

## **Ovládací systém VO, zapínací místa RVO**

### **Ovládací systém**

Má zajistit spolehlivé zapínání a vypínání podle spínacího kalendáře VO, případně regulaci a zpětnou kontrolu stavu (svítí - nesvítí), nejlépe z jednoho místa. Ovládání je zpravidla provedeno:

- samostatnými ovládacími kabely od hlavního zapínacího místa
- kaskádním spojením (zapnuté VO od posledního stožáru zapíná další rozváděč)
- systémem HDO
- časovými spínači (hodinami - méně vhodné, časté přestavování, velká tolerance časů)
- fotoelektrickým spínačem (při dobrém seřízení - vhodnější než spínací hodiny)
- ručním zapínáním a vypínáním (neužívá se v praxi)

V současné době v naprosté většině splňuje ovládání pouze základní funkci - přenos impulsu mezi rozváděči nebo zajištění spínání vlastním vestavěným ovládacím prvkem (fotočidlo, spínací hodiny, přijímač HDO).

Jsou již zkoušeny modernější způsoby ovládání VO - dálkovým způsobem, rádiem, využitím počítačové sítě, telefonních linek apod. Je nutné posoudit místní podmínky a možnosti a zvolit nejvhodnější způsob pro danou oblast. Výklad ČSN 360400, 360410, které připouští víceúrovňovou regulaci osvětlení. Ale pro první tři stupně osvětlení vyžaduje zachování celkové rovnoměrnosti 1 : 2,5, je mnohdy velmi svérázný a neodborný. Nelze si regulaci vykládat jako možnost vypínání osvětlovací soustavy (úseků, každý druhý stožár apod.), regulaci je možno provádět pouze snížením světelného toku zdrojů při současném snížení instalovaného příkonu svítidel. K tomu je nutné vybavit zapínací místa příslušným regulátorem napětí soustavy.

Řízení systému veřejného osvětlení vyžaduje pravidelné vyhodnocování nákladů na energii a údržbu, porovnávání osvětlení s projektovanými hodnotami a optimalizaci činností spojených s provozem a údržbou VO. Tyto činnosti vedoucí k energetické a tedy i provozní optimalizaci provozu nazýváme **energetickým managementem**.

V rámci energetického managementu se řeší energetická optimalizace provozu systému veřejného osvětlení.

### **K energetické optimalizaci vedou tři cesty:**

- Energetická optimalizace vlastní osvětlovací soustavy
- Regulace osvětlení nasazením regulačních systémů
- Optimalizace systému řízení a monitorování, tzn. aplikace tzv. telemanagementu

### **Telemanagement**

Pod tímto pojmem v oblasti veřejného osvětlení rozumíme systémy dálkového spínání, řízení a monitorování provozních a poruchových stavů jednotlivých částí systému. Nejčastěji je telemanagement aplikován právě u rozváděčů veřejného osvětlení vybavených regulací, dále u standardních rozváděčů veřejného osvětlení a pomalu dochází k jeho aplikaci při monitorování jednotlivých svítidel systému veřejného osvětlení.

### **Existují v zásadě dva přístupy:**

#### **Centralizovaný systém**

Tento systém obecně sestává z centrálního dispečera – centrálního PC, který umožňuje uživateli - provozovateli a správci veřejného osvětlení z centra – velínu provádět každodenní spínání a monitoring provozních a poruchových stavů a provádět jejich záznam, archivaci a analýzu.

Příkladem aplikace takového řešení je systém užívaný ve veřejném osvětlení města Brna. Ke komunikaci je využíváno radiomodemů RAKOM. Dispečer má možnost v každé chvíli provést ze svého PC:

- zapnutí a vypnutí rozváděče
- přepnutí regulačního rozváděče do stavu by-pass
- odečtení stavu elektroměru
- přepnutí režimu spínání

dále má možnost zjistit:

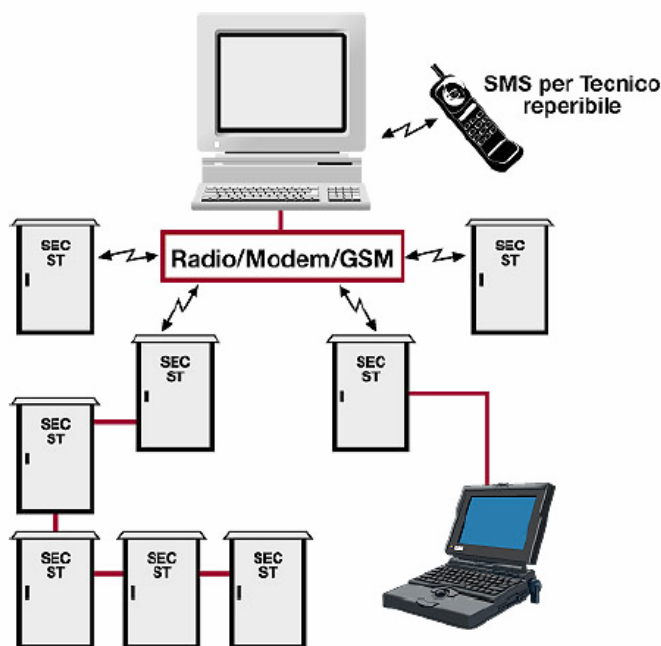
- informace o stavu zapnuto, vypnuto spínacích přístrojů
- informace o přítomnosti napětí na přívodu
- informaci o průchodu či neprůchodu proudu každou fází jednotlivého vývodu
- informaci o komunikaci radiomodemu
- informaci o průchodu proudu jednotlivým svítidlem
- informaci o oprávněném či neoprávněném vstupu do rozváděče apod.

### Decentralizovaný systém

Tento systém je oproti předcházejícímu systému vytvořen tak, že více „inteligence“ je dislokováno přímo do rozváděčů veřejného osvětlení a tyto komunikují s centrem jen pokud je to nezbytně nutné. Příkladem takového systému je řešení použité v rozváděči REVERBERI.

Centrální jednotka je vybavena softwarem, který provádí řízení regulace, snímání a záznam elektrických parametrů jako je vstupní a výstupní napětí v každé fázi, proud v každé fázi. Dále provádí výpočet účinníku v každé fázi, výpočet odebíraného činného a jalového výkonu každé fáze. Dalšími záznamy je doba provozu, seznam alarmů apod. Tato centrální jednotka může komunikovat s centrem buď přímo přes kabelové propojení s PC nebo dálkově přes GSM modem. Komunikace se využívá jen pokud je to nezbytné jako např. při:

- hlášení poruchy
- modifikaci programového nastavení režimu regulace
- stažení záznamu dat



Obr. 5.14 Příklad decentralizovaného systému

Uvedený systém umožňuje komunikaci s jednotlivými svítilny. Tato komunikace je prováděna po silovém napájecím vedení. Monitoruje se napětí a proud světelného zdroje – výbojky, porucha kompenzačního kondenzátoru. Informace o napětí na výbojce může být využita k analýze poklesu světelného toku a s předstihem odhadnout dobu možné poruchy a tedy potřebnou dobu její výměny. Tím je zaručen vysoký stupeň provozuschopnosti celého systému osvětlení.

Uvedené systémy umožňují centralizovat informace do řídicího velínu a ve spolupráci s pasportem VO v digitální podobě průběžně evidovat veškeré činnosti a provádět statistická vyhodnocení za zvolené časové období.

Takové systémy jsou základem efektivní a systémové údržby, provozu a obnovy osvětlovacích systémů. Dnes je již možno konstatovat, že aplikace energetického managementu ve veřejném osvětlení prostřednictvím plynulé regulace s využitím telemanagementu je nejefektivnějším zdrojem financování obnovy celého systému veřejného osvětlení.

### Zapínací místo RVO

Je elektrický rozváděč, který slouží k napájení a spínání veřejného osvětlení v určité oblasti, případně, kde se měří spotřeba el. energie. V rozváděči může být i jiné zařízení pro ovládání a regulaci osvětlení.

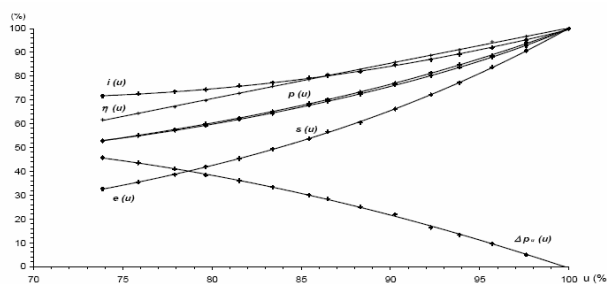
### Regulace napětí

Veřejné osvětlení je napájeno z distribuční sítě, jejíž napětí může být proměnlivé v čase i prostoru. Časovou proměnností se rozumí zvýšení napěťové hladiny v nočních hodinách a naopak její snížení během ranních případně pozdně odpoledních špiček. Prostorovou proměnlivostí se rozumí trvalé přepětí v blízkosti napájecího distribučního transformátoru a trvalé podpětí v případě velké vzdálenosti od distribučního transformátoru, popřípadě na konci vedení VO.

Je známo že velikost napětí má vliv na příkon osvětlovací soustavy a také ovlivňuje život světelného zdroje.

Vliv přepětí na život světelných zdrojů je nesporně negativní. Uvádí se, že například přepětí o 20% zkracuje život sodíkových vysokotlakých výbojek na polovinu. Jak vyplývá z křížových charakteristik vysokotlakých sodíkových výbojek snížení napětí o 10% snižuje světelný tok asi o 30% viz obr. 2.30. Může tedy dojít i při správně navržené osvětlovací soustavě, že tato nedosahuje parametrů daných normami, a to zvláště na konci intervalu údržby osvětlení. Při velkých podpětích dokonce nemusí, například je-li napětí na svítilně se sodíkovými výbojkami menší než 180V, zapalovací zařízení výbojku nastartovat. Ke zhasnutí výbojky může dojít i při rychlé změně popřípadě krátkodobém přerušení napětí v napájecí síti.

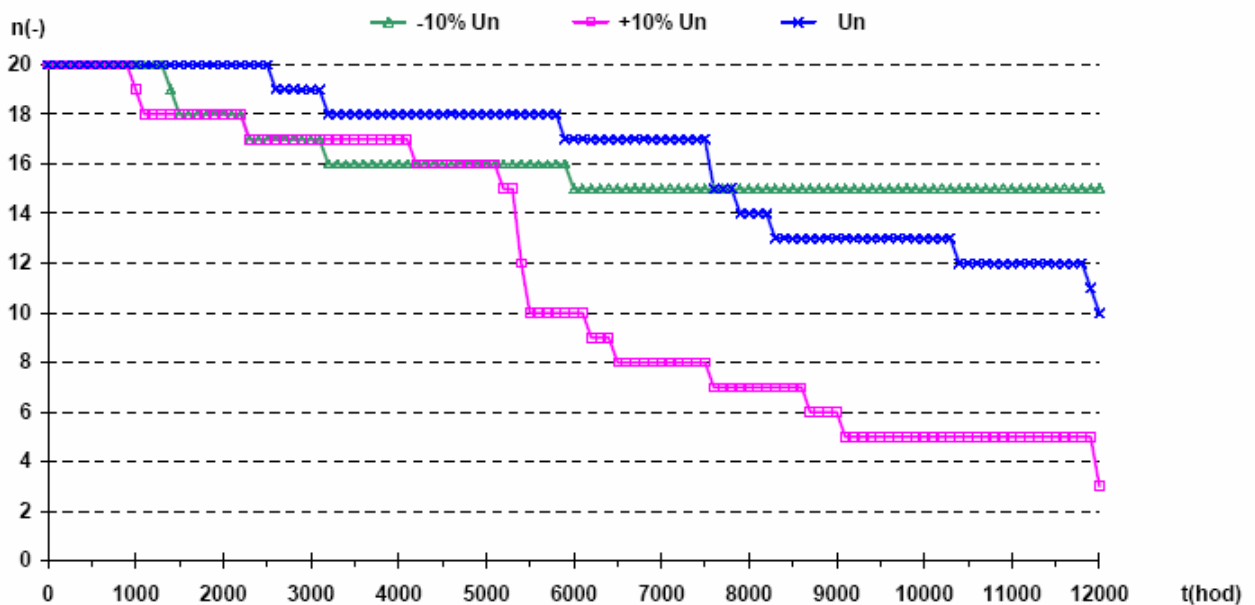
Na základě provedených experimentů lze potvrdit, že se snižováním napětí klesá proud a příkon, a dále se snižuje ušetřený činný výkon tím, že klesají činné ztráty na napájecím vedení s kvadrátem proudu. Tyto závislosti jsou vyneseny v poměrných jednotkách na obr. 5.2.



Obr. 5.2 Poměrné hodnoty měřených veličin proudu výbojem  $i(u)$ , zdánlivým příkonem  $s(u)$ , činným příkonem  $p(u)$ , měrným světelným výkonem  $\eta(u)$ , intenzitou osvětlení  $e(u)$  a ušetřeným činným příkonem  $\Delta p_0(u)$  v závislosti na napájecím napětí

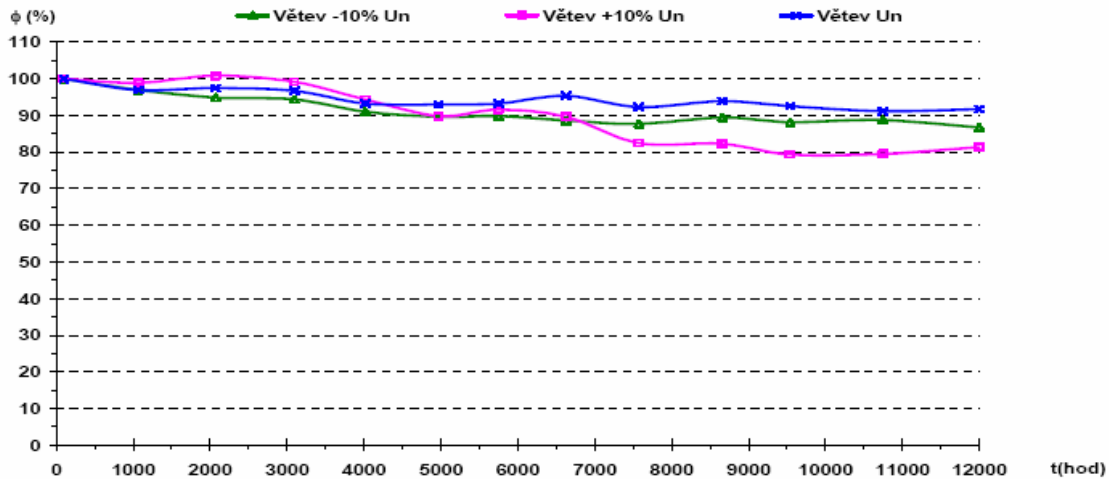
Bohužel světelný tok v závislosti na napájecím napětí  $e(u)$  klesá se snižováním napětí rychleji než činný příkon  $p(u)$ . Důsledkem toho je, že měrný světelný výkon zdroje se snižováním napětí klesá. Je tedy zřejmé, že při sníženém napětí nepracuje výbojka v optimálním režimu.

Na základě požadavku ověření vlivu napětí na život sodíkových výbojek se na VŠB TU Ostrava proběhl experiment, který sestával z testování 60 ks sodíkových výbojek výrobců Tesla Holešovice (SHC 70W), GE (LUCALOX LU70/90/T12/27), Philips (SON-T 70W), Osram (VIALOX NAV-E (SON-E)). Každá z těchto firem dodala 15 ks světelných zdrojů, z nichž se vytvořily tři nezávislé větve po 20 ks svítidel. První větev byla provozována při sníženém napětí o 10% od jmenovitého, druhá na jmenovitém napětí a třetí při napětí zvýšeném o 10%. K výbojkám byly použity předřadníky doporučené výrobcem svítidel a světelných zdrojů. Během 24 hodinového cyklu byly prováděny dvě vypnutí a zapnutí všech tří větví tak, aby se simuloval skutečný provoz. Mezi každým vypnutím byla nastavena hodina pro vychladnutí světelného zdroje a předřadníku. V následujících grafech jsou uvedeny veličiny, které charakterizují provoz svítidla v závislosti na provozních hodinách.



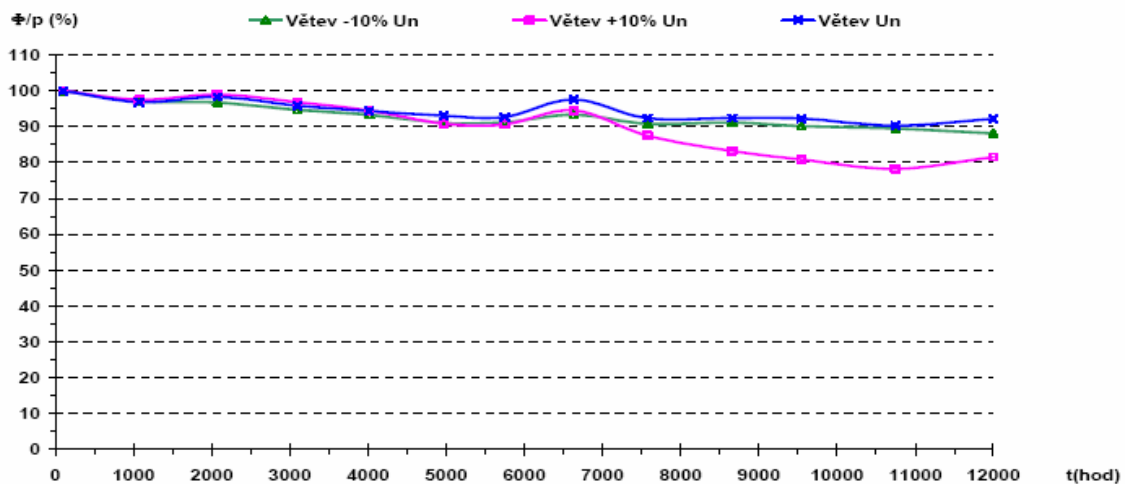
Obr. 5.3 Počet světelných zdrojů v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách (úmrtnostní křivka)

Z hlediska odsvícených provozních hodin lze za nejdůležitější považovat závislost počtu svítících zdrojů, která je uvedena na obrázku 5.3. Z grafu lze zcela jednoznačně vyčíst, že po 12 000 provozních hodinách zůstaly ze souboru 20 zdrojů v provozu pouze 3 kusy při zvýšeném napětí  $Un +10\%$ , 10 ks světelných zdrojů při jmenovitém napětí  $Un$  a 15 ks při napětí sníženém  $Un -10\%$ . Tímto experimentem se potvrdil známý fakt, že přepětí zkracuje život světelných zdrojů. Mezi skupinou zdrojů napájených jmenovitým a sníženým napětím je rozdíl ve prospěch zdrojů se sníženým napájecím napětím. Menší počet vyhořelých zdrojů u souboru s podpětím ve srovnání se souborem s jmenovitým napětím je zřejmě způsoben menším protékajícím proudem výbojem světelného zdroje v důsledku sníženého napětí.

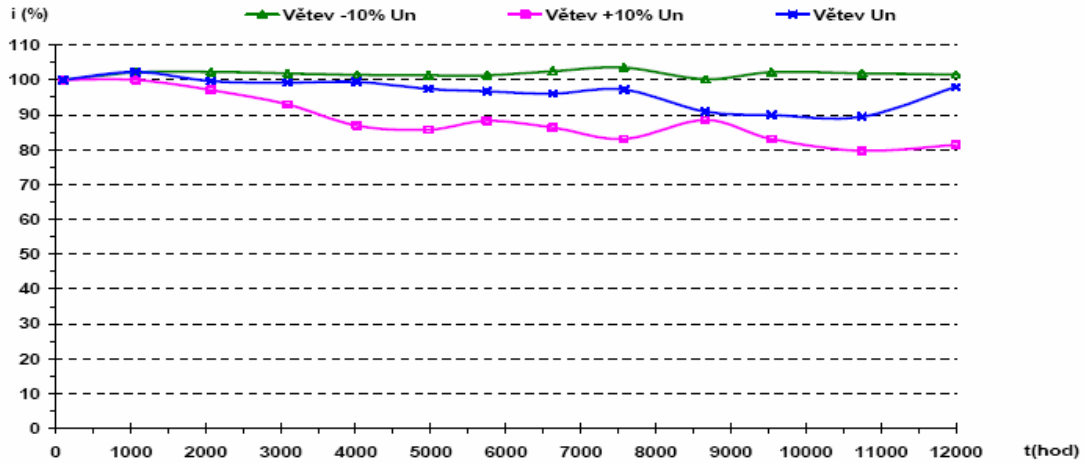


Obr. 5.4 Světelný tok zdrojů v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách

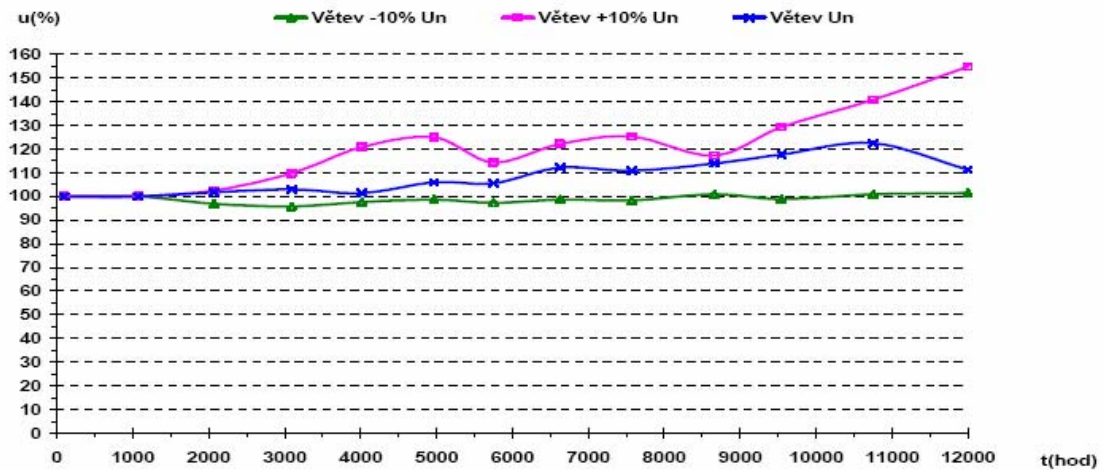
Budeme-li posuzovat život světelných zdrojů podle poklesu jejich světelného toku viz kap. 2.3.1, pak lze z časového záznamu viz obr. 5.4. konstatovat, že po 12 000 provozních hodinách nastal podle předpokladu největší pokles u světelných zdrojů provozovaných se zvýšeným napětím a to 20%. U zdrojů s napětím jmenovitým je pokles nižší a to kolem 8%. U světelných zdrojů provozovaných s napětím sníženým je to 14%. Pokles světelného toku je tedy u souboru provozovaného při zvýšeném napětí nejvyšší. Zde je nutné při porovnávání větví se jmenovitou a sníženou hodnotou napájecího napětí vzít v úvahu fakt, že u jmenovité větve došlo těsně před koncem posledního měření k výpadku dvou světelných zdrojů. A tento výpadek ovlivnil pozitivně průměr větve, což bude platit i pro dále uvedené závislosti. Z toho vyplývá, že údaj světelného toku je korektnější u souboru provozovaném při sníženém napětí. Na obr. 5.5 až 5.8 jsou zaznamenány další parametry, které sice s životem světelných zdrojů bezprostředně nesouvisí, ale definují jejich provozní vlastnosti.



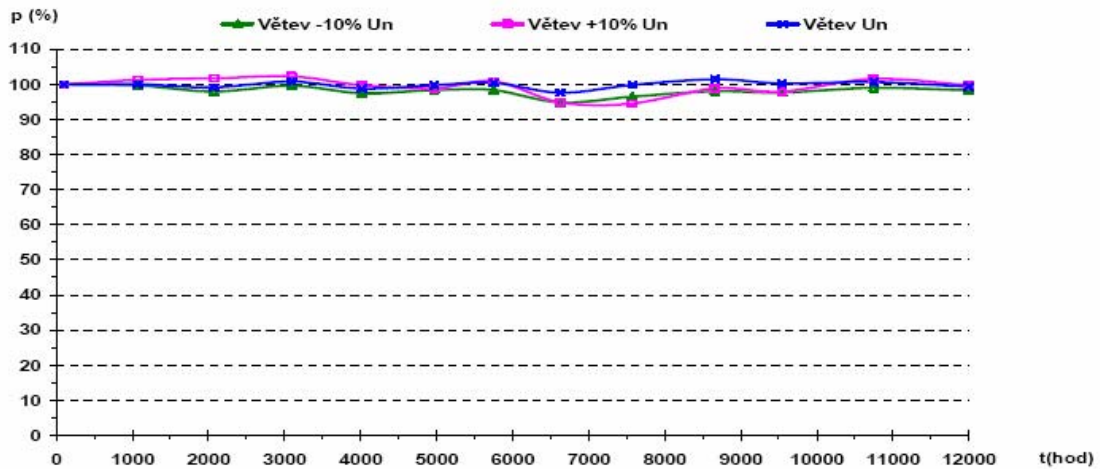
Obr. 5.5 Měrný výkon světelných zdrojů v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách



Obr. 5.6 Proud výbojkou v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách



Obr. 5.7 Napětí na výboji v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách



Obr. 5.8 Příkon soustavy výbojka – předradník v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách

Na obr. 5.5 je zobrazena závislost měrného výkonu výbojek v závislosti na provozních hodinách, obr. 5.6 zobrazuje závislost proudu výbojkou na provozních hodinách, obr. 5.7 zobrazuje nárůst efektivní hodnoty napětí na výboji a obr. 5.8 zobrazuje závislost celkového příkonu. O velikosti napětí na výboji je možné konstatovat, že má přímou diagnostickou souvislost se stádiem života výbojky. Čím je vyšší jeho poměrná hodnota vzhledem k počátečnímu stavu, tím je výbojka více vyčerpaná a blíží se ukončení její provozuschopnosti (nebude schopná se při jmenovitém napětí zapálit a proces zapalování se opakuje v cyklech). Nejvyšších hodnot poměrná hodnota napětí na výboji dosahuje přirozeně u větve napájené napětím zvýšeným o 10% nad jmenovitou hodnotu. To může také pomoci vysvětlit poznatek, že světelné zdroje dlouhodobě provozované při přepětí nejsou schopny vzhledem k jejich vyčerpanému životu a tím i zvýšenému napětí na výboji spolehlivě zapalovat při napětí jmenovitém.

Výše provedený experiment prokázal, že přepětí v našem případě 10% má větší vliv na vyhořívání světelných zdrojů a tím zkracování jejich fyzického života více, než jak se uvádí v odborné literatuře. Z celkového počtu 100% zdrojů na začátku zůstává po 12 000 hodinách provozu (tj. asi za 3 roky při předpokládaném svícení 4 000 hod. ročně) u větve s přepětím asi 25% funkčních zdrojů, u větve s jmenovitým napětím asi 50% funkčních zdrojů a u větve s podpětím asi 75% funkčních zdrojů. Z toho vyplývá, že stabilizace napětí může přinést značné úspory z hlediska provozu osvětlovací soustavy. Hrubým odhadem lze konstatovat, že při přepětí bude v osvětlovací soustavě po třech letech o 25% více vyhořelých zdrojů a u soustavy s podpětím o 25% méně vyhořelých zdrojů než u soustavy s napětím jmenovitém. Toto tvrzení platí pro přepětí a podpětí  $\pm 10\%$ . Při vyšším přepětí bude proces stárnutí ještě rychlejší.

Budeme-li posuzovat výše zmíněné soubory z hlediska fyzického života, tak tento byl po 12 000 hod. provozu ukončen, protože v souboru napájeném jmenovitém napětím došlo k 50% výpadku.

Budeme-li posuzovat výše měřené soubory z hlediska užitečného života, tak ani u souboru vystavenému přepětí nedošlo k jeho ukončení. Výše uvedené závěry mají informativní charakter, protože soubory (po 20 kusech) nelze považovat za statisticky významné.

Pro ověření časové a prostorové závislosti napěťové hladiny osvětlovacích soustav byl proveden experiment na VO v Ostravě. Dosud bylo změřeno 15 ks rozváděčů. V každém rozváděči bylo provedeno měření napětí a proudu ve všech třech fázích při době měření asi jeden týden včetně sobot a nedělí. Cílem měření je provést a vyhodnotit kolísání napětí během dne a týdne, a z průběhů proudů a napětí vyhodnotit proudovou případně napěťovou nesymetrii.

### Regulace osvětlení

Normy ČSN 36 0410 a ČSN 36 0411 připouštějí při výrazném snížení provozu snížení jasů a osvětleností (stmívání) až o dva stupně. Teoreticky to znamená možnost snížení těchto hodnot až na jednu třetinu. Toto snížení se dá velice snadno dosáhnout regulací napětí. Z křížových charakteristik viz obr. 2.30 vyplývá, že změna napětí o  $\pm 1\%$  vyvolává změnu světelného toku u sodíkových výbojek asi o  $\pm 3\%$ . Ve skutečnosti jsme limitováni napětím, které by nemělo u sodíkových výbojek poklesnout pod hodnotu kolem 180 V. Podkročením těchto hodnot se výbojka dostává do nestabilního stavu a jakákoliv dynamická změna může vyvolat zhasnutí výbojky. Při těchto napětích dochází k poklesu jasů a osvětleností asi o 65% a poklesu příkonu asi o 50%.

Výrazně snížený provoz nastává ve většině měst a obcí mezi 23<sup>00</sup> až 5<sup>00</sup> hodinou, což představuje dobu delší než 2 000 hod. za rok. To znamená, že teoreticky můžeme snížit po dobu 2 000 hod. výkon osvětlovacích soustav VO na polovinu.

Při spotřebě elektrické energie v ČR na VO za rok 2000, která činila 608,8 GWh tomu odpovídá při sazbě 1,64 Kč.kWh<sup>-1</sup> cena el. energie 998,4 mil Kč. Bude-li provedena regulace světelného toku po

dobu 2 000 hod. z celkové doby ročního provozu 4 000 hod., tak budou teoretické úspory činit téměř 250 mil. Kč.

### Druhy regulačních systémů

Na trhu je v současné době k dispozici celá řada regulačních systémů, různé proveniencie, různého typu a samozřejmě i různé kvality. Při jejich volbě je třeba zvažovat poměr ceny, kvality, komfortu servisu a délky záruky. Principiálně jsou k dispozici dva typy regulace.

### Fázová regulace

Jedná se o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, přičemž amplituda napětí zůstává nezměněna. Např. u systému INTELUX je založen na bázi jednofázových měničů ve výkonové řadě od 1 do 10,3 kVA, tj. od 4 do 45 A.

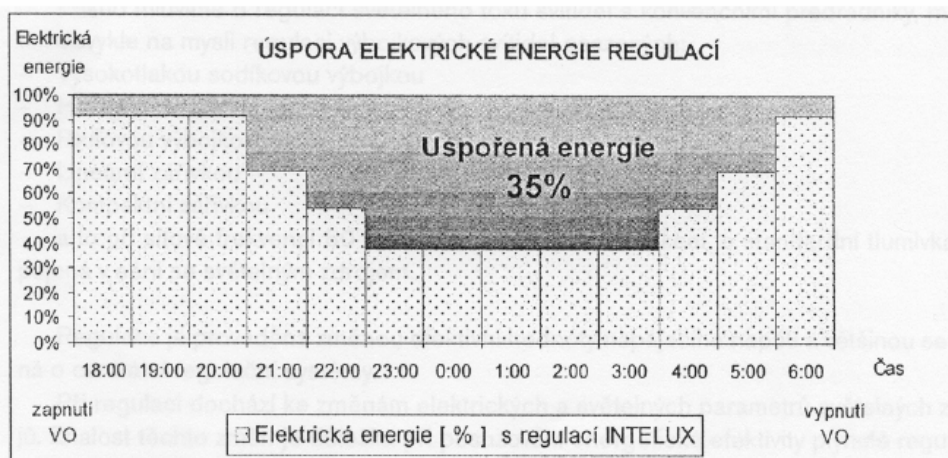
### Výhodou systému je:

- vysoká modularita
- možnost vestavby do stávajících napájecích rozváděčů
- velký rozsah regulace
- minimální nároky na údržbu
- možnosti rozšíření nebo redukce
- vysoké přizpůsobení příkonu soustavy VO
- dlouhá životnost
- dlouhá záruční doba

### Amplitudová regulace

Jedná se rovněž o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, ke které dochází změnou amplitudy napětí. Např. u systému REVERBERI je založen na bázi transformátorové regulace ve výkonové řadě od 9 do 132 kVA. Tento systém je obvykle proveden jako samostatný rozváděč, který se instaluje do série se stávajícím napájecím rozváděčem. Tyto systémy jsou dodávány v různých variantách a v různé kvalitě. Liší se zejména cenou, komfortem, nároky na údržbu, kvalitou, životností, dobou záruky apod. Nejlepší z nich jsou vybaveny tzv. zařízeními telemanagementu, tzn., že je možno s nimi dálkově komunikovat prostřednictvím GSM telefonů nebo prostřednictvím radiové sítě.

Příklad aplikace regulačního systému se nachází na obr. 5.11.



Obr. 5.11 Aplikace regulačního systému



Nutno podotknout, že při regulaci světelného toku dochází ke změně teploty chromatičnosti světelného zdroje. K velmi malé změně, řádově jednotek procent, dochází u lineárních zářivek a vysokotlakých sodíkových výbojek. U halogenidových výbojek dochází při snížení napětí na výbojce k výraznému zvýšení teploty chromatičnosti v řádu desítek procent.

Ušetřená energie se zvyšuje také kompenzací snížení světelného toku a kompenzací předimenzování osvětlení

### **Kompenzace snížení světelného toku**

Vzhledem k tomu, že výbojky a zářivkové trubice „stárnou“ a jejich světelný tok se během jejich života snižuje, používá se při návrhu osvětlení tzv. činitel údržby v hodnotě obvykle 0,6 až 0,8. To znamená, že v osvětlovacím systému s novými zdroji - např. po provedení pravidelné údržby, při činiteli 0,7, je počáteční hladina osvětlení o 30% vyšší než je navrženo.

Jakmile světelný zdroj dosáhne konce svého ekonomického života, hladina osvětlení se vyrovná projektové úrovni, nebereme-li v úvahu předimenzování soustavy. Pomocí uzavřené smyčky - zpětné vazby může plynulá regulace osvětlení tento proces stárnutí eliminovat a osvětlenost může být regulována a udržována na požadované úrovni. Pokud je použit vhodný systém pro plynulou regulaci osvětlení, je možno dosáhnout úspory elektrické energie ve výši 10 až 15%. Tuto úsporu je možno stanovit velmi přesně.

### **Kompenzace předimenzování osvětlení**

V době, kdy je prováděn návrh osvětlení, je mnoho parametrů neznámých. Proto je v průběhu návrhu použito předpokládaných údajů, většinou bývá návrh konzervativní. Díky tomuto faktoru je předimenzování osvětlení obecným rysem. Pomocí systému pro plynulou regulaci se zpětnou vazbou je možno tyto faktory kompenzovat, a tím dosáhnout úspor elektrické energie mezi 0 až 50% (obvykle kolem 25%). Úspory jsou velmi závislé na stupni předimenzování a dají se velmi přesně stanovit, pokud jsou známy exaktní výsledky návrhu osvětlení a parametry osvětlovaného prostoru.

### **Postup při návrhu umístění regulátoru**

Výběr nejvhodnějšího místa regulátoru by se měl opírat o následující zjištění:

- Znalost požadavků na osvětlenost případně jasy (zařazení do tříd) a ověření měření, zda jsou tyto požadavky splněny, překročeny nebo nesplněny. Důležité je vědět, zda se jedná o městské silniční osvětlení nebo osvětlení pěších zón. Doba stmívání se volí podle dopravního ruchu individuálně.
- Znalost napětí během minimálně 24 hod. popřípadě jeho velikost v době, kdy je VO v provozu. Napětí by se mělo změřit dlouhodoběji za účelem zjistit, zda se nevyskytuje v místě napájení rozváděče trvalé podpětí anebo přepětí.
- Znalost velikosti napětí nejen v místě připojení rozváděče, ale také v nejvzdálenějším bodě. Prakticky to znamená, že připustíme-li nejnižší napětí na konci vedení asi 180 V, tak při respektování úbytku 5% (11,5 V) nemůže v napájecím bodě stmívat pod 191,5 V. Tím je dána minimální hodnota napětí. Minimální hodnota napětí rovněž souvisí s typem světelných zdrojů.
- Znalost velikosti příkonu osvětlovací soustavy VO a to celkového i v jednotlivých fázích
- Znalost technického stavu a doby života osvětlovací soustavy. Nemá smysl regulovat osv. soustavu, která je před rekonstrukcí, která vede zpravidla ke snížení jejího příkonu zavedením nových zdrojů a svítidel.
- Znalost typu a umístění stávajícího rozváděče, počet vývodů, způsob ovládání a jistění.
- znalost možností sdružit některé rozváděče do jednoho místa z důvodů jejich nedostatečného vytížení. Tato situace je obvyklá při rekonstrukci osv. soustavy, kdy zastaralá svítidla jsou nahrazena novými o menších příkonech.

### Projekt regulace napětí a stmívání

Chceme-li provést regulaci napětí a stmívání VO, je nutná znalost, zda se jedná o:

- Projekt nové osvětlovací soustavy
- Projekt rekonstruované osvětlovací soustavy (provedena výměna svítidel)
- Projekt instalace regulátorů do stávající soustavy

V případě úplně nového projektu je postup při návrhu standardní. Navíc je nutno projektovou dokumentaci vybavit zapojením regulátoru pro stmívání. Doporučuje se, aby rozvaděč pro regulaci a stmívání byl vybaven hlavním vypínačem, elektroměrem a jistíci prvky jednotlivých vývodů. Dále se doporučuje, aby projektant stanovil režim stmívání a zkontroloval napájecí vedení na úbytek napětí. Je třeba si uvědomit tzv. samoregulační vlastnost osvětlovacích soustav. V režimu stmívání v důsledku sníženého napětí teče sodíkovými a obecně jakýmkoliv výbojkami menší proud. Z křížových charakteristik vyplývá, že zmenšení napětí o 10% vyvolá zmenšení proudu asi o 8%. To má za následek i zmenšení úbytku napětí. To znamená, že vyhovuje-li osvětlovací soustava na jmenovitý úbytek napětí, nebude tento úbytek v režimu stmívání překročen, ale naopak bude menší.

Výkon rozvaděče se volí z řady vyráběných výkonů a doporučuje se, aby jeho výkon byl asi o 10% vyšší než je výkon osvětlovací soustavy a to z důvodu náběhu proudu.

Doporučuje se nastavit v prvním roce provozu snížené napětí, ve kterém je soustava z důvodu dodržení udržovacího činitele přesvětlena.

U rekonstruované osvětlovací soustavy je třeba ověřit výpočtem, zda tato vyhovuje na úbytek napětí pouze v případě, že soustava nevyhovovala před rekonstrukcí. U rekonstruované soustavy se totiž předpokládá, že úbytek napětí bude menší. Regulátory není nutné vybavovat jistěním, měřením a vypínáním pokud stávající napájecí rozvaděče jsou vyhovující. Doporučuje se však upravit jejich jistění na menší hodnoty, i když se průřezy kabelů nemění.

Vzhledem k tomu, že rekonstruovaná soustava má zpravidla menší příkon, doporučuje se měření příkonu v jednotlivých stávajících napájecích rozvaděčích a jejich rekonstrukce na odbočné skříně. Tím se dosáhne omezení počtu napájecích rozvaděčů. Výkon regulátorů by měl být opět asi o 10% vyšší než výkon osvětlovací soustavy.

V případě instalace pouze regulátorů je nutná kontrola úbytku napětí v nejbližším světelném místě, a to nejlépe měřením. Napětí měřené na svorkovnici rozvodnice stožáru nesmí být u sodíkových výbojek menší než 180V a 190V u rtuťových výbojek v režimu stmívání. Určitá rezerva vychází z předpokladu, že k dalšímu úbytku napětí dochází na spojovacím vedení mezi svorkovnicí umístěnou v dolní části stožáru, přechodovými odpory a světelným zdrojem. Rovněž stávající tlumivky mohou způsobit v důsledku nedodržení svých parametrů větší úbytek než je dán normami.

Doporučuje se, aby i zde byl výkon rozvaděčů asi o 10% vyšší než výkon osvětlovací soustavy, a to i v jednotlivých fázích. Z důvodu maximálního využití rozvaděče, což je důležité kritérium při zjištění návratnosti investic, se doporučuje provést rozfázování výkonu v jednotlivých fázích a tím zrovnoměnění odběru.

V elektrickém schématu se regulátor umísťuje za elektroměrem. Mechanicky se regulátor postaví zpravidla na stávající rozvaděč a upevní.

Ve všech třech případech projektu instalace regulátoru se doporučuje po jeho instalaci měření poklesu světelného toku (postačí jedno měřené místo) a napětí v nejbližším světelném místě v režimu stmívání.

### Zmenšení ztrát v elektrických rozvodech

Činné ztráty v elektrických rozvodech můžeme obecně definovat vztahem:

$$\Delta P = k \cdot R \cdot I^2 = k \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot I^2 \quad (5.1)$$

Koeficient  $k$  udává, zda se jedná o jednofázový rozvod ( $k=2$ ), nebo o třífázový rozvod ( $k=3$ ). Pro běžný rozváděč s výkonem 30 kW, délkou rozvodu 500m,  $S = 35 \text{ mm}^2 \text{ Al}$  ( $\rho = 1/33 \text{ } \Omega \text{ mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ), můžeme získat různé hodnoty ztrát podle druhu zatížení.

Nejdříve budeme uvažovat, že celý odběr je umístěn na konci vedení a odběr je symetrický, v každé fázi teče proud  $I = 40 \text{ A}$  (tj.  $P = 27,6 \text{ kW}$ ).

$$\Delta P = 3 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot I^2 = 3 \cdot \frac{500}{33 \cdot 35} \cdot 40^2 = 2,1 \text{ kW}$$
$$\Delta p = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100 = \frac{2,1}{27,6} \cdot 100 = 7,6 \%$$

V druhém případě budeme uvažovat opět odběr na konci rozvodu, ale s nesymetrickým zatížením jednotlivých fází  $I_{L1} = 30 \text{ A}$ ,  $I_{L2} = 40 \text{ A}$ ,  $I_{L3} = 50 \text{ A}$  ( $P = 27,6 \text{ kW}$ ).

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot (I_{L1}^2 + I_{L2}^2 + I_{L3}^2 + I_N^2) = \frac{500}{33 \cdot 35} \cdot (30^2 + 40^2 + 50^2 + 17,3^2) = 2,3 \text{ kW}$$
$$\Delta p = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100 = \frac{2,3}{27,6} \cdot 100 = 8,3 \%$$

Podle skutečně naměřených hodnot např. viz tab. 5.1 je uvažování proudové nesymetrie oprávněné, a lze počítat s tím, že skutečné ztráty vlivem proudové nesymetrie mohou dosáhnout až kolem 2% ze zatížení i při uvažování rovnoměrného rozložení výkonu podél vedení (teoreticky jedna třetina původních ztrát).

### Optimalizace ovládacího systému

Ovládací systém je ve své podstatě mozkiem (centrální dispečink) a nervovým systémem (přenosové cesty základních povelů) celého zařízení VO. Musí zajistit spolehlivé zapínání a vypínání zařízení VO z jednotlivých zapínacích míst podle spínacího kalendáře VO, ovládní činnosti případných regulátorů a v dnešní době se od něj očekává i možnost zpětných informací o stavu zařízení VO (zapnuto – vypnuto, případně aktuální velikost odběru elektrické energie, která může signalizovat lokální výpadky ve větvích rozvodu VO) a v neposlední řadě by měl umožňovat okamžitý dálkový přenos důležitých informací funkčního charakteru (ztráta napájecího napětí, neoprávněný vstup do rozváděče apod.) a shromažďovat k hromadnému přenosu nejdůležitější provozní údaj - stav elektroměru a množství odebrané elektrické energie za stanovené období.