evidencie obyvateľstva. Z týchto údajov je možná identifikácia migračných tokov obyvateľov a základná demografická analýza. Druhou početnou skupinou sú údaje plynúce z poskytovaných služieb mestom alebo obcou, do ktorých je možné zaradiť napr. informácie o poplatkoch FO a PO (za odpad, za psa, za automaty a pod.). Ďalšou skupinou sú údaje zachytávajúce majetok miest a obcí a rôzne geografické údaje (GIS, plány rozvoja, kataster a pod.)

V oblasti dopravy a jej riadenia sa údaje zbierajú skôr vo väčších mestách so zriadenou mestskou dopravou, nakoľko menšie mestá a obce sa zameriavajú na nevyhnutný alebo povinný okruh zberu a publikovania údajov (sieť miestnych komunikácií), ktoré pre potreby rozhodnutí v oblasti dopravy vyžadujú realizovanie cieľného zberu dát. Mestá a obce, ktoré prevádzkujú zložitejšiu dopravnú sieť a sú nútené riešiť výrazné súčasné zmeny v doprave, čoraz častejšie narážajú na problém zberu dát.

Hlavnými oblastami problémov miest a obcí v oblasti dopravy alebo s dopravou súvisiacimi sú:

Kongescia dopravy – zhusťovanie a tvorba „zápchy“ v dopravných tokoch v rámci miest alebo okolí. S týmto problémom súvisí aktívna potreba riadenia dopravných tokov, plánovanie, výstavba novej alebo zmena existujúcej vybudovanej infraštruktúry. Zber údajov popisujúcich dopravnú situáciu v časovom vývoji je preto nevyhnutný. Často sa jedná o jednorazovú analýzu vo forme dopravného sčítavania pre potreby tvorby strategických dokumentov, alebo podporných analýz pre investičné plánovanie. Ekonomické a časové náklady sú v prípade zberu takýchto dát značné.

Druhou oblasťou je bezpečnosť premávky a s ňou súvisiace aspekty dopravnej siete. Monitoring zjazdnosti a kvality vozoviek je kľúčovým faktorom. V súčasnosti sa monitoring miestnych komunikácií (ciest a chodníkov) vykonáva neperiodicky na podnety od občanov, hliadok mestskej polície, zamestnancov technických služieb a podobne. Väčšinou sa jedná o vizuálne posúdenie stavu vozovky a posúdenie rozsahu opravy/výmeny. Úpravy a opravy chodníkov sa väčšinou realizujú spolu s inými súvisiacimi rekonštrukčnými prácami. Mestá a obce nemajú cieľné nástroje na monitorovanie tohto stavu. Tu je potrebné podotknúť, že

množstvo ciest aj v rámci miest a obcí je v správe príslušného kraja alebo Slovenskej správy ciest, ktorá monitoruje stav týchto vozoviek na ročnej báze. Tieto údaje sú dostupné v obmedzenom rozsahu na požiadanie, prípadne prioritne pre jednotlivé cestmajsterstvá.

Parkovanie motorových vozidiel predstavuje neustále zväčšujúci sa problém urbanizovaných centier, hlavne tých, ktoré svoju kapacitu dovŕšili alebo ju prekračujú (najmä časti krajských miest a hlavného mesta SR). Riešenie problému je niekoľko no najmä:

Znižovanie počtu vozidiel v meste – obmedzenia parkovania, zmena dopravného správania sa - prechod na iný mód dopravy a pod.,

zvyšovanie počtu parkovacích miest – prekresľovaním, zmenami parkovacích zón, výstavbou nových,

optimalizácia využitia parkovacej kapacity – systémy inteligentného parkovania, záchytné parkoviská, a pod.

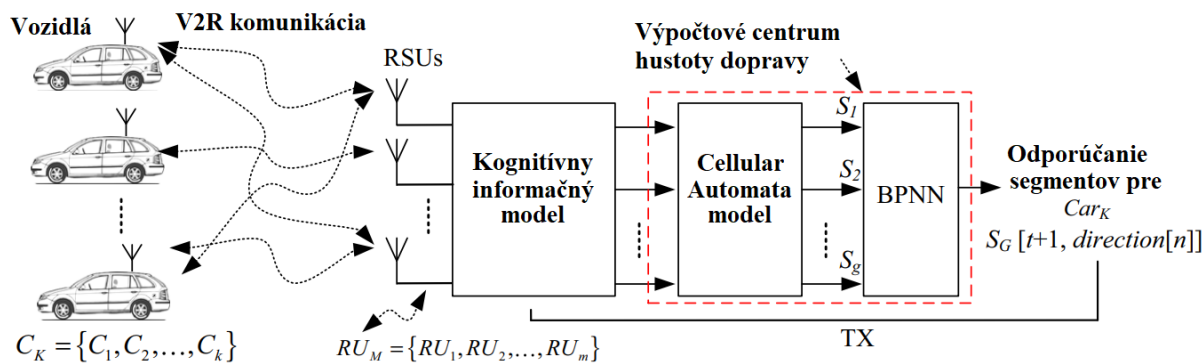
Riešením môže byť aj kombinácia viacerých opatrení. V každom prípade je parkovanie v meste dynamický fenomén, ktorý sa mení počas dennej doby ale aj sezónne. Relevantné údaje o miere využívania parkovania v mestách je v podmienkach SR veľmi málo. Cieľom tohto článku je analýza dobrých praktík zaberajúcich sa využívaním zariadení IoT (Internet of Things) pri zbere dát relevantných pre riešenie problémov spojených s dopravou v mestách v zahraničí a posúdenie možnosti ich využitia v podmienkach miest na SR.

1 Popis súčasného stavu

Na základe realizovaného prieskumu aktuálneho stavu poznania a implementácie IoT riešenie pre dopravu je možné konštatovať, že aj keď potenciál možných riešení je široký, skutočne implementované riešenia v reálnom prostredí sú zatiaľ zriedkavé. Je možné však vyčleniť niekoľko hlavných oblastí, v ktorých by tieto riešenia mohli byť prínosné.

1.1 Zvyšovanie efektivity cestnej siete

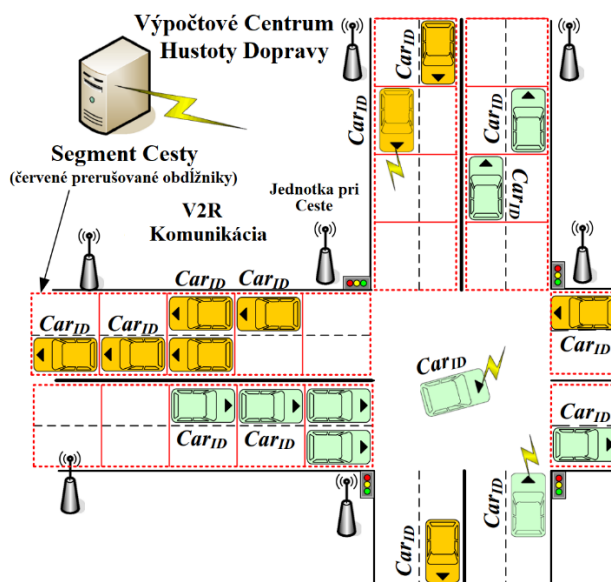
Prvou potenciálnou oblasťou je monitorovanie a riadenie toku dopravy predovšetkým v mestskom prostredí. Jedným z možných prístupov je modelovanie a riadenie dopravy pomocou sofistikovaných modelov na báze celulárnych automatov, teda komplexných simulačných modelov (Horng, 2016). Podľa autorov, za predpokladu, že automobily by v mestskej oblasti odovzdávali do centrálnemu systému svoje naplánované trasy, je možné optimalizovať toky dopravy v jednotlivých častiach mesta. Technické riešenie obojsmernej komunikácie s vozidlami navrhujú riešiť s využitím prístupov kognitívneho rádia, teda dynamického využívania dostupných frekvenčných pásiem.



Obrázok1 Schéma dvojcestnej komunikácie o plánovaných a odporúčaných trasách.
Zdroj: Horng 2016

Na základe zozbieraných dát o plánovaných trasách by bolo možné následne v reálnom čase upravovať odporúčania pre jednotlivé vozidlá v systéme, zvyšujúc efektivitu celého dopravného systému. Prístup simulovania s pomocou celulárnych automatov je využívaný, v kombinácii s rozdelením územia na segmenty, na prevádzku systému schopného dynamicky reagovať na novo pribúdajúce požiadavky na trasy ako aj zmeny vo vyťaženosti jednotlivých segmentov v reálnom čase, pri súčasných technických nárokoch.

V uvedenej štúdii autori vyhodnocujú aj očakávané prínosy takto postaveného systému v porovnaní s tradičnejšími riešeniami.



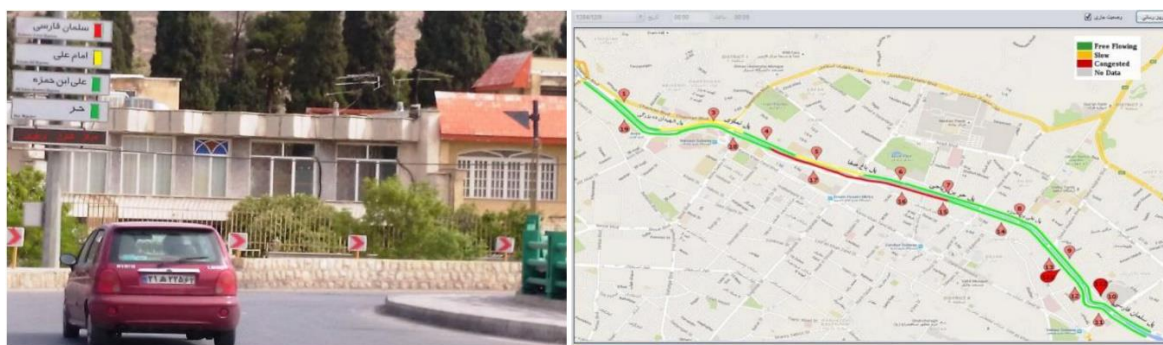
Obrázok 2 Implementácia cellular automata modelu pre optimalizáciu dopravy.
Zdroj: Horng 2016

Praktickú aplikáciu riešení pre monitorovanie a riadenie plynulosti premávky predstavuje aj prípad komunikácie Shiraz Dry River’s bypass v Iráne (Sodagaran, 2016). Tu je hlavná komunikácia rozdelená na úseky, ktoré sú monitorované kamerovým systémom. Na každom úseku je následne z kamerového záznamu identifikovaná priemerná rýchlosť premávky.



Obrázok 3 Meraniepriemernejrýchlostipremávky kamerovým systémom.
Zdroj: Sodagaran 2016

Z kamerových záznamov je najprv identifikovaná rýchlosť prejazdu jednotlivých vozidiel pomocou algoritmu pre rozoznávajú hraníc objektov. Následne tieto rýchlosti prejazdu jednotlivých vozidiel predstavujú vstup pre štatistický model, ktorý z týchto dát v reálnom čase v kombinácii s historickými dátami (ako je presnosť minulých odhadov, dáta o fázach premávky v priebehu dňa alebo týždňa) odhaduje priemernú rýchlosť toku premávky. Po vyhodnotení sú pre jednotlivé úseky komunikácie vydané odporúčania pre motoristov pre zotrvanie na komunikácii alebo využitie alternatívnych trás, ktoré sa v reálnom čase aktualizujú na svetelných tabuliach vhodne umiestnených na miestach pozdĺž komunikácie, v ktorých vedú vodiči urobiť relevantné rozhodnutia o pokračovaní v jazde alebo odbočení na výjazd a využití alternatívnej trasy.



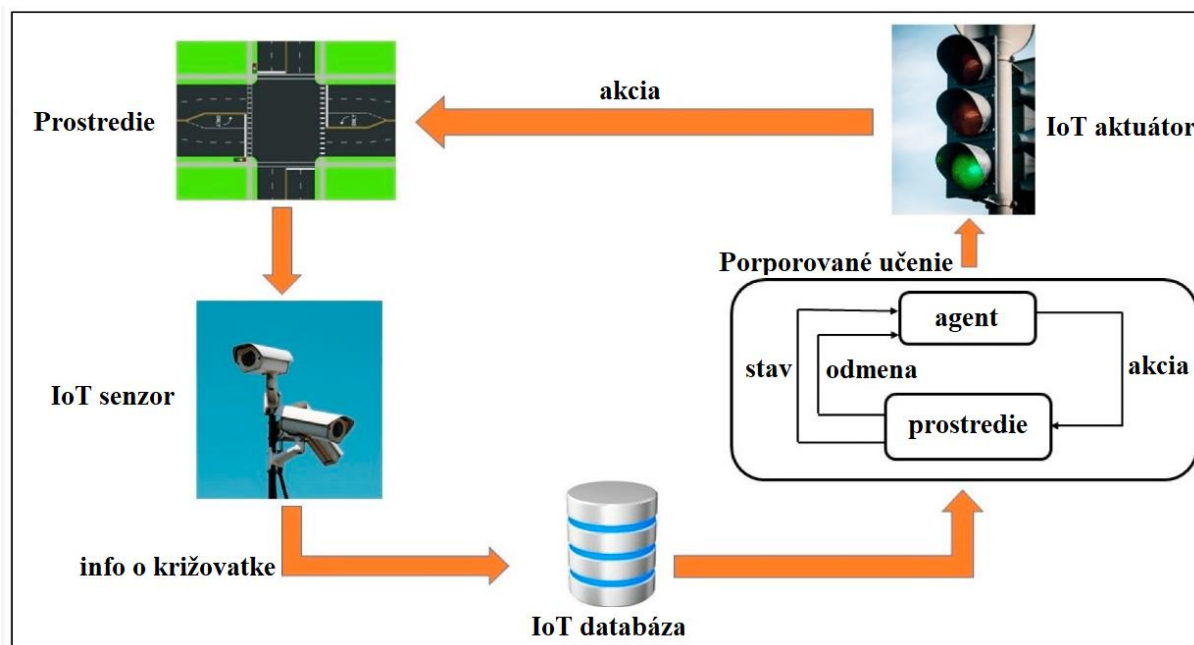
Obrázok4 Monitorovanie a riadenie toku dopravy v reálnom čase na Shiraz Dry River bypass.
Zdroj: Sodagaran 2016

Testovanie v reálnej prevádzke preukázalo zvýšenie plynulosti a priemernej rýchlosti premávky v danom kritickom úseku.

Okrem uvedených existuje široké spektrum monitorovania alebo riadenia dopravy či už pomocou kamier (Buch, 2011), senzorov (Kanathantip, 2010; Odat, 2018) alebo komunikácie s vozidlami v cestnej sieti (Dubey, 2017; Sarrab, 2020; Haghani, 2013). Zároveň sa rozširujú

aj možnosti spracovania a vyhodnocovania týchto dát na základe štatistických prediktívnych modelov a využitia umelej inteligencie (Khedkar, 2021).

Ďalšou rozvíjajúcou sa oblasťou je nahrádzanie statických preddefinovaných algoritmov pre semafore systémi schopnými v reálnom čase reagovať na skutočný tok dopravy (Atta, 2020; Islam, 2016; Talukder, 2017). Cieľom je zvýšiť priechodnosť kritických úsekov reagovaním na aktuálne potreby dopravnej situácie. Príklad implementácie (Damadam, 2022) IoT pre podporu efektívnosti dopravnej signalizácie počíta s využitím Multi-Agentového modelu podporovaného učenia sa na reálnych dopravných dátach. Tieto dáta pre jednu križovatku sú zbierané z kamerového systému inštalovaného na priamo na križovatke, no zároveň pracuje aj s dátami zbieranými z okolitých križovatiek smerujúcich dopravu k danej križovatke. Systém podporovaného učenia sa umožňuje časom systém zlepšovať zavádzaním náhodných alebo cielených úprav časovania dopravnej signalizácie. Dopady týchto zmien sú analyzované a zmeny zlepšujúce efektívnosť systému sú dlhodobo integrované do rozhodovacieho systému, zmeny vedúce k negatívnym dopadom sú odstránené. Takouto postupnou iteráciou zmien je postupom času možné dosiahnuť vyššiu efektívnosť celého systému.



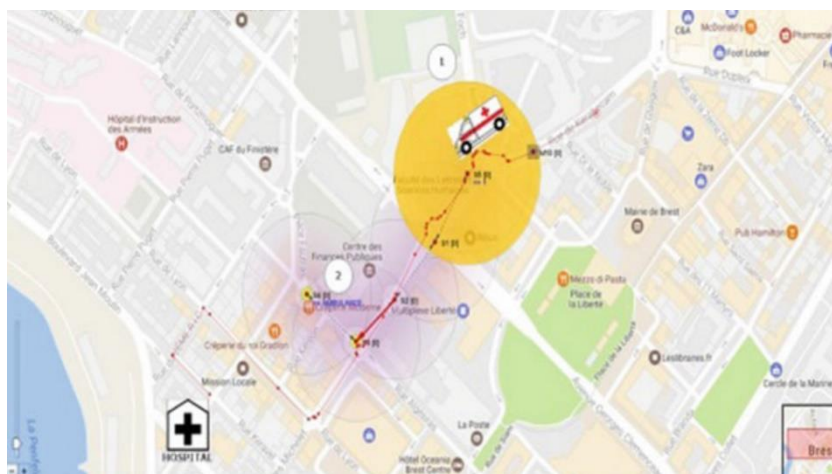
Obrázok 5 Podporované učenie sa IOT systému pre inteligentné riadenie systému semaforov. Zdroj: Damadam 2022

IoT podporované riadenie dopravy v križovatkách môže využívať aj iné modelovacie metódy ako je prístup založený na genetických algoritmoch, neurónových sieťach alebo algoritmoch s fuzzy logikou (Yusuf, 2021).

1.2 Bezpečnosť

Druhou oblasťou je riešenie problematiky bezpečnosti v doprave, kde by IoT riešenia mohli pomôcť pri zdieľaní informácií o rizikách ako sú poškodenia povrchu vozovky, nebezpečné objekty alebo prekážky na ceste, environmentálne riziká alebo iné riziká v reálnom čase a to buď priamou komunikáciou medzi vozidlami alebo komunikáciou medzi vozidlom a infraštruktúrou. Prvým krokom je zvýšenie presnosti identifikácie polohy vozidiel, ktoré je možné s využitím kombinácie existujúcich riešení na báze RFID (radio-frequency identification), GPS alebo GSM (Global system for Mobile communication) technológií (Prinsloo, 2016). Rozšírením o dáta ohľadne okolia a správania samotného vozidla (Zhu, 2017) je možné vytvoriť komunikačný systém schopný upozorňovať účastníkov premávky na vzniknuté prekážky alebo nebezpečenstvo. Takéto riešenia by viedli k zvýšenej pozornosti vodičov v rizikových situáciách a pomáhali by tak predchádzať dopravným nehodám (Thakur, 2017). Možnosťou je aj aktívny monitoring dopravy pre zníženie nehodovosti (Aldegheishem, 2018).

Ďalším aspektom bezpečnosti pri doprave je riešenie situácií kedy už ku dopravným nehodám dôjde, napríklad zefektívnením manažmentu zasahujúcich zložiek (Sumi, 2018) alebo uprednostnením a aktívnym riadením prechodu zasahujúcich vozidiel (Sumi, 2018).

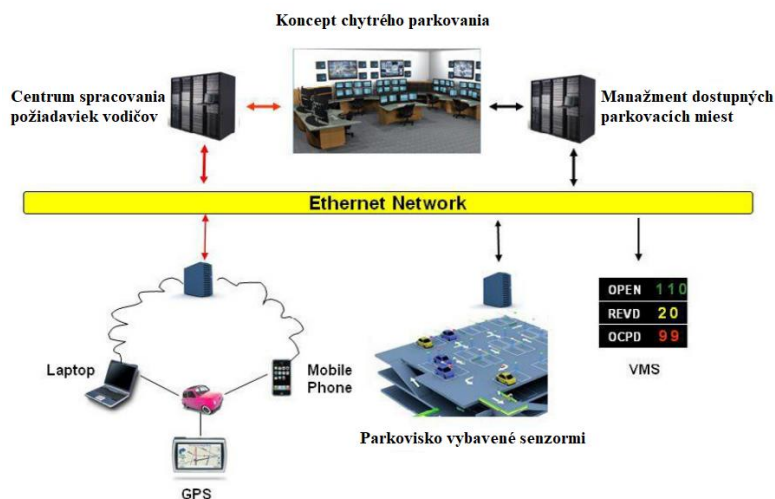


Obrázok 6 Aktívny manažment pre jazdu zasahujúcich vozidiel v premávke.
Zdroj: Sumi 2018

Tu môžu IoT riešenia viesť ku prenosu informácií z havarovaného vozidla ku príslušným bezpečnostným zložkám, zlepšujúc tak reakčný čas pri riešení týchto situácií (Lenin, 2021).

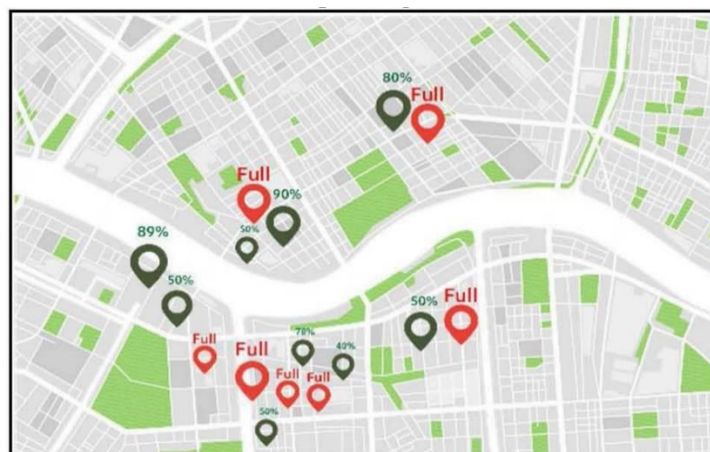
1.3 Parkovanie

Ďalšou oblasťou s vysokým potenciálom pre zlepšenie dopravnej situácie využitím IoT riešení je oblasť parkovania v mestách. Tu by systém inteligentného parkovania s možnosťou poskytovania informácií v reálnom čase mohol viesť ku zníženiu hustoty dopravy a znečistenia v centrách miest znížením počtu vozidiel hľadajúcich voľné parkovacie miesto (Al-Turjman, 2019; Geng, 2012; Hassoune, 2016; Anwar, 2021).



Obrázok 7 Schéma konceptu inteligentného parkovania.
Zdroj: Geng 2012

Väčšina týchto prístupov počíta s monitorovaním voľných parkovacích miest a následným sprostredkovaním týchto informácií vodičom hľadajúcim miesto prostredníctvom aplikácií.



Obrázok 8 Mapa dostupnosti parkovacích miest aktualizovaná v reálnom čase.
Zdroj: Anwar 2021

Tento systém je následne možné rozšíriť o online formy platieb za parkovacie miesta, čo zvýši efektívnosť využitia parkovacích miest. Možným krokom je aj zriadenie rezervačného systému parkovania, výrazne zvyšujúci komfort užívateľov systému.

1.4 Odporúčania

Tieto identifikované dobré praktiky predstavujú technológie v rôznej miere škálovateľnosti a zložitosti. Ďalším aspektom je proces implementácie takýchto riešení v podmienkach slovenských miest a obcí. Z tohto dôvodu budú na základe názoru autorov uvedené odporúčania v poradí od najjednoduchšie implementovateľné/realizovateľné až po tie najzložitejšie.

Z ekonomického hľadiska je najmenej náročným a najjednoduchším riešením monitorovanie toku dopravy v meste použitím kamerového systému. Množstvo súčasných kamerových systémov miest a obcí je po nenáročnej softvérovej úprave schopných zaznamenávať prejazdy vozidiel v sledovanom úseku. Ani riešenia využívajúce ANPR (Automatic Number-plate Recognition) kamery nie sú už v súčasnosti nákladným riešením. Správnym umiestnením týchto zariadení na hlavných uzloch v mestách je možné kontinuálne merať smerové toky vozidiel aj s podielom tranzitu (párovanie značiek na vstupe/výstupe z/do zóny). Väčšina týchto kamier vie identifikovať rizikové incidenty ako napr. jazda v protismere, cyklista alebo chodec na ceste, zápchy, nehody, požiar a pod., čím by prispeli aj k zvýšeniu bezpečnosti premávky.

Rozšírením tohto systému by bolo prepojenie na systémy riadenia dopravy s cieľom dynamickej úpravy napr. časovania svetelnej signalizácie v dopravných špičkách a podobne

Ďalším z možných spôsobov využitia IoT zariadení je meranie kvality ciest a chodníkov, využívaním prostriedkov zdieľanej mobility ako sú napr. bicykle, kolobežky a vozidlá, nakoľko majú tieto zariadenia minimálne modul odosielania GPS súradníc a teda možnosť sledovania polohy prostriedku a využitím časopečiatky aj rýchlosti prostriedku. Výrazné zmeny v rýchlosti, obchádzky, prejazdy a podobne môžu signalizovať problém cestnej komunikácie (bariery na vozovke). Náročnosť takéhoto zdroja dát a ich analýzy závisí od poskytovateľov zdieľanej mobility a ich ochoty spolupráce s mestom alebo obcou.

Inteligentné systémy parkovania sú efektívnym nástrojom pre riadenie a maximalizáciu využitia parkovacej kapacity, avšak vzhľadom na počet a umiestnenie parkovacích miest vo väčšine slovenských miest predstavujú technický a finančný problém. Čiastočné nasadenie takýchto systémov je možné v kontrolovaných parkovacích domoch a parkoviskách. V budúcnosti kedy by každé vozidlo bolo vybavené aktívnym GPS lokátorom, by bolo možné takúto službu podstatne jednoduchšie realizovať.

V rámci uskutočnenej rešerše je možné konštatovať, že autori, ktorí sa zaoberali problematikou smrti zamestnanca sa venovali predovšetkým zákonnému zneniu Zákonníka

práce (a aj to len okrajovo), ktoré je samo o sebe oklieštené. Problematika smrti v pracovnom práve ako celok, alebo čiastkovo problematika smrti zamestnanca, či zamestnávateľa nebola doposiaľ komplexne spracovaná. Z toho dôvodu považuje autorka za dôležité sa v predloženom článku zaoberať smrťou zamestnanca aj v širšom kontexte, ako to ponúka paragrafové znenie Zákonníka práce, a to s prihliadnutím jednak na možnosť predpokladu smrti zamestnanca v prípade smrteľnej choroby, či na to, že smrť zamestnanca môže mať vplyv aj na iné osoby ako zamestnávateľa – ako napríklad kolegov, či pozostalých po zosnulom zamestnancovi. Cieľom predloženého článku je teda zosumarizovať a analyzovať dostupné poznatky týkajúce sa smrti zamestnanca vyplývajúce zo zákonného znenia Zákonníka práce, ako aj hľadať odpovede na otázky pri riešení reálnych situácií, ktoré môžu na smrť zamestnanca nadväzovať a to tak, aby to bolo nielen v súlade so Zákonníkom práce, či v súlade s celým právnym poriadkom, ale aj morálnymi či etickými hodnotami.

Výsledky, ktoré autorka v predloženom článku predkladá, vychádzajú teda predovšetkým z rozboru slovenskej právnej úpravy, ako aj ďalších prameňov práva, a to dostupných kolektívnych zmlúv rôznych zamestnávateľov, či štatistík Národného inšpektorátu práce.

Záver

V kontexte moderného mestského plánovania a riadenia dopravy je zavedenie IoT riešení nevyhnutným krokom smerom k efektívnejšiemu, bezpečnejšiemu a udržateľnejšiemu dopravnému systému. Na základe identifikovaných dobrých praktík a vzhľadom na špecifické podmienky slovenských miest a obcí boli navrhnuté odporúčania, ktoré reflektujú postupné a škálovateľné zavedenie niektorých týchto technológií. Riešenia by mali byť implementované postupne, začínajúc od najjednoduchších a najmenej náročných a dostupných technológií. Z ekonomického hľadiska by monitorovanie toku dopravy pomocou kamerových systémov predstavovalo efektívne a dostupné riešenie. Integrácia s existujúcimi systémami riadenia dopravy by následne zvýšila jeho účinnosť. Pri zbere dát je rozhodujúce využívanie existujúcej infraštruktúry, ako napríklad prostriedky zdieľanej mobility. Tie by mohli predstavovať zdroj dát umožňujúci popisovanie kvality vozoviek prípadne identifikáciu bariér (napr. prechody). Niektoré technológie v oblasti parkovania sú už v prevádzke v súkromnej sfére (parkovacie domy a parkoviská) a ich čiastočná aplikácia v prípade mesta môže predstavovať schodnú cestu.

Implementácia týchto riešení vyžaduje úzku spoluprácu s poskytovateľmi služieb a dodávateľmi technológií, zapojenie sa do procesu zdieľanej mobility a súčinnosť s mestskými orgánmi. Spoločným úsilím a inováciami je možné vytvoriť mestské prostredie, ktoré je nielen efektívne, ale aj priateľské k obyvateľom a šetrné k životnému prostrediu.

Grantová podpora: Tento článok bol podporený projektom APVV-19-0263.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Horng, G. J. & Cheng, S. T. (2016). Using Intelligent Vehicle Infrastructure Integration for Reducing Congestion in Smart City. *Wireless PersCommun* 91, 861–883. <https://doi.org/10.1007/s11277-016-3501-8>
- [2] Sodagaran, A., Zarei, N., & Azimifar, Z. (2016). Intelligent Traffic Information System a Real-Time Traffic Information System on the Shiraz Bypass. *MATEC Web Conf.* 81, 04003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168104003>
- [3] Buch, N., Velastin, A., & Orwell, J. A. (2011). Review of Computer Vision Techniques for the Analysis of Urban Traffic. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(3), 920-939. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2119372>
- [4] Kanathantip, P., Kumwilaisak, W., & Chinrungrueng, J. (2010). Robust vehicle detection algorithm with magnetic sensor. *ECTI-CON2010: The 2010 ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 1060-1064.
- [5] Odat, E., Shamma, S., & Claudel, C. (2018). Vehicle Classification and Speed Estimation Using Combined Passive Infrared/Ultrasonic Sensors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(5), 1593-1606. <https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2727224>
- [6] Dubey, A., Lakhani, M., Dave, S., & Patoliya, J. (2017). Internet of Things based adaptive traffic management system as a part of Intelligent Transportation System (ITS). *2017 International Conference on Soft Computing and its Engineering Applications (icSoftComp)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICSOFTCOMP.2017.8280081>
- [7] Sarrab, M., Pulparambil, S., & Awadalla, M. (2020). Development of an IoT based real-time traffic monitoring system for city governance. *Global Transitions*, 2, 230-245. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.09.004>
- [8] Haghani, A., & Hamedi, M. (2013). Application of Bluetooth Technology in Traffic Detection, Surveillance, and Traffic Management. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 17(2), 107-109. <https://doi.org/10.1080/15472450.2013.786960>
- [9] Khedkar, S., Canessane, A., & Najafi, M. (2021). Prediction of Traffic Generated by IoT Devices Using Statistical Learning Time Series Algorithms. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/5366222>

- [10] Atta, A., Abbas, A., Khan, MA., Ahmed, G., & Farooq, U. (2020). An adaptive approach: Smart traffic congestion control system. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 32(9), 1012-1019. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.10.011>
- [11] Islam, M. R., Shahid, N. I., Karim, D. T., Mamun, A. A., & Rhaman, M. K. (2016) An efficient algorithm for detecting traffic congestion and a framework for smart traffic control system. *18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, PyeongChang, 802-807. <https://doi.org/10.1109/ICACT.2016.7423566>
- [12] Talukder, M. Z., Towqir, S. S., Remon, A. R., & Zaman, H. U. (2017). An IoT based automated traffic control system with real-time update capability. *8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2017.8204095>
- [13] Damadam, S., Zourbakhsh, M., Javidan, R., & Faroughi, A. (2022) An Intelligent IoT Based Traffic Light Management System: Deep Reinforcement Learning. *Smart Cities*, 5, 1293-1311. <https://doi.org/10.3390/smartcities5040066>
- [14] Yusuf, A., Arifin, A. S., & Zulkifli, F. Y. (2021). Recent development of smart traffic lights. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 10(1), 224-233. <https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i1.pp224-233>
- [15] Prinsloo, J., & Malekian, R. (2016). Accurate Vehicle Location System Using RFID, an Internet of Things Approach. *Sensors*, 16(6):825. <https://doi.org/10.3390/s16060825>
- [16] Zhu, H., Yuen, V., Mihaylova, L., & Leung, H. (2017). Overview of Environment Perception for Intelligent Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(10), 2584-2601. <https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2658662>
- [17] Thakur, A., Malekian, R., & Bogatinoska, D. C. (2017). Internet of Things Based Solutions for Road Safety and Traffic Management in Intelligent Transportation Systems. *Communications in Computer and Information Science*, 47-56. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67597-8_5
- [18] Aldegheishem, A., Yasmeen, H., Maryam, H., Shah, M. A., Mehmood, A., Alrajeh, N., & Song, H. (2018). Smart Road Traffic Accidents Reduction Strategy Based on Intelligent Transportation Systems (TARS). *Sensors*, 18(7):1983. <https://doi.org/10.3390/s18071983>
- [19] Sumi, L., & Ranga, V. (2018). Intelligent Traffic Management System for Prioritizing Emergency Vehicles in a Smart City. *International Journal of Engineering*, 31(2), 278-283. <https://doi.org/10.5829/ije.2018.31.02b.11>

- [20] Sumi, L., & Ranga, V. An IoT-VANET-Based Traffic Management System for Emergency Vehicles in a Smart City. *Recent Findings in Intelligent Computing Techniques*, 23–31. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8636-6_3
- [21] Lenin, J., Jyothi, M., Najiba, A., & Sheik, A. (2021). IoT based Emergency Handling Communication System for Medical and Traffic Rescue Teams. *Journal of Physics: Conference Series*, 1964. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1964/4/042053>
- [22] Al-Turjman, F., & Malekloo, A. (2019). Smart Parking in IoT-enabled Cities: A Survey. *Sustainable Cities and Society*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101608>
- [23] Geng, Y., & Cassandras, C. G. (2012). A new “Smart Parking” System Infrastructure and Implementation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 1278-1287. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.842>
- [24] Hassoune, K., Dachry, W., Moutaouakkil, F., & Medromi, H. (2016). Smart parking systems: A survey. *11th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/SITA.2016.7772297>
- [25] Anwar, A., Ijaz-ul-Haq., Saeed, N., & Saadati, P. (2021). Smart Parking: Novel Framework of Secure Smart Parking Solution using 5G Technology. *IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ISC253183.2021.9562776>