

SMART osvetlenie v (inteligentných) mestách

doc. Ing. Dionýz GAŠPAROVSKÝ, PhD., Ing. Peter JANIGA, PhD.,
STU FEI v Bratislave

1 ÚVOD

Verejné osvetlenie je neplatenou službou obyvateľom a návštevníkom našich miest a obcí. Okrem bezpečnosti je verejné (vo všeobecnosti mestské) osvetlenie dôležité na vytvorenie príjemnej atmosféry počas nočných hodín a na skrášlenie nočného prostredia. Pozemné komunikácie, ulice, bulváry, chodníky, námestia, parky, centrálné zóny, priemyselné zóny, parkoviská a obytné štvrte sa osvetľujú rôznym spôsobom. V súčasnosti sa rozvoj mestského osvetlenia do značnej miery spolieha na LED technológiu a zámerom je budovať systémy chytrého „smart“ osvetlenia so širokými možnosťami riadenia ako významnú súčasť inteligentných miest (*smart cities*). Osvetlenie už prestáva byť nezávislé od iných subsystémov infraštruktúry, čoraz viac sa integruje s dopravou, telekomunikáciami, inžinierskymi sieťami a pod. Zvlášť dôležité sú také interakcie, ktoré majú priamy vplyv na nastavenie cieľových parametrov osvetlenia: poveternostné podmienky, viditeľnosť, dopravné podmienky (hustota premávky, intenzita premávky, rýchlosť jazdy), prítomnosť užívateľov, ich pohyb, smerovanie, štruktúra, požiadavky atď. Tok dopravy patrí nepochybne k tým faktorom, ktoré si zaslúžia osobitnú pozornosť.

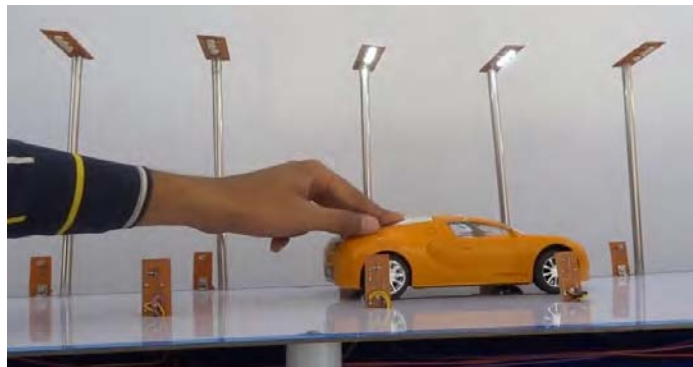
LED technológia priniesla do verejného osvetlenia celý rad výhod: vysoký merný výkon, precíznu optiku so želaným rozložením svetelného toku, možnosť voľby spektra, dynamické riadenie. Klasické svetelné zdroje mali značne obmedzené možnosti riadenia – typické bolo zníženie úrovne osvetlenia (zvyčajne na polovicu) v nočných časoch pri zníženej intenzite premávky. Stmievanie zabezpečovali centrálné regulátory umiestnené v rozvádzačoch verejného osvetlenia. LED svietidlá ponúkajú takmer neobmedzené možnosti riadenia osvetlenia: spínanie a stmievanie sa vyznačuje okamžitou odozvou a nemá negatívny vplyv na životnosť svetelného zdroja. Namiesto centrálneho stmievania sa vďaka bezdrôtovým systémom jednotlivé svietidlá dajú ovládať priamo. Tak sa dá poskytovať „osvetlenie na požiadavku“ (*lighting on demand*) – svietiť tam, kde treba, vtedy a toľko, ako je potrebné. Napriek dostupnosti technických riešení však stále postrádame metodiku na definovanie aktuálnych zrakových potrieb vodičov, cyklistov, chodcov a ostatných užívateľov komunikácií a spôsob, ako pre nich určiť a nastaviť tie správne parametre osvetlenia.

V dôsledku chýbajúcej metodiky, svietidiel bez „smart“ alebo „smart-ready“ funkcie a najmä kvôli dedičstvu starých sietí verejného osvetlenia s pripojenými rôznymi typmi svetelných zdrojov, svietidiel a osvetľovacích sústav sa nedá zabezpečiť optimálne riadenie osvetlenia a stále je bežnou praxou prevádzkovať osvetlenie na plnú úroveň počas celej noci. Je zrejmé, že ak porovnáme súčasný stav osvetlenia s optimálne navrhnutou osvetľovacou sústavou (vrátane riadenia), môžeme očakávať značný rozdiel energetickej náročnosti.

2 POJEM A CIELE SMART VEREJNÉHO OSVETLENIA

V podstate ešte ani neexistuje presná alebo aspoň medzinárodne dohodnutá definícia smart osvetlenia. V praxi sa používajú aj rôzne alternatívne výrazy. Medzinárodná komisia pre osvetlenie CIE preferuje pojem „adaptívne osvetlenie“ a používa preň dočasne definíciu, ktorá je uvedená ďalej v bode 2.1.

Tu treba upozorniť na skutočnosť, že v bežnej praxi sa smart osvetlením nazývajú aj rôzne spôsoby riadenia osvetlenia, ktoré však nespĺňajú predstavy o smart alebo inteligentnom osvetlení. Inými slovami, nie každé riadenie osvetlenia je skutočne aj smart. Ako vysvetlíme v tomto príspevku, v súčasnosti ešte ani poriadne nepoznáme požiadavky, ktoré má sústava smart osvetlenia spĺňať. No a na dôvažok, často sa za smart osvetlenie vydávajú aj také koncepčné riešenia, ktoré by sa smelo dali nazvať „hlúpymi“ a nie „chytrými“. Príklad je na obr. 1, podobné prezentácie sa však hemžia na webových stránkach, Youtube a pod. Na vysvetlenie, vodič automobilu musí vnímať situáciu v určitom rozsahu vzdialenosti pred sebou (v zmysle príslušnej metodiky od 60 m ďalej) a potrebuje osvetlenie úseku v tejto vzdialenosti s prípadným pokračovaním doľava či doprava, osvetlenie strechy auta skutočne nepotrebuje.



Obr. 1 Príklad modelu nesprávneho „smart“ osvetlenia komunikácie

2.1 Definícia adaptívneho osvetlenia

Adaptívne osvetlenie je osvetlenie, ktoré holistickým spôsobom prispôsobuje celý súbor parametrov osvetlenia aktuálnym potrebám užívateľov v závislosti od aktuálnych podmienok, ktoré sa menia v čase aj mieste použitia. Je to práve adaptívne osvetlenie, ktoré využíva dynamické možnosti riadenia osvetlenia a posúva ich na vyššiu úroveň využitia.

Inteligentné osvetlenie je osvetlenie s automatickými funkciami, ktoré pracujú na základe pokrokových technológií akými sú napríklad fuzzy logika, genetické algoritmy alebo neurónové siete.

Smart osvetlenie je v podstate adaptívne osvetlenie, ktoré z pohľadu užívateľa pôsobí ako inteligentné osvetlenie, aj keď priamo nevyužíva technológie umelej inteligencie.

2.2 Úrovne adaptability

Pri adaptívnom osvetlení v zmysle vyššie uvedenej definície sa rozlišujú tieto úrovne adaptability:

- **Úroveň 1:** adaptácia s použitím časových harmonogramov zostavených na základe štatistických údajov
- **Úroveň 2:** adaptácia s použitím lokálnych snímačov a/alebo samostatných lokálnych riadiacich prvkov
- **Úroveň 3:** adaptácia s napojením na inteligentné systémy, napr. inteligentné dopravné systémy (IDS) na vybraných cestných komunikáciách
- **Úroveň 4:** adaptácia s kombináciou úrovne 2 a 3

Príklady úrovne 4:

- adaptácia s napojením na IDS na všetkých cestných komunikáciách s riadiacim systémom osvetlenia
- monitorovanie jasů
- „osvetlenie na požiadanie“ (*lighting on demand*) – osvetlenie aktivované okamžitou potrebou, v ostatnom čase je stmievané alebo vypnuté; napríklad prostredníctvom technológie pripojených vozidiel (CVT = *Connected Vehicle Technology*) alebo ako odozva na signály z lokálnych snímačov prítomnosti osôb alebo vozidiel
- aplikácie inteligentných miest (*smart city*)

2.3 Základné ciele adaptívneho osvetlenia

K základným cieľom adaptívneho osvetlenia patrí zabezpečiť spracovanie dostupných vstupných údajov a s ohľadom na zrakové a mimozrakové potreby rôznych užívateľov alebo dotknutých subjektov určiť súbor výstupných údajov a sprostredkovať ich poľu svietidiel vlastnej osvetľovacej sústavy, iným spolupracujúcim sústavám alebo nadradenej sústave. Funkčnú schému adaptívneho osvetlenia znázorňuje obr. 2.



Obr. 2 Vstupno-výstupné vzťahy adaptívneho verejného osvetlenia

3 KONCEPCIA SYSTÉMU SMART CITY A SMART OSVETLENIA

Predpokladá sa, že v roku 2030 bude 60 % ľudí žiť v mestách. Výskumy zamerané na rozvoj aglomerácií obyvateľov ukazujú znižovanie vidieckych populácií a zvyšovanie významu miest. Táto transformácia vytvára tlak na zmenu súčasných miest tak aby sa vytvárali lepšie podmienky pre život. Pričom cieľom je vytvárať inteligentné mestá, kde hlavnými ukazovateľmi kvality je:

- obyvateľnosť (kvalita života, mestská mobilita)
- pracovné podmienky (rovnosť príjmov, nie len finančných, pracovné prostredie, hospodárska produktivita)
- udržateľnosť (efektívne využívanie zdrojov, znečistenie, ochrana životného prostredia)

Rozvoj inteligentných miest je úzko spätý aj s rýchlym technologickým rozvojom v posledných rokoch. Implementácia technológií v budovaní inteligentných miest je najmä v oblastiach:

- nasadzovania nových informačných a komunikačných technológií v oblasti výkonu správy mesta, podpory občianskych aktivít a výmeny informácií medzi inštitúciami a ďalšími mestami (*Digitally Smart*)
- transformácie existujúcej infraštruktúry a procesov pre efektívny prenos energie, vecí a služieb v koncepcii udržateľného rozvoja, flexibility a vyššej kvalite života. (*Physically Smart*)
- vytvorenia miestnych ekosystémov, kde by občania a organizácie mohli využívať spoločné zdroje a spolupracovať na spoločných cieľoch (*Economically Smart*)

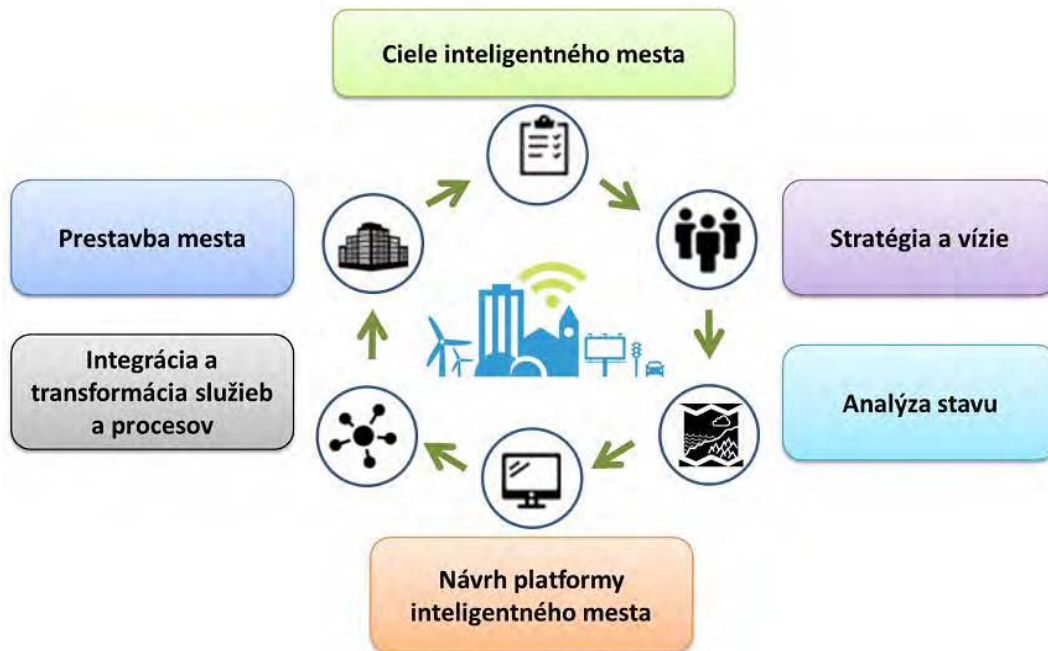
Rozvoj vyššie spomenutých oblastí v spojení s možnosťami technológie LED a dostupnosťou komunikačných a výpočtových technológií vytvára potenciál rozvoja inteligentného osvetlenia zakomponovaného do modelu inteligentného mesta. Zdieľanie z rôznych vstupov (napr. snímače) umožňuje efektívnejšie riadenie. Rovnako je možné zdieľať informácie z prevádzky osvetlenia pre účely riadenia mesta. V neposlednej rade je možné využívať infraštruktúru osvetľovacej sústavy (napr. stožiare) pre budovanie ďalších cieľov inteligentného mesta.

3.1 Postup budovania inteligentného mesta

Aj keď viaceré miest a riešení sa prezentuje ako *smart city*, v súčasnosti neexistuje žiadne komplexné riešenie. Je to dôsledok dynamickosti miest a snahy vytvárať riešenia, ktoré možno rýchlo prezentovať bez nadväznosti na okolité systémy. Pri komplexnom pohľade je nutné si uvedomiť, že budovanie inteligentného mesta je multidisciplinárna veda. Je nutné zapojiť veľké množstvo odborníkov, pričom nemusí existovať jedno jediné optimálne riešenie.

Optimálna výstavba inteligentného mesta by mala prebiehať podľa algoritmu uvedeného na obr. 3. V prvom kroku sa navrhne cieľ, čo môže predstavovať napr. rekonštrukcia iluminácie vybraného objektu. Následne sa na základe analýz a nadväzností zvolia požiadavky a postupy pre integráciu do existujúcich systémov. Pri zvolenom príklade to môže predstavovať požiadavku na interoperabilitu. Následne sa nové osvetlenie

integruje do existujúcich informačných systémov a procesov mesta. Po dokončení by mesto malo zvoliť ciele pre ďalší rozvoj. V uvedenom príklade to môže predstavovať novú víziu napr. vo využití nových stožiarov pre budovanie dátových sietí.



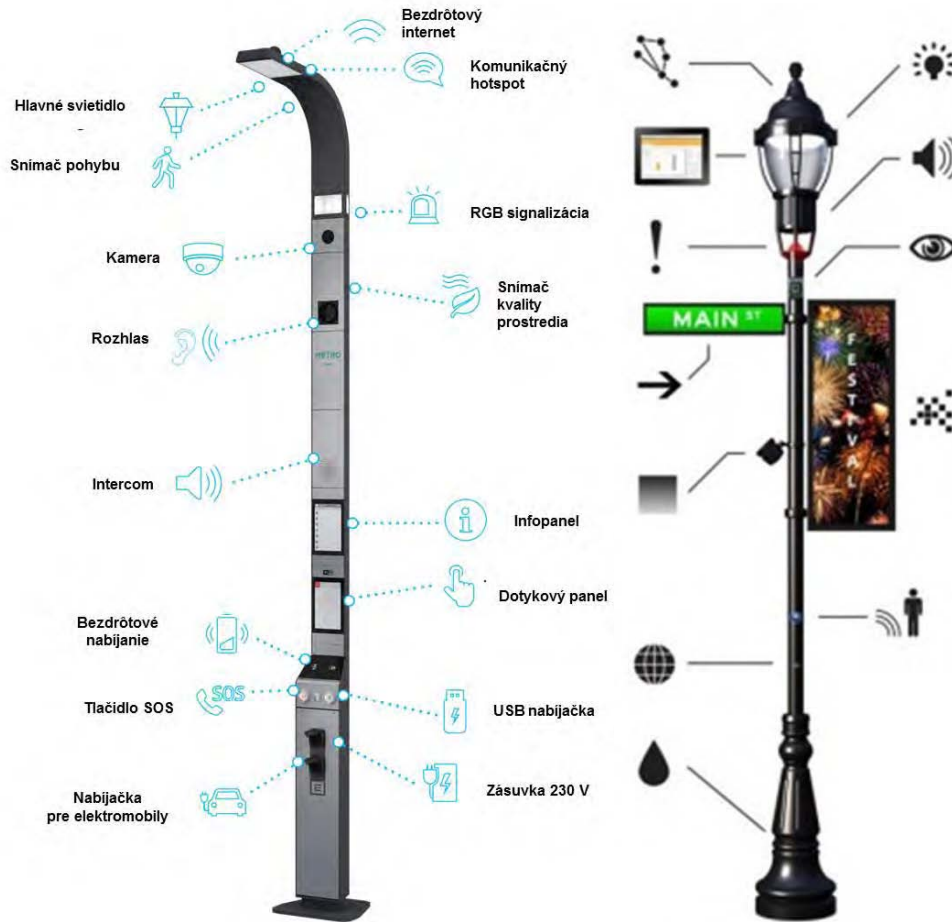
Obr. 3 Algoritmus budovania inteligentného mesta

3.2 Väzby verejného osvetlenia v koncepte inteligentného mesta

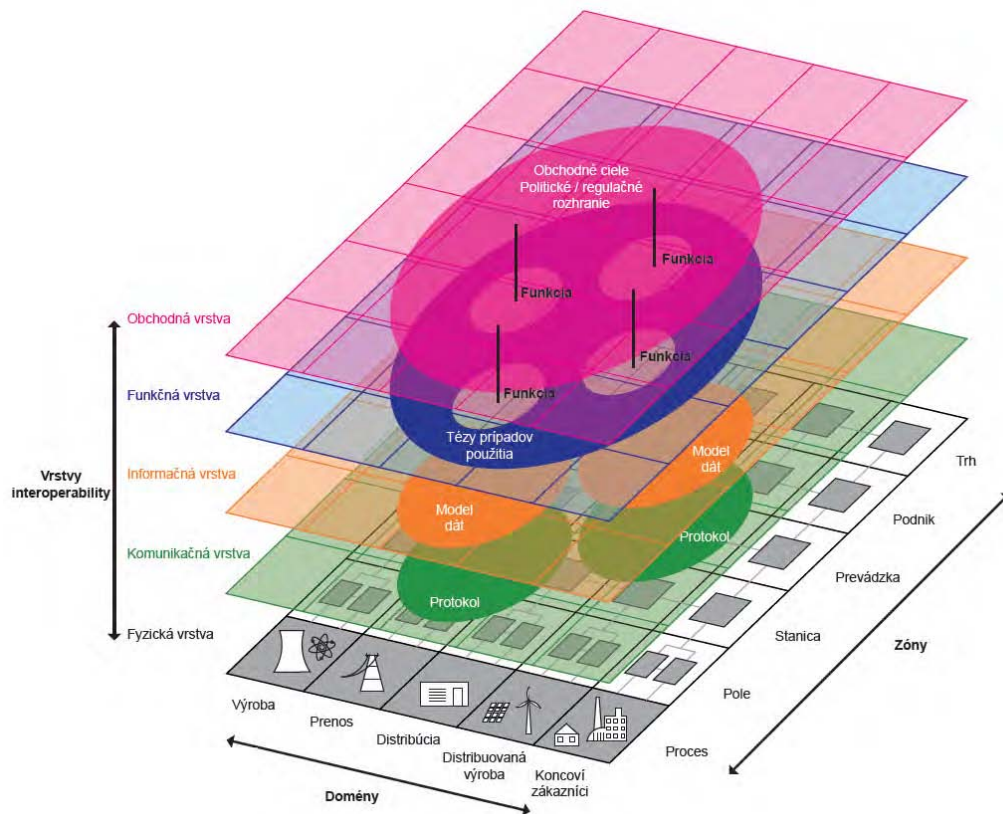
Verejné osvetlenie predstavuje pre budovanie inteligentného mesta významný potenciál. Je to dané najmä plošným, energetickým a v poslednom období aj komunikačným rozsahom. Z hľadiska plošného rozsahu je verejné osvetlenie na každej komunikácii a pokrýva celé územie mesta. Z energetického a komunikačného hľadiska vytvára potenciál pre napájanie implementovaných technológií (nabíjacie stanice, hotspoty, kamerové systémy, snímače a pod.). Na obr. 4 sú znázornené príklady multifunkčných stožiarov, v ktorých sú integrované rôzne funkcie v kompaktnom vyhotovení. Riešenie s multifunkčnými stožiarimi je kompaktné, estetické, s vysokou mierou interoperability a kompatibility. Podľa aktuálnych potrieb a požiadaviek sa dajú vyskladať „na mieru šité“ stožiare. Jednoznačnou nevýhodou multifunkčných stožiarov je, samozrejme, ich vysoká cena.

Pri prevádzkovaní prepojených systémov a napr. aj multifunkčných stožiarov nastáva významná zmena, keď v minulosti boli siete spínané a napájané len počas prevádzky osvetľovacej sústavy, ale pri pripájaní nových zariadení ako napr. kamery je potrebné sieť napájať nepretržite a spínať individuálne svietidlá.

Interoperabilita je zásadným aspektom vnútornej štruktúry inteligentného mesta. Obr. 5 znázorňuje vrstvy interoperability v hierarchickom usporiadaní, od fyzickej vrstvy cez komunikačnú a informačnú vrstvu až po funkčnú (aplikačnú) vrstvu príp. obchodnú vrstvu. Príklad interoperability sústavy verejného osvetlenia s parkovacím systémom je na obr. 6.

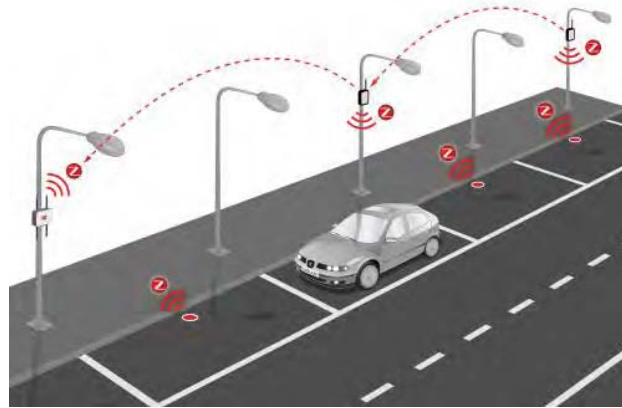


Obr. 4 Multifunkčný stožiar verejného osvetlenia



Obr. 5 Vrstvy interoperability inteligentného mesta

V tomto prípade sú osvetľovacie stožiare podperným miestom pre snímače a príp. aj indikátory obsadenia parkovacích miest. Tu to však nekončí: pri parkovaní môže byť osvetlenie intenzívnejšie ako pred a po zaparkovaní. Úroveň osvetlenia takisto môže zohľadniť celkovú prítomnosť zaparkovaných vozidiel, ako to uvádza metodika zatriedenia pozemných komunikácií do tried osvetlenia v zmysle TNI CEN/TR 13201-1 (kritérium: výskyt parkovacích vozidiel).



Obr. 6 Príklad interoperability osvetlenia parkovacích miest s detekciou ich obsadenia vozidlami

3.3 Nadväznosť na inteligentné siete

Z energetického hľadiska predstavuje inteligentné osvetlenie významnú časť aj v koncepte inteligentných sietí. Inteligentné meranie poskytuje informácie o stave sústavy verejného osvetlenia, o prípadných poruchách a spotrebe. Na základe týchto informácií je možné optimalizovať výjazdy technikov a prevádzku. Na druhej strane informácie so snímačov verejného osvetlenia môžu slúžiť na lepšie modelovanie elektrizačnej sústavy alebo predpokladaných zmien v zaťažení.

4 VÝSKUM ZÁKLADNÝCH POŽIADAVIEK NA ADAPTÍVNE VEREJNÉ OSVETLENIE

4.1 Východiskový stav

Celé desaťročia bolo bežnou úlohou verejného osvetlenia zabezpečiť správne osvetlenie s parametrami potrebnými pre najnáročnejšiu zrkovú úlohu, ktorá sa v danej aplikácii predpokladala. Možnosti zmeny alebo regulácie úrovne osvetlenia, rozloženia jasov alebo farby svetla boli značne obmedzené. Keďže vonkajšie podmienky sa v čase menia, vždy bolo žiaduce adaptovať osvetlenie aktuálnym podmienkam, doterajšia technológia to však neumožňovala. Pokroková LED technológia vo verejnom osvetlení nemá prakticky žiadne obmedzenia, preto sa natíska zásadná otázka – ako definovať potreby užívateľov a ako nastaviť osvetľovaciu sústavu, aby bola adaptívna a inteligentná. Úlohou adaptívneho osvetlenia (často nazývaného „smart“ osvetlením) je prispôbiť holistickým spôsobom

celý súbor parametrov osvetlenia aktuálnym potrebám užívateľom v závislosti od aktuálnych podmienok ako je hustota premávky, zloženie užívateľov, klimatické podmienky a počasie, preferencie užívateľov atď. – ktoré sa menia v mieste aj čase. Dynamické zmeny sa dajú prednastaviť, naprogramovať alebo manuálne ovládať, je to však práve adaptívne osvetlenie, ktoré dokáže využiť možnosti dynamického riadenia a vyzdvihnúť ich na vyššiu úroveň. Technológia adaptívneho osvetlenia je čiastočne už k dispozícii na trhu, správne použitie tejto technológie však ešte nebolo zavedené, preto existujú riziká, že niektoré aplikácie môžu nepriaznivo vplývať na užívateľa alebo dotknuté subjekty alebo plný potenciál adaptívneho osvetlenia zostane nevyužitý. Preto je nevyhnutné vypracovať a zaviesť základné normy v tejto oblasti.

4.2 Motivácia a zdôvodnenie výskumu

Pre návrh, montáž, uvedenie do prevádzky, prevádzku a údržbu adaptívneho riadenia verejného osvetlenia a podobných aplikácií vonkajšieho osvetlenia je potrebné zabezpečiť správnu a efektívnu interoperabilitu osvetľovacej sústavy s inými súvisiacimi sústavami, t.j. vytvoriť rámcové podmienky a požiadavky pre takúto prevádzku a spoluprácu. Základné vedecké práce v tejto oblasti si berie na zodpovednosť Medzinárodná komisia pre osvetlenie CIE, pripravuje vytvoriť jednu dedikovanú technickú správu venovanú problematike adaptívneho verejného osvetlenia, ďalšie nové technické správy a revízie existujúcich technických správ na podporu adaptívneho verejného osvetlenia (napríklad aktualizované požiadavky na verejné osvetlenie, požiadavky na zábranu alebo obmedzenie rušivého svetla, optimalizácia verejného osvetlenia atď.).

Rýchly technologický vývoj v tejto oblasti a nesmierna popularita smart osvetlenia v cieľovej skupine užívateľov vedie k neustálemu nárastu dopytu po riešeniach s adaptívnym osvetlením, z čoho vyplýva potreba až nevyhnutnosť urgentného vypracovania a publikovania vhodných technických noriem. Pokiaľ architektúra systému, otvorené komunikačné protokoly, vlastnosti produktov atď. sa majú riešiť v príslušných medzinárodných normalizačných komisiách (napr. IEC, ITU), úlohou CIE je zamerať sa na fotmetrické požiadavky, aplikácie osvetlenia a aspekty osvetľovacích sústav tak vo vlastnej réžii, ako aj v spolupráci s ISO a/alebo IEC a vytvoriť tak medzinárodné normy, ktoré by riešili tieto hľadiská a definovali by jasné a stručné požiadavky na adaptívne riadenie verejného osvetlenia.

Motivačné okolnosti sa dajú zhrnúť do týchto bodov:

- technológia pre adaptívne osvetlenie je už na trhu k dispozícii
- správne použitie technológie ešte nebolo zavedené, preto môže predstavovať riziká pre užívateľov a okolie
- rýchly technologický pokrok: chýbajú otvorené systémy, proprietárne systémy nie sú založené na dohodnutých metódach a požiadavkách
- aby aplikácia týchto systémov nevedla k žiadnym škodám, je potrebné intenzifikovať výskum a vývoj v tejto oblasti a zaviesť príslušné aplikačné normy

4.3 Kľúčové otázky, na ktoré má výskum dať odpoveď

CIE v rámci svojej výskumnej stratégie v roku 2016 definovala tieto kľúčové otázky:

- Aký vplyv má adaptívne osvetlenie na správanie sa alebo reakcie užívateľov, napríklad vnímanie priestoru alebo bezpečnosť vodiča?
- Ako sa má osvetlenie prispôbiť (adaptovať) na prevažujúce podmienky, aby bolo osvetlenie optimálne? Napríklad:
 - Dokáže sústava detegovať individuálne potreby pre meniace sa zrakové podmienky?
 - Dokáže sa osvetlenie meniť v závislosti od zloženia premávky, hustoty premávky a klimatických podmienok?
- Aký vzťah je medzi nastavením osvetlenia a bezpečnosťou a komfortom užívateľa?
- Aké druhy a úrovne dynamického riadenia sú akceptovateľné v osvetľovacej sústave?
- Aké druhy vstupných údajov a spätných väzieb (napríklad monitorovanie jasov povrchu vozovky, fotobunky, pohybové snímače, algoritmy pre integrované multisenzorové vstupy, automatická detekcia porúch) sú potrebné na zaistenie použiteľnosti sústavy?
- Aké sú prevádzkové náklady a náklady na spotrebu energie? Aké sú ďalšie prínosy adaptívneho verejného osvetlenia?
- Majú adaptívne osvetľovacie sústavy aj iné ekologické prínosy okrem úspor energie?

4.4 Ciele a zámery výskumu

Cieľom výskumu je špecifikovať požiadavky na adaptívne verejné osvetlenia na základe rôznych podmienok a vstupných údajov z poľa snímačov a pripojených sústav s ohľadom a s prispôbením na zvláštne požiadavky rôznych skupín a rôzneho zloženia užívateľov.

V užšom ponímaní je zámerom výskumu určiť, aké informácie (vstupné údaje) sú potrebné na adaptívnu reguláciu užívateľsky prispôbeného verejného osvetlenia a aké informácie (výstupné údaje) sa dajú poskytnúť na sprostredkovanie odozvy systému na aktuálne požiadavky. Zámerom je tiež určiť, ako prispôbiť parametre osvetlenia v závislosti od všetkých dostupných relevantných informácií prostredníctvom prepojenia vstupných a výstupných údajov.

Treba vytvoriť dobrý teoretický základ, ktorý bude otvorený budúcim zlepšeniami a rozšíreniami.

4.5 Výskumné úlohy (rozpis)

V súčasnosti prebieha schvaľovacie konanie na založenie novej technickej komisie CIE s názvom „Adaptívne verejné osvetlenie“ (*Adaptive Road Lighting*). CIE koordinuje túto aktivitu s Medzinárodnou normalizačnou komisiou ISO/TC274 Svetlo a osvetlenie, pričom CIE je poverená vykonaním základných teoretických prác. Pre názornú predstavu, čomu sa má nová technická komisia venovať, nižšie uvádzame predbežný rozpis čiastkových tém. Vymedzenie tém približne indikuje aj obsahovú náplň technickej správy, ktorú by mala táto

nová technická komisia po svojom založení vypracovať. A teda aj to, aké informácie a odporúčania budú k dispozícii pre praktické použitie a tiež pre následné vypracovanie normatívnych dokumentov. Upozornenie: v rámci prebiehajúceho schvaľovacieho konania sa tento rozpis môže ešte upraviť a takisto pri spracovaní technickej správy v komisii priebeh prác môže priniesť potrebu mdifikácie tohto vymedzenia.

ETAPA 1: Technická správa CIE (2019 – 2022)

1. Termíny a definície
2. Motivácia a filozofia adaptívneho osvetlenia
 - 2.1 Optimálne zabezpečenie aktuálnych zrakových potrieb pre zrakový výkon a zrakovú pohodu
 - 2.2 Obmedzenia nežiaducich účinkov osvetlenia na okolie a nočné prostredie
 - 2.3 Úspory energie
3. Požiadavky na osvetlenie pre rôznych užívateľov a situácie
 - 3.1 Požiadavky na osvetlenie pre rôzne zloženie užívateľov a subjekty dotknuté osvetlením
 - 3.1.1 Typickí užívatelia verejného osvetlenia (vodiči, cyklisti, chodci)
 - 3.1.2 Subjekty dotknuté osvetlením (obyvatelia, astronómovia, živočíchy, rastliny)
 - 3.1.3 Zvláštne požiadavky jednotlivcov a skupín užívateľov (seniori, zrakovo postihnutí, dopravné zápchy, zhromaždenia a pochody ľudí)
 - 3.1.4 Prienik požiadaviek na osvetlenie pre rôzne zloženie užívateľov využívajúcich spoločný priestor a osvetľovaciu sústavu
 - 3.2 Osvetlenie podľa typu pozemnej komunikácie
 - 3.2.1 Lineárne štruktúry (cesty, vozovky, chodníky, ulice, bulváry)
 - 3.2.2 Nepravidelné štruktúry (oblúky, námestia, parky)
 - 3.2.3 Križovatky (dopravné uzly, cestné križovatky, priechody pre chodcov, železničné priecestia)
 - 3.2.4 Iluminácia prvkov mestskej architektúry
 - 3.3 Osvetlenie pre mimoriadne situácie
 - 3.3.1 Dopravné nehody
 - 3.3.2 Neočakávané dopravné zápchy
 - 3.3.3 Práca na ceste
 - 3.3.4 Trvalé alebo dočasné prekážky
 - 3.3.5 Zločin a kriminalita
 - 3.4 Adaptácia osvetlenia na vnútorné a vonkajšie podmienky
 - 3.4.1 Znehodnocovanie osvetľovacích sústav (kompenzácia strát svetelného toku, riadenie CLO)
 - 3.4.2 Intenzita motorizovanej premávky a tok dopravy
 - 3.4.3 Prítomnosť a pohyb chodcov a cyklistov

3.4.4 Čas a ročné obdobie

3.4.5 Počasie a klimatické podmienky (hustý dážď, sneženie, hmla, poľadovica, zvýšená prašnosť, piesočná búrka, smog)

3.4.6 Lokálne/individuálne požiadavky užívateľov

4. Aplikácia adaptívneho verejného osvetlenia

5. Usporiadanie osvetľovacej sústavy a smerovanie informácií: základné úvahy

5.1 Topológia osvetľovacej sústavy pre účinné využitie svetelného toku

5.2 Zaradenie svietidiel do radiacich skupín na zaistenie osvetlenia uvažovanej oblasti

5.3 Komplexný súbor parametrov osvetlenia ako funkcia odozvy na požiadavky na osvetlenie a aktuálne podmienky

6. Interakcia osvetľovacej sústavy s inými súvisiacimi službami

6.1 Úloha mestského osvetlenia a osvetlenia pozemných komunikácií v koncepte inteligentného mesta

6.2 Funkčná interakcia medzi osvetlením a dopravou

6.3 Funkčná interakcia medzi osvetlením a verejnoprospešnými službami

6.4 Funkčná interakcia medzi osvetlením a službami údržby

6.5 Funkčná interakcia medzi osvetlením a telekomunikačnými službami

6.6 Funkčná interakcia medzi osvetlením a bezpečnostnými službami

6.7 Funkčná interakcia medzi osvetlením a turistickými službami

6.8 Funkčná interakcia medzi osvetlením a zábavnými službami

6. Prínosy adaptívneho verejného osvetlenia

7. Údržba adaptívneho verejného osvetlenia

8. Prípadové štúdie a praktické príklady aplikácie adaptívneho verejného osvetlenia

4.5 Predpokladané dopady výskumu

- **Technologické prínosy:** Technická správa bude podkladom na vypracovanie aplikačnej normy, ktorá bude obsahovať informácie potrebné na vytvorenie vstupno-výstupného rozhrania medzi osvetľovacou sústavou a inými príslušnými systémami na zabezpečenie bezproblémovej, spoľahlivej a efektívnej interoperability s nadradeným konceptom inteligentného mesta (smart city). Riadenie osvetlenia na základe dostupných informácií bude optimalizované vzhľadom na aktuálne zloženie účastníkov premávky a užívateľov vonkajšieho priestranstva v danom mieste. Tento dokument prispeje k lepšej kvalite produktov, systémov, služieb ako aj k ich kompatibilite. Jedným z hlavných prínosov adaptívneho osvetlenia bude významný potenciál zníženia spotreby energie na osvetlenie.
- **Sociálne prínosy:** Parametre osvetlenia prispôsobené užívateľom zvýšia ich zrakový výkon, zlepšia zrakovú pohodu, vzhľad a dobrý pocit pri pobyte vo vonkajšom prostredí. Dobré osvetlenie spolu s ďalšími inteligentnými službami napomáha zlepšovať spoločenskú komunikáciu a minimalizovať nevhodné a prípadne až kriminálne správanie.

- **Prínosy pre životné prostredie:** Optimálnym riadením sa dajú minimalizovať vedľajšie účinky verejného osvetlenia ako napríklad interakcia s obyvateľmi (vrátane osvetlenia prenikajúce dovnútra domácností), faunou a flórou a astronomickými pozorovaniami v kritických časových úsekoch. Vďaka zníženiu spotreby energie budú výrazne nižšie aj emisie oxidu uhličitého do ovzdušia.

5 NORMALIZÁCIA V OBLASTI SMART VEREJNÉHO OSVETLENIA

5.1 Od výskumu k normalizácii

Po vyriešení prvej etapy, kde sa vytvorí teoretický základ pre adaptívne osvetlenie a stanoví sa základné požiadavky na systavy adaptívneho osvetlenia s ohľadom na zrakové aj mimozrakové potreby užívateľov a ostatných dotknutých subjektov, bude k dispozícii relevantný podklad pre stanovenie hodnôt, dohodnutých metód a postupov, čiže vypracovanie normatívneho dokumentu. Smart osvetlenie je medziodborový problém, zahŕňa napríklad aj systémovú architektúru, otvorené komunikačné protokoly, technológie riadenia osvetlenia, interoperabilitu s inými systémami, preto je zrejmé, že na vypracovaní noriem sa budú zúčastňovať viaceré normalizačné organizácie. Teoretický základ je v súlade s aktuálnou výskumnou stratégiou CIE – konkrétne Prioritná téma č. 5 „Adaptívne, inteligentné a dynamické osvetlenie“. Druhá normalizačná etapa je predmetom normalizačnej stratégie CIE, ktorú CIE realizuje aj v spolupráci s ISO/TC274. Niektoré čiastkové problémy adaptívneho osvetlenia sú predmetom záujmu normalizácie v elektrotechnike (IEC) a v telekomunikáciách (ITU). Tok prenosu informácií pri normotvorbe je znázornený na obr. X1.

Etapa 1	2019 – 2022	CIE: Základné svetelnotechnické požiadavky		
Etapa 2	2022 – 2024	ISO/CIE: Aplikácie osvetlenia	ISO/IEC: Produktové špecifikácie	ISO/ITU: Výmena informácií

	2019		2020				2021				2022				2023				2024			
	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
CIE	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ISO/CIE													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ISO/IEC													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ISO/ITU													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Obr. 7 Predbežný návrh toku informácií v normalizačnom procese

5.2 Normalizačné úlohy (rozpis)

Podobne ako v prípade rozpisu technickej správy CIE uvedeného v kap. 4.5, tu je uvedený náčrt navrhovaného pokračovania – spracovania aplikačného normatívneho dokumentu.

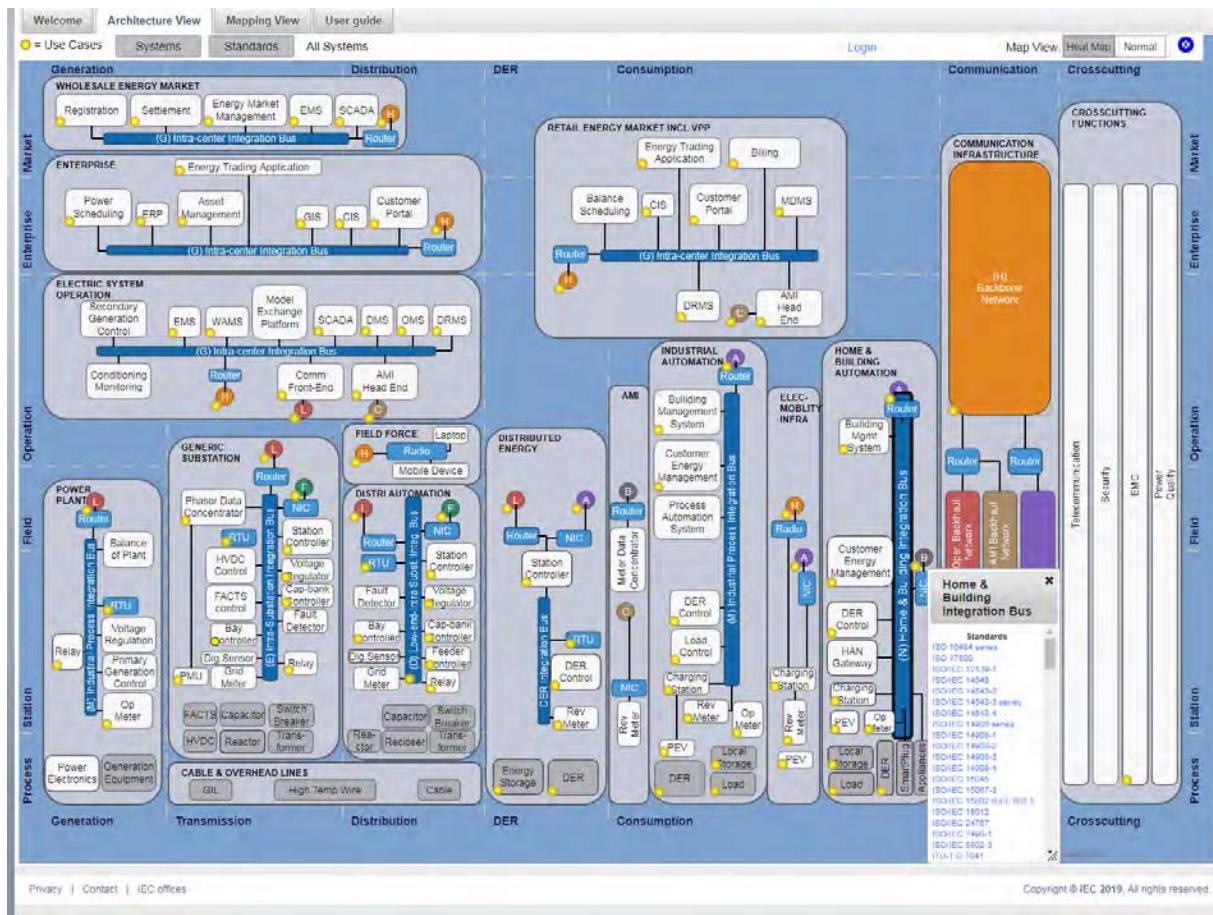
ETAPA 2: ISO/CIE norma (na základe výstupov technickej správy CIE)

1. Svetelnotechnické požiadavky pre adaptívne systémy
 - 1.1 Požiadavky vzhľadom na zloženie užívateľov a subjekty dotknuté osvetlením
 - 1.2 Požiadavky v závislosti od typu pozemnej komunikácie
 - 1.3 Požiadavky pre výnimočné situácie
 - 1.4 Požiadavky v závislosti od vnútorných a vonkajších podmienok
 2. Smerovanie informácií pre adaptívne riadenie osvetlenia
 - 2.1 Pole svietidiel
 - 2.2 Svetelná navigácia
 - 2.3 Iné osvetľovacie zariadenia poskytujúce doplnkové funkcie (slávnostné osvetlenie, svetelné informačné panely, svetelná reklama, dopravná signalizácia)
 - 2.4 Údržba a verejnoprospešné služby (zlyhanie systémových komponentov, meranie spotreby energie, monitorovanie prevádzky)
 3. Interoperabilita medzi osvetlením a inými súvisiacimi systémami
 - 3.1 LiFi komunikačná sieť
 - 3.2 Riadenie premávky
 - 3.3 Dodávka elektrickej energie (nabíjacie zásuvky v osvetľovacích stožiaroch, semafóry a dopravná signalizácia)
 - 3.4 Podperné miesta (opory) pre externé zariadenia (reproduktory, apmlióny, bezpečnostné kamery, parkovacie snímače)
 - 3.5 Multifunkčné osvetľovacie stožiare
 4. Uvedenie do prevádzky, kolaudácia, prevádzka a údržba adaptívnych osvetľovacích sústav
 - 4.1 Uvedenie do prevádzky a kolaudácia
 - 4.2 Prevádzka
 - 4.3 Údržba
- Príloha A: Typické snímače a zariadenia poskytujúce informácie, ktoré sa dajú použiť na adaptívne riadenie osvetlenia (informatívna)

5.3 Spolupráca v normalizácii

Normalizácia inteligentných miest a osvetlenia je predmetom záujmu normalizačných organizácií s rôznym zameraním aj na rôznej úrovni pôsobnosti (medzinárodnej, kontinentálnej, regionálnej, národnej, podnikovej). Ide predovšetkým o tieto organizácie:

- **CIE Divízia 4** – Doprava a vonkajšie aplikácie
- **ISO/TC 274** – Svetlo a osvetlenie
- **ISO/TC 268** – Udržateľné mestá a komunity
- **IEC SyC** Inteligentné mestá, **SyC** Inteligentná energetika...
- **ITU-T SG20** – Internet vecí a Inteligentné mestá a komunity
- **CEN–CENELEC–ETSI** Sektorové fórum pre inteligentné a udržateľné mestá a komunity
- **ZHAGA** konzorcium, **TALQ** konzorcium
- **Zigbee** aliancia, **WiFi** aliancia...



Obr. 8 Interaktívna mapa normalizácie v oblasti inteligentných sietí

V súvislosti s budovaním projektov inteligentných sietí vznikol aj projekt Smart Grid Standards Map (<http://smartgridstandardsmap.com/>), ktorý má slúžiť pre lepšiu orientáciu v oblasti normalizácie pri budovaní inteligentných a nadväzujúcich sietí. Na vytvorenej stránke je možné vyberať jednotlivé technológie a zobrazovať súvisiace normy.

6 RIADENIE OSVETLENIA V ZÁVISLOSTI OD INTENZITY TOKU DOPRAVY

6.1 Ciele a metodika prieskumu

Cieľom tohto prieskumu je uviesť súbor údajov získaných z dopravných snímačov umiestnených v rôznych miestach vybraných úsekov miestnych komunikácií v sožiaroch dopravnej signalizácie. Zámerom je získať informácie o dopravných tokoch v rôznych časoch a získať tak predstavu o pravdepodobnostiach detekcie a hustote dopravy, ktoré sú potrebné na určenie patričnej triedy osvetlenia v súlade s technickou správou CIE 115.

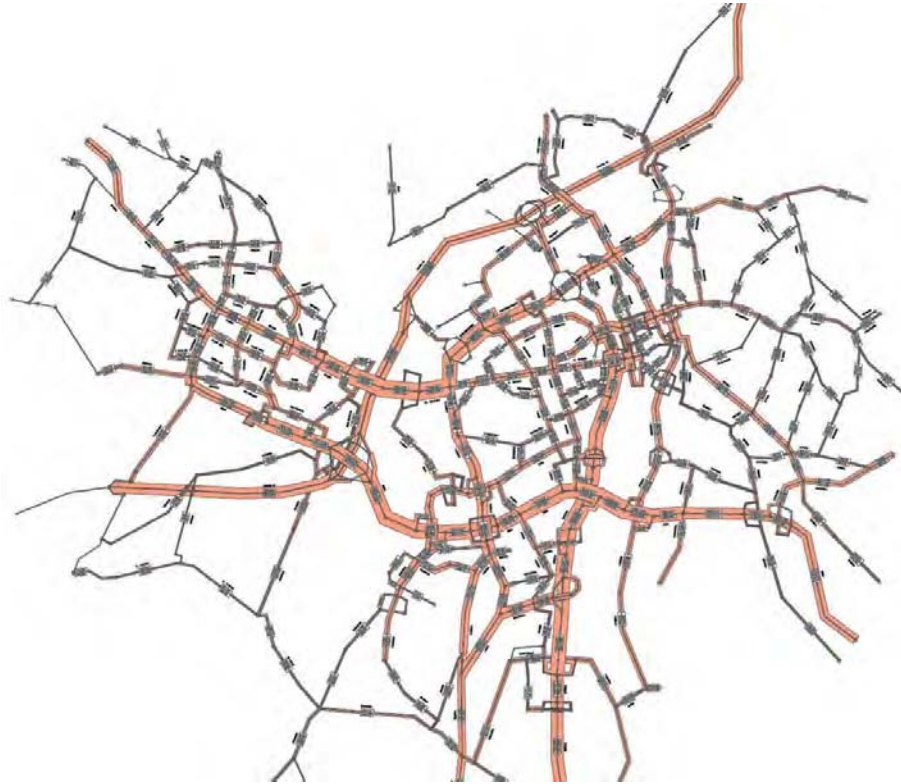
Na účely tohto prieskumu boli zozbierané, analyzované a spracované údaje z troch miest. Všetky údaje boli získané v roku 2018 a striktné rozlišujú medzi pracovnými dňami, sobotou a nedeľou. V súčasnosti sú k dispozícii údaje pre hlavné ulice s inštalovanými snímačmi dopravy. Údaje sú dostupné za najmenej dvojročné obdobie, ide však o veľký objem surových dát. Tie doteraz neboli využívané na účely osvetlenia a ich extrahovanie z nespracovanej databázy je časovo náročné a technicky komplikované.

Na účely výskumu boli zvolené tieto lokality:

- **Bratislava:** Hlavné mesto Slovenska s 413 192 obyvateľmi má inštalovaných približne 48 000 svetelných miest. V predmestských oblastiach boli vytypované štyri úseky (obr. 9). Ulica Svornosti (trieda osvetlenia M3) privádza dopravu do mesta z juhu a patrí k dopravne najvyťaženejším komunikáciám v meste, s výraznými dopravnými zápchami v časoch špičky. Na križovatke znázornenej na obrázku X2 sa časť dopravného prúdu vetví na Slovaftskú ul. (trieda osvetlenia M4). Račianska (trieda osvetlenia M3) poskytuje prístup do mesta od severu. Napriek tomu, že tu zatiaľ nie je priame napojenie na diaľničnú sieť, táto komunikácia patrí k najdôležitejším dopravným tepnám s vysokou intenzitou premávky v pracovnom čase. Malokapušíanska ul. (trieda osvetlenia M5) vyúsťuje na Račiansku ul. T-križovatkou. Úseky miestnych komunikácií boli zvolené tak, aby pokrývali triedy osvetlenia M5, M4 a M3. Dopravné údaje boli získané z počítadiel a boli poskytnuté prevádzkovateľom sústavy verejného osvetlenia a dopravnej signalizácie na území Bratislavy.
- **Ostrava:** Počet obyvateľov tohto tretieho najväčšieho mesta v Českej republike je 1,164 miliónov. Prevádzkovateľ pozemných komunikácií v Ostrave poskytol ako podklad mapu siete hlavných úsekov komunikácií (obr. 10) s údajmi o dennej priemernej intenzite premávky. Detail fragmentu centrálnej časti mesta je znázornený na obr. 11. Prvé číslo predstavuje celkový počet vozidiel, druhé číslo znamená počet nákladných automobilov a autobusov. Okrem uvedených údajov bolo prevádzkovateľom komunikácií poskytnuté aj percentuálne rozloženie intenzity premávky na hodinovom základe.
- **Poprad:** Mesto okresného typu v severovýchodnej časti Slovenska má počet obyvateľov 52 316 a cez 5 000 svetelných miest. V tomto meste bol zvolený úsek Športovej ul. (trieda osvetlenia M5) ako príklad. Táto ulica vedie k viacerým športoviskám nachádzajúcim sa v meste.



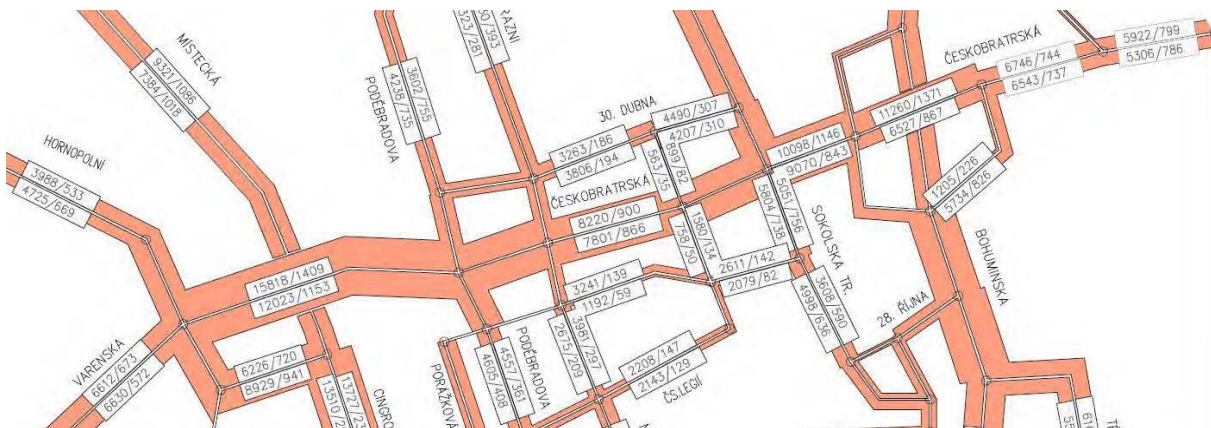
Obr. 9 Štyri úseky s monitorovaním toku dopravy na predmestiach Bratislavy



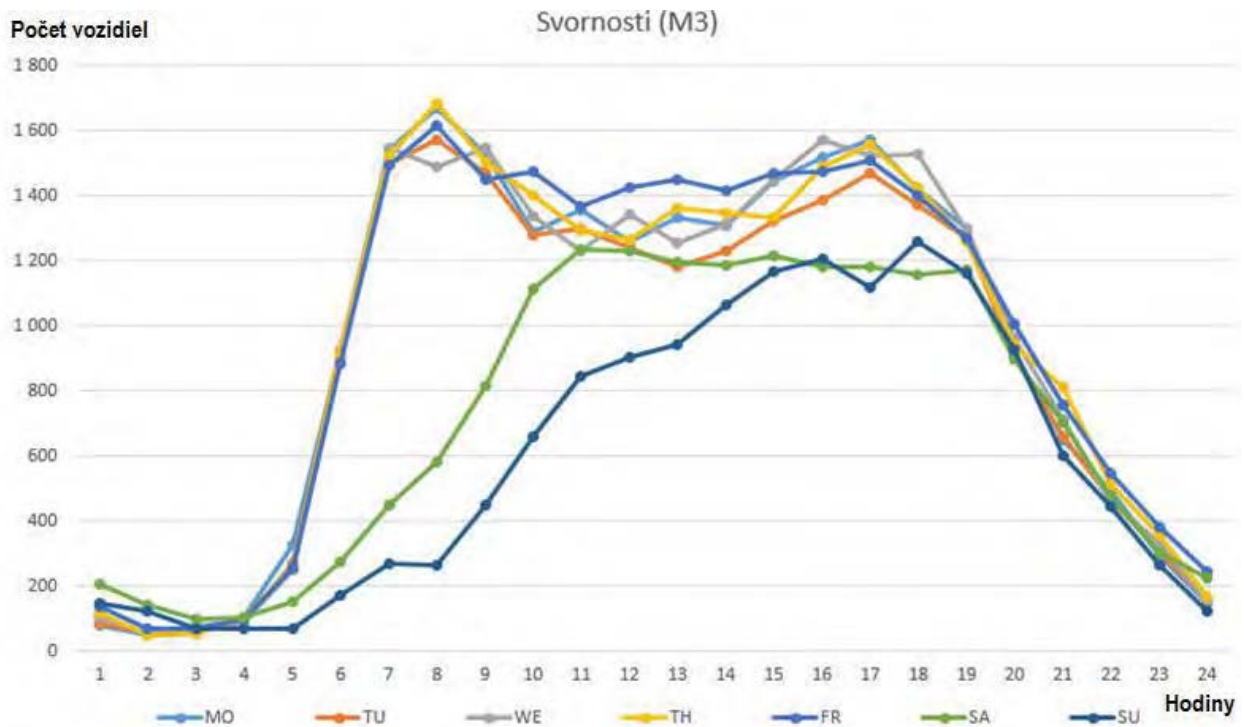
Obr. 10 Sieť úsekov hlavných ulíc s monitorovaním roku dopravy v Ostrave

6.2 Výsledky a diskusia

Hodinové rozloženie intenzity dopravy v Bratislave je znázornené na obr. 12 až 15 pre týždeň začínajúci od 19.2.2018 do 25.2.2018. Údaje sú k dispozícii pre 15-minútové intervaly, v tejto štúdii sa však pracuje s hodinovými súhrnnými údajmi. Priebehy sú veľmi podobné pre pracovné dni a v ranných a večerných hodinách sú krivky takmer identické. Ranná špička o 8:00 a poobedňajšia špička okolo 16:00 sa dajú v grafoch jednoznačne identifikovať. Priebehy pre sobotu a nedeľu sa od pracovných dní značne líšia a líšia sa aj medzi sebou. Ktorá časť týchto kriviek je dôležitá pre verejné osvetlenie závisí od zemepisnej šírky a od obdobia roka.

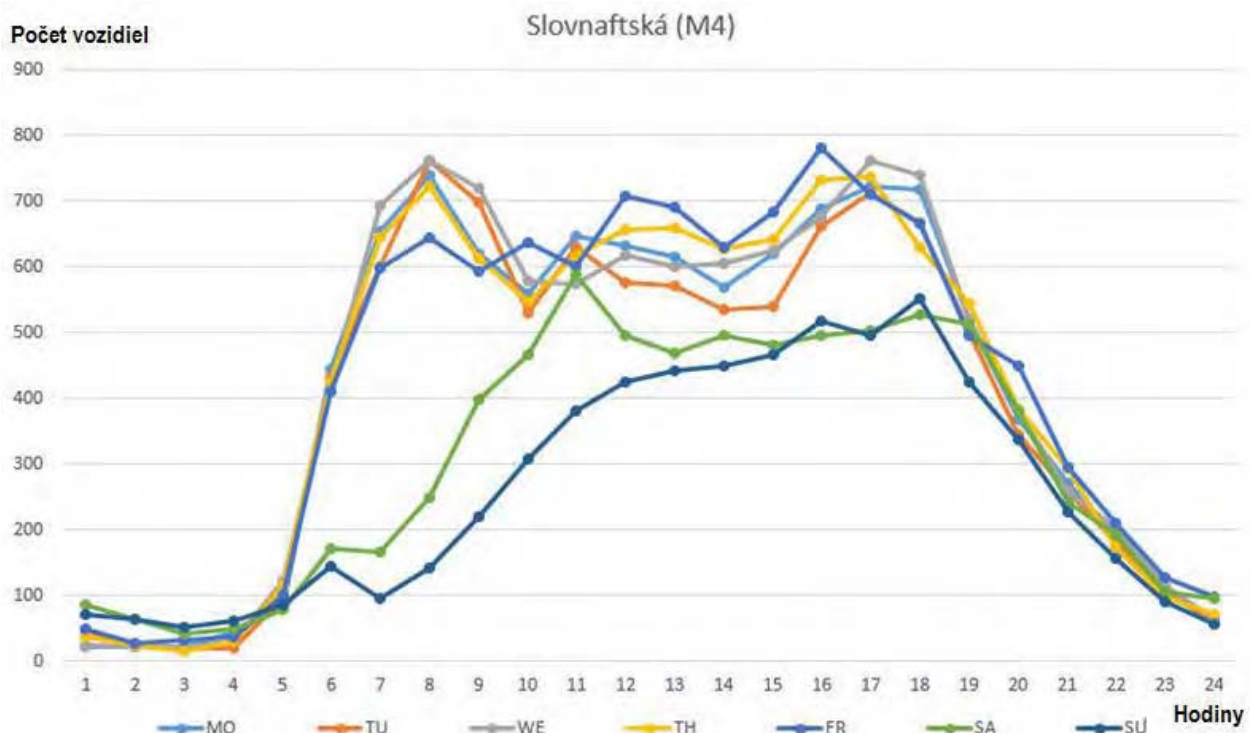


Obr. 11 Detail fragmentu hlavných ulíc v centre Ostravy s uvedenými údajmi o dennej intenzite premávky

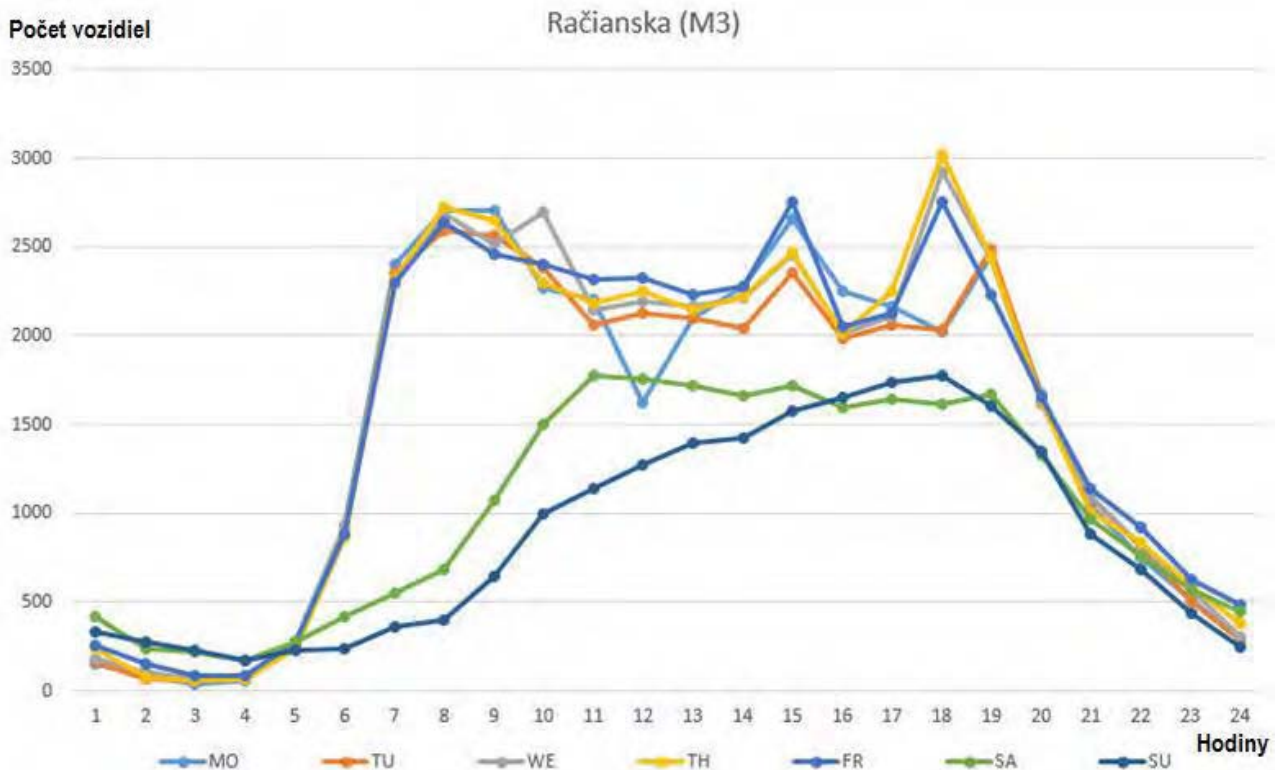


Obr. 12 Priebeh intenzity premávky na ul. Svornosti v Bratislave

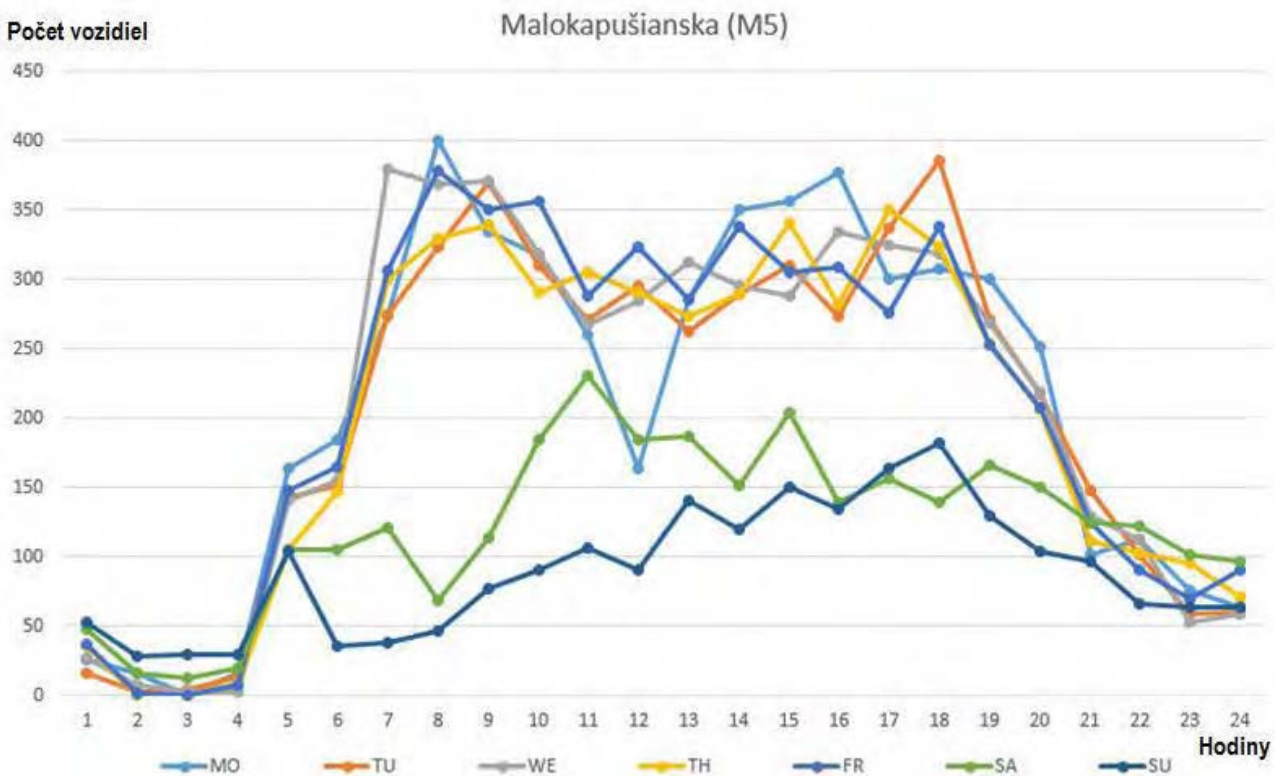
Priebehy pre všetky dni vykazujú po 18:00 strmý pokles intenzity premávky. Minimálna hodnota na úrovni 12 – 16 % denného maxima sa dosiahne po 23:00. Tento stav trvá až do 5:00 rána, keď sa premávka náhle „prebudí“. Kludový čas teda trvá 6 hodín, čo je významne dlhý čas, počas ktorého sa úroveň osvetlenia môže udržiavať na minimálnej úrovni. Bežný mimošpičkový čas sa dá identifikovať v rozmedzí 5:00 – 6:00 ráno a 20:00 – 23:00 večer, čo súhrnne predstavuje 4 hodiny.



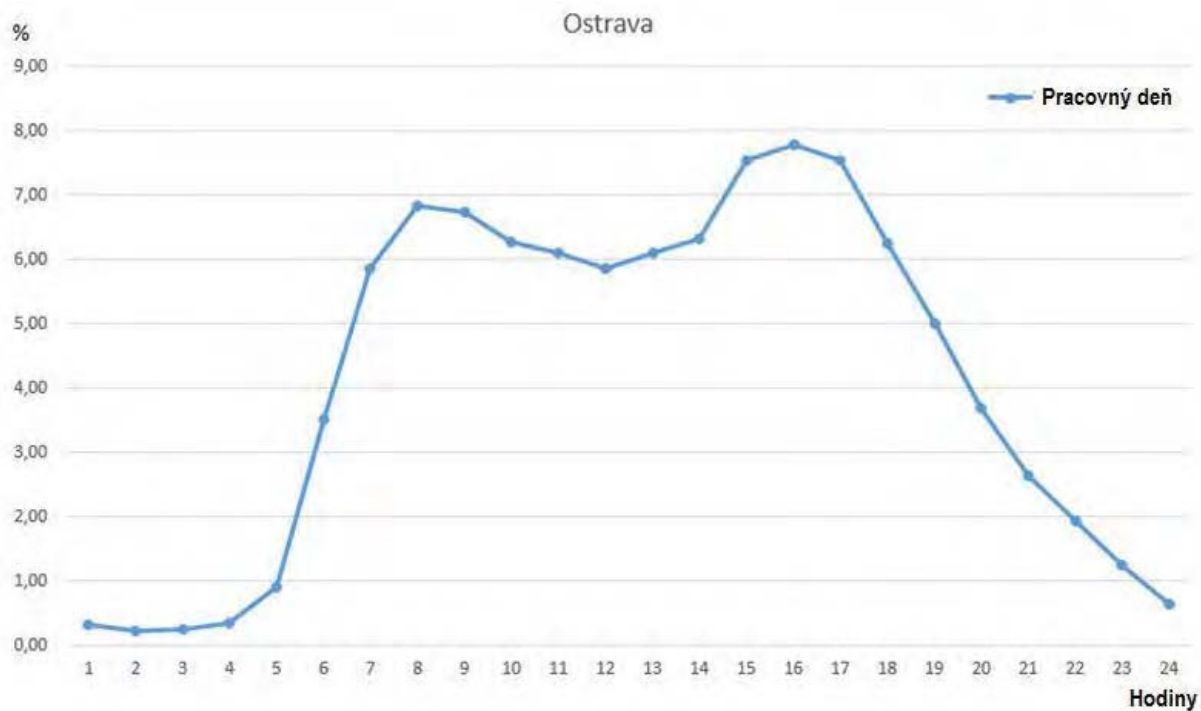
Obr. 13 Priebeh intenzity premávky na Slovnaftskej ul. v Bratislave



Obr. 14 Priebeh intenzity premávky na Račianskej ul. v Bratislave



Obr. 15 Priebeh intenzity premávky na Malokapušíanskej ul. v Bratislave



Obr. 16 Typická krivka intenzity premávky v Ostrave

Typický priebeh rozloženia intenzity premávky v Ostrave je na obr. 16. Táto krivka je veľmi podobná krivkám pre vyšetrované úseky komunikácií v Bratislave, čo potvrdzuje charakter správania sa premávky na hlavných uliciach. Podobné výsledky sa dajú vidieť aj v prípade Popradu (obr. 17 a 18). Krivky pre Poprad sa vyznačujú väčšou mierou cikcakových skokov, čo má dva dôvody: 1) premávka na uliciach triedy M5 je menej plynulá ako na dopravných tepnách (porovnaj aj s obr. 15) a 2) časová základňa pre tento graf je 15 minút, kým pre Bratislavu a Ostravu to je 1 hodina.

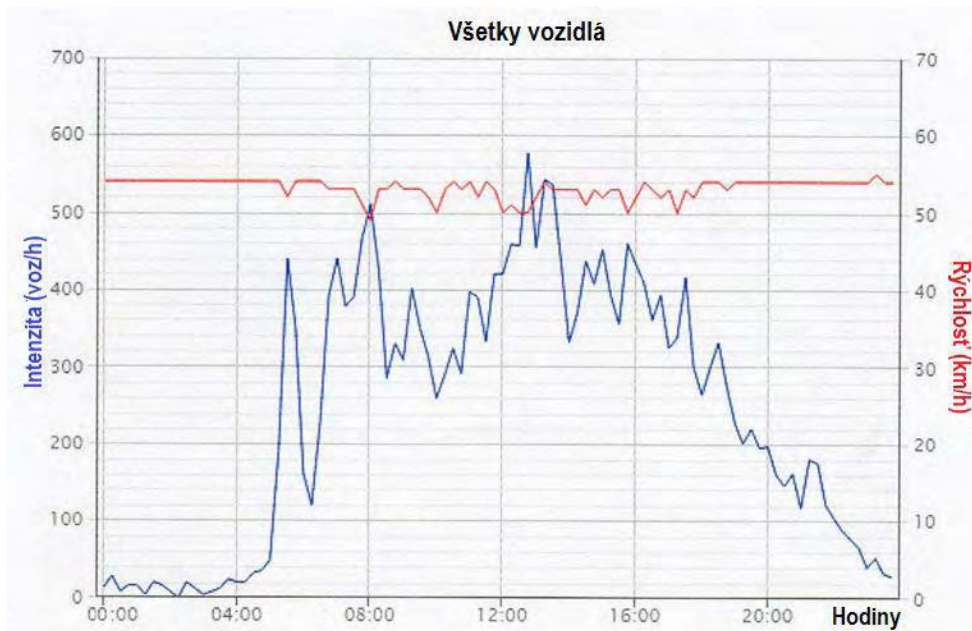
Obrázky 17 a 18 okrem toho uvádzajú aj priemernú rýchlosť, čo je ďalší dôležitý parameter. Dovoľená rýchlosť na uvedených úsekoch je 50 km/h, nameraná priemerná hodnota je 54 km/h s veľmi malými osciláciami okolo tejto hodnoty. Prepoklad, že počas nočných hodín, keď prázdne ulice nabádajú vodičov zvýšiť rýchlosť, sa v tomto konkrétnom prípade nepotvrdili.

Tabuľka 1 uvádza priemerné hodinové rozloženie intenzity premávky (v %) pre Bratislavu a Ostravu na základe údajov uvedených vyššie.

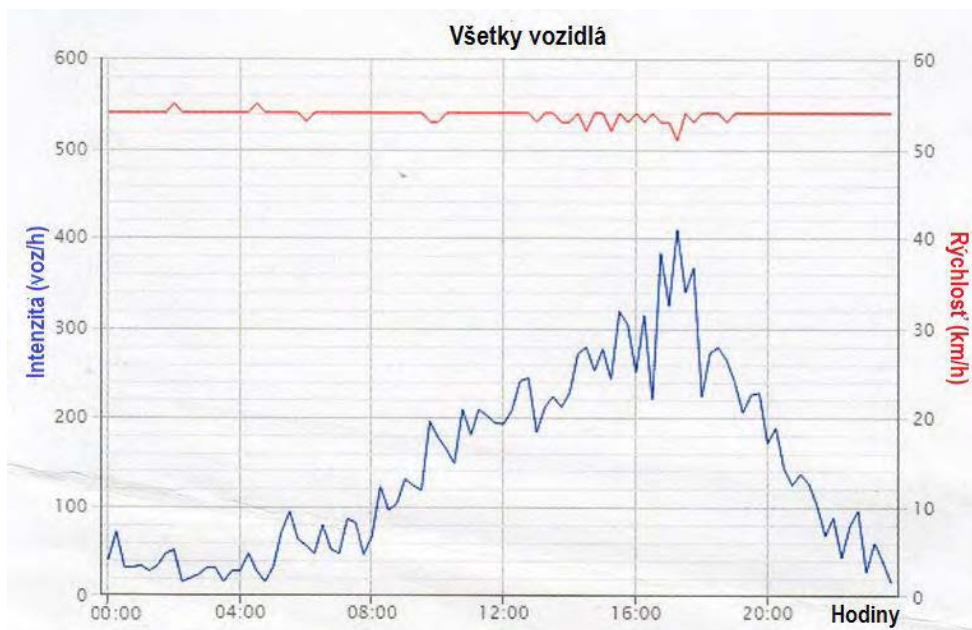
Priemerná intenzita premávky v hodinovom rozdelení (%)

Tabuľka 1

0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
0,47	0,21	0,18	0,29	1,42	3,50	6,41	7,23	6,84	6,19	5,90	5,86
12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
5,94	6,05	6,52	6,49	6,64	6,71	5,69	4,23	2,83	2,11	1,38	0,94



Obr. 17 Priebeh intenzity premávky a priemerná rýchlosť vozidiel počas pracovného dňa (utorok 7.2.2018) na Športovej ul. v Poprade

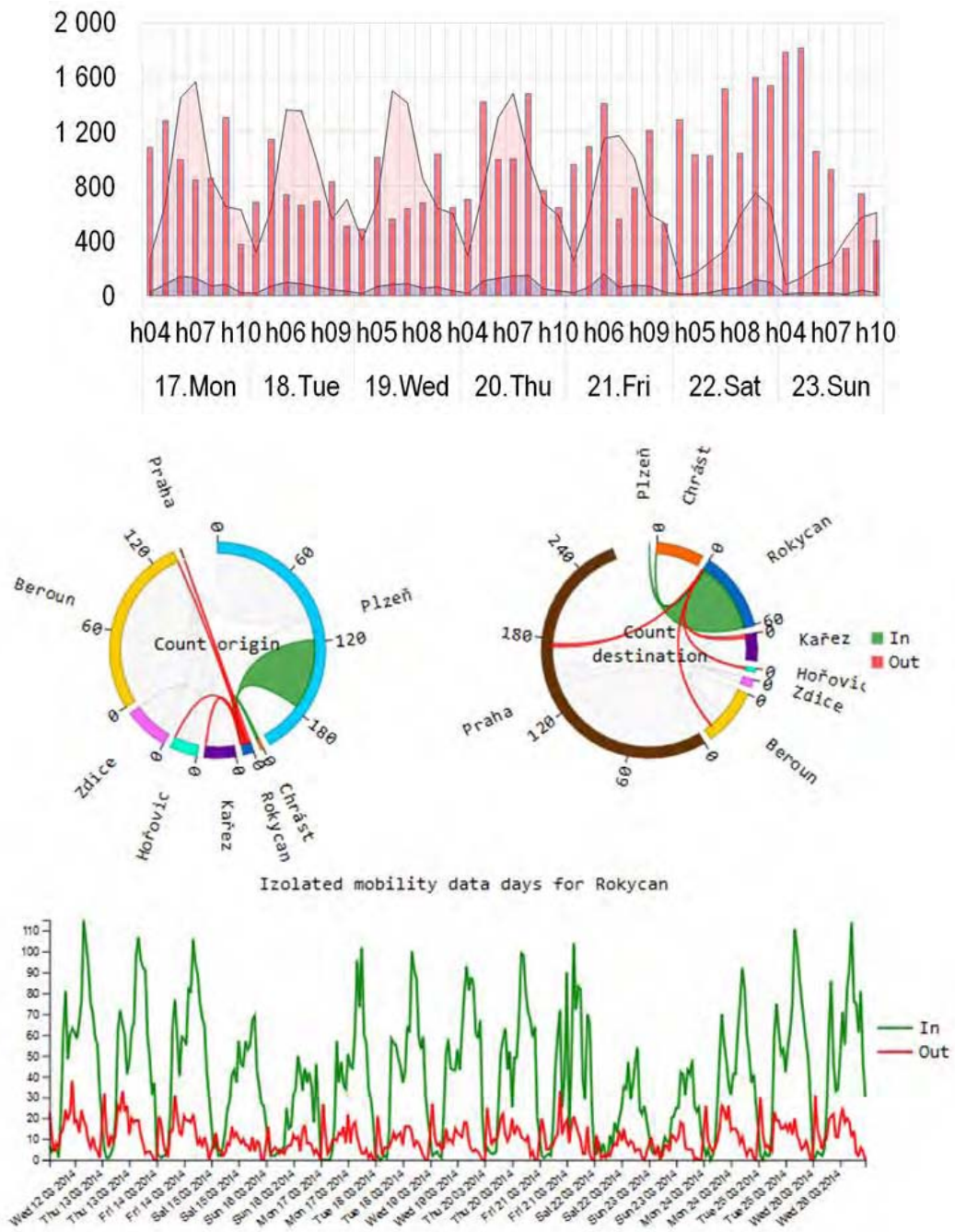


Obr. 18 Priebeh intenzity premávky a priemerná rýchlosť vozidiel počas nedele (5.2.2018) na Športovej ul. v Poprade

6.3 Ďalšie úlohy a perspektívy

K aktuálnym úlohám patrí zber a analýza údajov o hustote toku dopravy na pozemných komunikáciách nižších tried osvetlenia (M5, M6, prípadne triedy P). Predmetom intenzívneho záujmu je aj prieskum využitia vonkajších priestorov osobami – chodcami. Tu na rozdiel od inštalovaných snímačov sa za mimoriadne perspektívnu metódu zberu dát ukazuje možnosť využitia anonymizovaných údajov z databáz mobilných operátorov. Tieto možnosti, ktoré sa využívajú pre celý rad užitočných aplikácií

(predovšetkým plánovanie dopravy) sú v súčasnosti ešte v štádiu skúmania. Platí to aj pre využitie systému monitorovania mobility obyvateľstva na riadenie osvetlenia. Príklad výstupu takéhoto systému pre Rokycany [10], [11] je znázornený na obr. 19.



Obr. 19 Údaje o intenzite premávky a smerovania chodcov ako príklad výstupu zo systému monitorovania mobility obyvateľstva [10], [11]

7 MODELOVÝ PRÍKLAD VÝPOČTU ÚSPOR ENERGIE

Spotreba energie na verejné osvetlenie závisí od inštalovaného príkonu, času prevádzky a spôsobu riadenia osvetlenia, ktorý predstavuje zmenu príkonu v čase z krátkodobého aj dlhodobého hľadiska. K dlhodobým zmenám patrí napríklad vplyv riadenia na konštantný svetelný tok CLO (Constant Light Output) alebo vplyv režimu

údržby svietidla. Zmeny príkonu v čase sa dajú vyjadriť pomocou riadiacich profilov osvetlenia. Štandardné riadiace profily sa potom používajú na výpočet odhadu spotreby energie na osvetlenie. Väčšina parametrov sa dá predpovedať, avšak v sústavách so snímačmi musíme uvažovať aj o pravdepodobnostných funkciách a energetickú náročnosť osvetľovacej sústavy tak musíme určovať odhadom.

Na druhej strane detekcia pohybujúcich sa vozidiel alebo prítomných (stojacich alebo pomaly sa pohybujúcich) osôb musí byť naviazaná na oblasť svietidiel, ktorá by mala reagovať napr. zvýšením úrovne osvetlenia a musí tiež zohľadňovať smerovanie účastníkov premávky vrátane ich zatačania vľavo či vpravo na križovatkách. Tu je potrebné prijať ďalšie príslušné predpoklady ako napr. relevantnú dĺžku komunikácie, čas na prejazd príslušného úseku komunikácie, úroveň osvetlenia a čas potrebný na jej udržanie a pod. Treba zohľadniť a odhadnúť aj pravdepodobnosť prekryvu osvetlených oblastí.

Ak vo verejnom osvetlení uvažujeme len s určitým počtom diskretných úrovní osvetlenia, ročná spotreba energie na osvetlenie sa dá vypočítať pomocou vzťahu

$$W = \sum_{i=1}^{365} \sum_{j=1}^M (P_{ij} \cdot t_{ij}) \quad (1)$$

kde

P_{ij} je príkon osvetľovacej sústavy, ktorý zodpovedá danej úrovni osvetlenia (W);

t_{ij} je denný prevádzkový čas danej úrovne osvetlenia (h);

j, M je index a počet rôznych preddefinovaných úrovní osvetlenia.

V súlade s európskou normou EN 13201-5:2015 sa energetická hospodárnosť verejného osvetlenia vyjadruje prostredníctvom dvoch kompaundných číselných ukazovateľov – ukazovateľa príkonovej hustoty PDI (*Power Density Indicator*) a ukazovateľa ročnej spotreby energie AECI (*Annual Energy Consumption Indicator*). Kým PDI indikuje hospodárnosť osvetľovacej sústavy v ustálenom stave, AECI zahŕňa aj riadenie osvetlenia, a preto sa dá použiť na vyjadrenie hospodárnosti osvetľovacej sústavy v dynamickom prevádzkovom režime. Ukazovateľ ročnej spotreby energie na osvetlenie AECI sa vypočíta pomocou vzťahu

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cdot t_j}{A} \quad (2)$$

kde

D_E je ukazovateľ ročnej spotreby energie pre sústavu verejného osvetlenia ($\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}$);

P_j je prevádzkový príkon osvetľovacej sústavy príslušný j -temu časovému úseku (W);

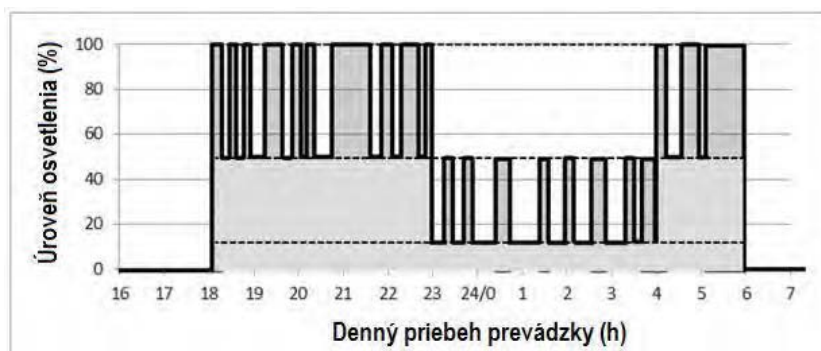
t_j je trvanie j -teho časového úseku prevádzkového profilu pri spotrebe P_j , za rok (h);

A je veľkosť plochy osvetlenej tou istou osvetľovacou sústavou (m^2);

m je počet časových úsekov s rôznym prevádzkovým príkonom P_j .

Na výpočet AECI je potrebné uvažovať o určitom riadiacom profile osvetlenia. Prevádzkový čas sústav verejného osvetlenia sa rieši napr. v [3]. Plný prevádzkový režim je typický pre mnohé existujúce osvetľovacie sústavy s jednoduchými spínacími prvkami ako sú manuálne spínače alebo fotobunky, kde sa svietidlá prevádzkujú konštantne pri plnom príkone počas celej noci každý deň. V regulovaných systémoch so snímačmi sa môže použiť snímačom riadený trojúrovňový riadiaci profil, ktorého príklad je znázornený na obr. 20 (denný priebeh). Úrovně osvetlenia musia byť v súlade s triedou osvetlenia stanovenou pre danú pozemnú komunikáciu a dané podmienky (podľa CIE 115). V čase mimo dopravnej špičky pri nižšej intenzite premávky sa môže použiť jeden alebo niekoľko znížených úrovní osvetlenia. Odporúča sa, aby aj v čase bez prítomnej premávky sa udržiavala aspoň minimálna úroveň osvetlenia počas celej noci. Okrem toho ak sa na riadenie osvetlenia použijú detektory vozidiel a/alebo prítomnosti osôb, aktuálne úrovne osvetlenia sa „vyrezávajú“ v čase, keď príslušnými snímačmi nie je detekovaná žiadna premávka a svietidlá sa prepnú na nižšiu úroveň osvetlenia.

Pri výpočte AECI v sústavách so snímačmi je potrebné uvažovať o pravdepodobnostnej funkcii so samostatnou hodnotou pre každú úroveň osvetlenia. S pomocou smart sietí so snímačmi a v kombinácii s ľahko regulovateľnými svetelnými zdrojmi ako sú LED je veľmi efektívne zabezpečiť patričné úrovne osvetlenia v čase, keď je to skutočne potrebné. Pre plný prevádzkový režim osvetlenia je obvyklé uvažovať o ročnom prevádzkovom čase 4 000 hodín [4]. Pri inom prevádzkovom profile potom stačí skombinovať ročný prevádzkový čas jednotlivých úrovní osvetlenia s príslušným systémovým príkonom a s pravdepodobnosťou detekcie (v sústavách so snímačmi) do jedného koeficienta prevádzky osvetlenia c_{op} . Ak sa týmto koeficientom vynásobí ukazovateľ AECI pre plný prevádzkový režim, dostaneme hodnotu AECI pre iný prevádzkový profil. c_{op} sa môže použiť aj samostatne ako ukazovateľ potenciálu úspor energie pre riadiaci systém osvetlenia.



Obr. 20 Príklad trojúrovňového riadiaceho profilu s detektormi

Na základe údajov pre vybrané hlavné ulice v Bratislave a Ostrave sa dá vykonať odhad potenciálu úspor energie pre riadenie osvetlenia so snímačmi dopravného toku prostredníctvom c_{op} . Pritom sa predpokladá, že okrem individuálnej detekcie vozidiel v reálnom čase určitý počet vozidiel súčasne prechádza daným úsekom, zaznamenáva sa

a vyhodnocuje, takže úrovne osvetlenia sa dajú patrične určiť z dopravného toku. Časové intervaly sa dajú uvažovať takto:

- **Minimálna úroveň:** 23:00 – 05:00, 6 hodín/deň, 2 190 hodín/rok
- **Znížená úroveň:** 05:00 – 06:00 a 20:00 – 23:00, 4 hodín/deň, 1 460 hodín/rok
- **Plná úroveň:** zvyšok času, 350 hodín/rok

Na hlavných uliciach (triedy osvetlenia M4, M3 a čiastočne M5) sa pravdepodobnosť detekcie pri plnej a zníženej úrovni osvetlenia uvažuje 100 %, keďže premávka je v týchto časoch plynulá. Počas minimálnej úrovne osvetlenia sa pravdepodobnosť detekcie dá odhadnúť podľa priemerného počtu vozidiel, avšak medzi jednotlivými triedami osvetlenia sú tu značné rozdiely. Odhad sa dá vykonať s ohľadom na čas prejazdu, prekryv detekcie a ďalšie okolnosti. Hodnoty zvolené pre túto prípadovú štúdiu sú uvedené v tabuľke 2.

Zníženie sa uvažuje zhodné s rozdielom dvoch po sebe nasledujúcich tried osvetlenia, pričom sa súčasne uvažuje lineárna závislosť medzi príkonom a svetelným tokom (jasom osvetlenej komunikácie). V tejto štúdii sa aplikujú normatívne požiadavky v zmysle EN 13201-2, ale v prípade reálnych osvetľovacích sústav je potrebné použiť skutočné hodnoty. Navyše pri triede osvetlenia M3 (a vyšších triedach) je možné zníženie aj o dva stupne (triedy), čím sa znížená úroveň rozdelí na dve podúrovne. Minimálna úroveň sa udržiava na 10 % plnej úrovne, prakticky sa dá nastaviť na minimálnu triedu P6 pre chodcov. Vstupné údaje a výsledky sú uvedené v tabuľke 2.

Príklad určenia potenciálu úspor energie

Tabuľka 2

Trieda osvetlenia	M3	M4	M5
Plná úroveň			
Ročný prevádzkový čas (h)	350	350	350
Redukčný koeficient	0 %	0 %	0 %
Pravdepodobnosť detekcie	100 %	100 %	100 %
Znížená úroveň 1			
Ročný prevádzkový čas (h)	810	1 460	1 460
Redukčný koeficient	25 %	33 %	40 %
Pravdepodobnosť detekcie	100 %	100 %	100 %
Znížená úroveň 2			
Ročný prevádzkový čas (h)	650		
Redukčný koeficient	50 %		
Pravdepodobnosť detekcie	100 %		
Najnižšia úroveň			
Ročný prevádzkový čas (h)	2 190	2 190	2 190
Redukčný koeficient	90 %	90 %	90 %
Pravdepodobnosť detekcie	80 %	25 %	10 %
Koeficient prevádzky osvetlenia c_{op}	55 %	46 %	39 %

8 ZÁVER

Pomocou snímačov toku dopravy sa dá skúmať správanie sa premávky v rôznych časových obdobiach a dá sa odhadnúť potenciál úspor energie vďaka riadeniu osvetlenia na základe toku dopravy. Snímače sa bežne inštalujú len na hlavných uliciach, čo predurčilo aj rámec tejto štúdie. Analýzou údajov bolo zistené, že denný priebeh toku dopravy je veľmi podobný pre rôzne úseky komunikácií a rôzne triedy osvetlenia. Priebeh vykazuje dve špičky – rannú špičku o 8:00 a poobedňajšiu špičku okolo 16:00. Medzi 23:00 a 5:00 je premávka upokojená. Ráno dochádza k prudkému nárastu intenzity premávky a večer premávka ustáva počas cca 3 hodín. Dopravný tok sa mierne líši pre sobotu a nedeľu a jeho priebeh sa tiež dá ľahko vysvetliť.

Riadenie osvetlenia snímačmi má v reálnom čase zmysel iba vtedy, ak sa dá predpokladať, že dlhší čas sa nedetekuje žiadne vozidlo. Ináč ide o trvalú prevádzku a zosúladiť treba úroveň osvetlenia s dopravným tokom, t. j. počtom vozidiel v čase. Počet vozidiel je preto dôležitejší ako množstvo vozidiel v percentuálnom vyjadrení. Treba tiež zohľadniť všetky ostatné dôležité skutočnosti, ktoré môžu mať vplyv na dobrý odhad pravdepodobnosti detekcie. V tejto štúdií bol vykonaný odhad pre rôzne triedy osvetlenia M3, M4 a M5, Výsledky ukázali, že pre triedu osvetlenia M3 sa môže dosiahnuť koeficient prevádzky osvetlenia 55 % (zodpovedá potenciálu úspor energie 45 %), pre triedu M4 to môže byť 46 % (úspory energie 54 %) a pre komunikáciu triedy M5 dokonca až 39 % (úspory energie 61 %). Uvedené hodnoty sú prekvapivo vysoké dokonca aj pre triedu M3, premávka je väčšinou plynulá a aj v nočných hodinách je pravdepodobnosť detekcie stále vysoká. Energetické úspory sa dosahujú vďaka možnosti zníženia úrovne osvetlenia – čo sa prakticky rieši použitím automatických riadiacich systémov so snímačmi toku dopravy.

9 PERSPEKTÍVY

Táto úvodná štúdia sa dá považovať za východiskový bod pre hodnotenie výhod jednej z hlavných motivačných nástrojov pre nasadenie riadenia osvetlenia – úspor energie. Na potvrdenie predbežných výsledkov bude potrebné analyzovať väčší objem údajov. Ďalšie štúdie sa môžu zamerať na rozdiely medzi rôznymi triedami osvetlenia, rôznym funkčným využitím komunikácií, víkendové režimy atď. Skúmanie dopravného toku v kratších časových intervaloch počas noci môže zlepšiť odhad pravdepodobnosti detekcie.

Značný potenciál pre zníženie úrovne osvetlenia sa dá predpokladať na sídliskách a na zosieťovaných komunikáciách v obytných štvrtiach. Pre tieto prostredia však zatiaľ nie sú k dispozícii dostatočné údaje. Na získanie potrebných údajov sa uvažuje s nasadením pokrokových monitorovacích systémov s obrazovou analýzou. Nové prístupy s využitím anonymizovaných údajov z mobilných sietí sa tiež ukazujú ako sľubné. Tieto metódy a výsledky získané týmito metódami budú publikované v ďalších príspevkoch a článkoch.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol s podporou agentúry VEGA MŠVVaŠ SR pod číslom grantu VEGA 1/0640/17 „Sebestačné inteligentné siete a regióny a ich začlenenie do existujúcej elektrizačnej sústavy“.

Údaje o intenzite dopravy pre Bratislavu a Poprad sú použité so súhlasom Siemens s.r.o. Údaje o intenzite dopravy pre Ostravu sú použité so súhlasom Ostravské komunikace, a.s. Autori týmto vyslovujú poďakovanie spoločnostiam Siemens a Ostravské komunikace za poskytnutie údajov o intenzite premávky a za technickú podporu pri vypracovaní tohoto príspevku.

LITERATÚRA

1. ŠKODA, J. – BAXANT, P. The reduction in electricity consumption through proper lighting. In proc.: EPE 2009. Brno University of Technology: Brno, pp. 1-4
2. SOKANSKÝ, K. – NOVÁK, T.: Energy savings in public lighting. *Przegląd Elektrotechniczny*, 84(8), pp. 72-74, 2008
3. GAŠPAROVSKÝ, D.: Calculation of the Operation Time of Road Lighting. In proc.: CIE Centenary Conference "Towards a New Century of Light": Paris, France, 15-16 April 2013, Vienna: CIE, 2013, ISBN 978-3-902842-44-2, pp. 999-1008
4. GAŠPAROVSKÝ, D.: Energy Performance Numerical Indicators of Public Lighting. In proc.: „Svetlo - Light 2013“, Bratislava: KONGRES Management s.r.o., 2013, ISBN 978-80-89275-35-9, pp. 291-301
5. PRACKI, P.: A proposal to evaluate road lighting energy efficiency. In proc.: "Lumen V4", Bratislava: KONGRES Management s.r.o., 2012, ISBN 978-80-89275-32-8, pp. 28-39
6. CIE 115:2010. Lighting of roads for motor and pedestrian traffic. Vienna: CIE, 2010
7. CEN/TR 13201-1. Road lighting. Guidelines on selection of lighting classes. Brussels: CEN, 2014
8. EN 13201-2. Road lighting. Performance requirements. Brussels: CEN, 2015
9. EN 13201-5. Energy performance indicators. Brussels: CEN, 2015
10. VOZNAK, M. – Hylmar, J.: Population Mobility Data Retrieval from Cellular Networks and its Use Case in Public Transport (2017) VSB-Technical University of Ostrava, Ostrava, April 2017.
11. Mobile Big Data, Population Mobility Data Retrieval, URL <http://modata.vsb.cz>