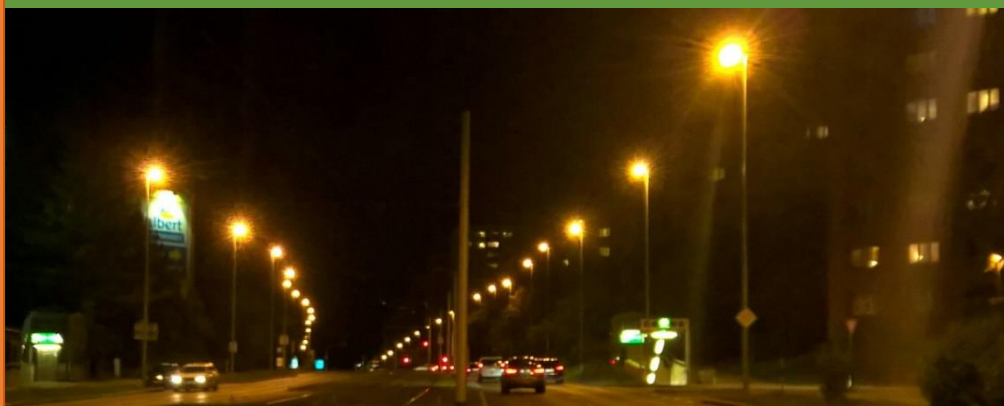


Jak na chytré veřejné osvětlení

Příručka pro města a obce



Jak na chytré veřejné osvětlení?

Příručka pro města a obce

autorský tým

PORSENNA o.p.s.

Ing. Miroslav Šafařík, Ph.D.

Ing. Theodor Terrich

Ing. Vítězslav Malý

Ing. Michal Čejka

Ing. arch. Petr Daniš

Ing. Štěpánka Rosová

Ing. Lukáš Pučelík

Ing. Andrea Malá

Diana Omámíková

kontakt

ops@porsenna.cz

www.porsennaops.cz

korespondenční adresa

Michelská 18/12a, 140 00 Praha 4

rok vydání

2017



Ministerstvo životního prostředí

**Příručka vychází s podporou Ministerstva životního prostředí.
Příručka nemusí vyjadřovat stanoviska MŽP.**

1. Obsah

1. Obsah.....	2
2. Předmluva	4
2. 1. Jak poznat chytré veřejné osvětlení	5
3. Význam a technické aspekty veřejného osvětlení	6
3. 1. Urbanistické souvislosti VO	6
3. 2. Základní rozdělení a použití světelných zdrojů.....	7
3. 3. Bílé světlo LED a jeho účinky	9
3. 3. 1. Vliv světla na biologický rytmus člověka	9
3. 4. Výběr barvy světla světelného zdroje	10
3. 5. Význam LED technologie v rozvoji VO	11
3. 5. 1. Negativní vlastnost LED zdrojů	13
4. Rušivé světlo.....	14
4. 1. Minimalizace vlivu rušivého světla	20
5. Koncepce veřejného osvětlení	23
5. 1. Požadavky norem	23
5. 2. Požadavky na rozsah koncepce VO	23
5. 3. Základní plán veřejného osvětlení.....	25
5. 3. 1. Analytická část Základního plánu	25
5. 3. 2. Návrhová část Základního plánu	26
5. 4. Plán obnovy a modernizace VO.....	28
5. 4. 1. Analytická část.....	28
5. 4. 2. Návrhová část.....	29
5. 4. 3. Výstupy	30
5. 5. Standardy veřejného osvětlení.....	30
5. 6. Provoz a údržba	32
5. 7. Ekonomika výstavby a renovace VO.....	34
5. 7. 1. Ekonomika	35

5. 8. Příprava veřejných zakázek	36
5. 8. 1. Zadávací dokumentace.....	36
5. 8. 2. Nabídková spotřeba	37
5. 8. 3. Nabídková cena	37
5. 8. 4. Kvalita technického návrhu	37
5. 8. 5. Vyhodnocování úspor.....	37
5. 9. Využití metody EPC	38
5. 9. 1. Možnosti financování obnovy VO	40
6. Chytré veřejné osvětlení v konceptu Smart Cities.....	41
6. 1. 1. Chytré veřejné osvětlení	46
7. Způsoby hodnocení efektivity a vyhodnocování projektů pomocí více ukazatelů .	51
7. 1. Ekonomické ukazatele	51
7. 2. Technické ukazatele	53
7. 3. Environmentálně-sociální ukazatele	55
7. 4. Hodnocení projektů veřejného osvětlení pomocí multikriteriální analýzy	56
7. 4. 1. Postup MCA.....	57
7. 4. 2. Příklad hodnocení veřejného osvětlení	58
8. Příklady instalací chytrého veřejného osvětlení	60
Chytré veřejné osvětlení v obci Chelmża	60
Chytré veřejné osvětlení ve městě Wolgast	61
Chytré veřejné osvětlení ve městě Galatina	62
9. Použité zdroje v jednotlivých kapitolách	64

2. Předmluva

Veřejné osvětlení je přirozená a povinná součást každého města či obce. Poskytuje pocit bezpečí, funguje jako prevence kriminality, usnadňuje pohyb ve městě, a která je také nezbytnou součástí komerčních a odpočinkových aktivit během noci.

Oproti tomu je zdrojem světelného znečištění, negativních vlivů na zdraví člověka, spotřebovává energii a čerpá finanční prostředky z rozpočtů měst a obcí. Až 40 % nákladů na elektrickou energii a spojených ostatních provozních nákladů hrazených z rozpočtů měst připadá na veřejné osvětlení. Velká část energie přitom připadá na osvětlení ulic v době, kdy se na nich nikdo nepohybuje, resp. kdy jsou osvětlovány neefektivním způsobem. Roční náklady na provoz a údržbu veřejného osvětlení v ČR představují téměř 2 mld. Kč a další zhruba 1 mld. Kč je vydávána na obnovu a investice.

V posledním desetiletí se stále více uplatňuje instalace světelných technologií založených na vyzařujících diodách (LED), které umožňují významně inovovat také veřejné osvětlení. Úspora energie je zřejmou předností této technologie, avšak LED osvětlení umožňuje inovace nad rámec současné praxe, a tím lze docílit dalších úspor. V kombinaci s dalšími technologiemi skýtá řešení pro časové periody s nízkou hustotou dopravy, umožňuje úpravu barvy, jasnosti, rozptýlu světla na ulici během dne a také úpravu osvětlení v závislosti na aktuálním počasí.

Chytré veřejné osvětlení, které je schopné adaptace na potřeby uživatelů, svítí v čase, kdy je potřeba a v kvalitě, která je žádoucí jak z pohledu chodce, či řidiče, tak z pohledu legislativy. Otázkou ovšem zůstává, jak nejlépe zakomponovat chytré veřejné osvětlení do městského prostředí.

Na trhu je dnes na výběr z mnoha různě „chytrých“ řešení, přičemž většina z nich je postavena na úspoře energie a nákladů. Existuje také již řada příkladů dobré praxe realizovaných v zahraničí, ale již i u nás. Bohužel, jedná se často pouze o nahodilé projekty, které nejsou zasazeny do širšího kontextu, resp. koncepce „smart city“.

Úskalím je na jedné straně nekonceptnost v obnově veřejného osvětlení a nízké povědomí o rozsáhlých možnostech, které nové technologie nabízejí. Obce a města při realizaci oprav a obnovy veřejného osvětlení mnohdy upřednostňují jednoduchou a nejlevnější variantu výměny světelných bodů, před na první pohled složitějším řešením, které se jim však může později vrátit nejen ve formě uspořených nákladů, ale i v podobě kvalitnějšího a příjemnějšího veřejného osvětlení.

Aby bylo město skutečně „smart“ a přispívalo k udržitelnému rozvoji co nejvíce, mělo by mít dostatečné znalosti a povědomí o nových technologiích a zároveň musí mít své činnosti opřeny nejen o své strategické dokumenty, ale i o koncepční a akční dokumenty, které zajistí systematičnost a provázanost jednotlivých kroků. Stav veřejného osvětlení je významným problémem v mnoha městech a obcích, proto bychom rádi i touto příručkou poskytli odborné a nestranné podklady k rozhodování.

2. 1. Jak poznat chytré veřejné osvětlení

S rozvojem nových technologií, LED zdrojů, řídicích a komunikačních systémů čelí sektor veřejného osvětlení novým výzvám a tlaku nabídek nových a dokonalejších řešení. Tato příručka by měla přispět k informovanosti o těchto souvislostech VO, které vedou jak k úspoře nákladů i ke kvalitativnímu zlepšení soustavy VO a veřejného prostoru. Na úvod jsme přinesli několik otázek, kterými si můžete jednoduše ověřit, jak dalece jsou naplňovány základní charakteristiky chytrého veřejného osvětlení.

Oblast	Návodné otázky
Koncepce	- Máte rozvoj VO řešen ve strategickém plánu? - Máte rozvoj VO řešen v rámci jiné koncepce, např. koncepce Smart City?
Plánování	- Je váš investiční výhled ve VO alespoň tříletý? - Plánujete rozvoj VO ve vazbě na další středně a dlouhodobé plány (např. obnovy a údržby komunikací)?
Investice	- Připravujete veřejné zakázky ve VO s uplatněním více hodnotících kritérií? - Používáte přitom služeb odborníků? - Připravujete projektovou dokumentaci ve více stupních a využíváte služeb projektového koordinátora?
Provoz	- Využíváte při provozu nějaký sofistikovaný systém řízení a využíváte většinu jeho funkcionalit? - Má provoz vazbu na plánování, např. ve vztahu ke skladovému hospodářství – optimalizujete počty typů zdrojů a zařízení?
Náklady	- Porovnáváte výši (měrných) investičních nákladů s obdobnými projekty, například v jiných městech? - Provádíte CBA nebo jiný druh analýzy přínosů ve vztahu k vícenákladům na inteligentní systémy VO? - Kontrolujete pravidelně kalkulace provozních nákladů v návaznosti na obnovu VO? Zejména ve vztahu ke struktuře nákladů při vyšším využití LED. - Porovnáváte (měrné) provozní náklady na VO, např. s jiným městem?
Flexibilita / integrace	- Propojujete cílevědomě VO s dalšími systémy (např. kamerový systém, monitoring apod.)? - Zajišťujete konektivitu v rámci celého města jednotným systémem?
Estetika	- Zohledňujete při renovaci a výběru nové soustavy vždy faktor vzhledu, případně vazby na městský mobiliář? - Využíváte při přípravě projektu (městského) architekta?
Sociální oblast a živ. prostředí	- Jsou koncepce i jednotlivé projekty připravovány se zapojením veřejnosti? - Řešíte omezení rušivého světla a světelného znečištění koncepčně, například nějakým předpisem?

3. Význam a technické aspekty veřejného osvětlení

Veřejné osvětlení zajišťuje osvětlení venkovních prostorů, veřejných prostranství, pozemních komunikací a silnic a dalších souvisejících prostor. Ze své podstaty se jedná o veřejný statek, tj. „neplacenou službu veřejnosti“ hrazenou z obecních rozpočtů, z jehož provozování neplynou obcím příjmy. Tato forma umělého osvětlení by měla poskytovat všem účastníkům zrakovou pohodu a bezpečný pohyb po komunikacích a veřejných prostorech za zhoršené viditelnosti a tmy. Zároveň však by nemělo dojít k omezujícímu oslnění uživatelů.

Na území České republiky se nachází bezmála 1,4 milionu světelných míst a průměrná doba provozu veřejného osvětlení v České republice činí kolem 4 100 hodin ročně. Přibližně 850 000 světelných míst se nachází v obcích s osídlením do 20 000 obyvatel.

Vhodný výběr svítidel s účinnými optickými prvky a účelným uspořádáním světelných míst ovlivňuje nejen kvalitu osvětlení komunikací a veřejných prostranství, ale také provozní výdaje osvětlovací soustavy. Doplnění soustavy venkovního osvětlení o dynamické řídicí prvky a senzory může zajistit nižší výdaje na provoz veřejného osvětlení.

Chytré veřejné osvětlení disponuje vyšším stupněm řiditelnosti. V širším rozsahu reflektuje na aktuální požadavky a situaci na průjezdných úsecích sběrných komunikací nebo dění na veřejných prostranstvích. Oblast aplikace dynamických/chytrých systémů VO je však částečně omezena jak z hlediska legislativy, tak z pohledu vlastní praktické využitelnosti.

3. 1. Urbanistické souvislosti VO

Každé veřejné prostranství by mělo mít čitelný charakter a zastávat jasnou a smysluplnou úlohu v celkové struktuře města. Cílem nemůže být pouhé splnění technických a legislativních požadavků, ale VO musí podporovat hierarchii města a dopravního zatřídění, přičemž dopravní zatřídění by mělo z urbanistického typu vycházet a podporovat ho. Pokud je charakter prostoru v souladu s urbanistickým významem a dopravním zatříděním, může vzniknout kvalitní veřejné prostranství.

Pro posílení identity města a jeho celkový charakter je rovněž žádoucí, aby byly použity prvky odpovídající typologii a architektuře daného města. Klíčem může být použití pečlivě zvoleného standardizovaného mobiliáře, který identitu města posílí. Je vhodné například vytvoření „Katalogu vybavení veřejných prostranství“. [3-1]



Obrázek 1 Vlevo navození příjemné atmosféry na cestě městskou krajinou díky světlu LED (foto: ETNA s.r.o.). Vpravo světlo a osvětlení vytváří obraz města (foto: Theodor Terrich)

3. 2. Základní rozdělení a použití světelných zdrojů

Ve veřejném osvětlení jsou nejčastěji používány výbojové zdroje světla - nízkotlaké, vysokotlaké, luminiscenční, fluorescenční.

V zářivkách a rtuťových výbojkách se uplatňuje fluorescence a vyzářené fotony v oblasti viditelného světla mají jen určitou vlnovou délku a luminiscenční záření je čárové. Této vlastnosti se využívá při výrobě vícepásmových luminoforů, kdy složením jednotlivých vrstev luminoforu lze ovlivnit výslednou barvu světla.

V případě nově používaných LED světelných zdrojů je světlo emitováno v polovodičovém přechodu P-N. [3-2], [3-3].

Tabulka 1 Stručný přehled světelných zdrojů pro chytré veřejné osvětlení

Světelný zdroj	Charakteristika	Vhodnost
Zářivka lineární (T8, T5)	Světelný zdroj pracující s nízkotlakým výbojem v parách rtuti. Ve VO užívaný k osvětlování uzavřených cest pro pěší (podchody) a přístřešků (autobusová nádraží, zastávky MHD)	★
Zářivka kompaktní	Pro použití ve VO výhradně se čtyřkolíkovou patičí, převážně s elektronickým předřadníkem ve svítidlech pro osvětlování místních komunikací s velmi nízkou intenzitou motorové dopravy. Ve městech se využívá k osvětlení podchodů, případně v dopravním značení.	★
Nízkotlaká sodíková výbojka	Neúčinnější výbojový zdroj světla. Ve VO v ČR se téměř nevyskytuje. Mezi hlavní nedostatky patří nulový index podání barev a monochromatická žlutá barva světla.	★
Vysokotlaká sodíková výbojka	Nejrozšířenější světelný zdroj ve VO s dostatečnými parametry indexu podání barev, dobrou účinností a přijatelným spektrem vyzařovaného světla teplé barvy.	★★
Vys. sodík. výb. s lepším podáním barev	Jedná se o výbojky s vylepšenými parametry indexu barvy, resp. barevného spektra. Výbojky mají nižší účinnost a jsou vytlačovány kompaktními halogenidovými výbojkami.	★★
Halogenidová výbojka – hořák z křemenného skla	Výbojka poskytuje vyšší index podání barev oproti sodíkovým výbojkám a její barevné spektrum je pro lidské oko příjemnější. Nabízí možnost volby náhradní teploty chromatičnosti (neutrální bílá, chladně bílá). Využívá se hlavně pro osvětlování velkých veřejných prostranství a v architektonickém osvětlení.	★
Halogenidová výbojka – keramický hořák	Keramický hořák výbojek umožnil jejich miniaturizaci a větší rozšíření do VO. Výbojky poskytují jasné bílé světlo s možností výběru náhradní teploty chromatičnosti od teple po chladně bílou. Index podání barev je na vysoké úrovni. Využívá se v centrech měst s výskytem pěších zón a ke slavnostnímu osvětlování.	★★
LED COB	Polovodičový světelný zdroj s vysokou účinností. Světelný zdroj je tvořen mnoha čipy nanesenými na křemíkovém substrátu pro rychlý odvod tepla a společným pouzdrem. Má vysoký index podání barev a možnost volby náhradní teploty chromatičnosti.	★★★
LED modul	Vysoce účinný světelný zdroj sestává z mnoha samostatných výkonových světelných diod umístěných na společné základně vzájemně zapojených do jednoho celku. Nabízí vysoký index podání barev a široký rozsah náhradních teplot chromatičnosti, který se pro aplikaci ve VO ustálil na 3000 K a 4000 K.	★★★

3. 3. Bílé světlo LED a jeho účinky

Úkolem veřejného osvětlení je zajistit základní bezpečnost provozu, pohybu chodců a bezpečí majetku i obyvatel. Bílé světlo má vyšší kvalitativní parametry a přispívá k zvýšení komfortu i bezpečí a je tudíž z tohoto hlediska pro užití ve VO vhodné.

Používání bílého světla je pro lidské oko přirozenější, ale má také negativní vliv na biologický rytmus člověka během noci. Účinky bílého světla lze rozdělit tak, jak je uvedeno v následujícím přehledu.

Přínos bílého světla v ulicích	▪ Estetické a zvýšení atraktivity města ▪ Psychologické účinky – podporuje pocit bezpečí ▪ Vyšší index podání barev zlepšuje věrné vnímání barevných podmětů ▪ Do určité míry zlepšuje viditelnost ▪ Vyšší energetická účinnost bílého světla LED ve srovnání se sodíkovými výbojkami ▪ Rozmanitost barevné teploty od teple bílé až po chladně bílé světlo
Negativní účinky bílého světla LED	▪ Ovlivňování cirkadiálního biologického rytmu člověka – zejména v modré oblasti barevného spektra ▪ Vysoký jas LED zdrojů může být významným zdrojem rušivého či omezujícího oslnění, zejména u levných LED svítidel s jedním COB čipem často s optickým systémem s nedostatečným cloněním světelného zdroje ▪ Narušení denního cirkadiálního rytmu

3. 3. 1. Vliv světla na biologický rytmus člověka

Cirkadiální biologický denní rytmus odpovídá přibližně periodě 24 h a řídí denní aktivitu bdělosti a spánku člověka pomocí hormonu melatoninu. Cyklus je řízen receptory lidského oka citlivými na intenzitu modrého světla. Hladina melatoninu závisí na velikosti modré složky ve spektru světelného záření. [3-4]

Účinek vyvolaný světlem se liší v závislosti na fázi cirkadiálního rytmu. Světlo může mít náhlý potlačující účinek na vysoké hodnoty melatoninu během noci. Vystavování se vysokým hladinám osvětlenosti během noci snižuje tvorbu melatoninu a vede k vyšší fyzické aktivitě a bdělosti. Melatonin sám nekontroluje spánek a jeho vliv na něj je velmi složitý. Hladina osvětlenosti potřebná k potlačení tvorby melatoninu se snižuje s obsahem modré složky ve světelném spektru. [3-5]

Například intenzita osvětlení 500 lx ze světla žárovky vyvolá během noci v organismu stejné zpomalení tvorby melatoninu, jako kdyby byl vystaven modrému světelnému záření s intenzitou 1,7 lx.

Pro stejný účinek vyvolaný bílým světlem LED s barevnou teplotou 4 200 K (neutrálně bílá) dostačuje přibližně 350 lx a pro LED s náhradní teplotou chromatičnosti 6 500K (chladně bílá) je ekvivalentní osvětlenost cca 190 lx. [3-6]

Nízké hladiny osvětlenosti, kterých obvykle dosahuje VO, by neměly významně narušit biologický rytmus člověka v průběhu noci ani v důsledku rušivého světla VO, které prostupuje okny do místnosti.

3. 4. Výběr barvy světla světelného zdroje

Při výběru zdroje je důležité volit i barevné podání a barvu světla. To je však spojeno i s rozdílem v pořizovacích nákladech na zdroje světla. Pro výběr barvy světla je vhodné uvážit následující faktory:

- LED zdroje mají náhradní teplotu chromatičnosti od teple bílé přes neutrální bílou až po chladně bílou barvu (2700K – 6500K). Přesné meze nejsou stanoveny.
- Obecně lze říci, čím vyšší je intenzita motorové dopravy na konkrétním úseku pozemní komunikace, tím vyšší by měla být i barevná teplota.
- Výběr teploty chromatičnosti by měl zohledňovat potřeby a požadavky uživatelů místních komunikací a veřejných prostranství, tj. například základní dělení mezi klidové (obytné) zóny a průjezdní úseky silnic obcí.
- Nízká teplota chromatičnosti (teple bílá) vyvolává v pozorovateli subjektivní dojem klidu.
- Vysoká teplota chromatičnosti (chladně bílá) zvyšuje u pozorovatele bdělost a soustředění.
- Nebezpečná místa, zejména pro pěší a konfliktní oblasti je vhodné zvýraznit vyšší teplotou chromatičnosti nebo vyšší hladinou jasu. Kombinací obou možností lze nalézt v osvětlování přechodů pro chodce.

Tabulka 2 Doporučené teploty chromatičnosti pro pozemní komunikace [3-7]

Charakter komunikace	Třída osvětlení	Teplota chromatičnosti
Veřejná prostranství převážně pro pěší uživatele a komunikace s nízkou intenzitou motorové dopravy	P, SC, EV	2 000 – 3 000 (teple bílá)
Komunikace se střední intenzitou motorové dopravy a cyklostezky	SC, EV, M	3 000 – 4 500 (neutrálně bílá)
Komunikace převážně pro motorovou dopravu s vysokou intenzitou provozu	M, C	4 500 – 6 500 (chladně bílá)

3. 5. Význam LED technologie v rozvoji VO

Chytré/dynamické osvětlení se bude stále častěji a v podstatě již výlučně opírat o světelné LED zdroje. Jedná se o výkonové LED zdroje v podobě LED modulů s příkony až 150 W. Díky malým rozměrům lze světlo snadno usměrnit a relativně efektivně využít. Ve svítidlech se aplikují dvě konstrukční řešení:

- LED jsou seskupeny do modulu a ten je zabudován v optickém systému svítidla.
- Jednotlivé LED vlastní optické systémy (optické čočky nebo reflektory).

S klesající teplotou chromatičnosti (směrem k teplejším barvám) světla roste příkon LED, respektive klesá jejich účinnost. S ohledem na další vývoj LED technologie lze předpokládat, že i tento nedostatek bude postupně eliminován a dostupné budou různé barvy potřebné pro oblast veřejného osvětlení s očekávanými parametry pro každou z barev světla, tj. zejména měrný výkon alespoň 100 W/lm a životnost alespoň 50 000 hodin. Vzhledem ke křivce vývoje této technologie lze zřejmě v budoucnosti očekávat podstatně lepší hodnoty.

Účinnost teple bílých LED je snížena kvůli přítomnosti většího množství luminoforu, který LED zářící převážně v oblasti vlnových délek modrého světla dodává vyšší zastoupení červené složky ve výsledném spektru. Tento jev nelze potlačit ani vyššími budicími proudy.

Tabulka 3 Vliv teploty chromatičnosti a budicího proudu na měrný výkon LED (svítidlo Wow BH38, výrobce iGuzzini)

Barevná teplota (K)	3 000		4 000	
Budící proud (mA)	354	520	354	520
Měrný světelný tok (lm/W)	109	104	117	112

Účinky budícího proudu LED na jejich provoz

Účinnost LED s vyšší barevnou teplotou (chladnější barva světla) je v porovnání s teple bílými LED (s nižší náhradní teplotou chromatičnosti) o +4 % až +7 % vyšší dle typu.

Nižší budící proud LED (cca 300mA)	➔	Vyšší měrný výkon svítidla
	➔	Delší doba života LED
	➔	Pomalejší stárnutí (změny fotometrických parametrů)
Vyšší budící proud LED (cca 500mA)	➔	Nižší měrný výkon svítidla
	➔	Kratší doba života LED
	➔	Rychlejší stárnutí

Volba barvy světla je v městské zástavbě důležitá z pohledu vnímání prostoru a také z pohledu bezpečnosti pohybu. Hladiny jasu ve VO jsou vnímány lidským okem v mezopické oblasti vidění, tj. při přechodu mezi barevným a černobílým viděním, kdy se citlivost lidského oka posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám světla a vyšším teplotám chromatičnosti (studené odstíny barev). Vyšší teploty chromatičnosti zvyšují zrakový výkon, zejména vjem v periferních oblastech vidění oka a zlepšují schopnost rozlišení překážky. Z tohoto důvodu je v kritických oblastech pozemních komunikací (křižovatky, přechody) použito kontrastní osvětlení a zvýraznění těchto míst vyšší barevnou teplotou. Pro dobrý barevný kontrast by měl být poměr mezi náhradními teplotami chromatičnosti min. 1 : 1,5. [3-8]

Teplé odstíny barev, nižší náhradní teploty chromatičnosti naopak zvyšují zrakovou pohodu chodců a obyvatel. Příznivě ovlivňují biologickou aktivitu člověka v nočních hodinách. V obydlených oblastech by mělo mít VO náhradní tepotu chromatičnosti do 3000 K. [3-9]

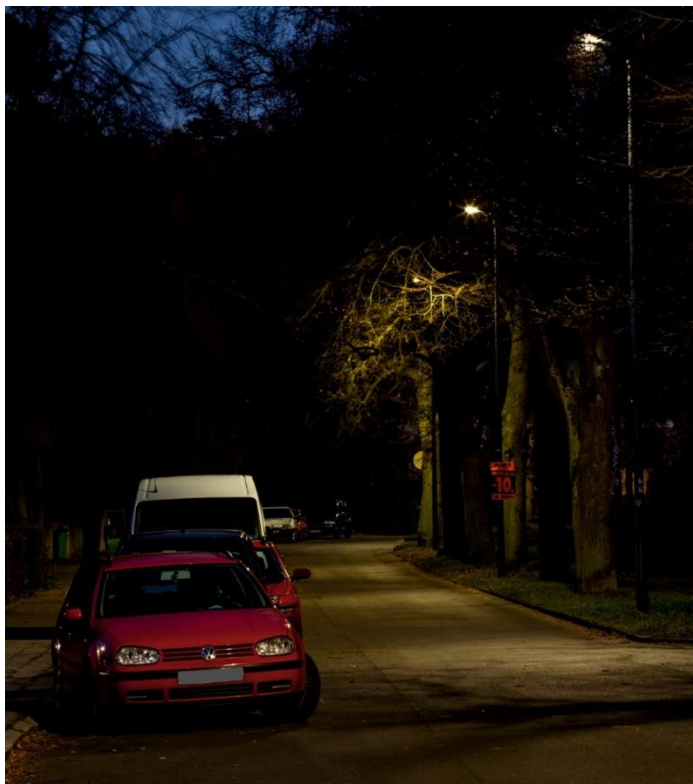
Hlavní vlivy na dobu života LED svítidel [3-10]

- Kvalita LED čipu
- Kvalita použitých součástek v driveru – zejména odolnost filtračních kondenzátorů
- Ochrana proti přehřátí – teplota čipu by neměla překročit 80°C a nesmí být > 100°C
- Napájení – nutno zajistit napájení LED konstantním proudem bez napěťových špiček
- Driver má obvykle kratší dobu života než světelný zdroj – volit svítidla s jednoduchou výměnou driveru a zohlednit v návrhu servisních lhůt
- Ochrana driveru proti přepětí – ochrana všech 3 vodičů vůči sobě
- Uspořádání LED na desce plošného spoje – namáhání v důsledku teplotní roztažnosti materiálu (netýká se COB LED)
- Použité materiály pro optický systém svítidla – UV záření působí degradačně (PC, PMMA) a přispívá ke zvýšení optických ztrát
- Celkové mechanické řešení svítidla – stupeň krytí IP, protikorozní ochrana, profilování chladících žebër (usazování nečistot)

3. 5. 1. Negativní vlastnost LED zdrojů

LED světelné zdroje dosahují vysokých jasů, světelný tok je vyzařován z velmi malé plochy a jejich světlo tak může být zdrojem oslnění. Proto musí být optické systémy svítidel s LED konstruovány tak, aby bylo zajištěno dostatečné clonění světelného zdroje. Dalším krokem k zamezení oslnění je vhodný návrh geometrie a uspořádání osvětlovací soustavy.

Světlo vyzařované LED světelnými zdroji ve svém spektru obsahuje významný podíl modré složky. Čím vyšší je náhradní teplota chromatičnosti světelných diod LED (studenější barva světla), tím vyšší je podíl modré složky spektra. Vlnové délky modrého světla působí stimulačně a ovlivňují biologický rytmus nejen člověka, ale i zvířat a rostlin. Aplikace svítidel VO s vysokou náhradní teplotou chromatičnosti je opodstatněná v místech, kde výrazně přispěje k zvýšení bezpečnosti pohybu a orientace účastníků dopravního provozu a to na pozemních komunikacích mimo obydlené oblasti.



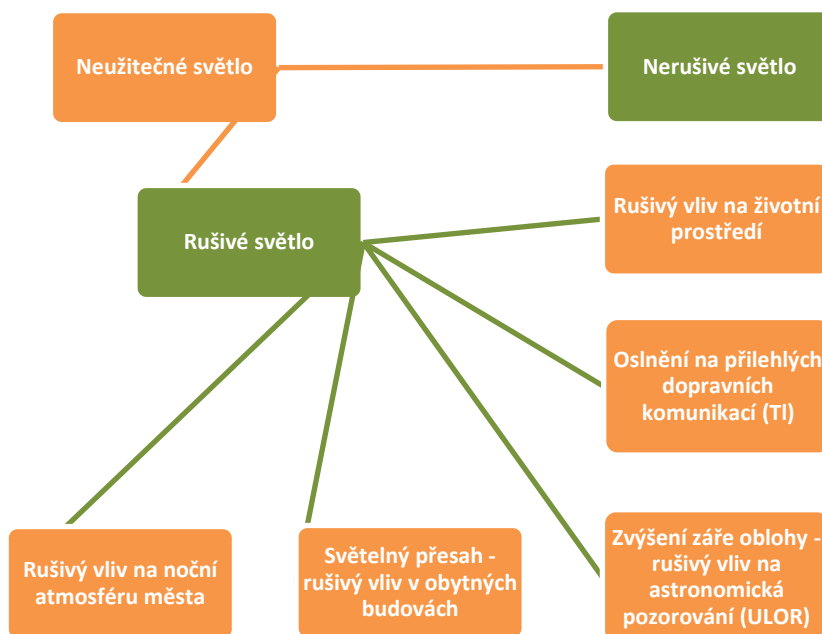
Obrázek 2 Veřejné osvětlení klidné ulice v bytové zástavbě s využitím teple bílých LED (zdroj: ETNA s.r.o.)

4. Rušivé světlo

Rušivé světlo bývá nazýváno také světelným znečištěním, ale je vhodné oba pojmy odlišovat. Z technického hlediska je možné takové světlo považovat za „neužitečné světlo“ a této kategorii je věnována zvýšená pozornost zhruba od 90. let minulého století.

Pro řešení problému jak rušivé osvětlení kontrolovat, jaké hodnotící parametry použít a jak nastavit jejich mezní hodnoty, byly v praxi pojmenovány oblasti, ve kterých neužitečné světlo působí rušivě a byly stanoveny světelně technické parametry spolu s jejich mezními hodnotami.

Termín rušivé světlo je neužitečné světlo, které svými kvantitativními nebo směrovými vlastnostmi v dané situaci zvětšuje obtěžování, nepohodu, rozptýlení nebo omezuje schopnost vidět nejdůležitější informace. Vedlejší účinky rušivého světla jsou popsány v doporučeních mezinárodní komise pro osvětlování (CIE). [4-1], [4-2]



Obrázek 3 Schematické rozdělení neužitečného světla ve venkovním prostředí

Světelné znečištění	Označuje celkový souhrn všech nepříznivých účinků umělého osvětlení.
Neužitečné světlo	Světlo vyzařované osvětlovací soustavou za hranice osvětlovaného objektu.
Rušivé světlo	Vymezuje blíže dopady neužitečného světla, které svými kvantitativními, směrovými nebo spektrálními vlastnostmi v dané situaci zvětšuje míru obtěžování, nepohodu (zrakovou), rozptýlení nebo omezuje schopnost vidět nejdůležitější informace.
Doba nočního klidu	Doba, během níž se uplatňují přísnější požadavky na kontrolu rušivého světla. Podmínky na užití osvětlené uplatňuje kontrolní orgán státní správy.

Mezi nejvýznamnější zdroje rušivého světla patří osvětlení pozemních komunikací, architektonické osvětlení, reklamní osvětlení a osvětlení průmyslových objektů a oblastí.

Tabulka 4 Zdroje rušivého světla (zvyšování jasu oblohy) a možnosti řešení

Zdroj rušivého světla	Možnost řešení
Osvětlení pozemních komunikací	Eliminace světla vyzařovaného do horního poloprostoru pomocí konstrukce svítidel.
Architektonické osvětlení	Vyzařování světelného svazku směrem k obloze lze eliminovat vhodným systémem clonění a směřování světelného toku.
Osvětlení venkovních sportovišť	Krátkodobé osvětlování velkých ploch vysokými hodnotami osvětlenosti lze řešit lepší směrovostí a vyšším zakrytím stadionů – synergie s ochranou proti povětrnostním vlivům.
Reklamní osvětlení	Problém představují především velkoplošné reklamní plochy a billboardy (bigboardy); řešení může být v legislativní úpravě obdobně jako v případě regulace billboardů u dálnic.
Jas oken bytových domů a kanceláří	Zejména v případě kanceláří se často jedná o zbytečné rozsvícení celého podlaží při obsazení jediné místnosti apod.; řešení je ve správně nastaveném (energetickém) managementu budov.
Osvětlování rozlehlých ploch průmyslových oblastí	Ve všech případech je možné vlastníky motivovat k efektivnímu řešení (letiště, areály továren, skladů, překladišť, nádraží) a to jak ekonomicky (sankce) tak právními kroky.

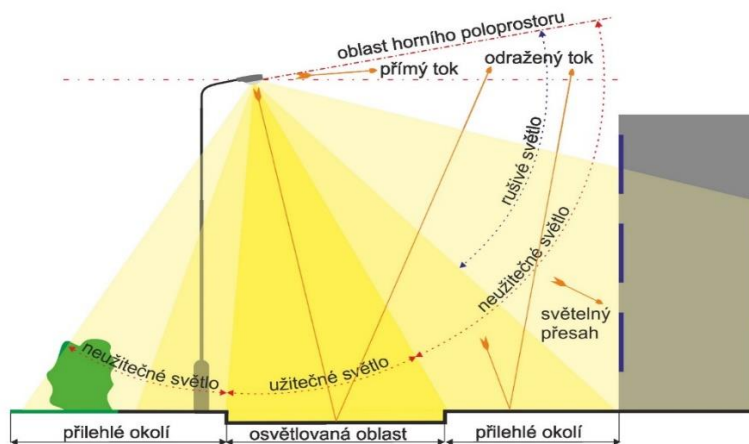
Účinky umělého venkovního osvětlení na životní prostředí mohou mít své významné negativní dopady. Pro jejich stanovení se využívá tzv. systém zón. Celkem rozdělujeme 4 zóny (přírodní, venkovské, předměstské a městské). V daných zónách jsou pak následně stanovovány dopady rušivého světla.

Tabulka 5 Zóny životního prostředí

Zóna životního prostředí	Okolí	Světelné prostředí
E1	Přírodní	Velmi tmavá oblast
E2	Venkovské	Málo světlá oblast
E3	Předměstské	Středně světlá oblast
E4	Městské	Velmi světlá oblast

Pro kontrolu rušivých účinků venkovního osvětlení z pohledu obyvatel se používá svislá osvětlenost na oknech obytných místností a svítivost venkovních svítidel v potenciálně rušivých směrech při pohledu z obytných místností. Oslnění uživatelů okolních pozemních komunikací se kontroluje prahovým přírůstkem podobně jako u návrhu osvětlení komunikací.

Rušivé účinky venkovního osvětlení na astronomická pozorování se hodnotí podílem světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru. Rušivý vliv reklamního a architektonického osvětlení se kontroluje povrchovým jasnem fasád osvětlovaných objektů L_b (cd/m²) a reklamních ploch L_s (cd/m²). [4-3]



Obrázek 4 Znázornění rušivého světla (zdroj: vlastní)

V České republice v současnosti neexistuje právní předpis, který by se komplexně zabýval problematikou světelného znečištění a který by zároveň stanovil, jaké jsou pro světelné znečištění limitní hodnoty. Světelné znečištění bylo začleněno, do již platného zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, konkrétní opatření však měla být součástí zvláštního prováděcího předpisu (prováděcí vyhlášky), k jehož vydání už nedošlo. Problematicou světelného znečištění a obtěžování světlem se částečně

zaobírá vyhláška 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby (prováděcí předpis stavebního zákona 183/2006 Sb.).

Tabulka 6 Hodnoty světelně technických parametrů pro kontrolu rušivého světla dle CIE 150:2003

Zóna životního prostředí	Parametr							
	E_v (lx)		$I_{c,v}$ (cd)		TI (%)	ULR (%)	L_b (cd/m ²)	L_s (cd/m ²)
	$t_s < t_c$	$t_s < t_c$	$t_s < t_c$	$t_s < t_c$				
E1	2	0	2 500	0	15	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	15	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	15	10	800
E4	25	5	25 000	2 500	15	25	25	1000



Obrázek 5 Rušivé světlo z necloněného svítidla s vyzařováním světelného toku do horní poloviny (foto Theodor Terrich)



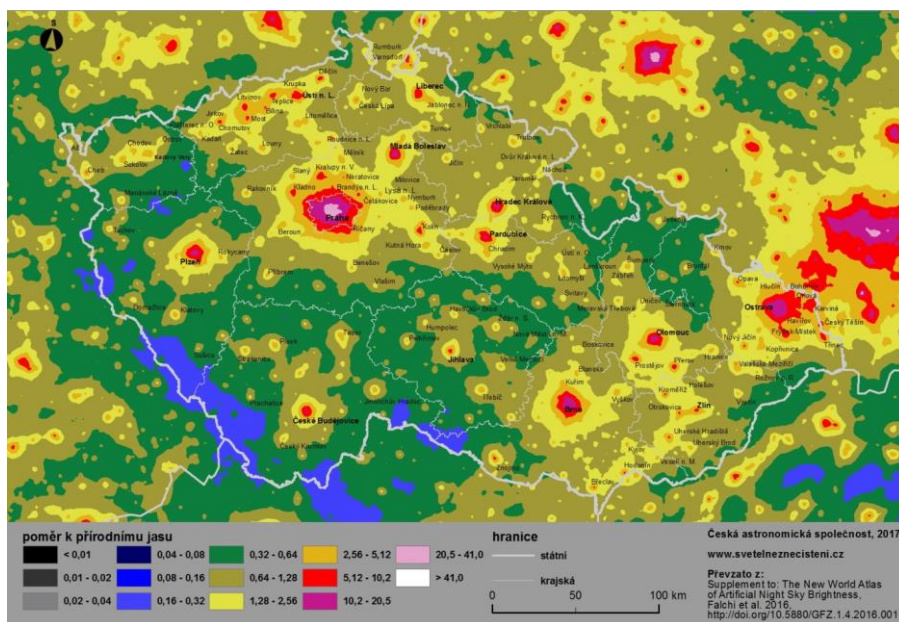
Obrázek 6 Typický příklad necloněného svítidla s prakticky žádným optickým systémem. Světelný tok je vyzařován všemi směry včetně horní poloviny (foto: Theodor Terrich)



Obrázek 7 Příklad novodobých svítidel. Vlevo zcela nevyhovující svítidlo z hlediska rozložení vyzařovaného světelného toku. Vpravo svítidlo se cloněnou horní polovinou a prismatickým difuzorem (foto: Theodor Terrich)

V oblastech s hustou obytnou zástavbou se požadavky na osvětlení dané oblasti dostávají do konfliktu s požadavky na omezení rušivého světla, zejména v určitých časových obdobích, jakou je například doba nočního klidu.

Doba nočního klidu je úředně stanovená hodina, která umožňuje předepsat jiné limitní hodnoty parametrů pro omezení rušivého světla dle doporučení plynoucí z technické zprávy CIE. Některé parametry byly přejaty do evropských a následně i českých technických norem.



Obrázek 8 Jas noční oblohy nad ČR (zdroj: Astro.cz)

Světelné znečištění se často ukazuje na nočních snímcích z družic, které zachycují světlo vyzařované venkovním osvětlením směrem vzhůru (Obrázek 8). Toto zobrazení sice vypovídá o ztrátách světla, ale nevypovídá prakticky nic o účincích rušivého světla. O dopadech rušivého světla venkovního osvětlení vypovídají snímky venkovního prostředí měst pořízené v místě pozorování – bodu pozorovatele, který je rušivými účinky světla přímo dotčen.

4. 1. Minimalizace vlivu rušivého světla

Účinky světelného znečištění lze minimalizovat restriktivním nebo koncepčním přístupem. Restriktivní přístup je založen na plošné regulaci a zavedením předpisů, které jednoduchými pravidly nařídí například používat svítidla vyzařující pouze do dolního poloprostoru, omezit dobu svícení nebo zakázat používání některých typů osvětlení. Restriktivní přístup je relativně snadno aplikovatelný a je používán na regionální i národní úrovni (např. Itálie, Slovinsko). Řeší některé dílčí rušivé projevy venkovního osvětlení, ale neumožňuje problematiku řešit komplexně a zároveň má řadu nedostatků:

- pracuje s relativními, a ne s absolutními úrovněmi světelného znečištění,
- řeší minimalizaci neužitečné složky vyzařovaného světla a neřeší optimalizaci užitečné složky venkovního osvětlení,
- neřeší vliv jednotlivých zdrojů rušivého světla na jednotlivé účinky VO,
- neřeší rozdílnost zdrojů světelného znečištění i rušivých účinků u velkých měst a malých obcí.

Druhý přístup je založen na zpracování systematické koncepce VO jednotlivých měst a obcí. Osvětlení je tak řešeno jako celek ve třech základních rovinách:

- Účel
- Vizuální působení
- Rušivé vlivy



Obrázek 9 LED Svítidla moderního VO umožňují směřování světelného toku do míst, kde je užitečný. (foto: ETNA s.r.o.)



Obrázek 10 Moderní osvětlovací soustava VO s LED svítidly minimalizuje světelný přesah.
(foto: ETNA s.r.o.)

Řešení zohledňující odlišnosti venkovního osvětlení v jednotlivých městech a obcích umožňuje optimalizovat provoz venkovní osvětlení, zachovat identitu místa a charakteristický noční vzhled. Zároveň tento přístup řeší minimalizaci energetické náročnosti a rušivého vlivu venkovního osvětlení.



Obrázek 11 Jasné bílé světlo LED navozuje pocit bezpečí a minimalizuje úroveň rušivého světla. (foto: ETNA s.r.o.)

V ČR je tento přístup zohledňující odlišnosti venkovního osvětlení aplikován v ojedinělých případech. Koncepční řešení venkovního osvětlení je sice efektivní, ale také náročné na zpracování, zejména koncepci rozvoje venkovního osvětlení. [4-3], [4-4]

Zásady pro omezení rušivého osvětlení

- směřovat světelný tok s co nejvyšší mírou využití tam, kde je žádoucí, a omezit neefektivní distribuci světelného toku,
- využívat svítidla, která nevyzařují světelný tok výlučně do horního poloprostoru (osvětlení reklamních ploch),
- omezit světelný přesah.



Obrázek 12 Příklad lidové tvořivosti, jak se lze bránit rušivému světlu dopadajícího do oken protějšního domu (foto Theodor Terrich)

5. Koncepce veřejného osvětlení

Správa, provoz, rozvoj a údržba soustav VO je soustavná a především dlouhodobá činnost, proto by měla vyžadovat koncepční přístup a minimálně střednědobé plánování.

Chytré veřejné osvětlení by mělo vždy začínat od „chytré“ koncepce, v jejímž rámci budou definovány základní požadavky, vlastnosti a parametry, jakých má veřejné osvětlení dosahovat. Město/obec by mělo mít stanovenou jasnou vizi celkové podoby města a jeho dominant, jaké osvětlení chce používat a jakým způsobem. Následně až pak lze přistoupit k realizaci chytrého veřejného osvětlení opravdu „chytré“.

Chytrá koncepce VO zabrání uplatnění „chytrého“ veřejného osvětlení v části města, kde buď není zcela potřeba (např. vyšší třídy komunikací, nebo instalace senzorů, čidel a podobně do ulic, kde zcela pozbývají smyslu) nebo formou, která je zcela nevhodná k celkovému estetickému charakteru města (např. užití nevhodné barvy světla, chromatičnosti, ale i samotných světelných bodů a svítidel).

5. 1. Požadavky norem

Normy pro veřejné osvětlení jsou dle zákona o pozemních komunikacích závazné pro průjezdní úseky dálnic a silnic.

- Kvalita staveb – a tedy i veřejného osvětlení – je zakotvena ve stavebním zákoně 183/2006 Sb.
- Zákon o pozemních komunikacích č. 13/1997 Sb. vymezuje veřejné osvětlení obecně jako příslušenství pozemní komunikace, a to konkrétně dálnice, silnice a místní komunikace mimo území obce.
- Vyhláška č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, stanovuje obecné požadavky na výstavbu tak, jak ukládá Ministerstvu dopravy stavební zákon. Dálnice a silnice se vždy osvětlují v zastavěném území obcí.

5. 2. Požadavky na rozsah koncepce VO

Koncepci veřejného osvětlení tvoří tři samostatné dokumenty v souladu se zákonem č. 13/1997 Sb., prováděcí vyhláškou č. 104/1997 Sb. a souborem norem ČSN EN 13 201 Osvětlení pozemních komunikací, část 1 až 5, a normami ČSN EN 12464-2, Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory, ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na silničních komunikacích a ČSN 73 7507 Projektování tunelů pozemních komunikací a dalšími technickými normami za účelem zajištění kvalitního osvětlení pozemních komunikací a definování světelně-technických parametrů pro osvětlení vybraných objektů.

Základní plán veřejného osvětlení, Plán obnovy a modernizace veřejného osvětlení a Standardy veřejného osvětlení tvoří soubor strategických dokumentů, které by měly být vytvořeny pro každou obec.

Jejich smyslem je definování parametrů, pravidel a postupů ve veřejném osvětlení pro dosažení stanovených kvalitativních parametrů při odpovídajících provozních a investičních nákladech.

Na základě metodiky doporučené SRVO může být koncepce strukturována tak, jak je uvedeno níže.

I. Základní plán veřejného osvětlení	
Analytická část	Architektonicko-urbanistická analýza
	Dopravně bezpečnostní analýza
	Environmentální analýza
	Provozní analýza
Návrhová část	Architektonicko-urbanistické řešení
	Dopravně bezpečnostní řešení
	Environmentální řešení
	Provozní řešení
II. Plán obnovy a modernizace VO	
Analytická část	Analýza fyzického stavu a stáří soustavy veřejného osvětlení
	Analýza stávajících parametrů osvětlení
	Analýza spotřeby elektrické energie
	Analýza provozních a investičních nákladů
	Analýza současného stavu a trendů v oblasti VO
Návrhová část	Návrh rozsahu roční prosté obnovy veřejného osvětlení
	Návrh harmonogramu obnovy
	Návrh modernizace osvětlovací soustavy
III. Standardy veřejného osvětlení	
	Standardy prvků
	Standardy činností

5. 3. Základní plán veřejného osvětlení

Základní plán veřejného osvětlení, někdy také generel VO je architektonicko-urbanistickou a světelně technickou studií, v rámci které se řeší a navrhuje vzhled města ve večerních a nočních hodinách, utvářený veřejným osvětlením. V rámci ní se definují parametry veřejného osvětlení a osvětlovací soustavy a slouží jako podklad pro navazující stupně projektové dokumentace.

5. 3. 1. Analytická část Základního plánu

Analytická část by měla zahrnout co nejširší působení VO, od architektonicko-urbanistické analýzy, přes dopravně bezpečnostní analýzu po environmentální a provozní analýzu. Z hlediska nákladů a účelnosti je vždy možné zdůraznit tu část, která je pro dané město či obec zásadnější.

V Programovém období 2014 – 2020 je možné na zpracování takovéto celostní koncepce (ve spojení s dopravním řešením, návazností na koncept Smart City apod.) získat podporu z Operačního programu Zaměstnanost.

Analytická část tak v širším rozsahu může obsahovat strukturu komunikací, mapy intenzity dopravy, nehodovosti, dálkové a blízké pohledy zpracované v příslušném grafickém programu, návaznost na funkční strukturu, mobiliář města, vyhodnotit rušivý vliv na místní obyvatele, řidiče, na vzhled města apod.

Základní plán musí zejména obsahovat jednoznačnou identifikaci všech pozemních komunikací. U neoznačených komunikací (parkoviště, veřejná prostranství, chodníky, cesty pro pěší apod.) je navržen způsob jednoznačné identifikace pro přiřazení parametrů osvětlení a osvětlovací soustavy. Ke všem pozemním komunikacím je uvedena třída komunikace dle pasportu pozemních komunikací v souladu s platnou legislativou.

Ke všem průjezdním úsekům silnic by měly být přiřazeny denní intenzity dopravy z aktuálního sčítání dopravy jako podklad pro definování světelně-technických parametrů pozemních komunikací.

Vhodné je zpracovat dopravní studii, resp. model, kde jsou uvedeny denní intenzity dopravy na vybraných nebo na všech místních komunikacích. Každé komunikaci s přiřazenou intenzitou dopravy se definuje standardní průběh hodinových intenzit ze snímacích zařízení, pokud jsou instalována. Pokud nejsou tyto informace dostupné, stanoví se tento průběh podle rozložení intenzit dopravy uvedených v TP189 (ŘSD). U všech komunikací, u kterých to jejich charakter umožňuje, je stanovena jejich maximální kapacita.

V případě, že jsou k dispozici informace nebo statistiky o úrovni kriminality, určí se veřejná prostranství se zvýšeným výskytem násilné kriminality v noční době.

Součástí analytické části by mělo být i fotometrické měření a vyhodnocení fotometrických parametrů a také zhodnocení souladu s legislativou a technickými normami a vyjádření, do jaké míry je nezbytné zohlednit jejich zlepšení. To souvisí zejména s požadavky na investiční a provozní finanční prostředky, neboť může docházet k případům, kdy je potřeba doplnit sloupy nebo navýšit (měrný) příkon svítidel, resp. soustavy z důvodu nedostatečných fotometrických parametrů v původním stavu (osvětlenost, rovnoměrnost osvětlení).

5. 3. 2. Návrhová část Základního plánu

V rámci architektonicko-urbanistického řešení by měla být nastavena koncepce nočního vzhledu města vytvářeného venkovním a architekturním osvětlením.

Tato koncepce se následně transformuje do charakteristických zón a specifických oblastí. Charakteristickým zónám a jejich specifickým oblastem jsou přiřazeny parametry osvětlení a osvětlovací soustavy, které ovlivňují vzhled veřejných prostranství obce z blízkých i vzdálených pohledů.

V rámci architektonicko-urbanistického řešení veřejného osvětlení jsou pro všechny pozemní komunikace města specifikovány následující parametry:

- teplota chromatičnosti T_{cp} (K) s tolerancí $\pm 10 \%$,
- minimální index podání barev $R_{a,min}$ (-),
- charakter osvětlení (osvětlení komunikací nebo osvětlení prostoru),
- maximální výška světelných míst H_{max} (m),
- typologie svítidel veřejného osvětlení (technické, historizující, parkové, designové),
- materiál nosných konstrukcí,
- povrchová úprava nosných konstrukcí, příp. barva.

Tyto parametry jsou následně doplněny do databáze se všemi pozemními komunikacemi. Pro účely architekturního osvětlení jsou u každého objektu, který je pro tento účel osvětlení vybrán, v závislosti způsobu osvětlení prostorově specifikovány části těchto objektů a těmto částem se přiřadí následující parametry:

- průměrný jas L_m (cd/m²),
- teplota chromatičnosti T_{cp} (K) s tolerancí $\pm 10 \%$ (bílé osvětlení),
- trichromatické souřadnice x, y s tolerancí $\pm 10 \%$ (barevné osvětlení),
- minimální index podání barev $R_{a,min}$ (-) (u bílého osvětlení).

Součástí architekturního osvětlení je stanovení provozního režimu u každého objektu, rozsah vánočního osvětlení a je navržena jeho podoba a umístění. U pozemních komunikací je pak uvedena informace o tom, zda je či není uvažováno s instalací vánočního osvětlení.

V rámci dopravně bezpečnostního řešení jsou jednotlivým pozemním komunikacím a vybraným konfliktním oblastem přiřazeny třídy osvětlení. V případě veřejných prostranství kulturního a společenského významu a u oblastí se zvýšeným výskytem kriminality je nezbytné doplnění parametrů osvětlení o parametry související s prosvětlením prostoru a osvětlením vertikální rovin.

U prostranství s požadovanou vyšší kvalitou osvětlení z pohledu omezení oslnění se určí třídy clonění svítidel.

Podle charakteru změn parametrů určujících zařazení pozemních komunikací se zde dále určí charakteristické provozní režimy. Na základě změn parametrů určujících zařazení komunikací se stanoví provozní režimy u všech pozemních komunikací.

Parametry jednotlivých modulů v rámci soustavy VO je třeba navrhovat tak, aby zbytečně neomezovaly možný výběr svítidel – zásadní je vliv na rozteče sloupů, rozsah vyložení svítidel od vozovky apod.

Databáze VO tak obsahuje u každého typu modulu základní sadu charakteristik:

- typ modulu osvětlovací soustavy,
- výška a rozteč světelných míst,
- třída osvětlení,
- příslušné požadované parametry osvětlení,
- případné požadavky na clonění svítidel (třída oslnění G).

Jednotlivé komunikace jsou dále charakterizované příslušným provozním režimem. Na základě specifikace oblastí s potenciálním rušivým dopadem veřejného a architekturního osvětlení jsou tyto oblasti podle citlivosti zařazeny do zón životního prostředí dle ČSN EN 12464-1 s příslušnými parametry. V rámci environmentálního řešení mohou být navrženy doby začátku nočního klidu a v databázi jsou uvedeny příslušné požadavky na parametry osvětlení, případně na svítidla, např. podíl světelného toku do horního poloprostoru.

V rámci provozního řešení by měl být v současnosti vždy proveden návrh zapojení veřejného osvětlení do koncepce Smart City. Jedná se o stanovení celkové koncepce ovládání a řízení pro jednotlivé části veřejného a architekturního osvětlení ve vazbě na jiné systémy.

Současně se provozní řešení musí pečlivě zabývat parametry nosných konstrukcí veřejného osvětlení, pohledu bezpečnosti nosných konstrukcí a přiřazení jejich mechanických parametrů k jednotlivým komunikacím.

Výstup „Základního plánu veřejného osvětlení“ má databázovou, mapovou a grafickou část.

5. 4. Plán obnovy a modernizace VO

Plán obnovy slouží jako nástroj pro finanční plánování a specifikuje soubor prvků veřejného osvětlení, který je třeba pravidelně obnovovat, stanovuje odhad ročních nákladů na obnovu VO a navrhuje harmonogram obnovy a modernizace VO. Dokument může být také členěn na analytickou a návrhovou část.

5. 4. 1. Analytická část

Zásadní součástí je pasport VO, resp. jeho části z pohledu typologie osvětlovací soustavy, tj. souhrn typů svítidel, nosných konstrukcí, zapínacích míst a jejich vybavení, stáří a aktuální fyzický stav veřejného osvětlení podle určených oblastí a podle pozemních komunikací.

V rámci analýzy stávajících parametrů osvětlení by mělo být provedeno komplexní místní šetření s výstupem v podobě nefunkčních (nesvítících) světelných míst svítidel VO. Dále se stanoví problematická místa, kde je veřejné osvětlení cloněno (například zelení), nebo kde působí rušivě na své okolí (oslnění, svícení do oken obytných budov apod.).

Součástí analýzy by mělo být orientační měření světelně technických parametrů u vybraných vzorových polí v souladu s ČSN 13201. Vzorová pole zahrnují také místa se zvýšenou dopravní nehodovostí určená v Základním plánu osvětlení.

Součástí analýzy je také rozbor způsobu ovládání veřejného osvětlení a regulace a stanovení roční doby provozu stávajícího veřejného osvětlení na základě spínání a regulace jednotlivých zapínacích míst.

Na základě faktur za elektrickou energii je proveden rozbor spotřeby po jednotlivých zapínacích místech za poslední období (1 - 5 let) a je vyhodnoceno, zda spotřeba odpovídá připojené zátěži a provozu. Posouzení zahrnuje využití zapínacích míst (optimalizace hlavních jističů a jejich vypínacích charakteristik, optimalizace počtu rozvaděčů VO atd.). Tato část je obvykle součástí zavedeného energetického managementu města.

Na základě informací o platbách za elektrickou energii, o nákladech na údržbu veřejného osvětlení a informací o investičních akcích veřejného osvětlení za poslední

období, jejichž součástí byla obnova nebo nová výstavba veřejného osvětlení, je provedena analýza současných nákladů na veřejné osvětlení.

Pro účely modernizace veřejného osvětlení je nezbytné mít přehled o současném trhu s výrobky pro veřejné osvětlení. Následně je možné stanovit rozsah kvality podle definovaných parametrů a cenové úrovně.

K jednotlivým skupinám výrobků lze přiřadit ceny v závislosti na stupni kvality a definovat kvalitativní rozdíly mezi jednotlivými stupni.

Totéž platí i pro systémy řízení a ovládání soustavy veřejného osvětlení a úroveň investičních nákladů na jejich zavedení, nicméně v tomto případě je situace na trhu přehlednější, neboť tyto systémy jsou obvykle svázány s (renomovaným) výrobcem svítidel.

5. 4. 2. Návrhová část

Návrhová část by měla obsahovat návrh rozsahu roční prosté obnovy veřejného osvětlení. Na základě životnosti jednotlivých prvků osvětlovací soustavy a cen modelových situací obnovy určených v analytické části jsou stanoveny celkové náklady na prostou obnovu. Návrh obsahuje systém obnovy veřejného osvětlení - jednorázový, skokový, souvislý při použití prvků veřejného osvětlení v úrovni uspořádání odpovídajících obnovované osvětlovací soustavě.

Stanoveny musí být průměrné roční náklady prosté obnovy, včetně doporučeného počtu prvků veřejného osvětlení určených k roční obnově.

Dále jsou stanovena kritéria související se stavem veřejného osvětlení a jejich váha. Kritéria, např. fyzický stav, mechanická stabilita, energetická náročnost, nevyhovující parametry osvětlení, rušivý vliv apod., slouží pro stanovení priorit při obnově veřejného osvětlení.

Na základě stanovených kritérií, průměrných ročních nákladů na prostou obnovu a doporučeného počtu prvků veřejného osvětlení určených k roční obnově se stanoví modelový harmonogram obnovy s vyčíslenými náklady členěnými po určených oblastech města, resp. po konkrétních pozemních komunikacích.

Pokud je k dispozici plán obnovy pozemních komunikací, pak je nezbytné harmonogram obnovy veřejného osvětlení s tímto plánem koordinovat.

Zásadní částí je návrh modernizace soustavy VO, který navazuje na předchozí části - Základní plán osvětlení a zohledňuje provedené rešerše technologického vývoje. Výhled investičních plánů je možné zpracovávat na jeden až pět let a při úvaze životnosti obnovované soustavy VO, resp. svítidel 15 – 30 let je nezbytné potenciál budoucího vývoje zohlednit.

Návrh je tak vhodné zpracovat pro více typů svítidel od více výrobců, pro získání přehledu o možném rozsahu nákladů i energetické náročnosti.

Je nutné zohlednit, zda jsou dané modernizační kroky (např. optimalizace geometrie osvětlovací soustavy, použití nových svítidel s delší životností světelných zdrojů a nižší energetickou náročností, využití řídicího systému, dálkový odečet spotřeby elektrické energie apod.) vyvolané požadavkem zvenčí (například havarijní stav identifikovaný v Základním plánu VO) nebo nově navrhované.

U navrhovaných modernizačních kroků je nutné uvést důvod jejich navržení, např. zvýšení kvality, snížení energetické náročnosti apod. a stanovit náklady na realizaci, včetně vazby na energetický management.

Na základě kritérií stanovených v části s návrhem harmonogramu obnovy je stanoven modelový harmonogram modernizace s vyčíslením nákladů členěných po určených oblastech města, resp. podle pozemních komunikací. Proveďte se porovnání nákladů na modernizaci s náklady na obnovu a u navrhovaných (nevyvolaných) modernizačních prvků se zhodnotí jejich přínosy a celková návratnost vůči běžné obnově veřejného osvětlení a rozhodne se o tom, zda se navrhovaný modernizační krok aplikuje či nikoliv.

Na základě porovnání plánu obnovy a plánu modernizace se vytvoří jeden harmonogram obnovy a modernizace s vyčíslenými náklady členěný po určených oblastech obce, resp. po konkrétních pozemních komunikacích.

5. 4. 3. Výstupy

Hlavním výstupem Plánu obnovy a modernizace je stanovení ročních nákladů na obnovu a modernizaci VO pro potřeby rozpočtu města.

Dále by měl být vytvořen přehled základních zařízení (svítidel, nosných konstrukcí, kabelů, vybavení zapínacích míst apod.) pro obnovu a modernizace veřejného osvětlení, včetně specifikace technických parametrů, kvalitativních požadavků a cenové úrovně. Tento přehled je pokladem pro zpracování standardů veřejného osvětlení.

Dalším výstupem je harmonogram obnovy a modernizace s vyčíslením odhadovaných nákladů, nejlépe v podobě databáze a v mapovém zobrazení.

5. 5. Standardy veřejného osvětlení

Standardy pro veřejné osvětlení jsou detailně zpracovány Společností pro rozvoj veřejného osvětlení, v této kapitole je uveden pouze stručný přehled. Standardy VO stanoví základní podmínky pro správu, provoz, rekonstrukci, obnovu a výstavbu a vztahuje se na soubor zařízení veřejného osvětlení zahrnující osvětlení pozemních

komunikací, architekturní osvětlení a dekorativní osvětlení. Standardy plní úlohu doporučeného předpisu pro projektanty, investory a zhotovitele jak navrhovat, projektovat a realizovat stavby VO nebo jak postupovat při rekonstrukcích stávajícího zařízení VO.

Základním cílem standardů VO je:

- u nového zařízení definovat doporučený postup výstavby, technologie prací a použitý materiál;
- zajistit kompatibilitu se stávajícím zařízením a dosáhnout standardní kvalitu zařízení a minimalizovat nebo odstranit problémy s jeho připojením ke stávajícímu VO;
- u zásahů do stávajícího zařízení VO zajistit jednotný postup při provádění prací a při opětovném uvedení VO do provozu;
- doporučit používání prověřených postupů a na základě odborných znalostí a zkušeností správce VO doporučit požadavky na technologické a pracovní postupy a provedení staveb VO;
- minimalizovat (optimalizovat) dlouhodobě vynakládané celkové náklady na VO.

Tabulka 7 Struktura standardů veřejného osvětlení

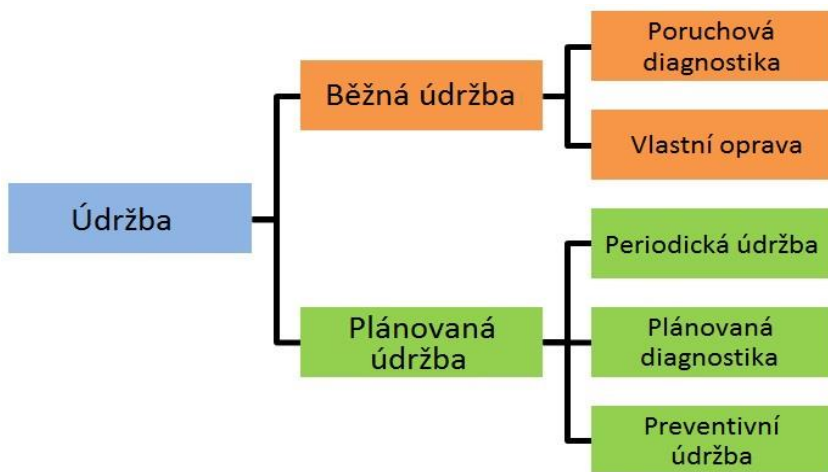
Standardy činností VO	Terminologie
	Právní předpisy a technické normy
	Struktura veřejného osvětlení
	Správa VO
	Provoz VO
	Údržba VO
	Projektování VO
	Výstavba VO
Standardy prvků VO	Svítilidla a světelné zdroje
	Nosné konstrukce
	Kabely a vedení
	Zapínací místa

Světelné místo se kromě běžného značení identifikátory doporučuje opatřit doplňujícím značením příkonu a typu světelného zdroje pro potřeby správce.

5. 6. Provoz a údržba

Správně prováděný servis a údržba energetických zařízení a spotřebičů je obecně základem efektivní správy majetku. Ve vztahu k veřejnému osvětlení se jedná mimo jiné o výhodné nastavení provozních, servisních, popřípadě dalších smluv a nastavení metodiky kontrol, servisu a výměn (předřadníků, světelných zdrojů).

Výhodou může být propojení plánů údržby se systémem hlídání akcí, činností a diagnostiky zavedeným v rámci energetického managementu. Servis a údržba by neměly být dlouhodobě zaměřeny na odstraňování důsledků „zanedbané údržby“ z let minulých, ale cílevědomě by měly směřovat k předcházení budoucích škod a snižování provozních nákladů.



Obrázek 13 Orientační rozdělení údržby na běžné a plánované činnosti (zdroj: TZB-INFO, Facility management)

Kromě finančních prostředků na provoz a údržbu (plánovitou i mimořádnou) je vhodné vytvářet fond na budoucí celkovou obnovu VO. Cyklická záměna svítidel za modernější v průběhu stárnutí osvětlovací soustavy a nutné opravy způsobené běžným opotřebením je možno provádět jen po omezeně dlouhou dobu.

Po uplynutí 35 – 40 let je celá osvětlovací soustava včetně kabelových rozvodů na hranici plánované doby života. Osvětlovací soustava nemusí po této době svou geometrií odpovídat aktuálním nárokům na osvětlování.

S rozvojem a prosazováním LED svítidel se bude také měnit způsob a lhůty servisních zásahů. Obnova VO by měla také předjímat náročnost budoucí údržby a již při přípravě projektů obnovy – jelikož probíhá zásadně etapovitě – zohlednit budoucí provozní náklady tím, že například budou používány jen předem stanovené typy prvků – driverů, svítidel, resp. světelných zdrojů. Z tohoto důvodu jsou v rámci koncepce VO nastavovány standardy prvků.

Z důvodu optimalizace provozních nákladů v případě delší doby života zdroje LED již nehraje takovou roli typ světelného zdroje, nicméně je vhodné dodržet vymezený počet typů, resp. výrobců z důvodu servisních nákladů, například proto, že doby života driveru jsou zatím výrazně kratší, než světelného zdroje.

Tabulka 8 Stáří prvků soustav VO na území ČR dle průzkumu z roku 2014 provedeného společností SEVen, Středisko pro efektivní využívání energie, o.p.s.

	do 5 let	6 – 10 let	11 – 20 let	nad 21 let
Stožáry	3 %	11 %	40 %	44 %
Svítlidla	11 %	29 %	39 %	19 %
Kabelové rozvody	4 %	12 %	39 %	43 %

Přestože problematika veřejného osvětlení zahrnuje mnoho aspektů, od dodržování platné legislativy po minimalizaci světelného smogu, tato kapitola se věnuje veřejnému osvětlení zejména z pohledu energetické a finanční náročnosti a možností při jeho modernizaci.

Optimální životnost prvků veřejného osvětlení

Svítlidla	8-10 let
Rozvaděče	15 let
Kabeláž	50 let
Stožáry	obecně 30 let dle typu
Sadové	25 let
Výložníkové	30 - 45 let

Provozní náklady na soustavu veřejného osvětlení (VO) odpovídají přibližně 1 – 3 % z rozpočtu obce, v rozdělení 50 % elektrická energie a 50 % servis a údržba. Hlavními impulzy k renovaci VO jsou aktuálně kvalita veřejného osvětlení, energetické úspory a nové technologie. Mnohé obce, zejména ty malé, mají osvětlovací soustavy zastaralé, na konci morálního i fyzického života.

Možnost dotace na tvorbu koncepce

V programovém období 2014 – 2020 mohou města a obce v rámci Operačního programu Zaměstnanost, prioritní osa Efektivní veřejná správa, využít dotační titul určený přímo na komplexní (integrovanou) koncepci veřejného osvětlení.

V roce 2017 byla vyhlášena výzva s možností žádat o dotaci ve výši až 95 % na tvorbu Koncepce veřejného osvětlení. Minimální výše dotace byla sice 2 mil. Kč, ale výhodou je právě možnost integrace s dalšími koncepcemi, zejména dopravní, energetickou apod. Více informací na www.esfcr.cz.

5. 7. Ekonomika výstavby a renovace VO

Vybudování nové osvětlovací soustavy může být výhodnější než renovace s pouhou obměnou svítidel. Výměna svítidel na stávající osvětlovací soustavě je poměrně častá a optimalizuje výdaje spojené s provozem, kdy dojde ke zlepšení světelně technických parametrů, ačkoliv ne v plném rozsahu. Životnost svítidel je počítána minimálně 10 let.

Nevyhovující a technicky zastaralou soustavu je vhodné rekonstruovat komplexně, tj. kromě výměny svítidel, také výměnu stožárů včetně příslušenství (betonové základy, patky, zemniče, svorkovnice), a výměnu elektrifikační sítě s nově dimenzovanými rozvaděči a spínacími místy.

Střední délka životnosti žárově zinkovaných stožárů VO je 30 let, dodatečnou povrchovou úpravou je možné životnost stožáru zvýšit na 45 let.

Výstavba nové soustavy chytrého veřejného osvětlení umožní optimální rozmístění světelných míst dle projektu zohledňující použití nových svítidel s vyšší účinností a zároveň umožní přizpůsobení aktuálním potřebám komunikací. Komplexní rekonstrukcí se docílí většího snížení instalovaného příkonu soustavy než pouhou výměnou svítidel.

Při výběru svítidel je nutné uvažovat parametry, které ovlivní budoucí provozní náklady, zejména charakter osvětlovaného prostoru a volba svítidla s odpovídající charakteristikou rozložení svítivosti. Pro osvětlování běžných komunikací se použijí svítidla se širokou charakteristikou rozložení svítivosti ve směru podélném s osou komunikace a úzkou ve směru příčném.

Účinnost a rozložení vyzařovaného světelného toku ovlivňuje především reflektor svítidla zhotovený obvykle z eloxovaného nebo plátovaného hliníku. Optický systém svítidla bývá uzavřen tvarovaným difuzorem, případně refraktorem uzavřeným plochým nebo vypouklým tvrzeným sklem. Svítidla s plochým sklem je nutné je osadit zdrojem o vyšším světelném toku (o 5 – 35 %), potažmo příkonu ve srovnání se svítidlem opatřeným vypouklým krytem.

Výhodnější je použití tvarovaných vypouklých difuzorů z PC (vysoká mechanická odolnost) nebo PMMA (barevně stále po dobu života svítidla).

Pro zajištění dlouhodobé stálosti světelných parametrů a minimalizaci výdajů na údržbu svítidel je důležitý vysoký stupeň krytí (IP) optické části. Některá svítidla umožňují polohování světelného zdroje v reflektoru, popřípadě reflektoru vůči světelnému zdroji a tím ovlivnění fotometrie svítidla. Standardně se provádí polohování celého svítidla, čímž se efektivně využije distribuovaný světelný tok ze svítidla. Polohování svítidla umožňuje jeho montáž na dřík stožáru, čímž odpadá nutnost používání výložníků.

5. 7. 1. Ekonomika

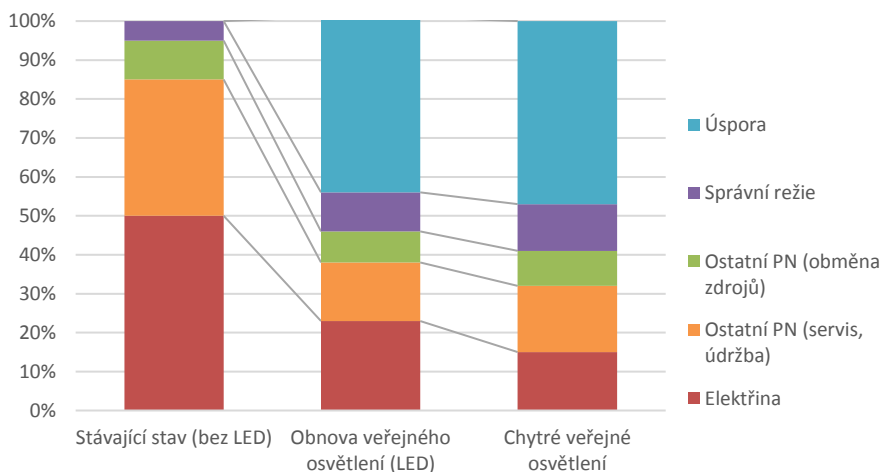
Nové technologie a nové možnosti s sebou často přinášejí nové vyvolané náklady. Zatímco investiční náklady jsou přirozené a musejí být vynakládány na obnovu technicky či morálně zastaralých prvků, je nutno velmi pečlivě zvážit opodstatněnost případného navýšení provozních nákladů.

S ohledem na dynamický vývoj v oblasti technologií se ukazuje plánování daleko nejdůležitější činností. Souvisí s celkovou strategií a koncepcí VO. S rozvojem LED svítidel a tzv. „chytrých řešení“ nastává změna poměru provozních nákladů a této skutečnosti je potřeba přizpůsobit tvorbu kalkulačních vzorců pro stanovování provozních nákladů.

Aktuálně je možné s určitou mírou tolerance porovnávat provozní náklady soustav VO mezi sebou, u obcí a měst obdobné velikosti (počtu světelných bodů) by se tyto náklady měly blížit. S rozvojem LED a aplikací chytrého veřejného osvětlení budou klesat jak náklady na elektrickou energii, tak i ostatní provozní náklady a náklady na výměnu zdrojů. Pokles nákladů by měl být úměrný podílu LED svítidel na celkovém počtu světelných bodů v obci či městě.

Podstatnou roli bude hrát podíl režijních nákladů v kalkulovaných provozních nákladech. Nenastane tak zcela úměrné snížení provozních nákladů snížením spotřeby energie a prodloužení doby života zdrojů ani v případě výměny 100 % zdrojů za LED, ale mělo by se této předpokládané hodnotě blížit.

Využití chytrých systémů veřejného osvětlení s sebou pak přináší další provozní náklady (samotný software, administrace, obsluha a podobně). Zde je nutné mít na paměti, že instalace dynamického/chytrého řízení VO bez ucelené koncepce a promyšlení budoucí správy a managementu může vést pouze k nárůstu provozních nákladů a nevyužívání všech funkcí, které nová instalace přináší. Příkladem může být např. instalace senzorů a čidel na třídách komunikací P bez předchozí analýzy využití (s ohledem na legislativní požadavky by taková instalace mohla pozbývat smyslu), případně instalace dynamického řízení bez celkové koncepce správy a řízení (na městě daný systém nebude mít kdo obsluhovat a zůstane tak nevyužitý).



Obrázek 14 Příklad modelově ilustruje možnou změnu struktury a výše provozních nákladů v souvislosti s přechodem na LED zdroje světla a na chytré veřejné osvětlení

5. 8. Příprava veřejných zakázek

Zákon o zadávání veřejných zakázek (č. 134/2016 Sb.) je vnímán jako zásadní nejen pro zjednodušení procesu, ale také pro zvýšení kvality zakázek a jako vysvobození od převládajícího vyhodnocování podle nejnižší ceny.

Příprava kvalitní veřejné zakázky je však podmíněna zejména důkladnou přípravou a vedením takové zakázky. V případě chytrého veřejného osvětlení lze s výhodou realizovat výběr dodavatele na základě ekonomické výhodnosti s uplatněním kritérií energetické efektivity.

V následující části je stručně popsán proces a možnosti vedení takové veřejné zakázky. Další možností je realizace zakázky metodou EPC.

5. 8. 1. Zadávací dokumentace

- Profesní a technické kvalifikační předpoklady by měly být nastaveny co nejjednodušeji a nediskriminačně, postačí doklad k podnikání v předmětné oblasti, doložení tří obdobných zakázek a příslušné autorizace pro provádění předmětu díla.
- Precizně by však měly být specifikovány technické požadavky dodávky osvětlení.
- Zásadní součástí ZD je část definující vyhodnocení skutečně měřené spotřeby.
- Hodnocení nabídek může provést hodnotící komise, přestože jí zákon přímo nevyžaduje.

- Dílčí hodnotící kritéria mohou být nastavena například následovně:

1	Nabídková spotřeba (v kWh/rok)	50,0 %
2	Nabídková cena (v Kč bez DPH)	40,0 %
3	Kvalita technického návrhu	10,0 %

5. 8. 2. Nabídková spotřeba

Nabídkovou spotřebou se rozumí spotřeba energie, kterou byl každý z uchazečů schopen garantovat v rámci podání nabídky a zaručit tak její dosažení a udržení po realizaci jím navrženého řešení.

Nabídkovou spotřebu stanovují uchazeči výpočtem na základě stanovených okrajových podmínek, a to pro své technické řešení. Hodnocení nabídek bylo u tohoto kritéria provedeno ve prospěch nižší hodnoty.

5. 8. 3. Nabídková cena

Nabídková cena představuje celkovou cenu za dodávku předmětu díla, včetně projektové dokumentace. Podmínkou však je, aby cena za realizaci díla, tj. dodávky a montáže včetně souvisejících stavebních prací, byla v nabídce doložena kalkulací v podobě soupisu prací a dodávek, resp. hrubým položkovým rozpočtem.

5. 8. 4. Kvalita technického návrhu

Dalším hodnotícím kritériem může být kvalita technického návrhu. Podobná kritéria bývají ve veřejných zakázkách problematická, proto je vhodné alespoň i tato kritéria částečně kvantifikovat.

Ukazatelem kvality návrhu může být prokázání vazby mezi technickým řešením a nabídkovou spotřebou, respektive úsporou energie a dalších přínosů pro zadavatele, např. doba garance, přehlednost předložené nabídky, způsob provedení apod. Takto mohou být hodnocena subkritéria zohledňující technickou kvalitu a úroveň osvětlení, například úroveň vzdálené správy a řízení chytrého veřejného osvětlení, monitoringu a diagnostiky stavu jednotlivých svítidel, možnost programování jednotlivých zón nebo prodloužená garance spotřeby.

5. 8. 5. Vyhodnocování úspor

Referenční spotřeba energie slouží k porovnání energetických i finančních jednotek se skutečnou spotřebou a také pro případné stanovení sankcí za nedodržení garantované spotřeby.

Uchazeči se v rámci svých nabídek zaváží k nepřekročení garantované spotřeby elektřiny (v MWh/rok). Pro vyhodnocení jsou vždy použity měřené hodnoty skutečné spotřeby elektřiny a skutečné doby svícení za daný rok. Nepřekročení garantované

spotřeby (přepočítávané na základě skutečných provozních hodin) je po dobu smluvního vztahu každoročně prokazováno na základě porovnání se skutečně naměřenou spotřebou. Tato část může být výhodně řešena předem stanoveným algoritmem v rámci energetického managementu.

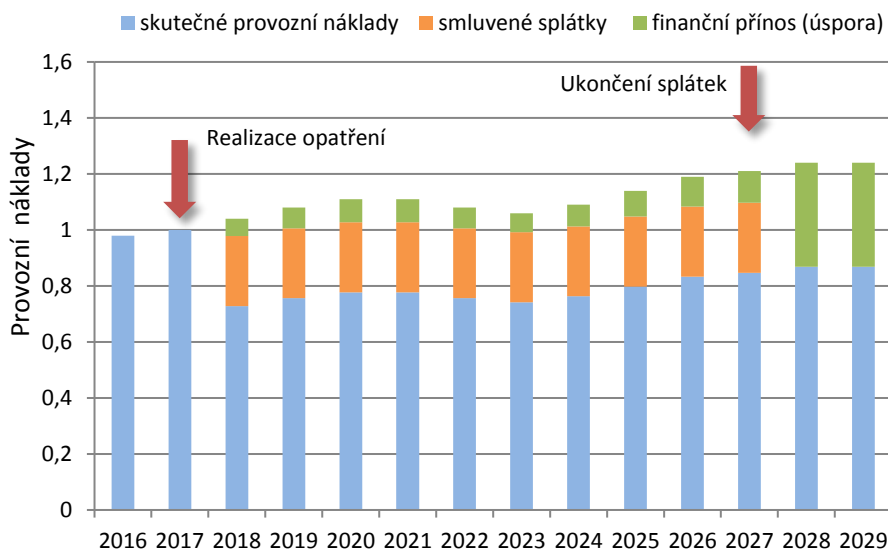
Skutečná spotřeba je stanovena měřením spotřeby elektřiny na osvětlení, přičemž průběhové měření spotřeby je vždy požadavkem v rámci dodávky řídicího systému.

V případě, že dojde k překročení garantované spotřeby, může zadavatel po uchazeči požadovat finanční kompenzaci, naopak v případě, že skutečná spotřeba bude nižší než garantovaná spotřeba, může město vyplatit prémii.

5. 9. Využití metody EPC

Metoda EPC je komplexní služba, v rámci které poskytovatel energetických služeb (ESCO) navrhne a provede energeticky úsporná opatření.

Náklady na realizaci opatření jsou následně postupně spláceny z dosažených úspor, přičemž dodavatel potřebné snížení nákladů klientovi smluvně garantuje. ESCO navíc po celou dobu kontraktu provádí na všech budovách nepřetržitý energetický management a obvykle také na počátku spolupráce zajišťuje financování celé investice do energeticky úsporných opatření.



Obrázek 15 Příklad vývoje provozních nákladů, splátek a úspor v projektu EPC (kontrakt na 10 let)

Podstatou metody EPC je garance úspor ze strany dodavatele s možností zajištění financování. Oproti jiným formám spolupráce je zde shodný zájem obou stran, tím je dosažení co nejvyšší úspory energie a provozních nákladů.

V rámci projektu EPC je možné očekávat především výměnu svítidel, modernizaci regulačních a řídicích prvků, ale v rámci tzv. povinných opatření to mohou být i opatření, která nemají přímý vliv na úsporu energie a ostatních provozních nákladů. Zejména pak samotná aplikace řídicích prvků a softwaru zajišťujícího chod chytrého veřejného osvětlení by měla být nezbytnou součástí EPC.

Optimální postup při realizaci projektu EPC

1. Zpracování analýzy využití potenciálu metody EPC u budov v majetku města, případně také soustavy veřejného osvětlení, vytipování vhodných objektů.
2. Příprava veřejné zakázky na poskytovatele energetických služeb, s využitím služeb facilitátora (poradenskou společnost), který má s přípravou a organizací VZ na projekty EPC zkušenosti.
3. Realizace VZ v režimu jednacího řízení s uveřejněním, aktivní účast na jednání s uchazeči, využití odborníků přizvaných na jednání.
4. Využití facilitátora v průběhu verifikace skutečného stavu a následně při kontrole průběžných hodnotících zpráv.

Níže jsou uvedena města, která v ČR úspěšně využila metodu EPC pro obnovu VO, ať již v samostatném projektu, či v kombinaci s opatřeními na budovách.

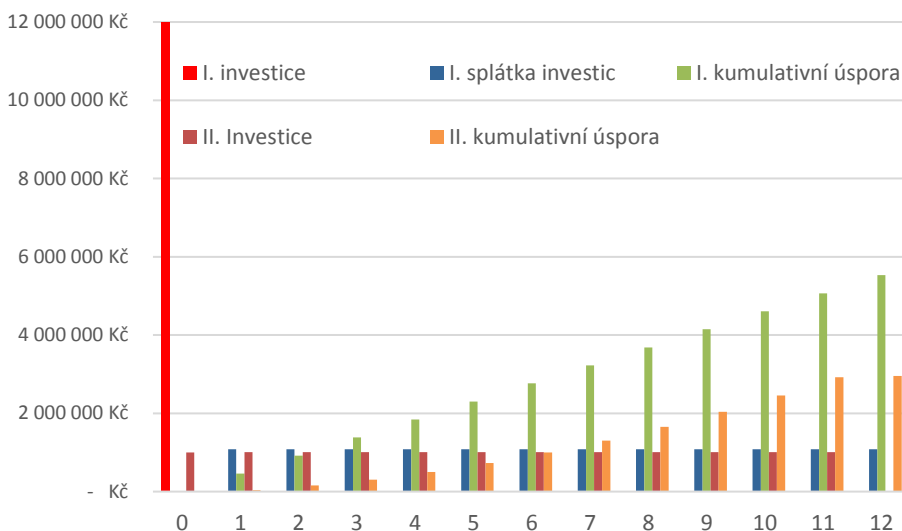
▪ Hronov	2017	▪ Holice	2014
▪ Velký Osek	2017	▪ Šluknov	2018
▪ Nymburk	2016	▪ Moravská Třebová	2012
▪ Litomyšl	2015	▪ Havířov	2008

5. 9. 1. Možnosti financování obnovy VO

Využití metody EPC kromě jiného skýtá výhodu jednorázové obměny majetku a to s sebou nese oproti postupné obměně zásadní finanční výhodu. Dosažená úspora energie se stává výnosem od okamžiku dokončení investice, zatímco při průběžné obměně tyto výnosy nastávají postupně v letech.

V případě chytrého veřejného osvětlení je obvykle předem plánován výhled investic do obnovy, který je tvořen přibližně stejnou částkou. Toto je zohledněno v modelovém příkladu pod číslem II. (investice a kumulativní úspora). Příklad I. obsahuje ještě splátku investic provedených na počátku.

Ve dvanáctém roce je rozdíl kumulativní úspory z případu I. a II. výrazný a činí zhruba **1,7 mil. Kč**. V příkladu jsou zohledněny jak náklady dluhové služby, tak náklady každoročních zakázek na obnovu oproti jediné v případě I.



Obrázek 16 Grafické vyjádření finančních toků při jednorázové a při postupné obměně VO.

Města a obce mohou využít jeden z mála dotačních titulů, který je zaměřen na obnovu veřejného osvětlení, program EFEKT. Metodický pokyn Pro žadatele o dotaci na rekonstrukci VO z programu EFEKT je ke stažení spolu s podmínkami dotace na webových stránkách www.mpo-efekt.cz. Podporu je možné získat na obměnu svítidel, nikoli infrastruktury a dotace je vázána na závazek významného snížení spotřeby energie.

6. Chytré veřejné osvětlení v konceptu Smart Cities

Koncept chytrého města (Smart City) je obecně postaven na faktu, že se běžně prováděné jednotlivé činnosti dějí koordinovaně a propojeně a ideálně na jednotné informační bázi na základě využití tzv. otevřených dat (Open data).

V této nejčastěji používané definici je kladen důraz především na průnik oblastí dopravy, energetiky a ICT, viz také metodika Smart City Ministerstva pro místní rozvoj.

Chytré osvětlení by mělo odpovídat na otázky:

- Jak je adaptivní?
- Jak odpovídá sociálním potřebám – potřebám koncového uživatele, obyvatele města, návštěvníka, projíždějícího, procházejícího?
- Jak zlepšuje veřejný prostor?
- Jak je šetrné – z pohledu životního prostředí, spotřeby energie v náročnosti na údržbu a servisní zásahy?

Veřejné osvětlení jako přirozená součást konceptu VO umožňuje propojení a naplnění konceptu SC v následujících oblastech:

- **Bezpečnost**
Dynamické řízení VO s ohledem na potřeby dané lokality; renovace veřejného osvětlení se zabudováním kamerového systému pro městskou policii či instalace jiného senzorového a detekčního systému.
- **Mobilita**
Např. kombinace sloupů VO s dobíjecí stanicí pro elektromobily; tento rozvoj je však závislý na úpravě tarifního systému.
- **Parkování**
Renovace veřejného osvětlení se zabudováním systému monitoringu využití a skutečného placení za parkovací místa.
- **Životní prostředí**
Úspory energie a využití obnovitelných zdrojů snižuje lokální i globální znečištění; eliminace světelného znečištění.
- **Sociální oblast**
Renovace bytových domů, či domů pro seniory v pasivním, či nejlepším možném energetickém standardu snižuje palivovou chudobu jejich nájemníků (podíl výdajů za energii na celkových výdajích).
- **Efektivní veřejná správa a plánování**
Inteligentní města mají k dispozici velké množství dat, které je možné využívat při efektivním plánování, např. data o spotřebě energie jednotlivých budov

(typický výstup energetického managementu) tak společně s daty o technickém stavu budov mohou být využity při efektivním plánování renovace majetku města.

- **Globální odpovědnost**

Obecně opatření energetického managementu vedou ke snižování emisí skleníkových plynů.

Často je koncept inteligentních měst prezentován s důrazem na inovativnost a využívání nových technologií, které v konceptu mají své podstatné místo, nicméně tyto technologie (inteligentní měřidla, řízení, dálková správa, apod.) jsou nástroji, nikoli cíli inteligentních měst. Cílem inteligentního města je provádět činnosti chytře a koordinovaně.

Technologický vývoj je často rychlejší než příslušná úprava legislativních či technických podmínek. V případě veřejného osvětlení, které by současně sloužilo k dobíjení elektrických dopravních prostředků (elektromobilů, elektroskútrů, elektrokol), je možné provozovat pouze pilotní projekty do doby, než bude zaveden systém „chytrých tarifů“. Předpokladem je, že by celý Nový tarifní systém měl vejít v účinnost po roce 2021.

Vývoj v oblasti světelných zdrojů LED vede k novým možnostem a řešením nejen z hlediska energetické efektivity, ale zejména bezpečnosti, jak dopravní tak osobní. Inteligentní řízení VO umožní reagovat na okamžité povětrnostní podmínky, např. měnit povahu světla v případě mokré vozovky, intenzitu světla podle aktuálního pohybu osob a vozidel, což umožní koncept tzv. dynamického veřejného osvětlení. Podstatným způsobem je také možné omezovat faktor světelného znečištění.

Některé pokročilejší funkce a opatření budou pro širší uplatnění do budoucna vyžadovat nejen změnu tarifů, ale také technických norem.

Základem každého systému je vždy co největší jednoduchost ovládání a údržby, nejen ve vazbě na provozní náklady, ale s ohledem na nároky na obsluhu. I v tom nejjednodušším pojetí rozvoje LED a chytrých technologií bude nezbytné i několikrát ročně provádět, resp. absolvovat školení osob odpovědných za provoz soustavy VO. Zatímco náklady na energii a na výměnu zdrojů mohou nadále klesat, náklady spojené s řízením, nároky na obsluhu a vazby na ostatní systémy v rámci Smart city budou zřejmě narůstat.

Klíčové bude nadále předprogramování „scénářů“ v rámci soustavy VO tak, aby obsluha byla co nejjednodušší. Systémy sice budou umožňovat ovládat parametry soustavy, resp. každého svítidla, a to i pomocí mobilního telefonu, ale v praxi toto bude málo využitelné. Každá změna světelně technických parametrů by měla mít oporu v nějakém předpisu, v plánu řízení soustavy VO nebo metodickém pokynu.

Není přípustné, aby pomocí otevřeného protokolu svítidla mohly ovládat i neautorizované osoby. V praxi dnes nejsou často možnosti moderních technologií využívány prostě jen proto, že města, resp. technické služby měst nemají dostatečné kapacity, nebyly od výrobce správně proškoleny, nebo prostě jen proto, že se jedná o nové možnosti, které nejsou pro základní chod soustavy VO zcela nezbytné.



Obrázek 17 Víceúčelové sloupy veřejného osvětlení jsou již v běžné nabídce výrobců, ale jejich prosazení závisí mimo jiné na koncepci integrovaného přístupu v daném městě a v případě integrace dobíjecích stanic také na vývoji tarifního systému (foto: www.allforpower.cz)

Chytré, nebo také inteligentní veřejné osvětlení je nově uplatňovaný terminus technicus, který zobecněl i ve vztahu k jiným „chytrým“ věcem, zejména například mobilním telefonům. Každá technologie je však natolik chytrá, jak chytře je navržena, vyprojektována, realizována a zejména užívána a spravována.

Chytrý tak musí být jak projekt, tak servis, údržba a provoz. Prvním a v podstatě nezbytným krokem k chytrému VO je cílevědomá a promyšlená výměna stávajících zdrojů světla za LED zdroje. To sebou nese nezbytnou úvahu o vazbách na následující prvky infrastruktury.

- **Technickou infrastrukturu**

Zda jsou na tento přechod připraveny elektrické rozvody, sloupky, rozvaděče.

- **Dodržení světelně-technických parametrů**

Zda jsou k dispozici svítidla s odpovídajícími křivkami svítivosti za přiměřenou cenu; zda není nutné doplňovat sloupky z důvodu velkých roztečí, měnit výšku sloupů či délku výložníků apod.

- **Řídící infrastrukturu**

Umožňují jednotlivé prvky (svítidla, rozvaděče) vzdálené řízení a komunikaci; bude využita komunikace prostřednictvím IoT nebo jiný (vlastní) rádiový systém, případně optický kabel.

Výrobci svítidel udávají obvykle rozmezí dosažené úspory energie výměnou za LED zdroje 50 – 80 %. Vzhledem k pořizovacím nákladům je toto rozmezí příliš široké a je nezbytné zpracovat podrobnou studii, resp. projekt a energetický posudek, které prokáží, jak smysluplné, resp. za jakých podmínek je použití v daném případě použitelné. Kritické faktory jsou zejména:

- Zda je již na stávající soustavě uplatněna úspora řízením světelného toku a v jakém režimu.
- V jakém stavu jsou stávající světelné zdroje (stáří a stav předřadníků, světelných zdrojů).
- Zda je možná prostá výměna svítidel při zachování nebo vylepšení světelně-technických parametrů bez nutnosti dodatečných investic a úprav infrastruktury (doplnění či úprava sloupů, výložníků apod.).
- Volba vhodného systému řízení založeného na zvoleném způsobu komunikace.

Omezení technologií spočívá zejména ve způsobu jejich provozování. Totéž platí v případě velmi sofistikovaných systémů, pokud nejsou správně implementovány. Například by mělo být průběžně proškolenáno více osob, které budou se systémem pracovat a nejsou využívány možnosti, které řídicí systém nabízí.

V praxi se tak stává, že instalací sofistikovaných svítidel a řídicího systému celé inteligentní VO skončí, neboť nadále je již provozováno standardním způsobem tak, jak bylo zvykem u starých typů svítidel.

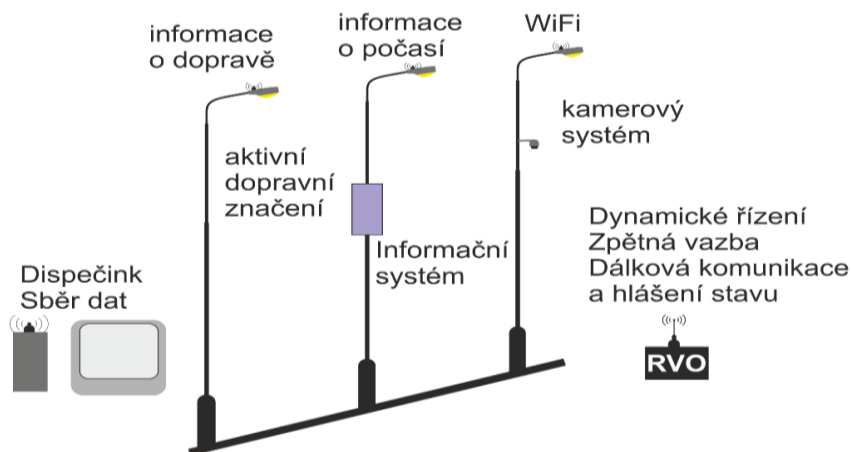
Výhodou LED osvětlení je, že na jednotku snížení světelného toku je dosaženo vyššího poklesu spotřeby. U klasických zdrojů je tento poměr opačný, pokles světelného toku nevyvolá stejný pokles spotřeby.

Inteligentní systém řízení veřejného osvětlení může být s výhodou propojen s telematickými systémy městské infrastruktury – pro zjištění aktuální hustoty provozu.

Realizace v německém Düsseldorfu z roku 2012 již za dobu provozu ukázala, že lze tímto řízením intenzity (u 4proudé komunikace) snížit spotřebu energie o 30 %. Tato možnost je však do značné míry omezena nutností dodržení normou vyžadovaných parametrů a stmívací režim toto musí respektovat. Projekt obdržel ocenění German Telematics Award.

Nové systémy současně umožňují reagovat intenzitou světla na aktuální povětrnostní podmínky, zejména déšť – vlhkou vozovku nebo mlhu. Umožňují také pomocí individuálního programu nastavit intenzitu osvětlení přiměřenou aktuální situaci na vozovce – například opravy vozovky.

Při případném přerušení komunikace jsou tyto systémy nastaveny tak, že se například automaticky přepnou do programu nejintenzivnější dopravy. Pomocí učících se algoritmů je postupně možné systém doladit. Více viz také kapitola o měření spotřeby ve VO.



Obrázek 18 Veřejné osvětlení v konceptu Smart City (vlastní)

Jak naznačuje obrázek, veřejné osvětlení vzhledem k svojí struktuře a síťové povaze může v současnosti a do budoucna s rozvojem technologií plnit více funkcí, bezpečnostní – možnost přivolání integrovaného záchranného systému, infrastrukturní – umísťování dalších technologií, kamerových systémů, prvků meteostanic, monitoringu kvality prostředí, komunikačních prvků (gateway) apod.

Čísla sloupů již běžně slouží k orientaci v rámci integrovaného záchranného systému, posloužit mohou i při krizovém řízení. Např. v Itálii jsou na sloupky VO umísťovány i pouliční defibrilátory.

Při využívání sloupů VO je potřeba dát na estetickou stránku a veškerá zařízení, která jsou případně na sloupky VO umísťována, musí splňovat předem stanovené estetické parametry.

6. 1. 1. Chytré veřejné osvětlení

Cílem chytrého veřejného osvětlení je maximalizovat komfort jeho uživatelů a minimalizovat světelné znečištění při optimalizaci nákladů a minimalizaci spotřeby energie, neboť:

- skýtá řešení pro časové periody s nízkou hustotou dopravy,
- je schopné adaptace na potřeby uživatelů,
- svítí v době, kdy je potřeba, a v kvalitě, která je v danou dobu žádoucí,
- skýtá vysoký potenciál pro snížení energetické spotřeby,
- skýtá vysoký potenciál pro snížení světelného znečištění,
- umožňuje umísťování dalších technologií, kamerových systémů, prvků meteostanic, monitoringu kvality prostředí, komunikačních prvků a podobně.

Chytré veřejné osvětlení je vytvořené tak, aby se neustále „adaptovalo“ na aktuální potřebu a chování uživatelů při splnění legislativních požadavků a norem.

Využití tohoto typu veřejného osvětlení je vhodné zejména pro třídy osvětlení komunikací P a nižší třídy M, avšak je důležité brát v potaz, že:

- Hodnoty parametrů se mohou měnit a lze tak dospět k jiným třídám osvětlení.
- Změna v zařazení komunikace má za následek i rozdílné požadavky, které jsou kladeny na danou pozemní komunikaci za standardních podmínek.
- Změna zařazení komunikací do jiné třídy osvětlení a tím možné snížení průměrného jasu pozemní komunikace je problematická (technická norma to nevylučuje).

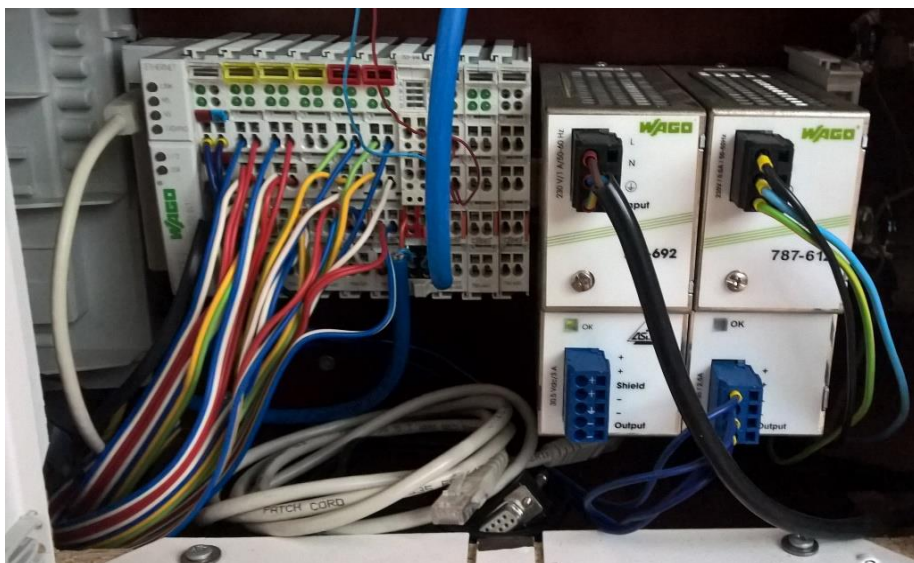
- Avšak nedoporučuje se změna regulace veřejného osvětlení na nebezpečných úsecích komunikací (kriminalita, změna počasí, intenzita dopravy a podobně).
- Pro třídy osvětlení P je dynamické osvětlení nejvhodnější přičemž:
 - Hodnoty parametrů se mohou měnit, avšak problematický je faktor kriminality, atraktivity prostředí a v některých případech také potřeb rozpoznání obličeje.
 - Možnosti úspor na takovýchto komunikacích jsou však znatelné.
 - Záleží vždy ale na bezpečnosti a charakteru dynamického osvětlení.
 - Možnost měnit třídy osvětlení P během noci v závislosti na intenzitě chodců/cyklistů.

Základ chytrého veřejného osvětlení spočívá v samotné koncepci veřejného osvětlení a ve využití technologií umožňujících vzdálený přístup k rozvaděčům VO a předávání informací o aktuálním stavu, např. informace o činnosti rozvaděče (aktuální hodnoty proudu v jednotlivých fázích u každé napájecí větve, čas zapnutí/doba provozu, velikost odebíraného činného a jalového výkonu každé větve), hlášení poruch (výkyv odebíraného proudu v rámci definovaných mezí, otevření dveří skříně rozvaděče).

„Základní model chytrého veřejného osvětlení“ může být dále vybaven dalšími funkcemi a senzory, které umožňují nejen dohled nad rozvaděči VO, ale také řízení osvětlovací soustavy v reálním čase (dílkách skupin světelných bodů, popřípadě jednotlivých svítidel).

Model chytrého (dynamického) řízení osvětlovací soustavy lze shrnout do skladby jednotlivých zařízení v následující hierarchii:

- Virtuální datové úložiště – cloud (Systém vzdáleného dohledu může data odesílat přímo na dispečink technických služeb města nebo na cloudové úložiště, ke kterému má přístup správce VO).
- Dohledové pracoviště.
- Rozvaděče VO s řídicím systémem.
- Komunikační prvky rozvaděče pro datový přenos.
- Senzory okolního prostředí.
- Komunikační prvek a řídicí systém svítidla nebo skupiny svítidel.



Obrázek 19 Část rozvaděče VO s řídicím systémem WAGO PFC200 Controller (foto: vlastní)

Pro řízení osvětlovacích soustav se využívají různé druhy komunikace mezi řídicím systémem, dispečinkem a světelnými body. Lze je dělit na technologie bezdrátové a tzv. metalické. Z hlediska náročnosti zřízení chytrého (dynamického) veřejného osvětlení mají uplatnění bezdrátové typy přenosu dat. Pro bezdrátový přenos se využívají různé protokoly komunikačních standardů, které souvisejí se zaváděním technologie Internet of Things (IoT) – internet věcí.

Tabulka 9 Bezdrátové komunikační standardy využitelné v konceptu Smart City

Protokol bezdrátové komunikace	Popis
6LoWPAN	Komunikace mezi zařízeními využívaná např. v řízení osvětlovacích soustav nebo parkovacích systémech. Výhodou je široká adresovatelnost.
LoRaWan	Komunikace využívána v mikroelektronických zařízeních, jako jsou sensory snímající okolní prostředí.
Zigbee	Využívána pro dálkové odečty měřidel. Využívá vzájemnou komunikaci v uzlové síti mezi mikroelektronickými zařízeními.
WiFi	Nejčastěji využívána bezdrátová komunikace pro přístup k internetu. Používána k řízení osvětlovacích soustav, bezdrátových kamerových systémů atp.

Protokol bezdrátové komunikace	Popis
WiMax	standard pro bezdrátovou komunikaci převážně u venkovních sítí, jako doplněk k Wi-Fi. Protokol je vhodný pro rozlehlé sítě, kde je nutné přenášet informace na velké vzdálenosti.
GPRS	Služba umožňující přenos dat a připojení k internetu prostřednictvím sítí mobilních operátorů.

Chytré veřejné osvětlení lze propojit kromě kontrolérů pro statické nebo dynamické stmívání s mnoha senzory a prvky pro řízení, např.

- Astronomické hodiny.
- Soumraková a pohybová čidla.
- Senzory přítomnosti.
- Senzory směru a rychlosti pohybu, senzory počtu průjezdů / průchodů.
- Dešťové senzory.
- Kamerové a signalizační systémy.
- Systémy dálkového odečtu, řízení a komunikace.
- A podobně.



Obrázek 20 Elektrická výzbroj LED svítidla veřejného osvětlení, které je vybaveno regulovatelným driverem a přijímačem Wi-Fi. Volitelně lze vybavit senzorem přítomnosti nebo bezdrátovou kamerou včetně akumulátoru (foto: vlastní)

Doplňkově lze chytré veřejné osvětlení spojit s dalšími užitečnými funkcemi, jako jsou rychlodobíjecí stanice pro elektromobilitu, environmentální a meteorologické stanice, napojení na integrovaný záchranný systém s možností přivolání pomoci, informační tabule pro veřejnost nebo WiFi hotspoty.

Tabulka 10 Přehled systémů světových výrobců pro chytré / dynamické řízení soustav veřejného osvětlení

Výrobce	Systém komplexního řízení VO obchodní název
PHILIPS	City Touch
OSRAM – LEDVANCE SITECO SIEMENS	Street Light Control (SLC)
Schröder	Owlet
iGuzzini	Light management systems
Thorn	Telea
GE	LightGrid
ABB	Smart Lighting

Tabulka 11 Příklad výrobců a jejich ovládacích systémů pro řízení soustav veřejného osvětlení s možností zabudování do stávajících rozvaděčů v rámci modernizace

Výrobce	Obchodní název řídicího systému VO pro implementaci do stávající instalace
ABB	Smart Lighting
Tridonic	LuxControl
Vosloh-Schwabe	LiCS Outdoor
WAGO	Lighting Management
TECO	Tecomat Foxtrot
NBB Bohemia	DLC

7. Způsoby hodnocení efektivity a vyhodnocování projektů pomocí více ukazatelů

Jen málo investičních projektů ve veřejném sektoru je hodnoceno a posuzováno na základě ekonomické návratnosti, technického provedení, případně jiných např. sociálních a bezpečnostních ukazatelů (oprava silnic a chodníků, modernizace autobusového nádraží, zanedbaná údržba majetku města, apod.). Projekty řešící veřejné osvětlení poskytují jasně kvantifikovatelné výstupy v podobě snížení provozních výdajů, zlepšení osvětlenosti ulic, změny životnosti světelných bodů a podobně, na základě kterých může být zamýšlená investice porovnána jak se stávající stavem, tak s jinými obdobnými návrhy (ať již se jedná o „konvenční“ případně „inovativní“ řešení).

V rámci hodnocení projektů veřejného osvětlení je vhodné kromě klasického ekonomického hodnocení (doba návratnosti investice, čistá současná hodnota) posuzovat i neekonomické efekty (pozitivní dopad na životní prostředí, snížení provozních výdajů, oprava havarijního stavu, apod.). Užití pouze ekonomického hodnocení (např. doba návratnosti) je velmi často zavádějící, kdy např. krátkou dobu návratnosti (3 - 5 let) mohou mít jednoduché projekty výměny svítidel apod. Naproti tomu opatření typu komplexní obnovy (výměna světelných zdrojů, výměna sloupů, zajištění monitoringu, senzorů, propojení s městským informačním systémem apod.) mají delší dobu návratnosti (15 - 30 let). Není to však důvod pro to, aby byla podporována a realizována pouze opatření s krátkou dobou návratnosti, ale opatření by měla být realizována komplexně a v souvislostech. Z toho důvodu se pak jeví jako vhodné používat širší škálu hodnocení pomocí několika kritérií (např. ekonomických, technických, bezpečnostních).

V praxi se využívá velká škála kritérií a ukazatelů, pomocí nichž lze hodnotit efekt realizovaných/plánovaných opatření. Kritéria by vždy měla být zvolena tak, aby byla srozumitelná, snadno vyčíslitelná, s běžně dostupnými a případně běžně měřenými vstupními daty.

V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé ukazatele, které je možné využít při multikriteriálním hodnocení projektů ve veřejném osvětlení. Ukazatele jsou pro větší přehlednost rozděleny do 3 skupin, na ukazatele ekonomické, technické, environmentálně-sociální.

7.1. Ekonomické ukazatele

Hodnocení ekonomické efektivity opatření ve veřejném osvětlení je obecně prováděno na bázi porovnání finančních efektů plynoucích z realizace hodnoceného

energeticky úsporného projektu a finančních nároků spojených s jeho realizací. Pro ekonomické vyhodnocení je možné použít následující ukazatele:

1. Prostá doba návratnosti, doba splácení investice (T_s)

$T_s = IN / CF$ (roky)
 kde: IN investiční výdaje projektu
 CF roční příjmy projektu (cash flow, změna peněžních toků po realizaci projektu)

2. Reálná doba návratnosti, doba splácení investice při uvažování diskontní sazby (T_{sd}) se vypočte z podmínky

$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN = 0$ (roky)
 kde: CF_t roční příjmy projektu (změna peněžních toků po realizaci projektu)
 r diskont
 $(1+r)^{-t}$ odúročitel

3. Čistá současná hodnota (NPV)

$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} [CF_t \cdot (1+r)^{-t}] - IN$ (tis. Kč/r)
 kde: T_z doba životnosti (hodnocení) projektu

4. Vnitřní výnosové procento (IRR) se vypočte z podmínky

$$\sum_{t=1}^{T_z} [CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t}] - IN = 0 \quad (\%)$$

5. Průměrná roční výše provozních nákladů po dobu životnosti

$N_A = \sum_{t=1}^{T_{sd}} C_t \cdot (1+r)^{-t} / T$
 kde: C_t roční náklady
 r diskont
 $(1+r)^{-t}$ odúročitel
 T počet let životnosti investice

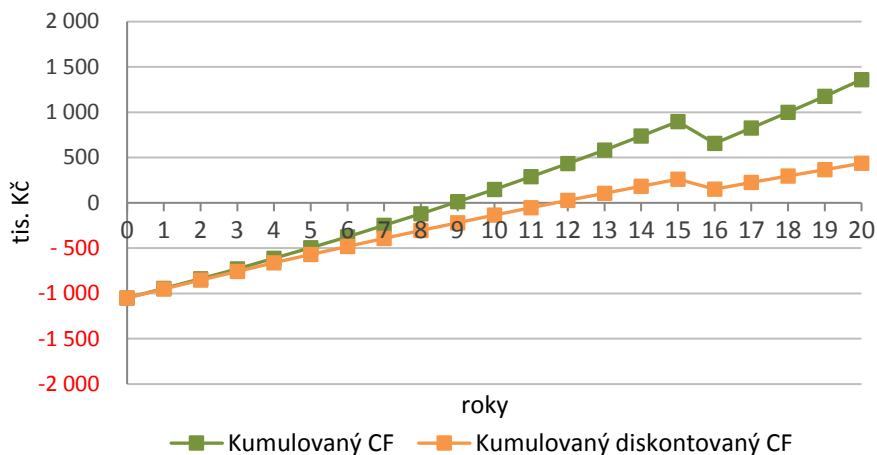
Výše uvedená kritéria jsou založena na stanovení ročních čistých toků hotovosti a následnému přepočtu různorodých čistých toků na současnou hodnotu pomocí diskontního činitele.

Pro stanovení uvedených kritérií je třeba uvažovat zejména následující vstupní parametry (okrajové podmínky výpočtu):

- diskontní sazba,
- hodnocení bez/včetně DPH,
- doba hodnocení projektu,
- roční růst cen energie,
- potřebu reinvestice,

- původ investičního kapitálu (vlastními investiční prostředky, využití dotace, úvěru apod.),
- velikost provozních nákladů (před a po realizaci).

Za optimální variantu je považován takový projekt, který dosahuje nejlepších hodnot předemětných kritériálních ukazatelů tj. co nejvyšší kladné hodnoty NPV a IRR a co nejnižší reálné doby návratnosti resp. prosté doby návratnosti.



Obrázek 21 Příklad cash flow projektu s reinvesticí v 15. roce hodnocení

Ekonomické hodnocení je vhodné vždy doplnit citlivostní analýzou zohledňující předpokládaný vývoj (rozsah) zásadních parametrů ovlivňujících ekonomiku projektu. Jedná se nejčastěji o citlivost projektu na změnu provozních nákladů, resp. jejich dílčích položek (náklady vstupů, cena energie apod.), neboť ekonomika většiny projektů je podstatně více citlivá na výši a vývoji provozních nákladů, než na výši investičních nákladů.

Z toho důvodu je v podstatě vždy výhodnější lépe připravit projekt i za cenu vyšších investičních nákladů, pokud nám toto zvýšení generuje provozní úspory. V oblasti investičních nákladů je vhodné provést citlivost na potenciální výši investiční dotace, nicméně projekt by měl být v základní variantě posuzován vždy bez vlivu dotace.

7. 2. Technické ukazatele

Technické ukazatele u prováděných opatření ve veřejném osvětlení slouží jako základní indikátory určující samotnou podobu veřejného osvětlení. V případě investice do chytrého veřejného osvětlení jsou tyto ukazatele ještě více potřebné, neboť stanovují a hodnotí efekty/přínosy, které stávající konvenční veřejné osvětlení neposkytuje (např. požadavek na automatické stmívání, změnu jasu a podobně).

Pro technické vyhodnocení je (mimo jiné) možné použít následující ukazatele:

1. Energetická úspora

$$E_s = (N_p \cdot P_{Tp} - N_n \cdot P_{Tn}) \cdot T_r \cdot (C_E + C_f)$$

kde: N_p – počet svítidel původní osvětlovací soustavy (ks)

N_n – počet svítidel nové osvětlovací soustavy (ks)

P_{Tp} – celkový příkon původního svítidla (včetně ztrát v předřadníku) (kW)

P_{Tn} – celkový příkon nového svítidla (včetně ztrát v předřadníku) (kW)

T_r – roční doba provozu osvětlovací soustavy (h)

C_E – cena 1kWh elektrické energie (Kč)

C_f – cena za distribuci 1kWh elektrické energie (Kč)

2. Životnost investice a jednotlivých prvků

Životnost investice souvisí s dobou života projektu a udává předpokládanou dobu (v letech) kdy předmět investice – osvětlovací soustava bude funkční a bude plnit svůj účel. Životnost investice lze definovat u hlavních dílčích prvků.

▪ kabelové vedení	50 – 60 let
▪ nosné konstrukce – stožáry	30 – 40 let
▪ elektrotechnická zařízení (rozvaděče)	20 – 30 let
▪ svítidla	10 – 20 let
▪ ostatní elektrické přístroje	min. 10 let

3. Účinnost svítidel

Účinnost svítidel je bezrozměrné číslo a je definována poměrem světelného toku vycházejícího ze svítidla ku světelnému toku zdroje nacházejícího se ve svítidle. Hodnoty účinnosti svítidel se mohou pohybovat v širokých mezích (0,70-0,95). Platí vztah:

$$\eta_{sv} = \Phi_{sv} / \Phi_z$$

kde: Φ_{sv} – světelný tok svítidla (lm)

Φ_z – světelný tok světelného zdroje (lm)

Účinnost svítidel závisí na:

- účinnosti světelného zdroje
- účinnosti optického systému svítidla
- distribuci světelného toku – vyzařovací charakteristika svítidla
- clonění svítidla

4. Rovnoměrnost osvětlení

Rovnoměrnost osvětlenosti vztažená k průměrné hladině:

$$UO = E_{min}/E_{av}$$

kde: E_{min} – minimální hodnota osvětlenosti v kontrolním poli (lx)

E_{av} – průměrná osvětlenost naměřená v kontrolním poli (lx)
 Rovnoměrnost extrémů v kontrolním měřeném poli:

$$UD = E_{min}/E_{max}$$

kde: E_{min} – minimální hodnota osvětlenosti v kontrolním poli (lx)
 E_{max} – maximální hodnota osvětlenosti v kontrolním poli (lx)

5. Index podání barev

Index podání barev nabývá hodnot od 0 do 100 a vyjadřuje věrnost vjemu barevných odstínů. Je udáván výrobcem světelných zdrojů popřípadě svítidla s integrovaným světelným zdrojem.

6. Barevná teplota

Teplota barvy světla, nazývána náhradní teplota chromatičnosti podává informace o barvě vyzařovaného světla, které závisí na jeho spektrálním složení. U vysokotlakých sodíkových výbojek je $T_n = 2000K$. V případě halogenidových výbojek a LED světelných zdrojů lze volit z několika (standardně vyráběných) teplot chromatičnosti. Od teple bílé barvy (3000K) až po chladně bílou barvu světla (nad 4500K). Teplota barvy je dána výrobcem.

7. 3. Environmentálně-sociální ukazatele

Technické ukazatele u prováděných opatření ve veřejném osvětlení slouží jako základní indikátory určující samotnou podobu veřejného osvětlení. V případě investice do chytrého veřejného osvětlení jsou tyto ukazatele ještě více potřebné, neboť stanovují a hodnotí efekty/přínosy, které stávající konvenční veřejné osvětlení neposkytuje (např. požadavek na automatické stmívání, změnu jasu a podobně).

Pro technické vyhodnocení je (mimo jiné) možné použít následující ukazatele:

1. Činitel využití světelného toku:

Činitel využití světelného toku η_E lze vypočítat na základě kontrolního měření osvětlenosti.

$$\eta_E = D \cdot B \cdot E_{av} / \Phi_z$$

kde: D – rozteč mezi dvěma stožáry (délka kontrolního pole) (m)
 B – šířka profilu komunikace (šířka kontrolního pole) (m)
 E_{av} – průměrná osvětlenost naměřená v kontrolním poli (lx)
 Φ_z – světelný tok světelného zdroje (lm)

2. Energetická náročnost osvětlenosti:

Energetická náročnost osvětlenosti vyjadřuje příkon na dosažení osvětlenosti 1 lux.

$$\eta_w = P_T / E_{av}$$

kde: P_T – celkový příkon nového svítidla (včetně ztrát v předřadníku) (W)
 E_{av} – prům. hodnota osvětlenosti v kontrolním poli (lx)

3. Rušivé světlo:

Rušivé světlo je neužitečné světlo, které svými směrovými vlastnostmi nebo kvantitou obtěžuje, působí zrakovou nepohodu. Rušivé světlo zvyšuje záři noční oblohy a může být zdrojem světelného znečištění. Vznik rušivého světla souvisí s vyzařovací charakteristikou svítidel, resp. činitelem využití světelného toku. Lze jej vyjádřit pomocí osvětlenost vertikální roviny objektů (lx).



Obrázek 22 Klasifikace využití světla vyjádřena úhlovými výsečemi vyzařovací charakteristiky svítidla (zdroj: vlastní)

7. 4. Hodnocení projektů veřejného osvětlení pomocí multikriteriální analýzy

Jednou z metod, jak hodnotit projekty veřejného osvětlení s využitím více ukazatelů je Multikriteriální analýza (MCA), která je využívána při hodnocení možných alternativ projektů (případně porovnání nového stavu se stavem předchozím) podle několika vybraných kritérií. Z pravidla je její uplatnění vhodné v momentě, kdy různé varianty mají rozdílné dopady na klíčové „ukazatele“ případně cíle, kterých se chce při realizaci projektu dosáhnout.

Multikriteriální analýza poté řeší rozpor mezi rozdílným hodnocením variant projektů u jednotlivých ukazatelů (např. situace, kdy provozní náklady mohou být u jednoho projektu hodnoceny kladně, naopak u druhého nikoli. U jiného kritéria, např. rovnoměrnosti světla na ulici, pak dojde k opačnému hodnocení. První projekt je hodnocen negativně, druhý pozitivně.). Při uplatnění multikriteriální analýzy dojde ke shrnutí informací o jednotlivých variantách projektu, jejich hodnocení a porovnání výsledků.

7. 4. 1. Postup MCA

Základním krokem multikriteriální analýzy je identifikace variant/projektů, které budou vzájemně posuzovány. V případě hodnocení projektů obnovy veřejného osvětlení je pak vhodné, aby navržené nové varianty byly zároveň porovnány se stávajícím stavem.

Druhým krokem je stanovení ukazatelů, které budou určující při rozhodování (např. čistá současná hodnota, účinnost svítidel, osvětlení a rovnoměrnost světla a podobně). K jednotlivým ukazatelům je pak nutné definovat měrné jednotky (např. Kč, kWh/rok, %, K) a hodnotící škálu (např. účinnost svítidel bude mít definovanou škálu od 70 % - 99 %).

Třetím krokem je stanovení vah jednotlivých ukazatelů. Zde existuje několik variant, jak stanovit relativní váhu daných ukazatelů na celkovém hodnocení. Nejčastějším způsobem je stanovení relativní váhy ukazatele v %. Například ukazatel 1 bude mít váhu 20 %, ukazatel 2 pak 10 % a dále. Pro lepší porovnání variant projektů je vhodné, aby hodnotící škála byla převoditelná na bodovou stupnici (např. od 1 – 10), tj. aby výsledná hodnota ukazatele, např. spotřeba za rok 150 kWh, byla převoditelná na „body“ a získala na dané definované stupnici určitý počet bodů.

Čtvrtým krokem je získání dat o jednotlivých variantách/projektech (předpokladem je, že k daným ukazatelům jsou měřitelné/dostupné údaje) a výpočet jednotlivých ukazatelů.

Posledním krokem je porovnání variant včetně slovního hodnocení a rozboru klíčových výsledků.

Zpracovatel multikriteriální analýzy by měl při výběru ukazatelů, stanovení jejich hodnotících škál a vah postupovat maximálně objektivně, k čemuž slouží různé postupy a metody. Je vhodné, aby zadavatel/investor přímo varianty/projekty nehodnotil a byl oddělen od zpracovatele (analytika). Tento postup má svoje výhody i nevýhody. Výhodou bývá skutečnost, že analytik málokdy bývá zainteresován na výsledku rozhodnutí, a proto postupuje maximálně objektivně. Nevýhodou může být fakt, že analytik nebývá obeznámen se všemi detaily úlohy, které se při zadávání nedaly zachytit. Výsledkem proto může být doporučení sice objektivně „nejlepší“ varianty, ale prakticky by byla lepší jiná varianta, která se například umístila na druhém místě, zvláště při malých rozdílech hodnot agregovaného rozhodovacího kritéria.



7. 4. 2. Příklad hodnocení veřejného osvětlení

Jako příklad hodnocení projektu veřejného osvětlení je vybrána investice do veřejného osvětlení na sběrné komunikaci ve městě Písek (dle generelu VO zatřízená do třídy osvětlení M4). Dle tohoto zatřídění soustava plní veškeré nároky dle ČSN EN 13201-2 (hladina jasu, rovnoměrnost příčná a podélná, činitel oslnění). Celkem bylo vyměřeno 14 světelných míst.

Tabulka 12 Základní informace a hodnoty použitých ukazatelů

Osvětlovací soustava	Původní (stáří 15 let)	Nová
1. Geometrie soustavy		
Šířka vozovky (m)	7,3	7,3
Montážní výška svítidla (m)	10	10
Rozteč stožárů (m)	28	29
2. Svítidla a světelné zdroje		
Typ světelného zdroje	vysokotlaká sodíková výbojka	LED
Příkon zdroje (W)	150	84
Celkový příkon svítidla (W)	170	108
Světelný tok zdroje (lm)	17500	6400
Náhradní teplota chromatičnosti (K)	2000	4000
Index podání barev (-)	25	80
3. Světelně technické parametry		
Osvětlenost průměrná E_{av} (lx)	11,8	16,8
rovnoměrnost U_0 (E_{min}/E_{av})	0,51	0,47
rovnoměrnost U_D (E_{min}/E_{max})	0,29	0,27
Světelný tok dopadající na vozovku (lm)	2418	5064
Účinnost osvětlenosti (W/lux)	14,4	6,5
Účinnost energetická (lm/W)	14,2	46,9
Činitel využití světelného toku (-)	0,14	0,79
4. Ekonomické parametry		
Investice (Kč)	***	905 000
Elektrická energie (Kč)	24 000	15 000
Údržba na rok (Kč)	22 500	4 000
Celkové roční provozní výdaje (Kč)	46 500	19 000

K porovnání rekonstrukce veřejného osvětlení byly využity následující ukazatele: provozní náklady, energetická účinnost, čítel využití světelného toku, index podání barev, průměrná osvětlenost.

Tabulka 13 Výsledné hodnoty multikriteriální analýzy

Ukazatel	Hodnotící škála	Původní osvětlovací soustava		Nová osvětlovací soustava	
		Dosažená hodnota	Bodové hodnocení	Dosažená hodnota	Bodové hodnocení
Investiční náklady (na svítidlo)	0 – 100 000 Kč	1 500 Kč*	9,9	64 600 Kč	3,5
Provozní náklady (na svítidlo)	0 – 5 000 Kč	3 321 Kč	3,4	1 357 Kč	7,3
Energetická účinnost	1 – 100 lm/W	14,2 lm/W	1,4	46,9 lm/W	4,7
Čítel využití světelného toku	0 - 1	0,14	1,4	0,79	7,9
Index podání barev	0 - 100	25	2,5	80	8,0
Osvětlenost průměrná E_{av} (lx)	0 – 30 lx	11,8 lx	3,9	16,8 lx	5,6
Celkem			22,5		37

* Zjednodušená kalkulace. Kalkulována pouze výměna stávající výbojky za novou.

Relativní váha daných ukazatelů na celkovém hodnocení je znázorněna v další tabulce. Nejvyšší váhu 30 % mají Investiční náklady (na svítidlo). Ostatní ukazatele pak mají váhu stejnou 14 %. Výsledné hodnocení je pro variantu A (původní osvětlení) je 4,719 a B (nová osvětlovací soustava) 5,752.

Ukazatel	Původní osvětlovací soustava	Nová osvětlovací soustava
	Vážené bodové hodnocení	Vážené bodové hodnocení
Investiční náklady (na svítidlo)	2,955	1,062
Provozní náklady (na svítidlo)	0,476	1,022
Energetická účinnost	0,196	0,658
Čítel využití světelného toku	0,196	1,106
Index podání barev	0,35	1,12
Osvětlenost průměrná E_{av} (lx)	0,546	0,784
Celkem	4,719	5,752

8. Příklady instalací chytrého veřejného osvětlení

Chytré veřejné osvětlení v obci Chełmża

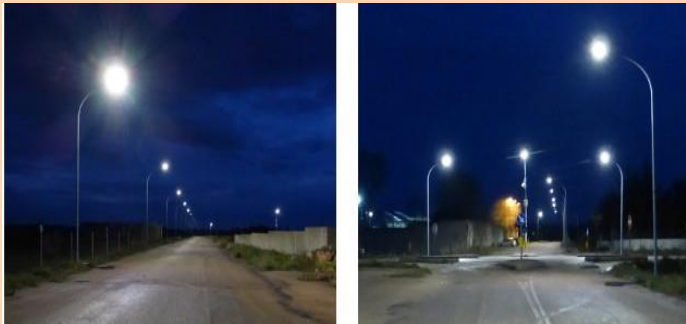
Lokalita	 Chełmża, severní Polsko; http://energa-oswietlenie.pl/aktualnosci-2/
Rok realizace	2014–2015
Počet sv. bodů	271
Typ svítidel	LED: 256 x 90 W; 15 x 73 W
Celkový příkon	cca. 24 kW
Popis	Modernizace systému pouličního osvětlení v obci Chełmża zahrnovala výměnu 271 sodíkových a rtuťových svítidel za LED a řídicí systém (14 rozvaděčů) v několika obcích.
Systém řízení	■ systém řízení osvětlení Philips CityTouch ■ ovládání svítidel nebo jejich skupin pomocí GSM ■ možnosti programování režimů a změn intenzity ■ tvorba profilů změn intenzity svícení svítidel ■ automatické hlášení defektů a změn stavu infrastruktury ■ měření a vyhodnocování spotřeby energie
Financování	Investice cca 120 000 EUR byla spolufinancována zhruba ze 24 % Národním fondem ochrany ŽP a vodního hospodářství.
Provozní informace	Za předpokladu provozu 4000 hodin ročně se spotřeba energie sníží o více než 56 %.

Chytré veřejné osvětlení ve městě Wolgast

Lokalita	 LED osvětlení ve Wolgastu; http://www.soledio.de/index.php/referenzen/34-strassenbeleuchtung-wolgast
Rok realizace	2015
Počet sv. bodů	cca. 2100
Typ svítidel	LED (od 15 W do 40 W)
Popis	Modernizace veřejného osvětlení byla přímým důsledkem vyhlášky EU o vyřazení rtuťových výbojek z používání od roku 2015. To bylo pro místní samosprávu příležitostí k přechodu na energeticky efektivnější systém VO s chytrým řízením. Celkově byla provedena výměna pouličního osvětlení na LED svítidla od Soledio GmbH.
Systém řízení	“LuxData” společně s GIS: ■ Dokumentace kompletní instalace veřejného osvětlení. ■ Sledování parametrů svítidel (proud, napětí, spotřeba energie, výkon). ■ Zobrazení jednotlivých svítidel na mapě. ■ Plán a rozvrh údržby v závislosti na datech v reálném čase. ■ Hlášení o poruchách a nefunkčních instalacích. ■ Databanka všech instalací VO. ■ Možnost kombinace s různými jinými systémy správy osvětlení. Hlavní výhodou je úspora energie a z toho vyplývající nižší náklady. Důsledným navržením a stanovením osvětlení každé komunikace by mohlo být dosaženo úspory energie až 70 %.
Financování	Výměna starých svítidel za nová svítidla s LED technologií byla realizována formou contractingu. Za výměnu, údržbu a provoz svítidel je na určenou dobu odpovědná soukromá firma, která za to od města

	dostává roční platbu. Provozní náklady pro město jsou tímto minimalizovány. Celkové náklady byly okolo 1 000 000 Eur.
Provozní informace	Před modernizací byla spotřeba energie 810 MWh/rok. Kompletní informace o provozu nejsou zatím dostupné. Předpokládaná roční úspora se pohybuje až ve výši 100 000 Euro/rok.

Chytré veřejné osvětlení ve městě Galatina

Lokalita	 Adaptivní veřejné osvětlení ve městě Galatina, Itálie; https://www.reverberi.it/en/application/adaptive-lighting-galatina-lecce-italy
Rok realizace	2015 - 2106
Počet sv. bodů	590
Typ svítidel	LED (99W)
Celkový příkon	cca. 60 kW
Popis	Cílem projektu bylo nahrazení stávajícího veřejného osvětlení (vysokotlaké sodíkové výbojky s výkonem 250W) za svítidla s LED technologií, instalace nových LED svítidel do neosvětlených oblastí v průmyslové oblasti za účelem snížení světelného znečištění a spotřeby energie a zlepšení bezpečnosti. Investice dále zahrnovaly: ■ Instalace zařízení pro dálkové ovládání a sledování spotřeby v rámci 9 rozvaděčů (příslušenství dodávané firmou Reverberi Enetec); ■ Instalace senzoru (LTM Reverberi Enetec), který umožňuje regulaci světelného toku v závislosti na světelných podmínkách, dopravní situaci a počasí. Díky tomuto senzoru je možné zasílat světelnému zařízení příkazy v reálném čase na základě zpracovávaných údajů v souladu s pravidly pro každý typ komunikace. ■ Instalace kamer zjišťujících rychlost pro video kontrolu.

Systém řízení	Software Maestro s databází Microsoft SQL, spouštěnou přes platformu Movicon X. Do systému mohou být nahrány Mapy DWG, DXF a soubory Shape. Funkce databáze: ■ Identifikace elektrických rozvaděčů napájejících každé světlo. ■ Sledování spotřeby energie. ■ Výběr jednotlivé lampy pro geografické zaměření a hledání použitím geografických dat (zoom atd.). ■ Dotazování a hledání s filtrem (hledání databázových oblastí). ■ Sjednocení s jinými aplikacemi (Google Maps, rozvíjené aplikace) platnými pro webovou verzi Maestro. Data v databázi SQL: ■ Specifické údaje a nastavení všech prvků systému: rozvaděče, světla, osvětlovací zařízení, osvětlovací věže a další zařízení chytrého města. ■ Elektrická měření rozvaděčů rozdělená na jednotlivé fáze: napětí (vstupní a výstupní), elektrický proud, výkon. ■ Elektrická měření pro každý světelný bod: napětí, proud, výkon, doba svitu, úspora, procentuální úspora. ■ Varovné zprávy a události generované rozvaděči a osvětlovacími zařízeními. ■ Management dostupnosti techniků a automatické přesměrovávání varovných zpráv. ■ Správa a automatické zobrazování pro údržbu systému. Komunikační systém/sít: ■ Kabelové dorozumívací spojení mezi elektrickým panelem a světelným zdrojem a GSM mezi rozvaděčem a kontrolním centrem. ■ Bezdrátová komunikace mezi LTM sondou a elektrickým panelem. ■ Využití rádiového spojení pro komunikaci světelného bodu s elektrickým panelem a GPRS / UMTS, LAN komunikace mezi rozvaděčem a kontrolním centrem.
Financování	Na financování byly použity finanční prostředky z programu “European funding for energy efficiency” a “European Structural Funds for Puglia Region”. Částečně se take na financování podílelo město Galatina. Celkové náklady byly okolo 340 000 Eur.
Provozní informace	Původní veřejné osvětlení vyžadovalo 590 vysokotlakých sodíkových výbojek s výkonem 250W. Instalací LED svítidel s výkonem 99W a adaptivním osvětlováním byla dosažena výrazná úspora výdajů za energii (okolo 70,000 Euro/rok) umožňující zkrácení doby návratnosti (obvykle 10 let) při zachování stejné úrovně osvětlení a při dodržení podmínek vnitrostátní normy UNI11248 na téměř 5 let.

9. Použité zdroje v jednotlivých kapitolách

- [3-1] Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. Manuál tvorby veřejných prostranství hlavního města Prahy, Strategie rozvoje veřejných prostranství hlavního města Prahy
- [3-2] HABEL, Jiří a kolektiv. Světlo a osvětlování. 1. Praha : FCC Public, 2013. str. 624. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [3-3] SOKANSKÝ, Karel, NOVÁK, T., BÁLSKÝ, M., BLÁHA, Z., CARBOL, Z., DIVIŠ, D., SOCHA, B., ŠNOBL, J., ŠUMPICH, J., ZÁVADA, P. Světelná technika. Praha : ČVUT, 2011. str. 256. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [3-4] ILLNEROVÁ, H., SUMOVÁ, A. Vnitřní časový systém. Medicína pro praxi. Solen 2011.
- [3-5] ŠPXÉROVÁ, L. Cirkadiánní rytmy u člověka. Brno 2008. Bakalářská práce, Masarykova univerzita v Brně.
- [3-6] PARMA, M.; BAXANT, P.; ŠKODA, J. Comparison of Spectral Power Distribution of Various Light Sources in Correlation to Human Circadian System. In *Proceedings of the 21st International Conference LIGHT SVĚTLO 2015*. First. Brno: Brno University of Technology, 2015. s. 25-28. ISBN: 978-80-214-5244- 2.
- [3-7] NOVOTNÝ, Jan, ŽÁK, P., SKÁLA, J., NOVÁK, T., TESAŘ, J. Doporučené teploty chromatičnosti veřejného osvětlení ve vztahu k druhu osvětlované komunikace. Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení. [online] www.srvo.cz
- [6-2]
- [3-8] NOVÁK, T., SOKANSKÝ, K., KOUDELKA, P., MARTÍNEK, R., Zavedení smart technologií do měst a obcí využitím prvků veřejného osvětlení. Světlo - časopis pro světelnou techniku a osvětlování. FCC Public, 2017, Sv. 5, ročník 20.
- [3-9] HODŽIOSMANOVIČ, M. a HOCHMAN, J. Svítidla pro veřejné osvětlení a jejich použití. Světlo - časopis pro světelnou techniku a osvětlování. FCC Public, 2017, Sv. 2, ročník 20.
- [3-10] ČERNOCH, J. Parametry LED svítidel. Praha 2017. Světlo v praxi 2017
- [4-1] CIE 126:1997 – Guidelines for minimizing sky glos.
- [4-2] CIE 150:2003 – „Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations
- [4-3] ŽÁK, Petr. Světelný smog ve městech. Astropis -Astronomický časopis. Praha 2017
- [4-4] SOKANSKÝ, K., MAIXNER, T., NOVÁK, T., TESAŘ, J., ZÁVADA, P., 'DOSTÁL, F., DIVIŠ, D. Krajina posedlá tmou aneb vypnuté veřejné osvětlení. Světlo-

- časopis pro světelnou techniku a osvětlování. FCC Public, 2009, Sv. 5, ročník 12.
- [5-1] ŽÁK, Petr. Příprava a hodnocení projektů ve veřejném osvětlení, Praha. Atelier světelné techniky s.r.o. 2016
 - [5-2] ŽÁK, Petr. Využití LED svítidel pro veřejné osvětlení. Praha. Světlo v praxi, 2017
 - [5-3] ŽÁK, Petr. Terminologie VO v nových dokumentech. Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení. 2008. www.srvo.cz/zpravodaj
 - [5-4] SOKANSKÝ, Karel a kolektiv. Metodické pokyny pro obnovu, provoz a údržbu veřejného osvětlení. Ostrava : VŠB-TU, 2008.
 - [5-5] Metodický pokyn pro žadatele o dotaci na rekonstrukci veřejného osvětlení z programu EFEKT. Praha MPO, 2017
 - [5-6] Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení. Doporučené standardy pro zařízení veřejného osvětlení: <http://www.srvo.cz/info-databaze/>
 - [6-1] JANIGA, Peter a GAŠPAROVSKÝ, Dionýz. Využitie smart technológií pri analýze porúch v sieťach verejného osvetlenia. Světlo - časopis pro světelnou techniku a osvětlování. FCC Public, 2017, Sv. 4, ročník 20.
 - [6-3] Prospekt fy Philips. CityTouch - Smart lighting, 2017
 - [6-4] Prospekt fy Schröder. Smart control for efficient lighting - Owlet, 2017.
 - [6-5] Prospekt firmy GE Lighting. Wireless intelligence, 2017.
 - [6-6] Prospekt firmy Thorn. Telea - Outdoor Lighting Controls, 2017.
 - [6-7] Prospekt fy Osram. Street Light Control: Innovative Light Control, 2017.
 - [6-8] Prospekt fy Siemens. Control cabinets for intelligent street lighting, 2017.
 - [6-9] Prospekt firmy Siemens. Intelligent street lighting, 2017.
 - [6-10] Prospekt firmy Vossloh-Schwabe - Lighting Solutions. Intelligent Light Control Systems, 2017.
 - [6-11] Prospekt firmy Tridonic. Efficient light for streets, bridges and public spaces, 2017.
 - [6-12] Prospekt firmy ABB. ABB solutions to manage the lighting circuits, according to a precise value of ambient light, 2017.
 - [7-1] ŠUCHMANN, Karel. Ekonomie osvětlovacích soustav. Kurs osvětlovací techniky IX - základy osvětlování I. díl. ČSO RS Ostrava, 1994.
 - [7-2] Energie Schweiz. Effiziente Strassebeleuchtung mit LED, 2017

Vydáno v roce 2017 za podpory Ministerstva životního prostředí ČR


Ministerstvo životního prostředí

