



ДАЉИ РАЗВОЈ ПАМЕТНИХ ГРАДОВА И УЛОГА ПАМЕТНОГ ОСВЕТЉЕЊА У ЕКОСИСТЕМУ ПАМЕТНОГ ГРАДА

др Андреј Ђуретић, дипл.ел.инг.

„Minel-Schröder d.o.o. Beograd“, orcid: 0000-0003-1763-9022,

DOI: <https://doi.org/10.46793/Osvetljenje25.01DJ>

Кратак садржај

Концепт паметних градова и његова све већа популарност захтева од градова да модернизују своју инфраструктуру како би остали релевантни и конкурентни. Дигиталне услуге, “IoT” платформе и повезана инфраструктура више нису питања будућности, већ се намећу као решење које постаје део стандардних очекивања грађана и државних структура. Истовремено, начин на који се људи крећу у градовима се мења - од електричних аутомобила и бициклистичких стаза до зона погодних за пешаке и паметних система јавног превоза. Градови сада морају другачије да управљају осветљењем — обезбеђујући безбедност за бициклисте, пешаке и електрична возила у право време и на правим местима, а без трошења сувишне енергије. Градски тимови за одржавање су под сталним притиском, са ограниченим ресурсима и растућим трошковима. Потребни су им алати који им помажу да раде паметније, а не теже. Модерни градови константно расту, предграђа и нови објекти требају осветљење, али буџети и тимови не расту истом брзином. Скалабилно, даљинско управљање осветљењем постаје неопходно за покривање већег подручја са истим или чак и мањим ресурсима. Прописи о животној средини се пооштравају, а градови су под све већим притиском да смање потрошњу енергије и емисију штетних гасова. Паметно осветљење им омогућава да штеде енергију помоћу димовања/регулације интензитета осветљења и/или предефинисаних режима рада светилки и/или имплементацијом различитих сензора, а да притом јавна безбедност не буде угрожена. Коначно, градови желе решења која се лако усвајају и која се уклапају у њихово урбано окружење без додавања веће сложености. “Plug-and-Play IoT” контролери и контролни системи/платформе, засновани на индустријским стандардима који омогућавају даљи развој током времена су управо оно што модерни градови траже, тиме усвајајући и примењујући концепт паметног града.

1. Увод

Имајући у виду да не постоји јасна хронологија развоја Паметних градова, као ни опште прихваћена дефиниција која би јасно показала све сегменте који чине концепт Паметног града, тако ни концепт **“паметног осветљења”** нема јасне одреднице које указују на развој овог значајног сегмента. Чак није до краја јасно где сврстати паметно осветљење – логично је да оно буде део сегмента **“паметне инфраструктуре”** и/или **“паметне енергије”** иако се често прескаче у научним радовима, сем ако нису специјализовани за ову конкретну област. У неким радовима и публикацијама, паметно осветљење се помиње и као део сегмента **“паметне јавне безбедности”** („smart public safety“). Циљ овог рада је да се да осврт на стање паметног осветљења у овом тренутку, као и евентуалне (не потпуно јасне) смернице развоја паметног осветљења у будућности.



2. Паметни градови

Концепт Паметног Града („Smart City“ (у даљем тексту **СЦ**)) је први пут уведен у САД као бренд „IBM-a“ и 2011. Години у циљу дефинисања идеалног града којег карактерише аутоматизација и различите конекције [1]. Постоје извори који тврде да се “Smart City” термин први пут јавио 1992. године у књизи “The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, Global Networks” [2]. СЦ концепт је даље еволуирао дајући детаље о вишеструким аспектима који карактеришу саме паметне градове и који се морају узети у обзир да би градови били паметнији – ту спадају одржива мобилност, управљање животном средином, укључивање грађана, итд. Данас се концепт СЦ још увек развија и не постоји универзално прихваћена дефиниција коју признају истраживачке заједнице.

Шта је Паметни Град? Постоји неколико различитих дефиниција [3], једна од њих је она коју је дала Европска Комисија: “Паметни Град је место где су традиционалне мреже и услуге постају ефикасније са употребом дигиталних и телекомуникационих технологија, а у корист његових становника и пословних активности“. Другу дефиницију су дале УН: *“Паметан одрживи град је иновативан град који користи информационе и комуникационе технологије (ИЦТ) и друга средства за побољшање квалитета живота, ефикасности градског рада и услуга, и конкурентност уз обезбеђивање задовољења потреба садашњих и будућих генерација у погледу економских, друштвених, еколошких и културних аспеката”*. Паметни градови су често ангажовани на испуњењу климатских циљева, економском развоју, друштвеном утицају и ослањању на сегменте као што су паметни транспорт, паметна пољопривреда, паметна енергија, паметна инфраструктура, паметне градске услуге, паметна домаћинства, паметно здравство и паметна индустрија. Паметни градови су фокусирани на спрегу енергије, транспорта и информационих и комуникационих технологија (ИЦТ), где су ИЦТ централни елемент функционисања будућих градова. Заправо, концепт паметних градова је доживео пробој и стекао популарност тек око 2005. године када су технолошке компаније почеле да развијају информационе системе који би помогли повећању оперативне ефикасности градова.

Донедавно, градски челници су гледали на паметне технологије примарно као на средство повећања ефикасности у градовима [4]. Различити сензори и подаци које су они генерисали, као и високотехнолошки контролни центри су доносили наду у револуционарни нови начин за управљање комплексним операцијама и за аутоматизацију инфраструктурних система. Данас, технологија има све више уплива у животе грађана – паметни телефони су постали кључно оруђе у рукама милиона које пружа тренутне информације о превозу, саобраћају, здравственим услугама, сигурносним упозорењима и комуналним вестима. Након деценије разних покушаја и у ходу направљених грешака, градске власти су схватиле да стратегије паметних градова почињу са људима, а не са технологијом. Бити “Паметан Град” не значи само инсталирати дигиталне интерфејсе у традиционалну инфраструктуру или извршити рационализацију градских/комуналних активности, реч је о сврсисходном коришћењу технологије и података у циљу доношења бољих одлука и побољшању квалитета живљења. Управо зато, на другој сесији скупштине УН Хабитата у 2023. години, 193 земље су упутиле јасан захтев да УН Хабитат развије међународне смернице за тзв. „people-centred smart cities“ [5]. Тиме је започела нова ера Паметних Градова где је већи



фокус на људе, а не на технологију. Као последица скупштине УН Хабитата, у Марту 2025. године појавиле су се међународне смернице УН хабитата под именом „International Guidelines on People-Centred Smart Cities“ [6], а где је изнад дата УН дефиниција паметног града проширена са: *„Паметни град је окренут ка људима (“people-centred”) када користи дигиталне технологије на етички, инклузиван и одржив начин како би осигурао да нико не буде изостављен“*.

Каже се да Паметни Градови „уводе дигиталну интелигенцију у урбани контекст“, решавајући комуналне проблеме и последично доносећи виши квалитет живота. Ова тврдња се ослања на структуру коју чине три нивоа „памети Градова“ (Слика 1, [4].



Слика 1. Три слоја памети градова [4]

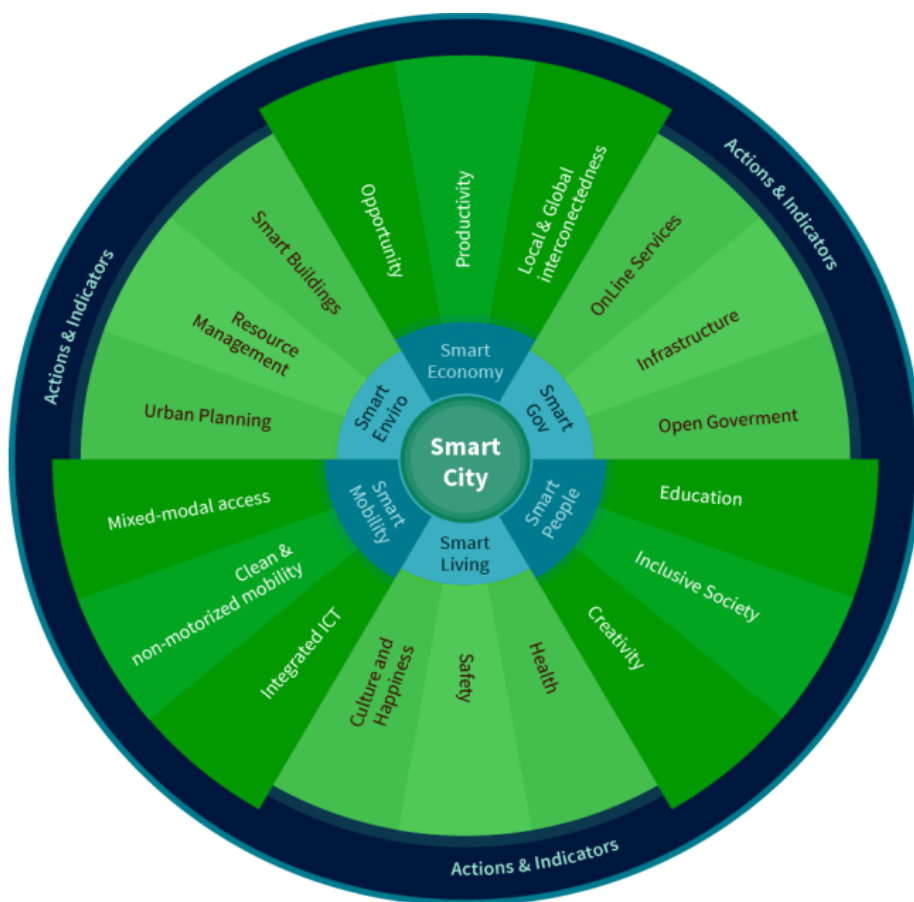
Изнад традиционалне инфраструктуре постоји „технолошки слој“ који укључује мреже повезаних уређаја и сензора који су повезани комуникационим мрежама велике брзине, затим постоје „паметне апликације и аналитика података“ које претварају сирове податке у различите исходе и акције, и на крају, „ниво усвајања и употребе“ који води ка бољим одлукама и промени понашања (многе апликације постају успешне тек онда тек када су широко прихваћене и као такве могу довести до промена).

Иако је већ констатовано да не постоји универзално прихваћена дефиниција коју признају истраживачке заједнице, Бојд Коен, амерички научник који се бави урбаним планирањем и климатским стратегијама, је креирао 2014. године тзв. “Boyd Cohen Wheel” [2], који представља уобичајено коришћени стандард у литератури за описивање саставних елемената Паметних Градова (слика 2 [2]), односно:

1. **Паметна мобилност** (smart mobility),
2. **Паметно окружење** (Smart Environment),
3. **Паметна економија** (Smart Economy),
4. **Паметни људи** (Smart People),
5. **Паметно живљење** (Smart Living), и

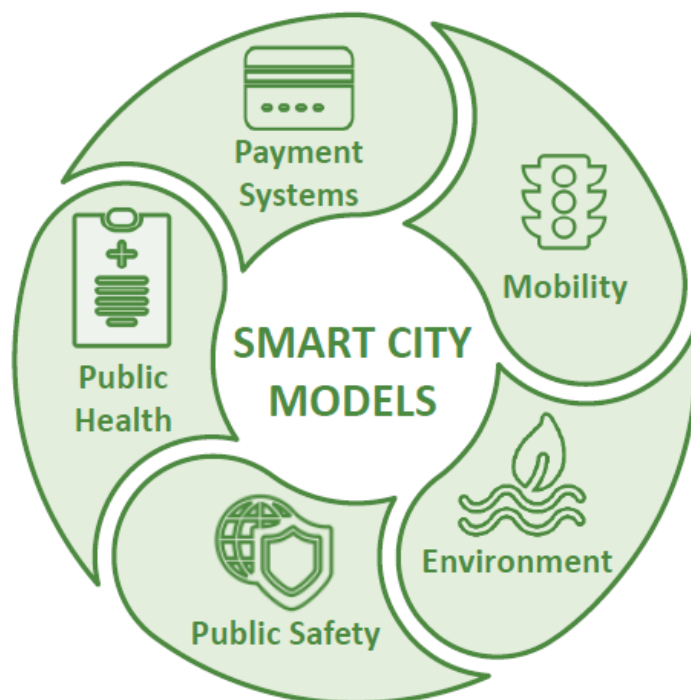


6. *Паметно управљање* (Smart Governance).



Слика 2. „Boyd Cohen“ точак [2]

Референца [7] даје нешто другачију сегментацију када је реч о даљем развоју паметног града (слика 3, [7]).



Слика 3. Другачија сегментација паметног града [7]



Важно је напоменути да је сегмент „паметна инфраструктура“ („*smart infrastructure*“) накнадно додат иницијалном концепту приказаном „Void Cohen“ точком, што је у складу са изнад изнетом констатацијом да не постоји једна универзална дефиниција сегментације концепта Паметног Града.

Накнадно је СЦ концепт проширен и са **“паметним стварима”** („*Smart Things*“) како би се такође размотрила релевантна улога коју играју „IoT“ мреже у паметним градовима. Од тада, концепт СЦ добија све већу важност како на европском тако и на светском нивоу, пре свега зато што се информационе и комуникационе технологије (ИЦТ) у градовима могу искористити како би се промовисао њихов одрживи развој за побољшање људских живота и очување животне средине. Нпр., Европска комисија је дефинисала листу циљева одрживог развоја (СДГ) да би усмеравала развој градова из ове перспективе. Може се констатовати да је планиран и паметно спроведен развој градова од интереса за различите истраживачке заједнице и људе из праксе, нпр. информатичаре, инжењере, научнике из области друштвених наука, економисте, али и јавне/приватне компаније, јавне управе и стручњаке за урбанизам.

Најновији трендови су и да се и **“паметне мреже”** („*Smart Grids*“) повежу са концептом паметног града [3], користећи аргумент да су паметна енергија и електричне мреже кључне компоненте у развоју паметног града. Постоје различите дефиниције паметних мрежа, једна од њих је креирана од стране Међународне Агенције за Енергију (ИЕА) *“паметна мрежа је електрична мрежа која користи напредне технологије да надгледа и управља пренос електричне енергије из свих извора у циљу задовољења променљивих захтева крајњих корисника, повећавајући ефикасност, смањујући трошкове и повећавајући поузданост система”*. У супротности са СЦ концептом и дефиницијама, овај сегмент је ограничен на енергетски сектор. Па ипак, паметне мреже интегришу информационе и комуникационе технологије у електричне мреже, доприносећи смањењу емисија штетних гасова и оптимизујући интеграцију флукутирајућих обновљивих извора енергије у мрежу. Имајући у виду да СЦ концепт обухвата управљање, мобилност, здравље, енергију и економију у циљу промоције одрживог урбаног живљења, концепт паметних мрежа заиста може бити третиран као део концепта паметног града јер доприноси модернизацији традиционалних електроенергетских система.

3. Паметно осветљење

Да би се присетили почетака концепта паметног осветљења, потребно је поменути стандард ИСО 37122 из 2017. године [8] који се бавио индикаторима за паметне градове. Ово је стандард који дефинише терминологију и методологије за мерење паметних перформанси града, помажући им да побољшају квалитет живота, управљају изазовима урбанизације и постигну одрживост коришћењем технологије и података. Важно је напоменути да у том тренутку (2017.) овај стандард уопште не третира управљање јавним осветљењем, већ искључиво модификацију постојећих светиљки са конвенционалним ХИД изворима и њихово прилагођавање ЛЕД изворима (*тзв. „refurbishing“*)! Стандард каже: *„Refurbishment of existing street light systems, for example upgrading ballasts, shall refer to activities that have an aim to not only help to decrease energy consumption but also*



improve energy efficiency of the street lighting system. This may include upgrading to an LED or other high efficiency lighting technologies. Refurbishment shall not include the removal and/or replacement of street lights. A light point shall refer to any single source of public street lighting, such as a street light, light pole, lamppost, street lamp, light standard, or lamp standard.“ То значи да се 2017. године искључиво разматрала примена модерне и ефикасније ЛЕД технологије која ће представљати темељ за даљи развој концепта паметног осветљења.

Треба рећи и да су системи бежичне контроле јавног осветљења (тзв. „телеменаџмент системи“) постојали већ крајем прве деценије ХХИ века (па и много раније уколико је реч о „*powerline*“ жичној контроли), тада је контрола примењивана на светиљке са тада најзаступљенијим изворима светлости (натријум високог притиска, метал-халогени извори). Оно због чега је прелазак на ЛЕД технологију био неопходан да би се креирао концепт паметног осветљења је чињеница да ЛЕД извори имају тренутни одзив на команду (за разлику од ХИД извора код којих је потребно и до 10 минута), већу ефикасност, мању снагу и већу „дубину“ регулације светлосног интензитета и снаге светиљки (тзв. „димовање“). Док је нпр. код најзаступљенијих натријумових извора високог притиска било могуће димовати светиљке на мин. 25% светлосног флукса извора и 40% укупне снаге светиљке, код ЛЕД извора је било могуће да се иде и до 10% номиналног светлосног флукса извора и 10% укупне снаге светиљки. То је даље омогућило значајно веће уштеде и учинило да се концепт паметног осветљења разматра као сегмент који би могао донети значајне уштеде у пословању једног паметног града.

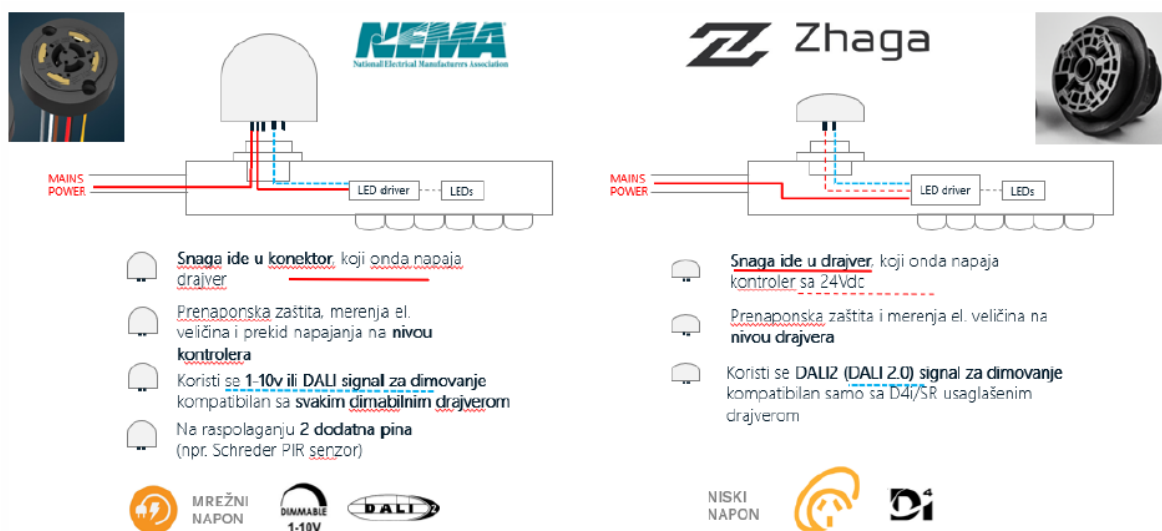
Тек када је 2014. године ИоТ („*Internet of Things*“) технологија убачена у концепт Паметног Града [9], дошло је до убрзаног развоја концепта паметног осветљења. Разлог лежи у томе што ИоТ технологија испуњава захтеве који се тичу употребе Информационих и Комуникационих Технологија (ИЦТ) у управљању градским ресурсима, а у циљу оптимизације активности по питању паметних градова. Подсећања ради [10], „Интернет Ствари“ представља окружење у којем сви објекти имају јединствену ИП адресу која им омогућава да комуницирају и преносе податке преко мрежне Интернет инфраструктуре. Гледајући уназад, ИоТ је најсличнији М2М („*Machine to Machine*“) комуникацији за коју се користи опрема која се уобичајено третира као „паметна“ (паметни сензори, паметна бројила, паметне етикете (тагови) ...). Да би се обезбедила ИП адреса за сваки уређај планиран као део свеобухватне ИоТ мреже повезаних уређаја који комуницирају и самостално доносе одлуке, неопходан услов је био прелазак на нови комуникациони „**IPv6**“ протокол који омогућује више места за нове ИП адресе. Интернет Ствари не представља независну технологију као што се често погрешно сматра, већ скуп различитих независних технологија које заправо представљају основне компоненте ИоТ система.



3.1. Архитектура система паметног осветљења

Архитектура једног типичног ИоТ система паметног осветљења се састоји од следећих компоненти [10]:

- **ХАРДВЕР:** у основи ИоТ система у којем дигитални део (комуникација и различите софтверске апликације и платформе) има доминантну улогу, налазе се уређаји/контролери и физички објекти („ствари“ („*Things*“), познати и као „крајње тачке“ („*endpoints*“)), којима је дата могућност да примају информације и реагују на инструкције помоћу различитих сензора и актуатора. Када је реч о контролерима и/или сензорима, данас (а тако ће остати и у будућности) су најпопуларнија начина везивања – „NEMA“ и „ZHAGA“ конектори интегрисани у/на паметне светиљке (слика 4 [10]). То последично утиче и на стандарде (контролне технике и протоколе) за коришћене драјвере или сензоре, тј. најзаступљенији су „D4i“, „DALI 2“, „DALI“ и „1-10V“.



Слика 4. NEMA и ZHAGA конектори [10]

Данас се користе најразличитији сензори у комбинацији са паметним светиљкама или паметним стубовима. То нису искључиво сензори чија основна намена је побољшање ефикасности система паметног осветљења, већ и сензори који се користе за друге намене у екосистему Паметног Града (такви сензори користе светиљке или паметне стубове само као извор напајања, имајући у виду да је инсталација јавног осветљења распрострањена по читавом граду). Неки од тих сензора су ПИР сензори (сензори покрета), фотоћелије, тилт сензори (сензори неправилног нагиба светиљке услед удара), сензори присутности (нпр. за детекцију слободних паркинг места), сензори буке, сензори загађења ваздуха, итд...

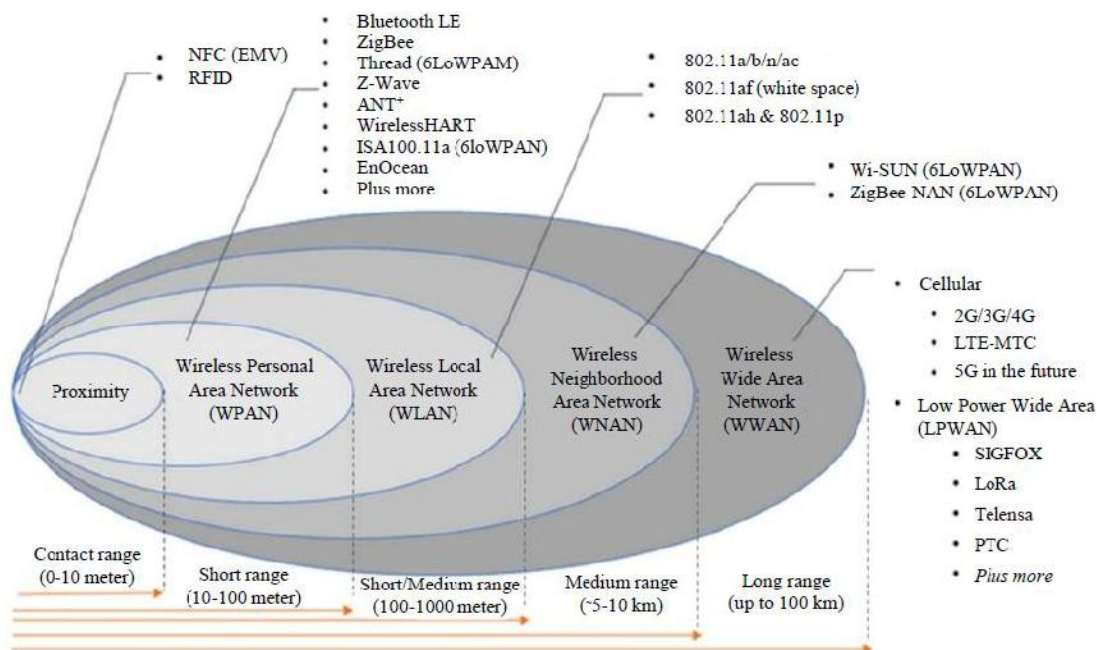
- **СОФТВЕР:** Софтвер омогућује прикупљање и складиштење података, њихово процесуирање, манипулацију и давање инструкција ИоТ уређајима (хардверу). Просто речено, сврха сваког ИоТ уређаја је да се повеже са другим ИоТ уређајем и апликацијама (базираним на „Облаку“ („*Cloud*“)) ради преноса информација путем



неког од интернет протокола. ИОТ технологија је заснована на концепту „рачунарства у облаку“ (“*Cloud computing*”), где крајњи корисници приступају апликацијама у облаку преко веб претраживача или десктоп софтверских апликација на мобилном телефону, док се софтвер (извршни програми који шаљу инструкције ИОТ уређајима на основу прикупљених података) и база података налазе на серверима на удаљеној локацији. Простор између сензора и мрежа података заузима ИОТ Платформа, која повезује мрежу података са конфигурацијом сензора и омогућује увид коришћењем тзв. „back end“ апликација, не би ли дале смисао и омогућиле рад са огромном количином података генерисаних од стотине сензора. Неке од најпознатијих платформи су Microsoft Azure IoT, Google Cloud Platform, Cisco IoT Cloud Connect, Hewlett Packard Enterprise’ universal of things, Siemens Mindsphere, Oracle Integrated Cloud, итд...

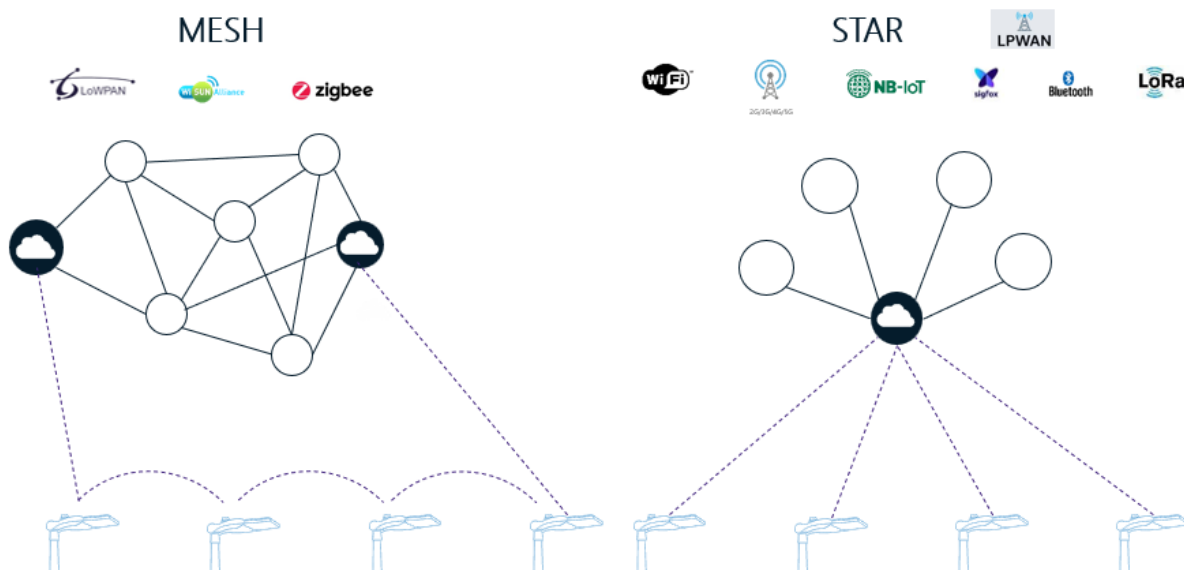
Треба напоменути и да Паметни Градови користе тзв. “**Big Data**” алатке [11] да подрже велику количину података коју генеришу градски уређаји. Сензорске мреже стандардно шаљу податке о стању у граду (нпр. температура, квалитет ваздуха, мерење количине атмосферских падавина). Биг Дата алатке се већ користе у СЦ платформама, као нпр. “**NoSQL**” базе података (нпр. MongoDB или Hbase); алатке за паралелно процесуирање података (нпр. Apache Hadoop и Apache Spark), алатке за процесуирање тока података у реалном времену (нпр. Apache Storm) и алатке за визуелизацију (нпр. Rapid-Miner).

- **КОМУНИКАЦИОНА ИНФРАСТРУКТУРА:** Ово представља најважнији део ИОТ архитектуре који се састоји од протокола и технологија које омогућавају размену података између два физичка објекта. Бежичне мреже су од највећег значаја за успех ИОТ инфраструктуре, па ће се овом делу посветити највећа пажња. Важно је истаћи да постоји и хардверски део који је неопходан за комуникацију и пренос података (тзв. Приступна тачка или „*Access Point*“). За Wi-Fi протоколе, приступна тачка је Wi-Fi рутер (приступне тачке се понекад називају и „*gateways*“ или „преводиоци протокола“). Постоји више различитих типова бежичних технологија (комуникационих протокола) које су од значаја за ИОТ концепт – домет радио таласа код ових технологија варира од неколико центиметара до неколико километара. За кратки или средњи домет се препоручују WPAN\LAN (Wireless Personal или Local Area Network) технологије као што су: Bluetooth, ZigBee, 6LowPAN и Wi-Fi. За комуникацију великог домета препоручују се WWAN (Wireless Wide Area Network) технологије које се могу поделити у два типа, у зависности од тога да ли користе **лиценциране** (Cellular 2G/3G/4G и 5G у будућности) или **нелиценциране** (LPWA LoRa, SIGFOX и други) технологије (слика 5 [10]).



Слика 5. Бежичне ИОТ комуникационе технологије [10]

У самом почетку, све мреже су се ослањале на „Powerline“ комуникацију док су данас то претежно радио системи. РФ комуникација се разликује од произвођача до произвођача јер се сваки од њих трудио да развије своју технологију која би имала неке предности у односу на конкуренцију. Последица тога је да постоји велики број различитих технологија заснованих на различитим протоколима код којих се комуникација одвија преносом радио таласа. За корисника је веома тешко да направи прави избор и одлучи се за неки одређени вид радио комуникације, имајући у виду да су се различити реномирани произвођачи контролне опреме одлучивали за различите архитектуре ИОТ мрежа, где свака од њих има одређене предности у зависности од уређаја које контролише (слика 6 [10]). На слици 6 је приказана подела комуникационих технологија према мрежној топологији – одређени број произвођача контролних система се определио за звездасту мрежну топологију („STAR“ мреже), а други део за „MESH“ мрежну топологију.



Слика 6. Бежичне ИОТ комуникационе технологије – топологија мрежа [10]



У ИоТ свету се увек бира најподеснији медиј за комуникацију, поредећи разиличите променљиве и факторе који дефинишу одређени начин (језик) комуникације преко изабраног медија. Сва та правила се зову протоколи и имају много различитих особина као што су: радио фреквенција, снага контролера, пропагација таласа кроз препреке, количина података која се преноси, учестаност преноса података, итд. Све те променљиве чине их мање или више подесним за одређене примене. Мора се још једном напоменути да не постоји идеални избор мрежног протокола (комуникационе технологије) за паметно осветљење, ниједна од две најраспрострањеније групе (6LoWPAN и LPWAN) није дефинитивно супериорнија. Избор зависи од величине пројекта, локације (“урбане густине” локације), потребе за подацима и од постојеће инфраструктуре. LPWAN (Low Power Wide Area Network – нпр. LoRa WAN, NB IoT, Sigfox, 2G/3G/4G/5G) је идеална за примене на ширем (не густо насељеном) простору где нема потребе за већом количином података и где се контролним системом могу покривати веће зоне због комуникације великог домета. Истовремено, 6LoWPAN (IPv6 Low-Power Wireless Personal Area Network – нпр. Zigbee, WiSUN, Bluetooth BLE, Thread, WiFi 802.11n), као протокол који користи комуникацију кратког домета, је боље решење за густо насељене урбане области које захтевају робуснију мрежу са преносом веће количине података у реалном времену.

ПРЕВОДИОЦИ ПРОТОКОЛА („GATEWAY“ или PRISTUPNA ТАЃКА):

„Gateway“ (преводаца) је физички или виртуелни уређај који служи као преводаца између две комуникационе мреже. Он је двосмеран и може да управља комуникационим протоколима и физичким или виртуелним мрежама, а све у складу са дефинисаним приоритетима у комуникацији између две мреже. Преводиоци протокола омогућају да се повежу додатни сензори и/или контролери у систем, па чак и интерфејси са сопственим платформама на којима се чувају подаци (нпр. саобраћајне или метеоролошке платформе). Ова функционалност није могућа код свих платформи, а зависи од њиховог дизајна и степена усклађености са стандардима. Код већег броја произвођача паметног осветљења је од почетка постојала јасна идеја водила да се систем у потпуности ослања на отворене стандарде и протоколе, тј. систем је дизајниран да неприметно комуницира са отвореним софтвером и хардверским решењима других произвођача. У даљем тексту ће се издвојити два најважнија протокола [10] иако постоји још неколико протокола од изузетне важности за комуникацију на нивоу сервера/ИоТ платформе („RESTFUL API“ и „Lightweight M2M“ (базиран на „CoAP“ протоколу)).

„TALQ“

Ово је истовремено име конзорцијума и „Smart City“ протокола који омогућава да мреже уређаја за спољну примену („Outdoor Device Networks“ – „ODN“) различитих добављача међусобно делују и комуницирају са једним „CMS“-ом („Central Management Software“) путем стандардног апликативног протокола. Talq је стандардизовани „API“ који дозвољава независним софтверским платформама да међусобно комуницирају, укључујући конфигурацију, контролу и надгледање ODN мрежа укључујући и улично осветљење. Радећи на стандардизован начин, све постаје много јефтиније и чини интеграцију много једноставнијом за паметне градове.

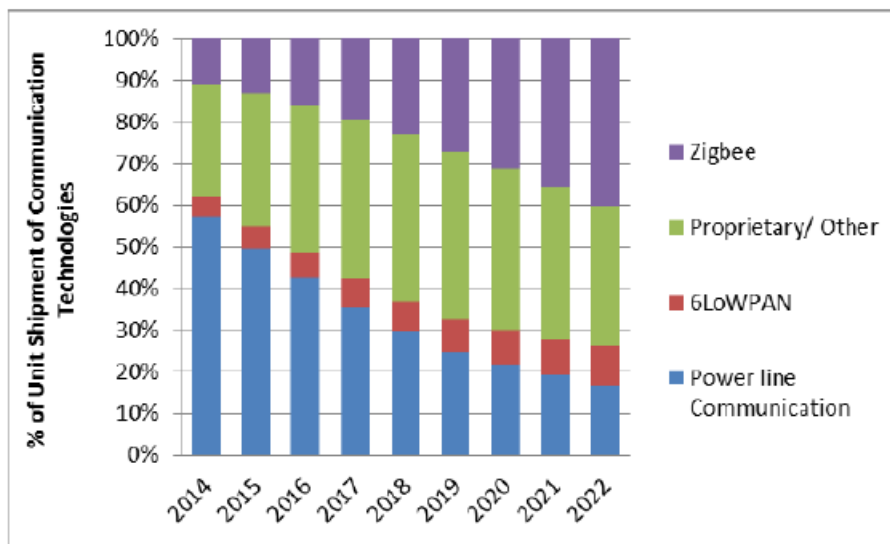


„uCIFI“

То је непрофитна алијанса појединачних компанија, градова & водећих IoT стручњака посвећених стандардизацији модела података у паметним градовима и комуналним предузећима. Модел података („*data model*“) има кључну улогу у структури IoT технологије, посебно имајући у виду да је код највећег броја IoT примена модел података јединствен и затворен, на исти начин на који постоји велики број различитих језика којима људи комуницирају.

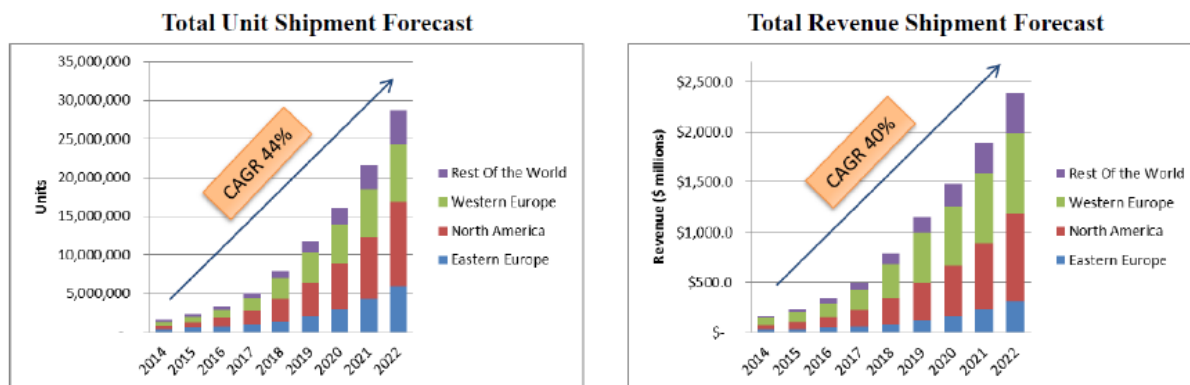
3.2. Паметно осветљење – прошлост и садашњост

Када говоримо о паметном осветљењу (са акцентом на спољно осветљење [10]), у 2014. години је инвестирано 169 милиона \$ у контролне системе и повезивање светиљки, од чега су чак са 45% биле заступљене ЛЕД светиљке за спољно осветљење [13]. На слици 7 [13] се може видети да се за период 2014-2022 очекивао раст прихода према годишњој стопи раста од 40% и раст просечних испорука (према количини контролних јединица) према годишњој стопи раста од 43%.



Слика 7. Анализа тржишта из 2015. године за контролне системе у спољном осветљењу [13];
Графикон лево: Предвиђања за испоруку опреме; Графикон десно: Предвиђања профита

Када је реч о примењеним комуникационим технологијама у спољном осветљењу, у том тренутку је доминирала PLC („Powerline Communication“) технологија са скоро 60% заступљености, заснована на преносу контролног сигнала кроз напојни (обично неутрални) проводник. У наредним годинама (анализа на слици 8 [13] покрива период 2014-2022) очекивао се константан пад заступљености „PLC“ и константан раст заступљености „WiFi“ (бежичне) комуникације, за коју се очекује да ће постати доминантна у наредне 2 до 3 године. На слици 8 [13] је приказана заступљеност (према просечном броју контролних јединица по испоруци опреме) најчешће коришћених отворених и затворених (проприетару) комуникационих протокола.



Слика 8. Анализа заступљености комуникационих протокола међу контролном опремом [13]

У студији из 2020. године која је покрила период од 10 година [14], закључује се следеће:

- Глобалне инвестиције у улично ЛЕД осветљење ће износити 16.2 милијарди \$, док ће још 9.7 милијарди \$ бити инвестирано у паметне (повезане) светиљке од чега ће 1.1 милијарда \$ бити приходована од зараде на софтверу (преносу података) – „CMS SaaS“ („Software as a Service“); Ови годишњи трошкови за софтвер („recurrent costs“) крећу се просечно у опсегу 2-5 \$ упркос томе што су многи очекивали да ће ти трошкови бити у опсегу 1-2 \$;
- 2.1 милијарда \$ ће бити инвестирана у додатне паметне сензоре који ће бити интегрисани са паметним светиљкама (у периоду од 2020-2029)
- У 125 земаља, биће инсталирано 185 милиона ЛЕД уличних светиљки, достижући удео ЛЕД осветљења од 73% до 2029. године;
- Градови и комунални сервиси ће умрежити 71 милион уличних светиљки, достижући удео паметног осветљења од 23% до 2029. године;
- Додатни сензори за паметне градове биће повезани на 2.8 милиона уличних светиљки;
- Лидери на тржишту паметног уличног осветљења биће „Telensa“ (купљена од „Signify“), Signify, Itron, SELC и Cimcon, уз напомену да ће тржиште бити веома диверзификовано и да ће постојати барем 25 произвођача који ће заједно покривати најмање 2% глобалног тржишта; Тренутно постоји преко 50 произвођача који су више оријентисани на локално тржиште и имају мање од 100.000 инсталираних паметних светиљки/контролера;
- У свету постоји приближно 326 милиона уличних светиљки (очекује се да их буде 361 милион до 2029) од чега ће 73% бити ЛЕД светиљке до краја деценије;
- Цена ЛЕД светиљки је падала током година, не очекује се даљи пад цена;
- Постоји уплив различитих компанија из других тржишних сегмената заинтересованих за паметно осветљење, од телекомуникационих компанија (мобилних оператера), преко трговаца електричном енергијом па до „ESCO“ компанија које су играле кључну улогу и финансирању и реализацији пројеката паметног осветљења. Очекује се да се овај тренд настави као последица економске кризе (мањих градских буџета) која је настала након „Ковид“ периода;
- Тржиште паметних градова (изузев паметног осветљења) се споро развија, а на разочарање произвођача опреме и самих градова. Ипак, схваћено је да је најбољи начин да се иде са уштедама у трошковима и потрошњи ел. енергије управо кроз



сегмент паметног осветљења, све док остали сегменти паметног града довољно не ојачају. Ово се може видети у многим градовима који спроводе пројекте „за будућност“ који укључују паметно улично осветљење, инсталирајући светиљке са NEMA и/или ZHAGA утичницама/конекторима за повезивање, са плановима за касније додавање друге инфраструктуре.

- Недавно усвојени D4i DALI стандард за “IoT-ready” светиљке чини да сензори и контролери могу лакше бити директно уграђени на светиљке, док паметни ЛЕД драјвери могу прикупљати податке и извештавати о њима. Пилот пројекти са “паметним чвориштима” (“*Smart Hubs*”, централне платформе) или “паметним стубовима” (“*Smart poles*”) даље помажу градовима у циљу испитивања различитих функција значајних за концепт Паметног Града, при чему се интеграцијом паметног осветљења остварују уштеде од 70-80% у трошковима за ел. енергију;
- Највећи број пројеката и даље користи радио комуникације („RF“), „UNB“ („Ultra Narrow Band“) или базичну мобилну комуникацију, уз напомену да се припремају први „NB-IoT“ пројекти и да PLC („powerline“) жична комуникација дефинитивно излази из употребе. Неки лидери на тржишту процењују да ће половина свих годишњих пројеката паметног осветљења у Европи бити заснована на „NB-IoT“ комуникацији у наредних неколико година;
- „TALQ2“ стандардизује контролне системе („CMS – Central Management System“) и може довести до тога пораста броја пројеката у којима су фирме које развијају CMS одвојене од оних које се баве контролном опремом или комуникационом инфраструктуром. Недавно развијени TALQ2 стандард (од стране TALQ конзорцијума) дефинише заједнички језик за софтвер за паметне градове (CMS) којим ће се комуницирати са контролерима светиљки и другим паметним сензорима. Највећи број водећих произвођача паметног осветљења (ЛЕД светиљки и контролера/контролних система) су сада чланови TALQ конзорцијума, што даље имплицира да ће у будућности постојати већа интероперабилности између различитих произвођача. Неке друге студије [15] дају следеће податке о главним играчима на тржишту паметног осветљења (Табела 1, [15]), а у периоду закључно са 2024. годином:



Табела 1. Водеће компаније у области паметног осветљења, закључно са 2024. годином [15]

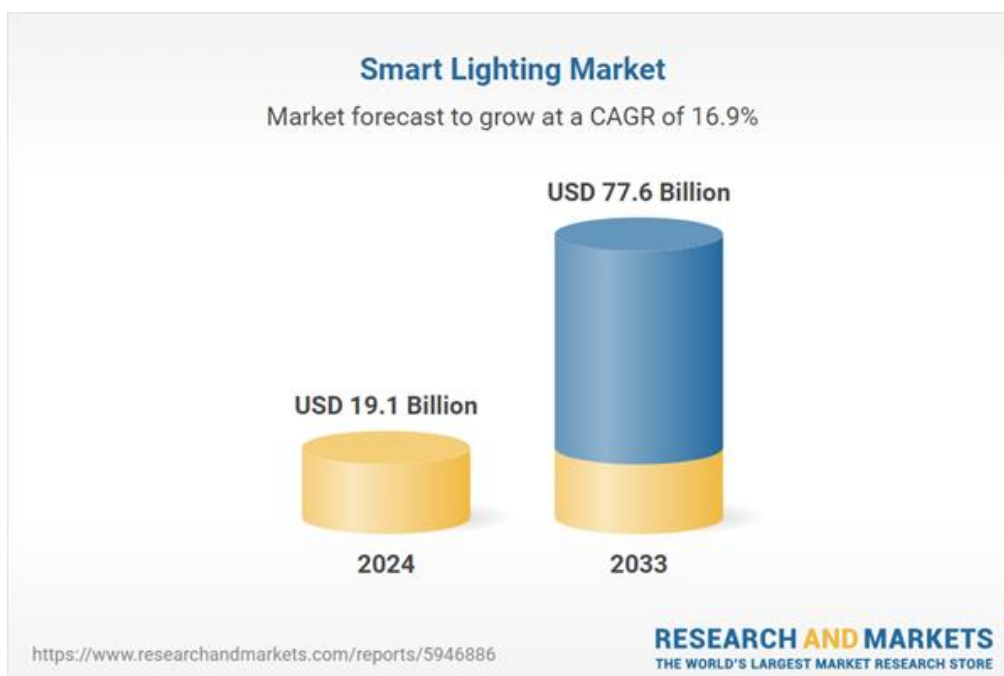
Company	HQ	Individually controlled street lights ¹
Signify	Netherlands	5,300,000
Itron	The US	2,500,000
Lucy Group ²	The UK	1,300,000
Quantela	The US	1,000,000
Schröder	Belgium	900,000
Revetec	Italy	795,000
Umpi	Italy	720,000
Dimonoff	Canada	635,000
ST Engineering Telematics Wireless	Singapore	600,000
Ubicquia	The US	600,000

¹Excluding China ²Flashnet & Lucy Zodian

Source: Berg Insight – April 2024

4. Паметно осветљење – развој и будући трендови

Према извештају „Strait Research“ који покрива период 2025-2033 [16], очекује се да тржиште паметног осветљења расте од 19.1 милијарде \$ у 2024. Години до 77.6 милијарди \$ у 2033. години, са стопом раста (CAGR) од 16.90% (Слика 9 [16]).



Слика 9. Тржиште паметног осветљења, период 2025-2033 [16]

Очекује се значајан раст тржишта паметног осветљења почевши од 2025. године, а који је последица све већег уплива ИоТ технологије, напретка у ЛЕД технологији и глобалног пораста интересовања за паметна домаћинства (смарт хомес) и паметне градове. Према извештајима Светске Банке, очекује се да урбанизација (број људи у градовима) достигне 68% до 2050. године, а да потрошња електричне енергије порасте са 25.67 билиона kWh



на 40.44 билиона kWh до 2040. године (према Међународној агенцији за енергију ИЕА). Последишно, захтеви за енергетски ефикасним решењима са паметним осветљењем постају изразито високи.

Примећује се тренд уплива **вештачке интелигенције** (“AI”) заједно са ИoT технологијом у циљу напредне контроле осветљења, где се дешава заокрет ка „осветљењу које води рачуна о људима“ (“human centric lighting (HCL)”) и повећаној употреби бежичних технологија, уз нагласак на одрживим и еколошки прихватљивим решењима. У географском смислу, Европа као континент предводи тржиште у правцу развоја и усвајања нових решења паметног осветљења, истовремено имплементирајући строгу енергетску регулативу.

Иако је остварен значајан помак у имплементацији бежичних комуникационих технологија, жична технологија и даље има приметан удео на тржишту. Ипак, очекује се потпуна доминација бежичних технологија у области паметног осветљења.

ЛЕД технологија већ дужи низ година има доминантну улогу у односу на остале изворе светлости (флуо и компакт-флуо извори, натријум високог притиска, метал-халогени извори), а уз тенденцију даљег раста до потпуног преузимања тржишта јавног осветљења.

Повољна регулатива на нивоу државе и иницијативе за паметне градове су главни покретачи раста тржишта паметних градова, а последишно и паметног осветљења. Градови све више имплементирају паметно осветљење да би смањили потрошњу електричне енергије и емисију штетних гасова – различите студије показују да се коришћењем ЛЕД светиљки са контролним системом могу оставити уштеде у потрошњи електричне енергије од 50-80%.

Контролни системи се све више удаљавају од стандардних сценарија димовања у предефинисаном времену и све више укључују различите сензоре и вештачку интелигенцију. Регулација светлосног интензитета (димовање) је све више базирана на факторима заснованим на реалном времену, као што су пешачки саобраћај, временски услови, густина саобраћаја, ниво осветљености и сл. Уколико је предефинисани сценарио димовања осветљења допуњен са интегрисаним сензорима (нпр. фотосензори и/или детектори покрета) који доносе додатну регулацију и додатне уштеде, овакав тип осветљења се назива динамичко осветљење. Уколико на предефинисани сценарио димовања (вишестепени режим рада инсталације осветљења) утичу екстерни подаци унешени у систем из различитих дигиталних сервиса (“online” база података), онда се овакав тип осветљења зове адаптивно осветљење. Ти дигитални сервиси (нпр. сервис о временским условима или сервис о густини саобраћаја) су обично геореференцирани, тј. уносе у систем податке који су директно везани за конкретну локацију на коју је постављена инсталација паметног осветљења.

Под термином „мултифункционални паметни стубови“ подразумева се систем стуба и паметне ЛЕД светиљке којем су придодати и други сензори које не доприносе директно сегменту паметног осветљења, већ директно доприносе екосистему паметног града.



Такви стубови су опремљени другим уређајима као што су “WiFi” приступне тачке, сензори мерења квалитета ваздуха, надзорне камере, пуњачи електричних возила, камере за детекцију слободних паркинг места и сл. Треба још једном истаћи главну предност инсталације јавног осветљења која доводи до оваквих интеграција – *мрежа/инфраструктура јавног осветљења је распоређена свуда по граду чиме је омогућено да се паметни стубови користе као извор напајања за све друге паметне уређаје (није лако поставити нове инсталације и свуда наћи прикључке за нову паметну опрему)!*

„Li-Fi“ технологија („Light Fidelity“) је растући тренд који користи светлосне таласе за пренос података. Са већим пропусним опсегом и побољшаном безбедношћу, ова технологија се интегрише у системе осветљења за брзу бежичну комуникацију.

„Осветљење које води рачуна о људима“ („Human-centric lighting (HCL)“) је технологија која регулише интензитет светлости и температуру боје (нпр. прелазак са 4000K на 3000K по потреби) како би опонашала природне циклусе светлости, што може повећати благостање и продуктивност. „HCL“ се усваја у комерцијалним и јавним просторима, као и у паметним домаћинствима.

Концепт паметних градова и његова примена доводе до повећане безбедности грађана, нпр. коришћењем сензора који могу асистирати органима реда и хитним службама.

Све већа примена ИОТ платформи као свеприсутних мрежа међусобно повезаних паметних светиљки ствара моћну платформу за примену других услуга паметних градова, као што су управљање саобраћајем, управљање отпадом и сеизмички мониторинг.

Системи паметног осветљења ће постајати све паметнији кроз употребу „AI“ јер ће то омогућити додатне функционалности као што је адаптивно осветљење, а у циљу уштеда енергије и побољшаног искуства за корисника контролног система. Примера ради, у Јануару 2025. године „Philips Hue (Signify)“ је лансирао свог првог AI асистента у циљу креирања адаптивних светлосних сцена.

5. Закључак

Све већи фокус на пројекте паметних градова широм света, а који укључују и паметно осветљење као основну компоненту развоја урбане инфраструктуре, даје подстицај расту тржишта [16]. Ове иницијативе имају за циљ унапређење јавне безбедности, побољшање енергетске ефикасности и повећање квалитета живота у урбаним срединама. Штавише, шире усвајање концепта адаптивног паметног осветљења у јавним просторима (прилагођавање различитим условима као што су густина саобраћаја или кретање пешака) подстиче раст тржишта. Истовремено, његова интеграција са другим системима паметних градова за побољшано управљање урбаним срединама такође подстиче раст тржишта. Поред тога, све веће инвестиције влада и општинских власти у решења за осветљење улица, јавних паркова и јавних зграда, вођене потребом да се смање трошкови енергије и повећа урбана безбедност, нуде могућности за раст тржишта.



Растућа свест о утицају паметног осветљења на здравље и добробит људи фаворизује раст тржишта. Паметни системи осветљења могу да помогну у одржавању људског циркадијалног ритма, чиме се побољшава квалитет сна и опште благостање. Увођење паметног осветљења у здравственим установама за стварање окружења погодног за опоравак пацијената и ефикасност особља јача раст тржишта. Поред тога, растућа популарност паметног осветљења због његовог потенцијала у терапијским применама, као што је лечење стања попут сезонског афективног поремећаја (САД) и одређених поремећаја спавања, катализује раст тржишта.

Очекује се да ће се као значајан тренд у будућности даље развијати следећи сегменти у екосистему једног паметног града (уз напомену да се све ове услуге могу увезати преко ИоТ платформи који се користе и за контролу паметног осветљења [17]):

- Паметно паркирање: Коришћење надзора у реалном времену за праћење статуса заузетости паркинга. (доступан/заузет);
- Управљање отпадом: Примена сензора за откривање нивоа смећа у посудама, оптимизација путева и распореда за прикупљање отпада;
- Квалитет ваздуха: Коришћење система надзора за праћење нивоа загађења ваздуха;
- Стање у саобраћају: Имплементација система за откривање саобраћајних гужви и предлагање других рута кроз сигнале и поруке;
- Укључивање мера сајбер безбедности у архитектуру будуће инфраструктуре паметног уличног осветљења;
- Коришћење метода вештачке интелигенције за предвиђање тока саобраћаја и ублажавање оптерећења паметне инфраструктуре јавног уличног осветљења;
- Коришћење паметних стубова за пуњење електричних возила са прикључком;
- Испитивање поузданости сензора и физичке сигурности уређаја ради оптимизације потрошње енергије и смањења трошкова;
- Побољшање безбедносних функција: Програмирање паметних уличних светиљки за аутоматску контролу нивоа осветљења користећи податке у реалном времену, чиме се побољшава безбедност на улици и смањује ризик од незгода;
- Интеграција са системом управљања саобраћајем: Паметно улично осветљење може допринети управљању саобраћајем и ублажавању саобраћајних гужви у реалном времену;
- Промовисање еколошке одрживости: Напајање паметних стубова са изворима зелене енергије (укључујући енергију ветра или сунца) како би се смањила емисија штетних гасова у јавном паметном осветљењу.

Паметно осветљење ће се у будућности суочити са многим изазовима али и приликама за даљи развој. Главни изазови ће бити:

- Високи иницијални трошкови: Почетна инвестиција у решења за паметно осветљење остаје већа од традиционалних алтернатива, што може да ограничи раст тржишта. Надоградња постојеће инфраструктуре може ублажити овај изазов, мада не представља трајно решење.



- Безбедност података: Повезани системи осветљења стварају потенцијалне безбедносне пропусте који би могли омогућити неовлашћени приступ градским мрежама. Забринутост због хаковања и кршења података успорава усвајање у осетљивим окружењима.
- Интероперабилност између различитих система: Иако је највећи број реномираних произвођача паметног осветљења члан TALQ конзорцијума, и даље постоји значајан број произвођача који нису препознали интероперабилност као кључ будућег тржишног успеха. Очекује се да ће у будућности постојати већа интероперабилност између различитих произвођача.

Ипак, брз технолошки напредак који смањује трошкове, растућа потражња у привредама у развоју и растућа свест о предностима паметног осветљења стварају нове могућности за раст тржишта. Неке од њих су:

- Побољшане градске услуге: Паметна инфраструктура осветљења се може искористити за стварање додатних услуга „паметних стубова“. Као што је у претходном тексту речено, то може укључивати WiFi приступне тачке, тачке за пуњење електричних возила и праћење саобраћаја, квалитета ваздуха и јавне безбедности у реалном времену. Паметни стубови подразумевају интеграцију различитих ИоТ сензора, као нпр. сензори влажности ваздуха, сензори температуре, сензори амбијенталног светла, сензори звука и вибрација, детектори покрета/брзине/померања, сензори покрета, „LDR (Light Dependant Resistor)“ детектор, пасивни инфрацрвени (ПИР) сензори и инфрацрвени (ИР) сензори.

Коначно, ако би се у наредних 10 година морале издвојити одређене примене које су последица убрзаног технолошког развоја, то би биле:

- Имплементација **5G мрежа** за бржу комуникацију уређаја
- Употреба вештачке интелигенције за динамичку/адаптивну регулацију светла
- Соларне и хибридне лампе са аутономним напајањем
- Увођење био-сензора за праћење квалитета ваздуха и осветљења
- Други напредни сензори за детекцију биотског и саобраћајног промета



Литература

1. „A Systematic Mapping Study on Smart Cities Modeling Approaches“, M.T. Rossi, M.D. Sanctis, L.Iovino, M. Wimmer, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.16273>, Август 2025.
2. „The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, Global Networks“, D.V. Gibson, G. Kozmetsky, R.W. Smilor, Rowman & Littlefield, New York, 1992.
3. „Smart Grids in the Context of Smart Cities: A Literature Review and Gap Analysis“, N.S. Silva, R. Castro, P. Ferrão, <https://doi.org/10.3390/en18051186>, Фебруар 2025.
4. „Smart Cities: Digital solution for a more livable future“, McKinsey Global Institute, Executive Summary, Јун 2018.
5. „World Smart Cities Outlook 2024“, UN Habitat, 2024.
6. „International Guidelines on People-Centred Smart Cities. Smart Cities for People: empowering lives, protecting the planet, advancing prosperity“, UN Habitat, Март 2025.
7. „Smarter Cities 2025: Building a sustainable business and financing plan. An interactive thought leadership report“, ESIThoughtLab, Новембар 2018.
8. ISO 37122:2017 „Sustainable development in communities - Indicators for Smart Cities“
9. „Internet of Things for Smart Cities“, A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, M. Zorzi, IEEE Internet of Things Journal, Vol. 1, No. 1, Фебруар 2014., <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>
10. „Internet of Things - Globalna revolucija u sistemima daljinskog upravljanja i nadzora“, Андреј Ђуретић, Саветовање ДОС, Ниш 2017.
11. „Software Platforms for Smart Cities: Concepts, Requirements, Challenges, and a Unified Reference Architecture“, E. F. Z. Santana, A. P. Chaves, M. A. Gerosa, F. Kon, D. S. Milojicic, Јул 2017.
12. „A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT)“, M. S. Mahmoud, A. A. H. Mohamad, Scientific Research Publishing Inc., Април 2016.
13. „IoT - Owlet IoT“, Interna prezentacija Schröder Grupe, Март 2016.
14. „Global Smart Street Lighting & Smart Cities: Market Forecast (2020 – 2029)“, Northeast Group LLC, Новембар 2020.
15. „Basic - The World of Luminaire Controllers - presentation - EN – 2025“, Интерна презентација „Schröder“ Групе, Мај 2025.
16. „Smart Lighting Market - Forecasts from 2025 to 2030, Report, ID: 5510676“, Strait Research, 2025., <https://straitresearch.com/report/smart-lighting-market>
17. „A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system application for smart cities“, S.Khemakhem, L.Krichen, Franklin Open Journal, 2024.

