



**ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ – СКОПЈЕ**

**д-р Рубин Талески**

**д-р Драгослав Рајичиќ**

**ПРОЕКТИРАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ  
НА УЛИЦИ И ПАТИШТА  
– Напатствие за програмски вежби –**

**Скопје, 2001 година**



## СОДРЖИНА

<b>9</b>	<b>ПРОЕКТИРАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА УЛИЦИ И ПАТИШТА.....</b>	<b>1</b>
9.1	Воведни забелешки	1
9.2	Критериуми за проектирање	2
9.2.1	Концепт на сјајност .....	2
	<i>Средна сјајност на коловозот</i>	4
	<i>Општа рамномерност на сјајноста</i>	5
	<i>Блескотење</i>	5
	<i>Надолжна рамномерност на сјајноста</i>	5
	<i>Релативна осветленост на околината</i>	5
	<i>Директно визуелно водење</i>	6
	<i>Осветление во услови на влажен коловоз</i>	6
9.2.2	Концепт на осветленост.....	7
9.2.3	Осветление на критични (конфликтни) зони .....	8
9.2.4	Естетски аспекти и влијание на системот за осветление врз околината.....	11
<b>9.3</b>	<b>СИСТЕМИ ЗА УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ</b>	<b>11</b>
9.3.1	Општо за системите за улично осветление .....	11
9.3.2	Светлински извори и светилки за улично осветление .....	12
	<i>Сијалици за улично осветление</i>	12
	<i>Светлотехнички карактеристики на светилките</i>	13
	<i>Конструктивни карактеристики на светилките</i>	16
	<i>Фактор на одржување на светилките</i>	17
9.3.3	Геометрија на системите за улично осветление.....	19
	<i>Геометрија на светилките и столбовите</i>	19
	<i>Стандардни распореди на светилки</i>	21
	<i>Едностран распоред .....</i>	22
	<i>Двостран распоред .....</i>	22
	<i>Централен двореден распоред.....</i>	22
	<i>Аксијален распоред со напречно поставени носечки јажиња..</i>	26
	<i>Централен аксијален распоред со надолжни носечки јажиња..</i>	26
	<i>Нестандардни распореди .....</i>	26
	<b>Поле на вреднување</b>	<b>27</b>
<b>9.4</b>	<b>ФОТОМЕТРИСКИ ПРЕСМЕТКИ</b>	<b>30</b>

---

9.4.1	Општо за фотометриските пресметки.....	30
9.4.2	Влезни податоци .....	30
9.4.3	Пресметка на осветленост .....	33
9.4.4	Пресметка на сјајноста.....	34
9.4.5	Пресметка на релативниот пораст на прагот $Tl$ .....	39
10	ЛИТЕРАТУРА .....	41

## 9 ПРОЕКТИРАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА УЛИЦИ И ПАТИШТА

### 9.1 Воведни забелешки

Осветлението на сообраќајниците треба да им овозможи на учесниците во сообраќајот (возачи, пешаци, велосипедисти и др.) сигурност и безбедност во движењето во ноќни услови. Исклучок се тунелите кај коишто е потребно осветление и во дневни услови. Осветлението се обезбедува од фиксен систем за осветление (светилки најчесто поставени на столбови долж сообраќајницата) и/или од фаровите на моторните возила. Кај сообраќајниците каде што не постои фиксен систем за осветление видните услови се значително полоши поради неколку причини: а) сообраќајницата е само делумно осветлена од фаровите на возилата, б) пешаците се во инфериорна положба во однос на моторизираните учесници поради тоа што светлински извори имаат само возилата, и в) физиолошкото и психолошкото блескотење предизвикани од возилата што се движат од спротивна насока се многу поизразени кога сјајноста на околината е пониска (т.е. кога нема други извори на светлина во близина).

Многу студии коишто ги истражувале ефектите од осветлението на сообраќајниците покажале дека доброто осветление позитивно влијае врз намалувањето на бројот на сообраќајни несреќи и врз намалување на стапката на криминал во урбаните средини.

Во рамките на ова поглавје ќе бидат изложени критериумите и насоките за проектирање на електричното осветление на улици и патишта, како и основите на фотометриските пресметки. Во Република Македонија не постои стандард којшто ја обработува проблематиката на осветление на сообраќајници. Поради тоа, овој текст е базиран врз Препораките за осветление на патишта [и улици]<sup>1</sup> за моторен и пешачки сообраќај од Меѓународната комисија за осветление (*Commission Internationale de l'Éclairage - CIE*) [12]. Препораките што ги изготвува *CIE* во многу случаи служат како појдовна основа за изготвување на националните стандарди во многу држави. Така на пример, во моментот на пишувањето на овој текст, во Европската Унија во процес на изработка и усвојување е нацрт стандардот prEN 13201 – Осветление на патишта. Во овој стандард критериумите за проектирање на уличното осветление многу малку се разликуваат од соодветните критериуми во [12], а разликите се однесуваат, главно, во начинот на категоризација на сообраќајниците од аспект на видните потреби на корисниците.

<sup>1</sup> Меѓународната комисија за осветление во документите коишто ја обработуваат оваа проблематика терминологички не прави разлика помеѓу улици и патишта од причина што критериумите и за улиците и патиштата се идентични. Бидејќи овој текст, во најголема мера, е базиран врз документите на *CIE*, во продолжение термините „пат“ и „сообраќајница“ ќе се користат како синоними и за улица и за пат.

Под поимот сообраќајници, покрај улиците и патиштата, се подразбираат и тунелите. Принципот на осветление на тунелите во основа се разликува од принципите за осветление на улиците и патиштата, меѓу другото и поради тоа што тунелите треба да бидат осветлени и во текот на денот. Поради ограничениот обем на овој труд во него не е опфатена техниката на осветление на тунелите. Подетално за таа проблематика може да се најде во литературата, на пример [1,2,5,6,13].

## 9.2 Критериуми за проектирање

При проектирањето на осветлението на сообраќајниците можни се два концепта, зависно од светлотехничките големини што се користат како основни критериуми: а) осветленост на осветлуваните површини и б) сјајност на осветлуваните површини. Кој од наведените концепти ќе се користи зависи од визуелните барања и потреби на учесниците во сообраќајот, коишто не се еднакви за сите учесници во сообраќајот.

Праксата покажала дека концептот на осветленост е погоден и прифатлив за спорите учесници во сообраќајот (пешаци, велосипедисти и сл.), додека вториот концепт е најсоодветен за возачите на моторни возила. Поради тоа, во многуте национални стандарди, како и во [12], се прифатени и двата концепта за проектирање. Според [12], сообраќајниците со интензивен моторен сообраќај и поголеми брзини на движење се проектираат според концептот во којшто основен критериум е сјајноста. Улиците со мал сообраќај или улиците наменети исклучиво за пешаци се проектираат според концептот во којшто основен критериум е осветленоста на хоризонталните и вертикалните површини.

Концептот на сјајност обезбедува светла површина на коловозот (светла позадина) така што објектите се гледаат како темни силуети („негативен контраст“). Меѓутоа, на патот може да се појават многу објекти со висок коефициент на рефлексија и коишто не можат да се гледаат како силуети, туку нивната видливост е резултат од рефлектираната светлина. Покрај тоа, во услови на интензивен сообраќај возилата присутни на коловозот можат наполно да ја сокријат површината на коловозот така што негативниот контраст не може да дојде до израз. Поради тоа, во последно време се развиени методи за пресметка на видливоста која што може да се искористи како мерка за квалитетот на осветлението. Во [12] е опишан еден таков метод, наречен метод на *видливост на мали предмети (Small Target Visibility – STV)*. Овој метод е сеуште предмет на истражувања, па поради тоа во овој труд нема да биде обработуван.

### 9.2.1 Концепт на сјајност

Визуелните потреби на учесниците во сообраќајот зависат од повеќе фактори, како што се: густина и брзина на движење на сообраќајот, типот на сообраќајницата, начинот на сигнализацијата и др. Во зависност од овие фактори, *CIE* дефинирала пет класи на осветление M1÷M5 (табела 9.1). Во табелата 9.1 е

прикажана класификацијата на патиштата во зависност од сообраќајните карактеристики и светлотехничките барања.

Табела 9.1 Класи на осветление за различни типови патишта [12]

Опис на патот	Класа на осветлението
Брзи патишта со одвоени коловозни патеки без крстосници во ниво и со комплетна контрола на пристап – автопатишта Густина на сообраќајот и комплексност на патот <sup>2</sup> Висока Средна Ниска	M1 M2 M3
Брзи патишта со сообраќај во двете насоки Контрола на сообраќајот и раздвојување на различните типови корисници на патот Слаба Добра	M1 M2
Важни градски сообраќајници и регионални патишта Контрола на сообраќајот и раздвојување на различните типови корисници на патот Слаба Добра	M2 M3
Помалку важни сообраќајници, локални патишта и сообраќајници во зони за живеење Контрола на сообраќајот и раздвојување на различните типови корисници на патот Слаба Добра	M4 M5

Критериумите што служат за оценка на светлотехничкото решение кога се користи концептот на сјајност се [12]:

- средна сјајност на коловозот  $\bar{L}$ , општа рамномерност на сјајноста  $U_0$  и надолжна рамномерност на сјајноста  $U_n$ ;
- физиолошкото блескотење, односно релативниот пораст на прагот ( $TI$ );
- релативната осветленост на околината ( $SR$ );
- директно визуелно водење.

Сите претходно споменати критериуми се дефинирани во продолжение на овој оддел.

Првите пет критериуми влијаат главно врз способноста на возачите за гледање во ноќни услови. За нивна пресметка постојат општо прифатени математички процедури. Во табелата 9.2 се прикажани најмалите дозволени вредности на овие критериуми, во зависност од од класата на осветление.

<sup>2</sup> Комплексноста на патот се однесува на: инфраструктура, движење на сообраќајот и изгледот на околината. Фактори коишто треба да се земат предвид се: број на коловозни ленти, знаци и сигнализација.

За разлика од претходните критериуми, за визуелното водење не постојат процедури за негова квантификација, па поради тоа при проектирањето е потребно да се почитуваат некои основни начела коишто овозможуваат добро визуелно водење.

Табела 9.2 Критериуми за моторен сообраќај базирани на сјајноста на коловозот [12]

Класа на осветление	Поле на примена				
	Сите патишта	Сите патишта	Сите патишта	Забелешка <sup>3</sup>	Забелешка <sup>4</sup>
	$\bar{L}$ (cd/m <sup>2</sup> ) Најниска експлоатациона вредност <sup>5</sup>	$U_o$ Најниска експлоатациона вредност	$TI$ (%) Највисока експлоатациона вредност <sup>5</sup>	$U_n$ Најниска експлоатациона вредност	$SR$ Најниска експлоатациона вредност
M1	2,00	0,40	10	0,70	0,50
M2	1,50	0,40	10	0,70	0,50
M3	1,00	0,40	10	0,50	0,50
M4	0,75	0,40	15	нема барање	нема барање
M5	0,50	0,40	15	нема барање	нема барање

### Средна сјајност на коловозот

Средната сјајност на коловозот  $\bar{L}$  претставува најниската експлоатациона вредност на средната сјајност на коловозот во *полето на вреднување*<sup>6</sup>. Сјајноста зависи од повеќе фактори, како што се: позицијата на набљудувачот, обликот на фотометриското тело на светилките, флуksот на сијалиците, геометријата на системот за осветление и рефлексивните својства на коловозот.

Вредности на средната сјајност на коловозот можат да бидат и повисоки отколку вредностите прикажани во табелата 9.2, но само ако тие технички решенија може економски да се оправдаат.

Средната сјајноста во поедините точки од полето на вреднување може да се пресмета на неколку начини. Во рамките на овој труд ќе биде презентирана методологијата препорачана од CIE [9] (описана во одделот 9.4.4). Според таа методологија, за точно определена позиција на набљудувачот се пресметуваат сјајностите во точките на поврзината од коловозот во полето на вреднување. Врз основа на сјајностите во поедините точки,  $\bar{L}$  се определува како аритметичка

<sup>3</sup> Патишта без или со мал број крстосници.

<sup>4</sup> Патишта кај коишто пешачките зони не се осветлени според класите P1+P4 (видете оддел 9.2.2)

<sup>5</sup> Под поимот *најниска експлоатациона вредност* (или *најниска вредност*) на некоја светлотехничка големина во овој текст се подразбира најниската вредност што големината може да ја достигне во текот на експлоатацијата поради намалувањето на светлинскиот флуks од светлинските извори. Аналогно на тоа, под терминот *највисока експлоатациона вредност* се подразбира највисоката вредност што големината може да ја достигне во текот на експлоатацијата (системот е со нови сијалици и чисти светилки).

<sup>6</sup> Видете точка Поле на вреднување во одделот 9.3.3.



средина на сјајностите во точките од коловозот во полето на вреднување. Притоа, треба да се земат сите фактори коишто влијаат врз намалувањето на светлинскиот флуks на светилките.

#### **Општа рамномерност на сјајноста**

Општата рамномерност на сјајноста  $U_0$  претставува однос помеѓу минималната и средната сјајност во полето на вреднување. Рамномерноста на сјајноста укажува за нивото на минималната видливост на патот, но исто така значително влијае и врз видниот комфор.

#### **Блескотење**

Релативниот пораст на прагот  $TI$  е податок којшто го опишува намалувањето на видливоста заради директното физиолошко блескотење на светилките. Тој покажува колкава е потребната процентуална разлика во сјајноста за еден објект да стане видлив во услови кога постои директно блескотење од светилките, во споредба со ситуацијата кога светилките би биле затскриени (т.е кога не би создавале директно блескотење).

Пресметките на релативниот пораст на прагот се изведуваат според препораките наведени во [10] (видете оддел 9.4.5). Како најнеповолен случај се смета кога флуksот што го емитураат светилките е најголем (чисти светилки и нови сијалици), па поради тоа при пресметките на  $TI$  факторот на одржување на светилките се занемарува, односно се смета дека е еднаков на единица.

Во минатото факторот на психолошкото блескотење (*Glare index*) се користел како еден од критериумите за проектирање. Но, според [12], овој фактор не е неопходен за оценка на осветлението на патиштата, пред сè поради тоа што постојните методи за негова пресметка не даваат доволно задоволителни резултати. Може да се смета дека психолошкото блескотење е занемарливо ако релативниот пораст на прагот  $TI$  е во границите пропишани во табелата 9.2.

Зголемената сјајност на околината (на пример, осветлени згради) придонесува психолошкото блескотење да биде помалку изразено.

#### **Надолжна рамномерност на сјајноста**

Надолжната рамномерност на сјајноста  $U_n$  се пресметува како однос помеѓу минималната и максималната вредност на сјајноста во точките долж оските на секоја коловозна лента. Позициите на набљудувачот се во оската на секоја коловозна лента.

Повисоките вредности на  $U_n$  значат дека периодичното повторување на светлите и темните дамки долж коловозот нема да бидат премногу изразено. Всушност, зголемувањето на  $U_n$  влијае врз подобрувањето на видниот комфор на возачите, и обратно.

#### **Релативна осветленост на околината**

При проектирањето на осветлението на сообраќајниците се користи таканаречениот принцип на „негативен контраст“. Системот на улично осветление

создава релативно висока сјајност на коловозот така што возачите ги забележуваат предметите (и учесниците во сообраќајот) како слуги потемни од позадината. За да бидат навреме и ефикасно забележани, објектите или учесниците во сообраќајот лево и десно од коловозот (особено во кривините) треба да имаат соодветно осветлена позадина. Поради тоа, при проектирањето на осветлението на патиштата треба се води сметка и за соодветно осветление на околината.

Коефициентот  $SR$  (*Surround Ratio*) е мерка за релативната осветленост на околината на коловозот во однос на осветленоста на самиот коловоз.  $SR$  се пресметува како однос помеѓу средната осветленост на зоните лево (односно десно) од коловозот и средната осветленост на коловозот. Ширината на зоните лево и десно од коловозот е најмногу 5 m, или помалку ако околните објекти се поставени поблиску до рабовите на коловозот. Ширината на полето од коловозот во кое што се пресметува средната осветленост е 5 m или половината од ширината на коловозот, ако таа е помала од 5 m. Сообраќајниците со централен невозен појас (автопатишта и булевари) се сметаат како еден коловоз ако ширината на централниот појас е помала од 10 m.

Соодветното ниво на осветленост на околината влијае како врз способноста за гледање така и врз видниот комфор и е од корист за возачите, но и за пешаците.

### **Директно визуелно водење**

Директното визуелно водење треба да обезбеди навремено и јасно распознавање на деловите од патот каде што се менуваат условите на возење, како на пример: крстосници, кривини, излези, опасни места, пешачки премини итн. Бидејќи за оптичкото водење не постојат методи со кои истото може нумерички да се квантифицира, во праксата се користат искусствени препораки меѓу кои најзначајни се: а) употреба на извори на светлина со различна температура на боја заради визуелно означување на крстосниците, излезите, пешачките премини и сл., б) распоредување на светилките на надворешната страна од кривините, в) поставување на светилките во средишниот појас за патиштата со одвоени коловози.

### **Осветление во услови на влажен коловоз**

Одбивањето на светлината од влажните коловози е претежно насочено за разлика од сувите коловози коишто одбиваат претежно дифузно. Во влажни услови светлите дамки на коловозот стануваат помали и нивната сјајност се зголемува. Како резултат на тоа рамномерноста на сјајноста се влошува.

Ако во текот на годината коловозот е претежно влажен потребно е да се преземат соодветни мерки за намалување на негативните ефекти. При изборот на светилките треба да се води сметка за распределбата на светлинската јачина и, ако е можно, да се користат порозни материјали за коловозот.

Деталите во врска со постапката за пресметка на општата рамномерност на сјајноста на коловозот  $U_0$  за влажни коловози може да се најдат во [11].

### 9.2.2 Концепт на осветленост

Видните потреби на пешаците значително се разликуваат од потребите на останатите учесници во сообраќајот (возачи), па поради тоа и критериумите за осветление на тротоарите, пешачките патеки и слични објекти се разликуваат од критериумите за осветление на коловозите. Во општ случај сјајноста на осветлуваните објекти (пешачки патеки, згради и сл.) може да се земе како критериум и за овие објекти, но постојат повеќе практични проблеми поради коишто, за објектите од интерес на пешаците и останатите спори учесници во сообраќајот, се применува концептот на осветленост.

Системот на осветление којшто овозможува негативен контраст е неприфатлив за пешаците. За нив е погоден систем на осветление којшто создава таканаречен „позитивен контраст“ (т.е. создава потемна заднина), при што видливоста на предметите се постигнува со рефлексија на светлината од нив. Бидејќи објектите што треба да се осветлат немаат вообичаени коефициенти на рефлексија и/или начинот на рефлексија не може да се дефинира, пресметката на сјајноста е практично неможна. Исто така, за пресметка на сјајноста е неопходно да се дефинира и позицијата на набљудувачот, а во овој случај таа позиција за сите учесници во сообраќајот не може да биде дефинирана еднозначно.

Поради тоа, како основен квантитативен критериум за осветление на овие објекти е усвоена осветленоста. За пешаците од интерес се хоризонталната осветленост на сообраќајницата и вертикалната осветленост на останатите објекти, вклучувајќи ги останатите учесници (пешаци). Поради тоа што при пресметката на вертикалната осветленост се јавуваат потешкотии (бидејќи во секоја точка постојат бесконечно многу вертикални рамнини), направен е напор овој проблем да се надмине со користење на полуцилиндричната осветленост. Меѓутоа, овој концепт сè уште не е доволно прифатен од стручната јавност.

Хоризонталната осветленост се пресметува на целата површина на сообраќајницата, т.е. на пешачките патеки и коловозот. При пресметките треба да се води сметка за факторот на одржување на светилките.

Класите на сообраќајниците од аспект на пешачкиот сообраќај се дефинирани во табелата 9.3. Класата P1 се однесува на улици во престижни зони каде што високото ниво на осветленоста треба да обезбеди атрактивно осветление. Класата P7 се однесува за оние улици каде што визуелното водење е доволен критериум. Всушност, за да се постигне ефикасно визуелно водење, во овој случај, системот за осветление треба да овозможи светлите делови на една светилка да бидат видливи од локацијата на соседната светилка, а по можност и од подалеку.

Осветлението според класите P5, P6 и P7 е наменето во случаите кога ризикот од криминалот може да се занемари. Ако однапред се знае (или може да се претпостави) дека ризикот од криминалот може да биде висок, за дадената сообраќајница треба да се одбере класа што е за еден или два степенa повисока отколку класата што би одговарала кога не би постоел ризик од криминал. Слично треба да се постапи и во случаите кога доминантни учесници во сообраќајот се велосипедистите и другите немоторизирани учесници, во споредба со пешаците.

Сијалиците што емитираат монохроматска светлина (натриумови сијалици со низок притисок) треба да се избегнуваат ако постои голем ризик од криминал и онаму каде доминираат пешачките активности.

Табела 9.3 Класификација на сообраќајниците од аспект на пешачкиот сообраќај [12]

Опис на сообраќајницата	Класа на осветление
Престижни улици	P1
Интензивен пешачки и велосипедски сообраќај во текот на ноќните часови	P2
Среден интензитет на пешачки и велосипедски сообраќај во текот на ноќните часови	P3
Мал интензитет на пешачки и велосипедски сообраќај во текот на ноќните часови, главно помеѓу соседните објекти	P4
Мал интензитет пешачки и велосипедски сообраќај во текот на ноќните часови, главно помеѓу соседните објекти Приоритет има зачувувањето на архитектонскиот карактер на околината	P5
Многу мал интензитет на пешачки и велосипедски сообраќај во текот на ноќните часови, главно помеѓу соседните објекти Приоритет има зачувувањето на архитектонскиот карактер на околината	P6
Сообраќајници кај коишто е доволно да се обезбеди визуелно водење директно од светилките	P7

Хоризонталната и минималната осветленост на целата корисна површина на сообраќајницата, за различните класи на сообраќајниците (P1÷P7), треба да бидат поголеми отколку соодветните вредности наведени во табелата 9.4.

Табела 9.4 Критериуми за пешачки сообраќај [12]

Класа на осветление	Најниски експлоатациони вредности на хоризонталната осветленост на целата корисна површина на сообраќајницата (lx)	
	Средна вредност	Минимална вредност
P1	20,0	7,5
P2	10,0	3,0
P3	7,5	1,5
P4	5,0	1,0
P5	3,0	0,6
P6	1,5	0,2
P7	не е дефинирана	не е дефинирана

### 9.2.3 Осветление на критични (конфликтни) зони

Во [12] критичните зони се дефинирани како делови од сообраќајниците каде што постои: а) вкрстување на повеќе сообраќајници (крстосници во едно или повеќе

нивоа, подвозници и сл.), б) зголемен интензитет на пешачки сообраќај (вклучувајќи ги пешачките премини и паркиралиштата) или в) значителна промена во геометријата на сообраќајницата во негативна смисла (на пример, намалување на бројот на коловозни ленти или стеснување на коловозните ленти). Со оглед на тоа што во овие зони постои поголема веројатност за настанување на сообраќајни несреќи, за нивното осветление треба да се води посебна сметка.

Системот на осветление на критичните зони треба да овозможи недвосмислено визуелно одвојување на критичната зона од останатите зони и добра видливост на: сообраќајните знаци за насочување на сообраќајот, правците на приклучните улици и патишта, останатите учесници во сообраќајот, сообраќајните пречки, како и движењето на возилата во непосредната околина на критичната зона. Поради тоа, ако во критичната зона доаѓаат сообраќајници за коишто не е предвидено електрично осветление истите треба да бидат осветлени (според критериумите од табелата 9.2) во должина којашто одговара на поминат пат за време од 5 s при нормална брзина на движење на возилата.

Како критериум за проектирање на осветлението на критичните зони се препорачува концептот на сјајност. Меѓутоа, во праксата се јавуваат голем број проблеми коишто ја оневозможуваат примената на овој концепт (кратки растојанија на набљудување, голем број можни положби на набљудувачот и сл.). Во таквите случаи се користи концептот на осветленост.

Ако за проектирање на осветлението на критичната зона се користи концептот на сјајност, критичната зона треба да биде осветлена според критериумите коишто важат за сообраќајницата со класа што е за еден степен повисок од сообраќајницата со највисока класа во зоната (според табелата 9.1). На пример, ако кон критичната зона водат повеќе сообраќајници, а највисоката класа е М3, осветлението на критичната зона треба да се предвиди според класата М2. Ако највисоката класа на сообраќајниците е М1, критичната зона треба да се осветли според класата М1.

Во случаите кога не е можно да се примени концептот на сјајност, хоризонталната осветленост на коловозот се зема како критериум за проектирање на осветлението во критичната зона.

Во табелата 9.5 е прикажана класификацијата на критичните зони во зависност од типот критичната зона и класата на осветление на сообраќајниците коишто водат кон критичната зона.

Класификацијата на критичните зони (табела 9.5) се прави според највисоката класа на сообраќајниците кои што водат кон критичната зона. На пример, ознаката  $C(n)=M(n-1)$  укажува дека класата на критичната зона треба да биде С2 ако највисоката класа на сообраќајниците коишто водат кон таа критичната зона е М3.

За разните класи на критични зони се предвидени различни вредности на хоризонталната осветленост. Хоризонталната осветленост на коловозот и општата рамномерност на осветленоста треба да бидат повисоки отколку вредностите за истите наведени во табелата 9.6.

Општата рамномерноста на хоризонталната осветленост наведена во табелата 9.6 се пресметува како однос помеѓу минималната осветленост на коловозот и

средната осветленост на коловозот. Средната хоризонтална осветленоста на пешачките патеки, ако за нив не е предвидено осветление според некоја од класите P1÷P4, треба да биде најмалку 50% од осветленоста на коловозот.

Табела 9.5 Класификација на критичните зони [12]

Опис на критичната зона	Класа на критичната зона
Подвозници	C(n)=M(n)
Важни крстосници, наплатни рампи, гранични премини, зони со смалена ширина на коловозните ленти	C(n)=M(n-1)
Железнички премини: едноставни	C(n)=M(n)
сложени	C(n)=M(n-1)
Кружни текови без сигнализација: сложени или големи	C1
средно сложени	C2
едноставни или мали	C3
Зони за приклучување и одвојување на сообраќајот сложени или големи	C1
средно сложени	C3
едноставни или мали	C5

Табела 9.6 Критериуми за осветление на критичните зони [12]

Класа на критичната зона	Најниска експлоатациона вредност на средната хоризонтална осветленост на површината на коловозот $\bar{E}$ (lx)	Општа рамномерност на осветленоста $\bar{E}/E_{\min}$
C0	50,0	0,40
C1	30,0	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,5	0,40

За критичните зони е практично невозможно да се пресмета факторот  $TI$ . Во таквите случаи физиолошкото блескотење може да се намали со ограничување на светлинската јачина на светилките во правците коишто со вертикалата зафаќаат агли поголеми од  $80^\circ$ . Так на пример, во [12] се препорачува светлинската јачина за агол

од  $80^\circ$  да не биде поголема од  $30 \text{ cd/klm}$ , односно за агол од  $90^\circ$  истата да не биде поголема од  $10 \text{ cd/klm}$ .

Пешачките премини претставуваат критични зони. Покрај критериумите наведени претходно, за осветление на пешачките премини треба да се наведат уште неколку забелешки. Според [1 и 2], ако сообраќајницата е осветлена според критериумите предвидени за класата M1 (средната сјајност на коловозот е најмалку  $2 \text{ cd/m}^2$ ) не е неопходно да се преземаат дополнителни мерки. Ако тоа не е случај, за осветление на пешачкиот премин треба да се предвидат дополнителни светилки. Се препорачува дополнителните светилки да бидат поставени и соодветно насочени така што ќе ги осветлат пешаците по принципот на „позитивен контраст“, т.е. видливоста на пешаците да се постигнува со рефлексивност на светлината од нив и тие да имаат поголема сјајност од позадината. За таа цел светилките треба да бидат поставени пред пешачкиот премин (гледано од страната на движење на возилата) и притоа да се води сметка да не создаваат блескотење на возачите што се движат во спротивна насока.

#### 9.2.4 Естетски аспекти и влијание на системот за осветление врз околината

Основната цел на системот за осветление на улиците е да обезбеди соодветно осветление за непречено и безбедно одвивање на сообраќајот во ноќни услови. Меѓутоа, елементите на системот (столбови и светилки) се објекти коишто се видливи како во текот на ноќта така и преку ден. Нивниот дизајн и местоположба не може да бидат занемарени, а исто така не смее да не се води сметка за нивното вклопување во околината од естетски аспект.

Во таа смисла, при проектирањето на електричното осветление и при изборот на опремата, е потребно да се води сметка за висината на столбовите во однос на висината на околните згради и дрвја и дизајнот на столбовите и светилките.

Во последно време проблемот на „светлинско загадување на околината“ (*sky glow*) станува предмет на поинтензивно истражување на стручната јавност. Светлото небо, покрај што претставува проблем од естетски аспект, им создава проблеми на астрономите при набљудување на ѕвездите. За таа цел се препорачува светлинскиот флукс што го зрачат светилките над хоризонталата да биде ограничен. На тој начин ќе се постигне и поголема енергетско–економска ефикасност на системот.

### 9.3 СИСТЕМИ ЗА УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ

#### 9.3.1 Општо за системите за улично осветление

Еден систем за улично осветление го сочинуваат повеќе компоненти: светилките и светлинските извори (сијалиците), столбовите или слична овесна опрема, објектот (улица или пат) што треба да се осветли и електричните инсталации за напојување со електрична енергија.

### 9.3.2 Светлински извори и светилки за улично осветление

#### Сијалици за улично осветление

Според [8], индексот на репродукција на боја  $R_a$  на сијалиците за надворешно осветление може да биде понизок од 40 (група 4 според DIN 5035). Практично значи дека големината на тој индекс не претставува ограничувачки фактор, односно дека за осветление на улици и патишта може да се користат сите извори на светлина. Меѓутоа, во праксата употребата на определени типови сијалици е занемарлива. Така, на пример, волфрамовите сијалици (ВС) и халогените сијалици (ХС) се одбегнуваат поради многу малото специфично производство.

Застапеноста на флуоресцентните сијалици (ФС) за улично осветление, особено во подрачјата каде што температурите на околината паѓаат под  $0^{\circ}\text{C}$ , е многу мала. Имено, на овие температури светлинскиот флукс на ФС е значително понизок од номиналниот, а ако температурата на околината е околу  $20^{\circ}\text{C}$  под нулата, сијалиците може и да не се запалат. Во последно време употребата на компактните флуоресцентни сијалици (КФС) станува се поголема. Иако овие сијалици според принципот на работа не се разликуваат од ФС во вид на права цевка, употребата на електронските контролни уреди, наместо класични магнетни придушници и стартери, ги надминува претходно наведените недостатоци.

Најчесто користен тип на сијалици за улично осветление се живините сијалици со висок притисок (ЖВСП). Меѓутоа, ЖСВП имаат скромно специфично производство ( $35\div 60\text{ lm/W}$ ). Во последните четириесет години, со појавата и развојот на натриумовите сијалици со висок притисок (НСВП), процентот на застапеност на ЖСВП забрзано опаѓа. Иако НСВП (заедно со придушницата и игнаторот) се значително поскапи од ЖСВП и соодветната придушница, двојно поголемото специфично производство и значително подолгиот животен век ги прави многу поекономични отколку ЖСВП.

Како најпогодни извори на светлина за улично осветление се наметнуваат натриумовите сијалици со низок притисок (НСНП) поради големото специфично производство (до  $200\text{ lm/W}$ ) и можноста да работат на многу ниски температури. Меѓутоа, нивната употреба е ограничена главно поради две причини. Исклучително нискиот индекс на репродукција на бојата ги чини погодни за осветление на автопатишта и тунели, т.е. онаму каде нема пешачки сообраќај. Второ, НСНП имаат поголеми димензии од НСВП и поради тоа конструкцијата на светилките значително се усложнува<sup>7</sup>.

Покрај претходно наведените сијалици, за улично осветление се користат уште метал–халогените сијалици (МХС) и индукционите сијалици (ИС). Метал–халогените сијалици се слични по конструкција на НСВП, но од нив имаат многу подобар индекс на репродукција на бојата. За сметка на тоа, специфичното производство на МХС е помало отколку кај НСВП, поради што употребата на МХС е

<sup>7</sup> Генерално е правилото дека оптичките системи наменети за помалите светлински извори (сијалици) се поефикасни отколку оптичките системи за поголемите светлински извори.



оправдана само во оние случаи во коишто е потребно да се обезбеди висок степен на распознавање на боите.

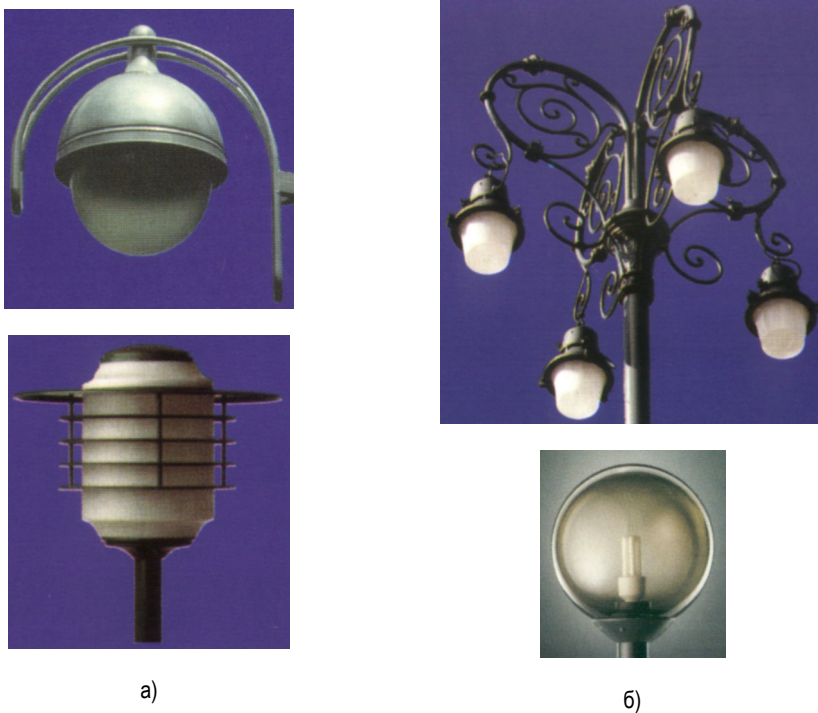
Индукционите сијалици се во комерцијално производство околу десетина години и поради тоа нивната застапеност во уличното осветление е многу мала. Сијалиците од овој вид што денес се присутни на пазарот имаат скромно специфично производство ( $65\div 85 \text{ lm/W}$ ) и релативно висока цена. Меѓутоа, нивниот исклучително долг животен век (повеќе од 60 000 часа) ги прави особено атрактивни во случаите кога трошоците за замена на сијалиците се многу високи.

#### **Светлотехнички карактеристики на светилките**

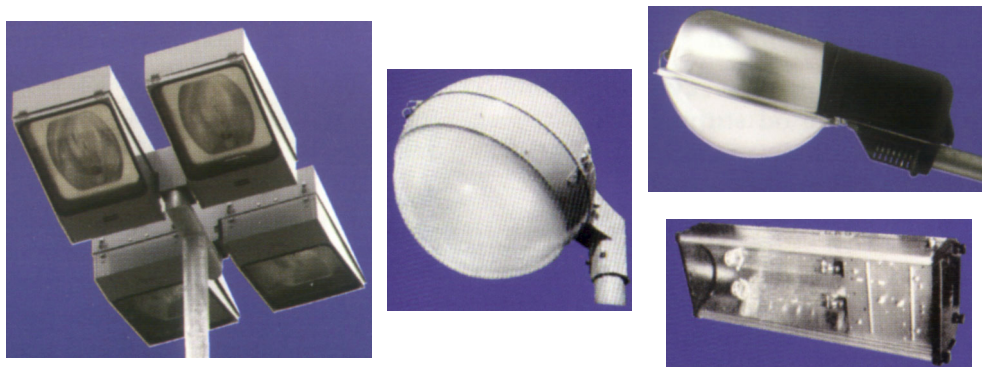
Во зависност од светлотехничките барања за просторот што треба да го осветлат, светилките за улично осветление можат да се поделат во две групи. Во првата група спаѓаат светилките наменети за осветление на простори каде што основен критериум е осветленоста (пешачки улици, тротоари, паркови и слично). Овие светилки најчесто имаат ротационо симетрична распределба на светлинската јачина. Подрачјето на примена не поставува строги барања за блескотење, па поради тоа нивната конструкција и оптичкиот систем се релативно едноставни. Кај овие светилки се употребуваат повеќе типови сијалици: ВС, КФС, ЖСВП, МХС, НСВП и ИС.

Многу често, дизајнот на светилките има пресудна улога и донекаде ги диктира и светлотехничките карактеристики на истите. На сликата 9.1 се прикажани примери на светилки за осветление на пешачки зони или улици со многу ниски светлотехнички барања од аспект на сјајноста на коловозот.

Втората група светилки се користи во зоните каде што основен критериум за квалитетот на осветлението е сјајноста, т.е. за осветление на улици и патишта. Тие значително се разликуваат од светилките за осветление на пешачките улици или шеталишта. Ова пред сè се однесува на ограничувањето на блескотењето и обезбедување на соодветно ниво и рамномерност на сјајноста на коловозот. Поради повисоките светлотехнички барања, овие светилки имаат значително посложени оптички системи. Тие најчесто се изработуваат со фотометриско тело коешто е симетрично во однос на рамнината  $C_{90}\div C_{270}$ , а за да се постигне поголема ефикасност, флуksот што се зрачи во горниот полупростор е минимален. Исто така, поради тоа што светлотехничките барања за коловозите се повисоки отколку светлотехничките барања за тротоарите и околните објекти, поголем дел од флуksот кај овие светилки се зрачи од предната страна на светилката (т.е. кон коловозот). На сликата 9.2 се прикажани некои типови светилки за осветление на улици и патишта со повисоки светлотехнички барања.



Слика 9.1 Примери на светилки за осветление на пешачки улици и слични објекти



Слика 9.2 Примери на светилки за осветление на улици и патишта со повисоки светлотехнички барања

Поради тоа што овие светилки треба да обезбедат релативно високи сјајности и/или осветлености на објектите што ги осветлуваат, кај нив е неопходно да се користат светлински извори со голем флуks. Најчесто употребувани извори се: НСВП, ЖСВП и НСНП.

Како што претходно беше кажано, кај светилките од втората група се поставуваат релативно строги барања во поглед на ограничувањето на блескотењето. Поради тоа, во разните национални стандарди примената на светилките за улично осветление е условена во зависност од обликот на фотометриското тело, односно правецот и насоката на максималната светлинска јачина.

Како репрезенти на фотометриското тело на светилките за осветление на улици и патишта се користат следниве податоци:

- големината на аголот што со вертикалата го зафаќа правецот во којшто светлинската јачина е најголема;
- светлинската јачина во правците што со вертикалата зафаќаат агли од  $80^\circ$  или повеќе.

Во таа смисла светилките за улично осветление може да се поделат во три групи (табела 9.7):

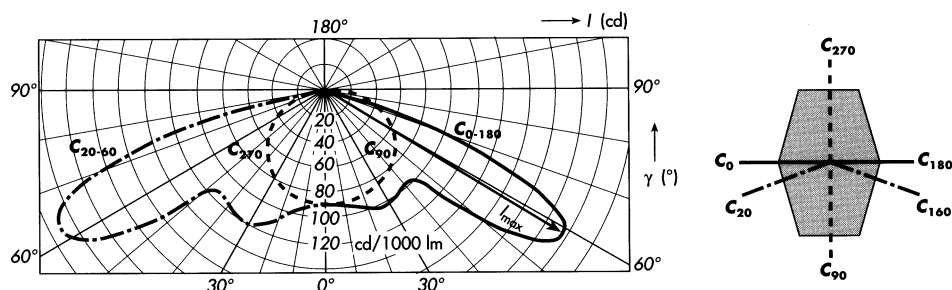
- засенети (*cut-off*),
- полузасенети (*semi cut-off*), и
- незасенети (*non cut-off*).

На сликите 9.3 и 9.4 се прикажани поларните дијаграми за распределба на светлинската јачина за засенета и незасенета светилка, соодветно.

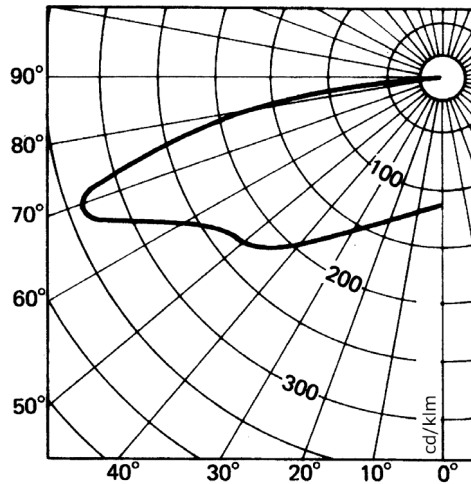
Светилките прикажани на сликата 9.1.а и сликата 9.2 спаѓаат во групата на засенети или во групата на полузасенети светилки. Типични примери на незасенети светилки се прикажани на сликата 9.1.б.

Табела 9.7 Дефиниција на засенетоста на светилките за улично осветление [1,2]

Тип на светилката	Најголем дозволен агол во однос на вертикалата за кој се јавува $I_{max}$ ( $^\circ$ )	Највисоки дозволени вредности на светлинската јачина (cd/klm)	
		$I_{80^\circ}$	$I_{90^\circ}$
Засенета	65	30	10
Полузасенета	70	100	50
Незасенета	–	–	1000 cd



Слика 9.3 Распределба на светлинската јачина на засенета светилка за улично осветление



Слика 9.4 Распределба на светлинската јачина за незасенета светилка

### **Конструктивни карактеристики на светилките**

Конструктивните карактеристики можат да играат значајна улога врз светлотехничките перформанси на светилките воопшто. Ова е особено важно за светилките наменети за улично осветление имајќи ги предвид условите во коишто овие светилки треба да функционираат. Неколку фактори влијаат врз конструкцијата на светилките за улично осветление и воопшто врз светилките за надворешна монтажа. Тоа се: присуството на влага, прашина, агресивни материи, ветер, големи варијации на температурата на околината и сл.

Материјалите од коишто се изработуваат светилките и помошната опрема треба да се отпорни на атмосферски влијанија (пластични материјали, алуминиум или легури на алуминиумот, цинкувани челици или челици што не рѓосуваат и сл.).

Можеби најзначаен фактор за работата на светилките е степенот на заштита. Вообичаено, светилките за надворешна монтажа се произведуваат со степен на заштита еднаков или повисок од IP55<sup>8</sup>. Овој степен на заштита обезбедува заштита од навлегување на прашина во поголеми количини и заштита од млаз од вода. Навлегувањето на прашина и вода во светилките со тек на време ги деградира светлотехничките својства на материјалите во оптичкиот систем. Како резултат на тоа, коефициентот на полезно дејство на светилките се намалува, а со тоа ќе бидат помали и осветленостите и сјајностите на објектите што се осветлуваат.

<sup>8</sup> Степенот на механичка заштита IP (*Ingress Protection*) е дефиниран од Меѓународната електротехничка комисија (*IEC*) и го означува нивото на заштита од навлегување на цврсти тела и вода во електричните уреди. Првата цифра го означува степенот на заштита од навлегување на цврсти предмети, а втората цифра го означува степенот на заштита од навлегување на вода. И за двата случаја поголемата бројка означува повисок степен на заштита. За дополнителни информации видете, на пример, [5].

Поради тоа, во последно време, особено во услови на зголемено загадување на околината, се користат светилки со степен на заштита IP65. Економската оправданост за употребата на светилки со повисок степен на IP заштита се гледа во продолжениот период на чистење на светилките и повисокиот фактор на нечистотија на светилките (*Luminaire maintenance factor*).

Со оглед дека степенот на заштита може значително да влијае врз цената на светилките, истите може да имаат различен степен на заштита за поедините делови. На пример, кај светилките со висок степен на заштита на оптичкиот систем (на пример IP65), електричниот дел од светилката (делот во којшто се сместени приклучоците и придушниците) може да се изведе со понизок степен на заштита (на пример IP43).

Како и сите останати електрични уреди, и светилките генерираат топлина во текот на работата. Конструкцијата на светилката треба да овозможи ефикасно одведување на оваа топлина со цел да не се јават повисоки температури отколку дозволените за поедините елементи (сијалици, придушници и слично).

Степенот на електрична заштита (заштита од индиректен допир) кај светилките за улично осветление, иако не игра улога врз нивните светлотехнички карактеристики, сепак е многу значаен поради тоа што многу луѓе можат да дојдат во контакт или со самите светилки или со столбовите на коишто светилките се монтирани. Светилките за улично осветление се произведуваат со електрична заштита од класа 1 (заземјени метални делови на светилката и помошната опрема) или класа 2 (двојна изолација). Светилките со електрична заштита од класата 0 (само погонска изолација) се забранети за употреба во најголем број земји.

#### **Фактор на одржување на светилките**

Како што е познато, флуksот на светлинските извори во текот на експлоатацијата опаѓа поради „старење“ на самите светлински извори. Исто така, бидејќи замената на прегорените сијалици најчесто се врши заедно со чистењето на светилките, предвид треба да се земе и таканаречениот „фактор на преживување“. Овој фактор покажува колкав процент од сијалиците ќе бидат во погон после определено време.

Светлотехничките карактеристики на светилките деградираат во текот на експлоатацијата поради загадување на околината, па поради тоа и флуksот што ќе ја напушти светилката (а со тоа и светлинската јачина) ќе биде помал.

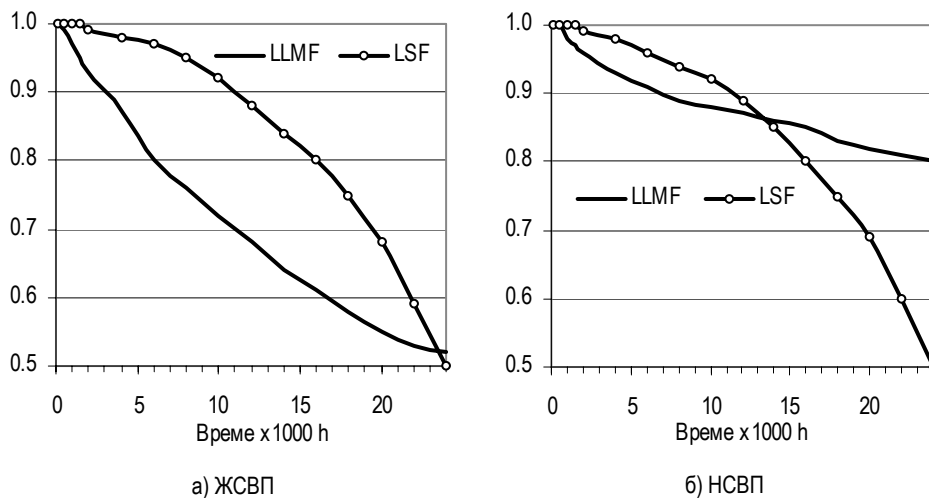
Поради релативно високите трошоци (за работна рака и користење на специјални возила и/или опрема), вообичаена е праксата старите и прегорените сијалици да се заменуваат кога се врши периодичното чистење на светилките. Односот помеѓу светлинскиот флуks на нова светилка во која се монтирани нови сијалици<sup>9</sup> ( $\Phi_0$ ) и светлинскиот флуks што ќе ја напушти светилката на крајот од периодот на чистење ( $\Phi_M$ ) се нарекува „фактор на одржување“ (*MF – maintenance factor*). Факторот на одржување претставува производ од следните три фактори:

<sup>9</sup> По дефиниција, номиналниот светлински флуks на сијалица со празнење низ гасови е оној што таа го има по првите 100 часа работа.

фактор на стареење на светлинските извори ( $LLMF$  – *Lamp Lumen Maintenance Factor*), фактор на преживување на сијалиците<sup>10</sup> ( $LSF$  – *Lamp Survival Factor*) и фактор на нечистотија на светилките ( $LMF$  – *Luminaire Maintenance Factor*). Според тоа, за факторот на одржување може да се напише:

$$MF = \frac{\Phi_M}{\Phi_0} = LLMF \cdot LSF \cdot LMF < 1 . \quad (9.1)$$

Факторите на стареење и преживување на сијалиците зависат од типот на употребените сијалици и периодот на нивната замена. На сликата 9.5 се прикажани зависностите на факторите на стареење и преживување за живините и натриумовите сијалици со висок притисок изготвени врз база на податоци декларирани од поголемите светски производителите на сијалици [5]. Во недостаток на попрецизни информации за конкретните светлински извори, може да се искористат податоците од дијаграмите прикажани на сликата 9.5.



Слика 9.5 Фактори на стареење и преживување за ЖСВП и НСВП [5]

Факторот на нечистотија на светилките зависи од степенот на загадување на околината и од периодот на чистење. Во табелата 9.8 се прикажани приближни вредности на овој фактор за период на чистење од една година, во зависност од конструкцијата на светилката.

Бидејќи во табелите 9.2, 9.4 и 9.6 средните сјајности и осветлености се дефинирани како „најниски експлоатациони вредности“, добиените резултати од пресметките на сјајноста и осветленоста треба да се помножат со факторот на

<sup>10</sup> Ако прегорените сијалици се заменуваат штом ќе прегорат, за факторот на преживување се зема дека е еднаков на единица.

одржување. При пресметката на релативната вредност на прагот  $TI$  се зема дека факторот одржување е еднаков на единица.

Табела 9.8 Фактор на нечистотија на светилките за улично осветление [2]

Степен на загаденост на околината	Фактор на нечистотија при едногодишен циклус на чистење		Опис
	Изведба на светилката		
	Отворена	Затворена	
Мал	0,80	0,90	Релативно чисти градски квартави и околина Приморски и планински градови
Среден	0,75	0,80	Средно загадени градски квартави и околина Градски квартави со лесна индустрија
Голем	0,55	0,75	Многу загадени градски квартави Централни градски подрачја

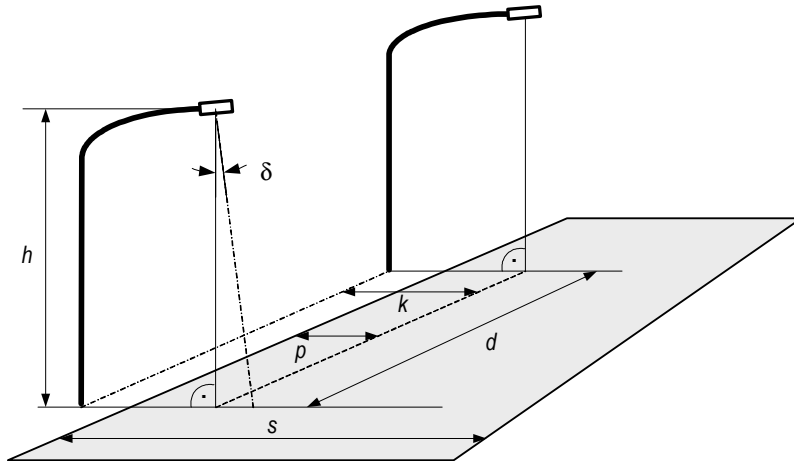
### 9.3.3 Геометрија на системите за улично осветление

#### *Геометрија на светилките и столбовите*

Позицијата на светлинските изворите игра значајна улога врз квантитетот на светлотехничките големини и квалитетот на светлотехничкото решение. Во праксата техничките решенија кои ги наметнуваат квантитетот или квалитетот најчесто се спротивставени. Така, на пример, за да се постигнат повисоки вредности на сјајноста и/или осветленоста на коловозот, светилките би требало да се постават на што е можно помала висина над улицата. Но, тогаш би било многу потешко да се задоволат барањата за рамномерност на осветленоста, односно сјајноста. Освен тоа, малите висини на поставување на светилките се неприфатливи затоа што во тие случаи истите би се нашле во видното поле на корисниците (возачите), а со тоа ќе придонесат за зголемување на нивото на директно блескотење.

За да се постигне подобра рамномерност на светлотехничките големини пожелно е светилките да бидат поставени симетрично во однос на просторот што го осветлуваат (по можност над самиот коловоз) и да се користат повеќе светилки со помал инсталиран флуks. Но, гледано од економски аспект оваа концепција е значително поскапа.

Во системите за улично осветление светилките најчесто се поставуваат на столбови и нивната позиција е значително поблиску до ивицата на коловозот, како на сликата 9.6. На сликата 9.6 се означени геометриските големини коишто ја дефинираат позицијата на светилките. По правило, светилките се поставуваат во низи на еднакво меѓусебно растојание  $d$ , независно дали истите се поставени од едната или од двете страни на коловозот. Исклучок од ова правило се крстосниците, пешачките премини, надвозниците и сличните критични зони. Исто така, вообичаено е и останатите геометриски големини, прикажани на сликата 9.6, да се еднакви за целиот осветлуван објект.



Слика 9.6 Геометрија на поставување на светилките за улично осветление

Висината на поставување на светилките  $h$  зависи од ширината на улицата што се осветлува и од обликот на фотометриското тело на употребената светилка. При едностран распоред на светилките (каков што е прикажан на сликата 9.6) висината на светилките треба да се одбере така што ќе обезбеди соодветно осветление за целата ширина на коловозот  $s$ , додека при двостран спротивен распоред, висината на светилките се избира во зависност од  $s/2$ .

Растојанието помеѓу две соседни светилки зависи од обликот на фотометриското тело на светилката и висината на поставување. Помалите растојанија овозможуваат да се постигне подобра рамномерност на сјајноста и/или осветленоста, но од друга страна, поради поголемиот број столбови, таквите решенија се поскапи.

Според [6], начинот на определувањето на односот на  $d/h$  е илустриран на сликата 9.7. Вообичаените вредности на односот  $d/h$  се движат во границите  $3,0 \div 4,5$ . Во табелата 9.9 се прикажани препорачаните вредности на односот  $d/h$  во зависност од типот на употребената сијалица и засенетоста на светилката.

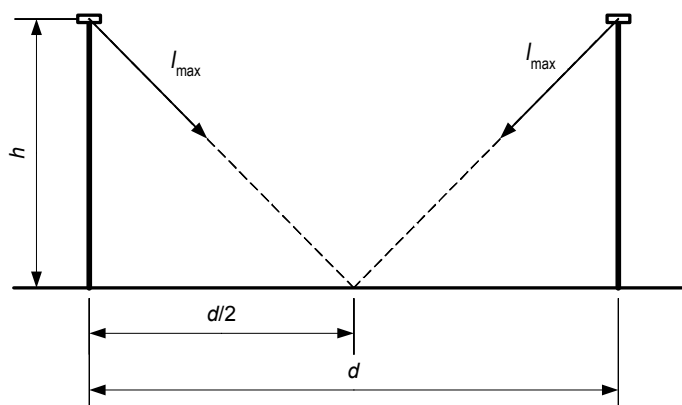
За да се обезбеди подобро осветление на коловозот позицијата на светилките треба да биде што е можно поблиску до надолжната оска на делот од коловозот што го осветлуваат. Но, од економски и конструктивен аспект должините на конзолите  $k$  се ограничени и најчесто не ја надминуваат вредноста  $s/5$ . Во последно време производителите нудат светилки со оптички системи коишто овозможуваат монтажа на светилките на самите столбови.

Многу често, ако околните објекти се многу блиску до рабовите на коловозот, светилките се поставуваат на конзоли прицврстени на сидовите од објектите.

За да се обезбедат поголеми вредности на сјајноста и осветленоста на спротивната страна на коловозот, оптичките оски на светилките може да отстапуваат од вертикалата за агол  $\delta$ . Вообичаените вредности на аголот  $\delta$  се  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  и, во помал број случаи,  $15^\circ$ . Нагибот на оптичката оска на светилката  $\delta$  кај некои типови



светилки може да се постигне со соодветно позиционирање на сијалицата во однос на оптичкиот систем, а притоа самата светилка да биде хоризонтална.



Слика 9.7 Геометрија на поставување на светилките за улично осветление

Табела 9.9 Препорачани вредности на односот  $d/h$  [2]

Тип на сијалица	Засенетост на светилката		
	Засенета	Полузасенета	Незасенета
НСНП, ЖСВП и НСВП со флуоресцентна облога	3,0	3,5	4,0
НСВП без флуоресцентна облога	3,5	4,0	4,5

Покрај претходно опишаниот начин на поставување на светилките на столбови (со и без конзоли), светилките може да се постават и на челни јажиња. Јажињата може да бидат поставени напречно или надолжно на улицата. Напречните јажиња најчесто се закачуваат на околните објекти (или пак на парови столбови лево и десно од коловозот), додека надолжните јажиња се користат во случаите на улици со централен појас (булевари и автопатишта). И во двата случаја се тежнее светилките да бидат поставени долж оската на коловозот или улицата. Важно е да се забележи дека овој начин на поставување на светилките е неприктивен во услови на силни ветрови бидејќи доаѓа до појава на нишање на светилките, а со тоа може да дојде до значително нарушување на големината и рамномерноста на сјајноста и осветленоста на коловозот.

#### **Стандардни распореди на светилки**

Според своите геометриските и сообраќајни карактеристики улиците и патиштата можат да се категоризираат во неколку групи. Соодветно на тоа и нивните начини на осветление може да се типизираат. На сликата 9.8 се прикажани некои од најчесто употребуваните распореди на светилки во системите за улично осветление.

Во најголем број случаи светилките за осветление на коловозот овозможуваат соодветно осветление и на останатите делови од сообраќајниците (велосипедски и пешачки патеки). Ако квалитетот на осветлението на пешачките патеки не може да се постигне со светилките предвидени за осветление на коловозот, можно е да се предвидат и дополнителни светилки.

#### *Едностран распоред*

Примери на едностраниот распоред се прикажани на сликите 9.8.а и 9.8.г. Тоа е наједноставен и најекономичен распоред. Најчесто се употребува за улици до три коловозни ленти. Кај овој распоред висината на поставување на светилките треба да биде поголема или еднаква на ширината на коловозот ( $h \geq s$ ). За овој тип распоред се погодни светилки кај кои што правецот на максималната светлинска јачина е насочен кон најоддалечената коловозна лента. Рамномерноста на сјајноста може да се подобри ако се употребаат столбови со поголема должина на конзолите или ако се зголеми нагибот на светилките.

Ако улицата е еднонасочна пожелно е светилките да бидат поставени од десната страна, гледано во насоката на движење на сообраќајот. Ако пак околните објекти (згради) се поставени само од едната страна на улицата, светилките се поставуваат на спротивната страна.

#### *Двостран распоред*

Двостраниот распоред на светилки се употребува за улици со поголема ширина кај коишто едностраниот распоред не дава задоволителни резултати. Постојат два типа на двостран распоред: симетричен (прикажан на сликите 9.8.б и 9.8.д) и наизменичен (прикажан на сликите 9.8.в и 9.8.ф). Симетричниот двостран распоред овозможува подобра рамномерност на сјајноста на коловозот. Системите на улично осветление реализирани со двостран распоред на светилките се значително поскапи отколку системите со едностран распоред, поради поголемиот број на столбови и светилки и посложената електрична мрежа.

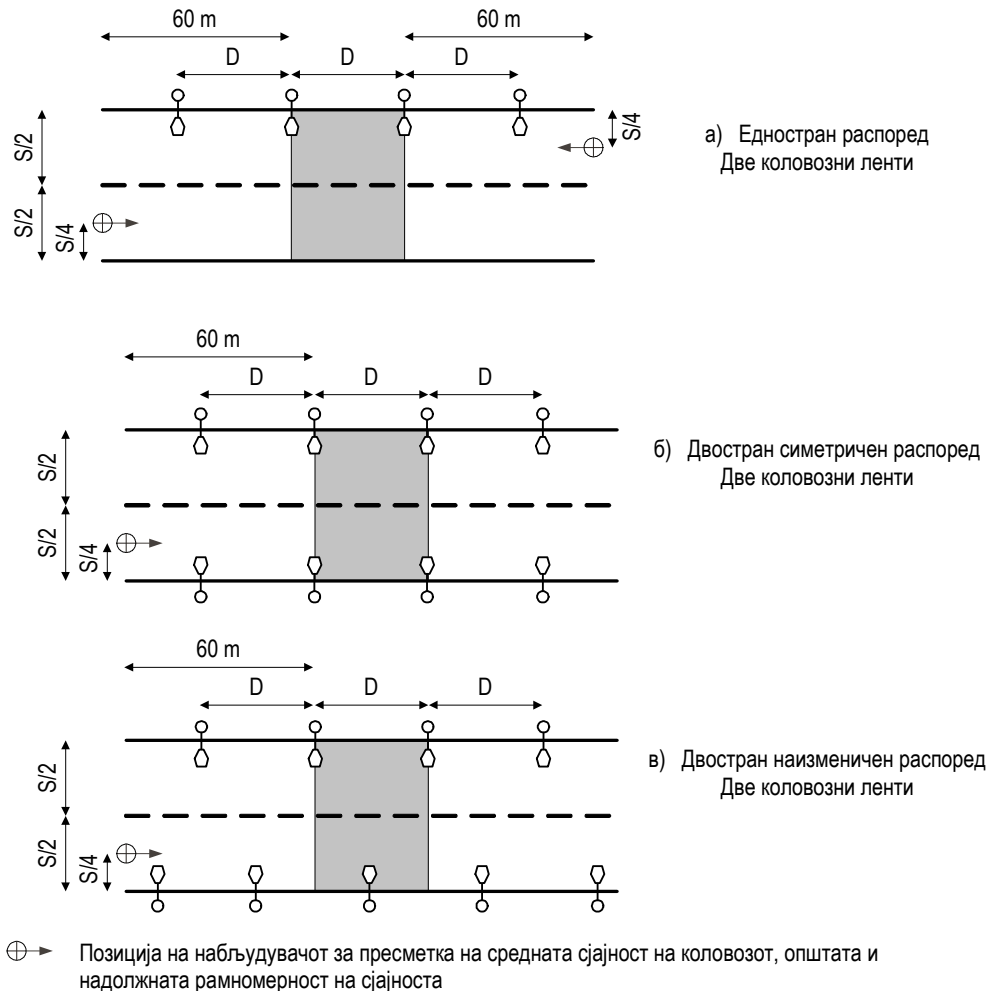
#### *Централен двореден распоред*

Пример на централен двореден распоред на светилките е прикажан на сликата 9.8.е. Тој е погоден за осветление на сообраќајници со централен (невозен) појас (булевари и автопатишта). Кај овој распоред столбовите се поставени во централниот појас. На секој столб има по две светилки поставени во опозиција. Овој распоред е погоден за сообраќајници со најмногу три коловозни ленти во секоја патека. За осветление на пошироките сообраќајници треба да се користи комбинација од централен двостран распоред и едностран распоред за секој коловоз. Всушност, оваа комбинација е еквивалентна на осветление на секој коловоз со двостран распоред на светилките, но во овој случај наместо четири реда столбови се потребни само три.

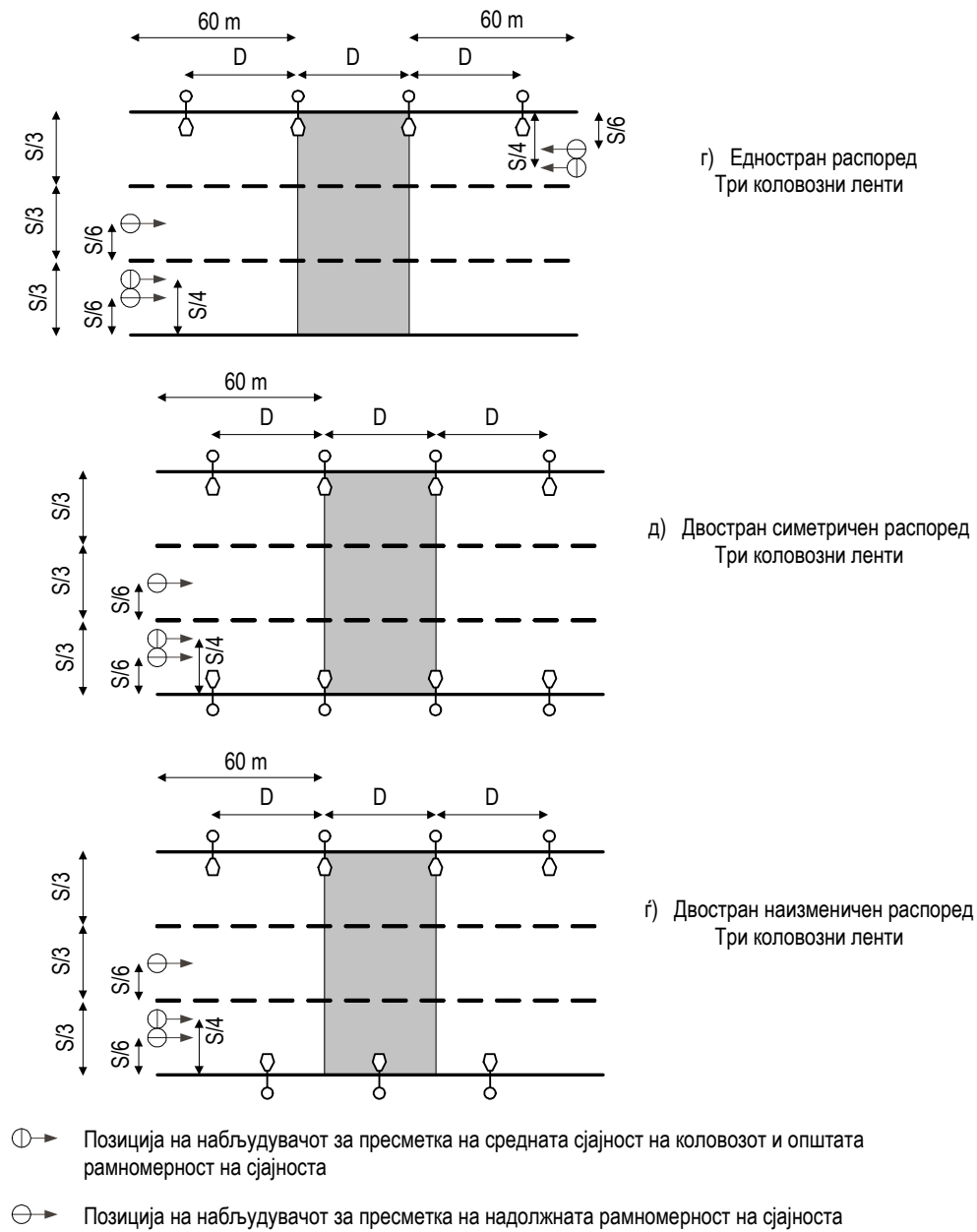
Недостаток на централниот двореден распоред е тоа што при интервенција на столбовите или светилките, сообраќајот во коловозната лента до централниот појас треба целосно или делумно да се запре. Предностите на овој распоред се: пониските

инвестициони вложувања (слично како и кај едностраниот распоред) и доброто визуелно водење.

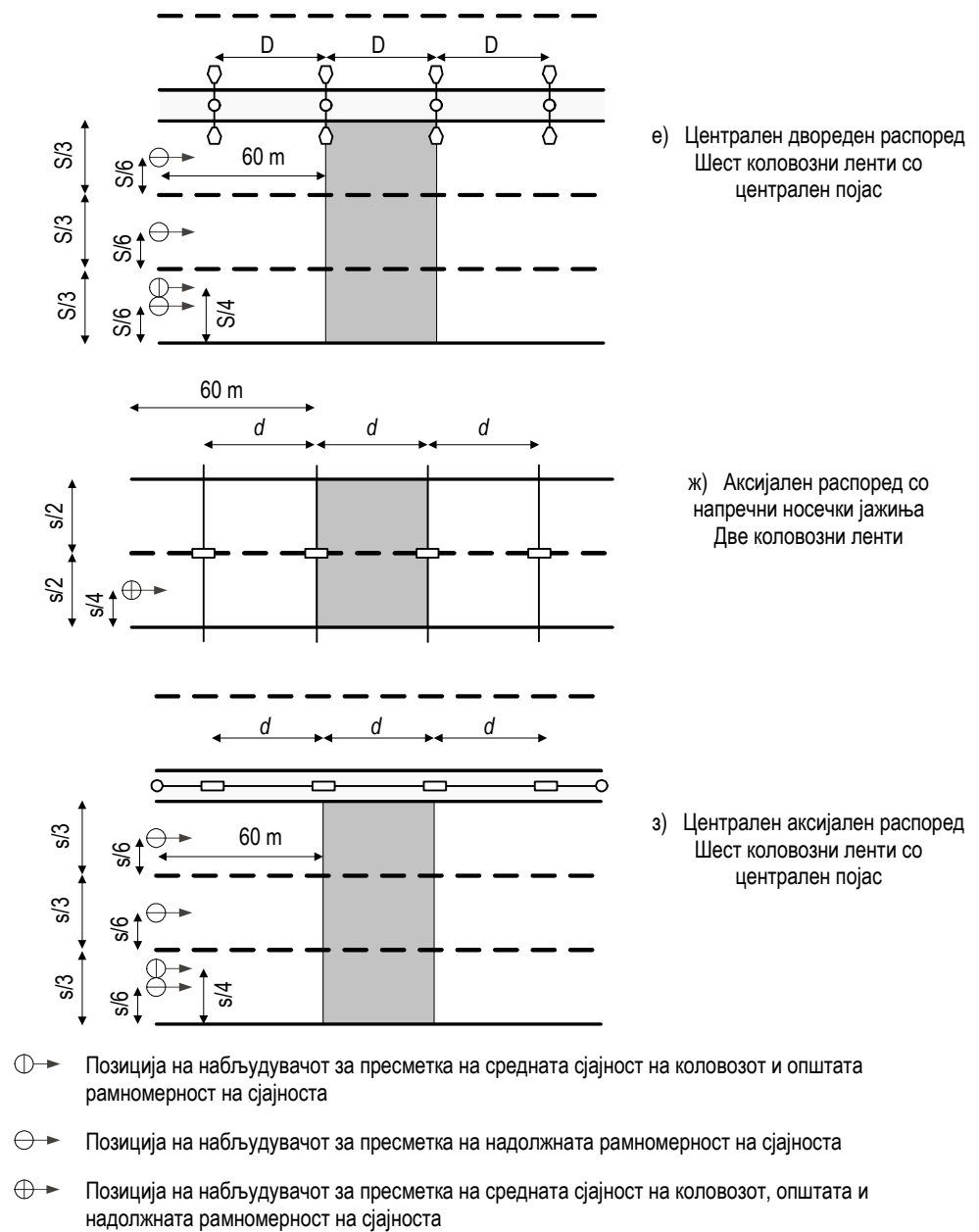
Како алтернатива на централниот двореден распоред се јавува двостраниот распоред. Всушност, станува збор за два система со едностран распоред наменети за осветление на одделните коловози. Во овој случај столбовите на коишто се поставени светилките за осветление на коловозот може да се искористат и за поставување на дополнителни светилки за осветление на пешачките патеки, доколку за тоа се јави потреба.



Слика 9.8 Некои стандардни распореди на светилките за улично осветление



Слика 9.8 Некои стандардни распореди на светилките за улично осветление – продолжение



Слика 9.8 Некои стандардни распореди на светилките за улично осветление – продолжение

#### *Аксијален распоред со напречно поставени носечки јажиња*

Овој распоред на светилките е погоден во оние случаи кога објектите лево и десно од сообраќајницата овозможуваат поставување на напречни челични јажиња за носење на светилките. Светилките се поставени во низа долж оската на коловозот (како на сликата 9.8.ж), а ако ширината на коловозот е поголема во низи долж оските на поедините коловозни ленти. Со овој распоред на светилките се постигнува одлична рамномерност на сјајноста и осветленоста за што придонесува и дополнителната рефлексија од околните објекти.

Кај овој распоред се користат светилки чиешто фотометриско тело има две меѓусебно нормални рамнини на симетрија.

Недостатоците на овој распоред се можноста за нишање на светилките во услови на посилен ветер и проблемите со попречување на сообраќајот во случај на интервенции заради одржување на системот за осветление.

#### *Централен аксијален распоред со надолжни носечки јажиња*

Кај централниот аксијален распоред светилките се монтирани на носечки челични јажиња поставени долж оската на централниот појас (како на сликата 9.8.з). Овој распоред најчесто се користи за осветление на автопатишта со релативно широки коловозни патеки.

За аксијалните распореди (со напречни или надолжни носечки јажиња) се употребуваат светилки со поинаква распределба на светлинската јачина отколку за останатите распореди. Најчесто фотометриското тело на овие светилки е симетрично и во однос на рамнината  $C_{90} \div C_{270}$  и во однос на рамнината  $C_0 \div C_{180}$ , а најголемата светлинска јачина се јавува во полурамнините  $C_0$  и  $C_{180}$ . Како најпогодни сијалици за оваа намена се НСНП.

Светилките се поставуваат така што полурамнините  $C_0$  и  $C_{180}$  се нормални на оската на сообраќајницата. Бидејќи светлинската јачина во полурамнините  $C_{90}$  и  $C_{270}$  (долж оската на сообраќајницата) е помала отколку во полурамнините  $C_0$  и  $C_{180}$ , меѓусебното растојание помеѓу светилките е значително помало (околу една третина) отколку кај другите распореди за иста висина на поставување. Иако во овој случај бројот на светилки е поголем, поради помалиот број столбови, овој распоред е значително поекономичен од, на пример, централниот двореден распоред кој што овозможува слични светлотехнички перформанси.

#### *Нестандардни распореди*

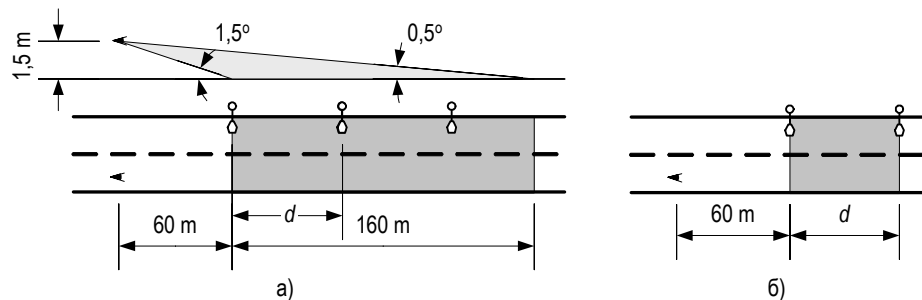
Стандардните распореди на светилките се користат за осветление на правите сегменти од наведените сообраќајници и кривините со релативно голем радиус ( $>300$  m). Во принцип, на идентичен начин може да се осветлуваат и поострите кривини. При тоа, по правило, меѓусебното растојанието помеѓу светилките е помало и изнесува околу  $1/2$  до  $3/4$  од соодветното растојание на правите сегменти. Ако се користи едностран распоред, светилките се поставуваат од надворешната страна на кривините со што се постигнува подобро визуелно водење. Од идентични причини,

ако за правите секции се користи двостран наизменичен распоред, се препорачува во кривините светилките да се постават во двостран симетричен распоред.

Распоредот на светилките за осветление на останатите сегменти од сообраќајниците (крстосници во исто или различно ниво, пешачки премини, надвозници, мостови и сл.) не е можно да се типизира како за правите делови. За секој одделен случај треба да се најде решение кое што ќе ги задоволи светлотехничките барања за критичните зони. Бидејќи критериумите за критичните зони се повисоки отколку за останатите сегменти од сообраќајниците, можно е да се случи потребниот број на светилки (а со тоа и бројот на столбови) да биде значително голем. Во таквите случаи е погодно да се предвидат помал број столбови, но со поголема висина.

### Поле на вреднување

Во случајот на уличното осветление од интерес на возачите е делот од коловозот што се наоѓа пред нив (во насока на движењето) на растојание од 60 m до 160 m. Овој дел од коловозот се нарекува *поле на разгледување* [1]. Претпоставувајќи дека позицијата на очите на возачот е на висина 1,5 m над коловозот, овој сегмент возачот го набљудува под агли од  $0,5^\circ$  до  $1,5^\circ$  во однос на хоризонталата (слика 9.9.а). Кај стандардните распореди на светилките сјајноста и осветленоста во полето на разгледување се менуваат периодично, од светилка до светилка. Бидејќи растојанието помеѓу две соседни светилки е значително помало од должината на полето на разгледување, за оценка на квалитетот на осветлението е доволно да се разгледува само делот од полето на разгледување помеѓу две соседни светилки. Овој дел се нарекува *поле на вреднување* [9]. Набљудувачот е оддалечен од полето на вреднување исто така 60 m (слика 9.9.б).



Слика 9.9 Дефиниција на полето на вреднување за пресметка на сјајноста на коловозот

Сјајноста на коловозот, како и соодветните коефициенти на рамномерност, се пресметуваат во точките од полето на вреднување според методологијата изложена во потпоглавјето 9.4.

Според [9], бројот на точки во коишто се пресметува сјајноста зависи од должината на полето на вреднување. Ако е  $d \leq 50$  m, се препорачува бројот на точки во правецот на гледање да биде најмалку 10, додека ако е  $d > 50$  m се препорачува растојанието помеѓу две соседни точки во истиот правец да не биде поголемо од 5 m.

Во напречен правец во секоја коловозна лента бројот на точки да биде најмалку 5, при што една од нив мора да лежи на оската на коловозната лента.

Кај улиците со две или повеќе коловозни ленти, средната сјајност на коловозот  $\bar{L}$  и општата рамномерност на сјајноста  $U_0$  во полето на вреднување се пресметуваат за положбата во која набљудувачот е поставен на 60 m пред полето на вреднување и е на растојание  $s/4$  од десниот раб на коловозот, гледано во насока на движење на сообраќајот.

Надолжната рамномерност на сјајноста се пресметува за секоја коловозна лента одделно. Во овој случај позицијата на набљудувачот е 60 m пред полето на вреднување и во оската на секоја коловозна лента. Сјајноста на коловозот се пресметува во точките коишто лежат на оската на коловозната лента и врз основа на тие пресметки се определува  $U_n$ .

На сликата 9.8 се прикажани полињата на вреднување и позициите на набљудувачот за пресметка на сјајноста и рамномерноста на сјајноста за различните стандардни распореди на светилките.

За несиметричните распореди на светилките пресметките на средната сјајност, општата рамномерност и надолжната рамномерност на сјајноста се изведуваат за двете насоки на движење на сообраќајот. При тоа, најмалите пресметани вредности за  $\bar{L}$ ,  $U_0$  и  $U_n$  треба да бидат поголеми од соодветните вредности наведени во табелата 9.2 за дефинираната класа на сообраќајницата.

Во зависност од концептот што се користи при проектирањето на осветлението, хоризонталната осветленост се пресметува на различни површини.

За определување на релативната осветленост на околината  $SR$ , хоризонталната осветленост се пресметува на површината на сообраќајницата во правоаголниците дефинирани на сликата 9.10.a, каде што  $e: s_1 = \min\{s/2; 5 \text{ m}\}$ ,  $s_2 = \min\{s_i; 5 \text{ m}\}$ , а со  $s_i$  е означена ширината на тротоарот. На сликата 9.10.a со  $E'$ ,  $E''$ ,  $E_{k1}$  и  $E_{k2}$  се означени средните хоризонтални осветлености во точките од соодветните правоаголници на тротоарите и коловозите. Според тие ознаки, релативната осветленост на околината  $SR$  се пресметува според следниот израз:

$$SR = \min \left\{ \frac{E'}{E_{k1}}, \frac{E''}{E_{k2}} \right\}.$$

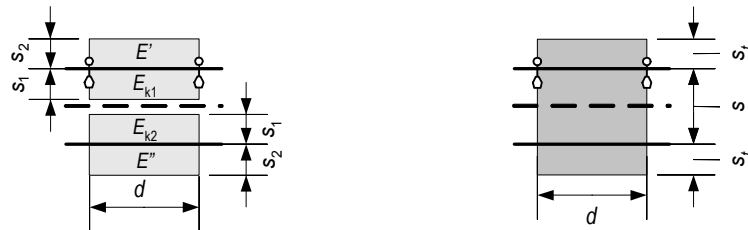
Ако како критериум за проектирање се користи концептот на осветленост, осветленоста се пресметува по целата корисна површина на сообраќајницата (слика 9.10.б). За сообраќајниците прикажани на сликите 9.10.a и 9.10.б е претпоставено дека ширината на тротоарите од двете страни на коловозот е еднаква.

Кај стандардните распореди на светилките (освен кај двостраниот наизменичен распоред) светилките се поставени симетрично во однос на полето на вреднување, поради што должината на полето на вреднување за пресметка на осветленоста може да изнесува  $d/2$ .

Според [9] бројот на точки во коишто треба да се пресметува осветленоста е значително помал отколку бројот на точки во коишто се пресметува сјајноста,



односно доволно е да се пресмета осветленоста во пет точки долж оската на секоја коловозна лента<sup>11</sup>.



а) концепт на сјајност (за пресметка на  $SR$ )

б) концепт на осветленост

Слика 9.10 Дефиниција на полето на вреднување за пресметка на осветленоста во зависност од применетиот концепт на проектирање

Во општ случај при пресметката на светлотехничките големини треба да се смета дека сите светилки од системот за улично осветление придонесуваат за осветление на секоја точка од полето на вреднување. Меѓутоа, бидејќи и сјајноста и осветленоста зависат обратно пропорционално од квадратот на растојанието помеѓу изворот и точката, бројот на светилки коишто придонесуваат за сјајноста или осветленоста во поедините точки од полето на вреднување може да се ограничи.

При пресметките на сјајноста треба да се земат светилките коишто се наоѓаат на растојание  $5h$  позади и  $12h$  пред точката во која се пресметува сјајноста, гледано во насока на набљудување. Лево е десно од точките се земаат предвид сите светилки коишто се на растојание  $5h$  од точката на набљудување [9].

Од практични причини е згодно при пресметките и на осветленоста и на сјајноста да се земат сите светилки коишто се наоѓаат на растојанија не поголеми од  $12h$  пред и позади, односно  $5h$  лево и десно од полето на вреднување прикажано на сликата 9.9.

При пресметката на релативниот пораст на прагот светилките коишто создаваат физиолошко блескотење се определуваат на нешто поинаков начин (видете оддел 9.4.5).

<sup>11</sup> Треба да се напомене дека бројот на точки во коишто треба да се пресметуваат сјајноста и осветленоста биле дефинирани во време кога компјутерите имале неколкупати помала брзина отколку денешните персонални компјутери. Имајќи го предвид овој факт, денес не претставува проблем светлотехничките големи да се пресметуваат во точки коишто се поставени во мрежа чиито јазли се на меѓусебно растојание од, на пример, 0,5 m. На тој начин ќе се обезбеди поголема прецизност, пред сè, при пресметката на коефициентите на рамномерност.

## 9.4 ФОТОМЕТРИСКИ ПРЕСМЕТКИ

### 9.4.1 Општо за фотометриските пресметки

Пресметката на светлотехничките големини коишто служат за оценка на едно светлотехничко решение е релативно сложен процес којшто опфаќа значителен број математички операции. Поради тоа, особено во времето кога не постоеле брзи компјутери, методите за пресметка се упростувале и најчесто потребните влезни податоци се користеле во графичка форма, а биле во употреба и графички методи. Со развојот на компјутерите, нумеричките методи за пресметка стануваат сè повеќе употребувани. Главната одлика на овие методи е тоа што овозможуваат поголема флексибилност во работата и значително поголема прецизност која што е во рамките на прецизноста на влезните податоци. Во натамошниот текст ќе бидат накусо изложени само нумеричките методи, погодни за пресметка со помош на компјутер.

### 9.4.2 Влезни податоци

За изведување на фотометриските пресметки, покрај информациите за геометријата на системот за осветление, се потребни и податоците за распределбата на светлинската јачина на употребените светилки и податоците за типот и материјалот од којшто е изработен колотовозот.

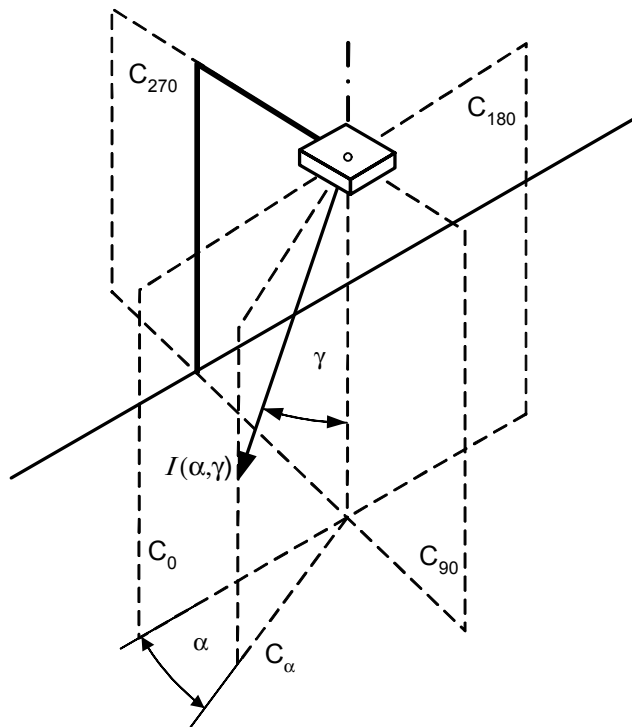
Распределбата на светлинската јачина на светилките (фотометриското тело) најчесто се опишува со системот на  $C$ -полурамнини (слика 9.11). Информациите можат да бидат расположливи во графички или во табеларен облик. Со оглед на тоа што графичкиот начин на презентирање на податоците ограничува во поглед на бројот на податоците и нивната точност, за пресметките коишто се изведуваат со помош на компјутер се користат таканаречените  $I$ -табели. Резолуцијата во којашто се изготвени овие табели е различна од производител до производител. Според [9] препорачаната резолуција на  $C$ -полурамнините (агол  $\alpha$  сликата 9.11) е на секои  $5^\circ$  во интервалот  $C_0 \div C_{355}$ , односно во интервалот  $C_{270} \div C_{90}$  ако употребените светилки имаат фотометриско тело коешто е симетрично во однос на рамнината во којашто лежат полурамнините  $C_{270}$  и  $C_{90}$ .

Препорачаната резолуција на презентирање на податоците во секоја полурамнина (агол  $\gamma$  од сликата 9.11) не е константна. За  $0 \leq \gamma \leq 30$  резолуцијата е  $10^\circ$ , за  $30 < \gamma \leq 45$  резолуцијата е  $5^\circ$ , за  $45 < \gamma \leq 105$  резолуцијата е  $2,5^\circ$  и за  $105 < \gamma \leq 180$  резолуцијата е  $15^\circ$ .

Вредностите на светлинската јачина наведени во  $I$ -табелите најчесто се нормирани за инсталиран флуks во светилката од 1 000 lm. Според тоа, за да се добијат стварните вредности на светлинската јачина, вредностите од  $I$ -табелите треба да се помножат со вкупниот номинален флуks на сијалиците во светилката и да се поделат со флуksот со којшто е нормирана  $I$ -табелата.

Во општ случај, кај светилките коишто немаат ротационо симетрична распределба на светлинската јачина, светлинската јачина во полурамнината  $C_\alpha$

(определена со аголот  $\alpha$  на сликата 9.11) и во правец којшто со оптичката оска на светилката зафаќа агол  $\gamma$  (слика 9.11) зависи од вредностите на овие агли. Поради тоа, за светлинската јачина се користи ознаката во вид  $I(\alpha, \gamma)$ .



Слика 9.11 Дефиниција на C полурамнините кај светилките за улично осветление

Вредностите на светлинските јачини  $I$  за аглие што не постојат во I-табелата се пресметуваат по пат на интерполација, на пример, со помош на формулата на Лагранж [7]. Според таа формула, вредноста на функцијата  $f(x)$  за било која вредност на независната променлива  $x$  во интервалот  $[x_1, x_n]$  се пресметува според следниот израз:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n f(x_i) \cdot L_i(x) = \sum_{i=1}^n f(x_i) \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j} . \quad (9.2)$$

Во (9.2) со  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) се означени познатите вредности на независната променлива  $x$  и за нив се познати вредностите на функцијата  $f(x_i)$ . Всушност, функ-

цијата  $f(x)$  во (9.2) претставува полином од  $n-1$  степен, при што полиномите  $L_i(x)$  се нарекуваат Лагранжови коефициенти.

Кога во I-табелите за соседните вредности на аглиите  $\alpha$  и  $\gamma$ , разликите помеѓу соодветните светлински јачини се релативно мали, тогаш може да се користи линеарна интерполација, односно во изразот (9.2) се зема дека е  $n=2$ .

За илустрација на овој случај ќе земеме дека за вредностите на аглиите  $\alpha_1, \alpha_2, \gamma_1$  и  $\gamma_2$  се познати вредностите на светлинската јачина  $I(\alpha_1, \gamma_1), I(\alpha_1, \gamma_2), I(\alpha_2, \gamma_1)$  и  $I(\alpha_2, \gamma_2)$ . Треба да се определи светлинската јачина  $I(\alpha, \gamma)$ , при што вредностите на аглиите  $\alpha$  и  $\gamma$  се во интервалите  $[\alpha_1, \alpha_2]$  и  $[\gamma_1, \gamma_2]$ , соодветно. Применувајќи ја формулата на Лагранж (9.2), постапката на интерполацијата се изведува во два чекора. Ако најнапред се интерполира по аголот  $\gamma$ , во првиот чекор ќе се пресмета:

$$I(\alpha_1, \gamma) = \frac{\gamma - \gamma_2}{\gamma_1 - \gamma_2} \cdot I(\alpha_1, \gamma_1) + \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma_2 - \gamma_1} \cdot I(\alpha_1, \gamma_2) \quad (9.3)$$

и

$$I(\alpha_2, \gamma) = \frac{\gamma - \gamma_2}{\gamma_1 - \gamma_2} \cdot I(\alpha_2, \gamma_1) + \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma_2 - \gamma_1} \cdot I(\alpha_2, \gamma_2) . \quad (9.4)$$

Потоа, користејќи ги пресметаните вредности на светлинската јачина  $I(\alpha_1, \gamma)$  и  $I(\alpha_2, \gamma)$ , во вториот чекор се пресметува вредноста на бараната светлинска јачина:

$$I(\alpha, \gamma) = \frac{\alpha - \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \cdot I(\alpha_1, \gamma) + \frac{\alpha - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot I(\alpha_2, \gamma) . \quad (9.5)$$

Треба да се нагласи дека постапката на интерполација може да се изведе и со изменет редослед на пресметките, т.е. во првиот чекор да се интерполира по променливата  $\alpha$ , а во вториот чекор по променливата  $\gamma$ . Лесно може да се покаже дека и во тој случај ќе се добие ист резултат.

Во случајот кога во I-табелите за соседните вредности на аглиите  $\alpha$  и  $\gamma$  разликите помеѓу соодветните светлински јачини не се релативно мали, се препорачува т.н. параболична интерполација, односно Лагранжова интерполација при што во изразот (9.2) се зема дека е  $n=3$ .

За илустрација на таков случај ќе претпоставиме дека за вредностите на аглиите  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \gamma_1, \gamma_2$  и  $\gamma_3$  се познати вредностите на светлинските јачини  $I(\alpha_1, \gamma_1), I(\alpha_1, \gamma_2), I(\alpha_1, \gamma_3), I(\alpha_2, \gamma_1), I(\alpha_2, \gamma_2), I(\alpha_2, \gamma_3), I(\alpha_3, \gamma_1), I(\alpha_3, \gamma_2)$  и  $I(\alpha_3, \gamma_3)$ , при што се исполнети следните услови:  $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$  и  $\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$ . Треба да се определи  $I(\alpha, \gamma)$ , при што аглиите  $\alpha$  и  $\gamma$  се во интервалите  $[\alpha_1, \alpha_3]$  и  $[\gamma_1, \gamma_3]$ , соодветно. И во овој случај процедурата се изведува во два чекора. Ако во првиот чекор интерполацијата се изведува по  $\gamma$ , ќе се пресмета:

$$I(\alpha_1, \gamma) = \frac{(\gamma - \gamma_2) \cdot (\gamma - \gamma_3)}{(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot (\gamma_1 - \gamma_3)} \cdot I(\alpha_1, \gamma_1) + \frac{(\gamma - \gamma_1) \cdot (\gamma - \gamma_3)}{(\gamma_2 - \gamma_1) \cdot (\gamma_2 - \gamma_3)} \cdot I(\alpha_1, \gamma_2) + \frac{(\gamma - \gamma_1) \cdot (\gamma - \gamma_2)}{(\gamma_3 - \gamma_1) \cdot (\gamma_3 - \gamma_2)} \cdot I(\alpha_1, \gamma_3) \quad (9.6)$$

$$I(\alpha_2, \gamma) = \frac{(\gamma - \gamma_2) \cdot (\gamma - \gamma_3)}{(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot (\gamma_1 - \gamma_3)} \cdot I(\alpha_2, \gamma_1) + \frac{(\gamma - \gamma_1) \cdot (\gamma - \gamma_3)}{(\gamma_2 - \gamma_1) \cdot (\gamma_2 - \gamma_3)} \cdot I(\alpha_2, \gamma_2) + \frac{(\gamma - \gamma_1) \cdot (\gamma - \gamma_2)}{(\gamma_3 - \gamma_1) \cdot (\gamma_3 - \gamma_2)} \cdot I(\alpha_2, \gamma_3) \quad (9.7)$$

$$I(\alpha_3, \gamma) = \frac{(\gamma - \gamma_2) \cdot (\gamma - \gamma_3)}{(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot (\gamma_1 - \gamma_3)} \cdot I(\alpha_3, \gamma_1) + \frac{(\gamma - \gamma_1) \cdot (\gamma - \gamma_3)}{(\gamma_2 - \gamma_1) \cdot (\gamma_2 - \gamma_3)} \cdot I(\alpha_3, \gamma_2) + \frac{(\gamma - \gamma_1) \cdot (\gamma - \gamma_2)}{(\gamma_3 - \gamma_1) \cdot (\gamma_3 - \gamma_2)} \cdot I(\alpha_3, \gamma_3) \quad (9.8)$$

Потоа во вториот чекор (интерполација по променливата  $\alpha$ ) се пресметува:

$$I(\alpha, \gamma) = \frac{(\alpha - \alpha_2) \cdot (\alpha - \alpha_3)}{(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot (\alpha_1 - \alpha_3)} \cdot I(\alpha_1, \gamma) + \frac{(\alpha - \alpha_1) \cdot (\alpha - \alpha_3)}{(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot (\alpha_2 - \alpha_3)} \cdot I(\alpha_2, \gamma) + \frac{(\alpha - \alpha_1) \cdot (\alpha - \alpha_2)}{(\alpha_3 - \alpha_1) \cdot (\alpha_3 - \alpha_2)} \cdot I(\alpha_3, \gamma) \quad (9.9)$$

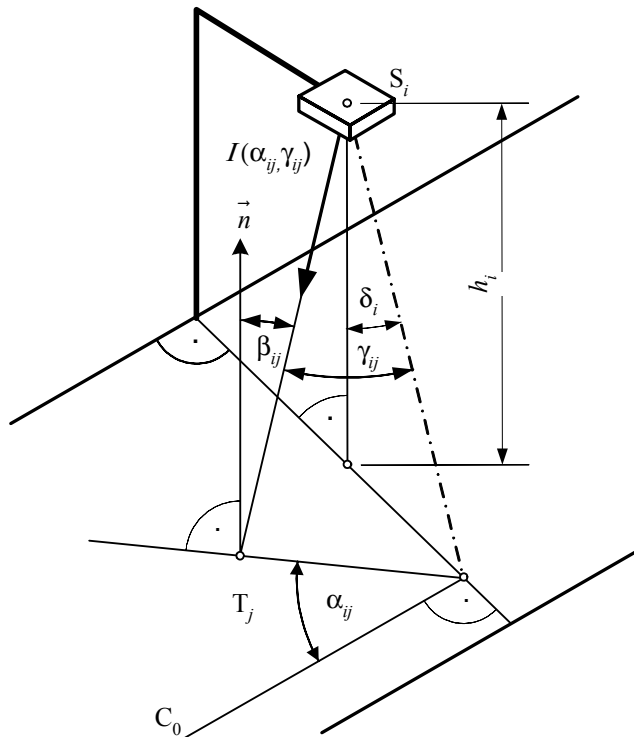
Да нагласиме дека, и во овој случај, во првиот чекор интерполацијата можеше да се изведе по променливата  $\alpha$ , а во вториот по променливата  $\gamma$ , при што крајниот резултат би бил неизменет.

### 9.4.3 Пресметка на осветленост

Осветленостата се пресметува во точки коишто лежат во рамнината на коловозот или на пешачките патеки (тротоари). Хоризонталната осветленост во било која точка  $T_j$  (слика 9.12) од сите светилки  $n$  што ги осветлуваат наведените површини се пресметува според изразот:

$$E_j = \sum_{i=1}^n \frac{I(\alpha_{ij}, \gamma_{ij}) \cdot \cos \beta_{ij}}{S_i T_j^2} = \sum_{i=1}^n \frac{I(\alpha_{ij}, \gamma_{ij}) \cdot \cos^3 \beta_{ij}}{h_i^2} \quad (9.10)$$

На сликата 9.12 е прикажан општиот случај кога оптичката оска на светилката не е вертикална, туку е отклонета од вертикалата за агол  $\delta_i$ . Ако аголот  $\delta_i$  е еднаков на нула, аглиите  $\beta_{ij}$  и  $\gamma_{ij}$  ќе бидат еднакви.



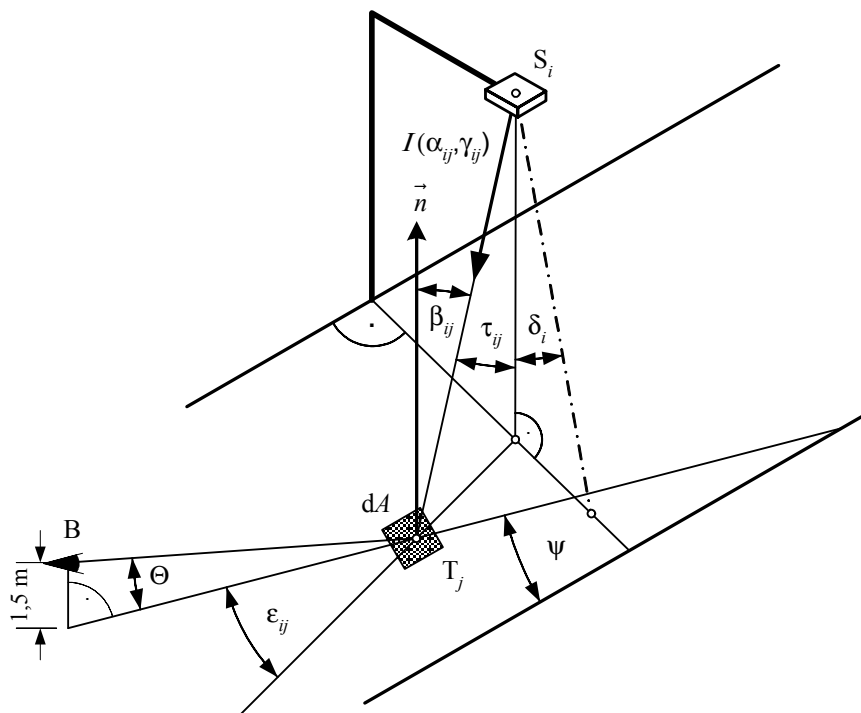
Слика 9.12 Дефиниција на аглиите за пресметка на хоризонталната осветленост

#### 9.4.4 Пресметка на сјајноста

Во општ случај пресметката на сјајноста претставува комплициран процес. Тоа се должи на фактот што сјајноста на определена површина, покрај другото, зависи и од правецот на набљудување којшто не е еднаков за сите учесници во сообраќајот. Покрај тоа, процедурата дополнително се усложнува поради тоа што површината на коловозот не одбива ниту униформно дифузно ниту насочено. Всушност, одбивањето на најчесто користените материјали за изработка на коловози (во суви услови) е мешано, при што дифузната компонента е малку поизразена. Во таквите случаи може да се претпостави дека сјајноста на сувиот коловоз е пропорционална на хоризонталната осветленост:

$$L = q \cdot E \quad (9.11)$$

Коефициентот на пропорција  $q$  се нарекува „коефициент на сјајноста“ и истот претставува количник помеѓу сјајноста  $L$  на елементарната површина  $dA$  (набљудувана од точката В од сликата 9.13) којашто ја создава изворот  $S_i$  и хоризонталната осветленоста на таа површина  $E$ .



Слика 9.13 Дефиниција на аглите за пресметка на коефициентот на сјајноста

Коефициентот на сјајноста зависи од светлотехничките карактеристики на материјалот од којшто е изработен коловозот, но и од положбата на набљудувачот и положбата на светлинскиот извор во однос на точката  $T_j$ :

$$q = f(\epsilon_{ij}, \tau_{ij}, \theta, \psi) . \quad (9.12)$$

Со оглед на усвоените димензии на полето на вреднување и позицијата на набљудувачот, аголот  $\theta$  се зема дека е еднаков на  $1^\circ$ . Од друга страна, имајќи ги предвид вообичаените ширини на патиштата и можните растојанија од набљудувачот до точката  $T_j$  аголот  $\psi$  не е поголем од  $\pm 20^\circ$ , поради што може да се претпостави дека коефициентот на сјајноста е малку зависен од овој агол. Според тоа, за коефициентот на сјајноста може да се рече дека зависи од материјалот од којшто е изработен коловозот и од аглите  $\epsilon_{ij}$  и  $\tau_{ij}$ . Тука треба да се нагласи дека аголот  $\tau_{ij}$  ќе биде еднаков на аголот  $\gamma_{ij}$  (од сликата 9.12) ако оптичката оска на светилката е вертикална, т.е. аголот  $\delta_i$  е еднаков на нула<sup>12</sup>. Независно од нагибот на светилката, аглите  $\tau_{ij}$  и  $\beta_{ij}$  се еднакви.

Врз основа на изразите (9.10) и (9.11), за сјајноста на точката  $T_j$  се добива:

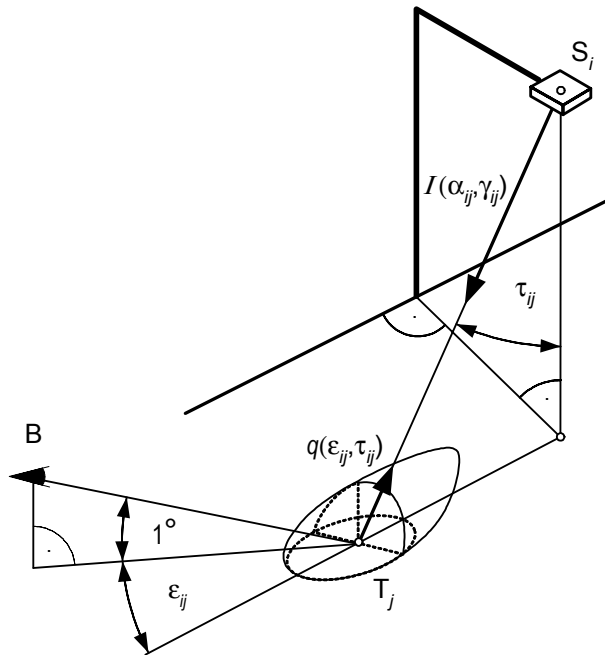
<sup>12</sup> Поради недостаток на простор, аглите  $\alpha_{ij}$  и  $\gamma_{ij}$  не се прикажан на сликата 9.13, но го имаат истото значење како и на сликата 9.12.

$$L_j = \sum_{i=1}^n q(\varepsilon_{ij}, \tau_{ij}) \cdot \frac{I(\alpha_{ij}, \gamma_{ij}) \cdot \cos \beta_{ij}}{h_i^2 / \cos^2 \tau_{ij}} = \sum_{i=1}^n r(\varepsilon_{ij}, \tau_{ij}) \cdot \frac{I(\alpha_{ij}, \gamma_{ij})}{h_i^2}, \quad (9.13)$$

каде што  $r(\varepsilon_{ij}, \tau_{ij}) = q(\varepsilon_{ij}, \tau_{ij}) \cdot \cos^3 \tau_{ij}$  се нарекува „редуциран коефициент на сјајност“, а со  $n$  е означен бројот на светилки што ја осветлуваат точката  $T_j$ .

Одбивните карактеристики на коловозите можат да се претстават со крива површина наречена  $q$ -тело. Пример на  $q$ -телото е прикажан на сликата 9.14. За да се добие  $q$ -телото за точката  $T$  од таа точка е потребно да се повлечат вектори со интензитет еднаков на коефициентот на сјајноста за различни правци на набљудување  $\varepsilon_{ij}$  и за различни агли на паѓање на светлината  $\tau_{ij}$ . Крајните точки на тие вектори го формираат  $q$ -телото што соодветствува на точката  $T_{ij}$ .

Ако  $q$ -телото е издолжено, рефлексијата од коловозот е доминатно насочена, додека ако  $q$ -телото има облик сличен на полутопка, рефлексијата е доминантно дифузна.



Слика 9.14 Дефиниција на  $q$ -телото

Постапката за определување на  $q$ -телото на определен материјал (коловоз) е сложен процес којшто претпоставува голем број мерења. Поради тоа, во праксата се користат поедноставени постапки за определување на одбивните карактеристики на коловозните материјали врз основа на само неколку параметри. Во продолжение ќе



биде накусо објаснета постапката за определување на рефлексните својства на коловозите прифатена од *CIE*.

$q$ -телото може да се апроксимира со полусфера чијшто волумен е еднаков на волуменот на  $q$ -телото. Радиусот на полусферата  $q_0$  се нарекува среден коефициент на сјајноста (слика 9.15). Всушност,  $q$ -телото на коловоз што одбива идеално дифузно има облик на полусфера со радиус  $q_0$ . Коефициентот на сјајноста во правец нормален на површината на коловозот е еднаков на  $q_p$ . Според методологијата на *CIE*, за да се опише  $q$ -телото на еден коловоз се доволни средниот коефициент на сјајност  $q_0$  и коефициентите на огледалност  $S_1$  и  $S_2$ , дефинирани со следниве равенки:

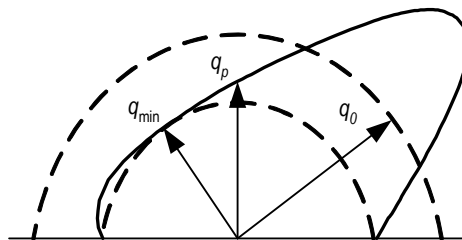
$$q_0 = \frac{\int q \cdot d\omega}{\Omega}, \quad S_1 = \frac{q(\varepsilon = 0^\circ; \tan \tau = 2)}{q(\varepsilon = 0^\circ; \tan \tau = 0)} \quad \text{и} \quad S_2 = \frac{q_0}{q(\varepsilon = 0^\circ; \tan \tau = 0)} = \frac{q_0}{q_p}, \quad (9.14)$$

каде што со  $\Omega$  е означен просторниот агол под којшто од точката Т се гледа множеството светилки коишто битно влијаат врз сјајноста на коловозот во таа точка.

За да се добие претстава за аголот  $\Omega$  ќе замислиме Декартов координатен систем со почеток во точката Т. Оската  $x$  е паралелна со оската на коловозот и е ориентирана во насока на набљудувањето, оската лежи во рамнината на коловозот, а оската  $z$  е нормална на рамнината на коловозот и е ориентирана нагоре. Нека со  $h$  ја означиме висината на поставување на светилките. Во координатниот систем дефинираме четири точки со следниве координати:  $P_1(12h, -3h, h)$ ,  $P_2(12h, 3h, h)$ ,  $P_3(-4h, 3h, h)$ , и  $P_4(-4h, -3h, h)$ . Овие четири точки претставуваат темиња на хоризонтален правоаголник поставен на висина  $h$  над коловозот. Ако претпоставиме дека правоаголникот е основа на четиристрана пирамида со теме во точката Т, тогаш со страниците на пирамидата е определен просторниот агол  $\Omega$ .

Коефициентите  $S_1$  и  $S_2$  ја дефинираат компонентата на насочено одбивање, односно обликот на  $q$ -телото.

Оптимални резултати во осветлението на патишта се добиваат ако коловозот е сув со коефициент на огледалност  $S_1 \leq 4$  и што е можно повисок среден коефициент на сјајност  $q_0$ . Тука може да се наведе дека важи правилото според кое, при неизменети останати услови, ако  $S_1$  има поголема вредност ќе се влоши рамномерноста на сјајноста на коловозот.



Слика 9.15 Дефиниција на средниот коефициент на сјајноста –  $q_0$

Врз основа на многубројни мерења на одбивните карактеристики на најчесто употребуваните материјали за изработка на коловози, *CIE* ги класифицирала тие материјали во четири стандардни класи на одбивање, означени со R1÷R4. Во табелата 9.10 се прикажани основните карактеристики на стандардните класи на коловозите<sup>13</sup>. Во врска со податоците наведени во табелата 9.10 треба да се забележи дека припадноста на определен коловоз кон некоја од R-класите се определува исклучиво врз основа на факторот  $S_1$  (т.е. обликот на  $q$ -телото). Броевите во заградите во табелата 9.10 покажуваат за кои вредности на  $S_1$  коловозот може да се категоризира во определена класа.

Табела 9.10 R класи на суви коловози [1,2,9]

Класа	$q_0$ ( $\text{cd/m}^2/\text{lx}$ )	$S_1$	$S_2$	Тип на одбивање	Опис на површината и материјалот
R1	0,10	0,25 ( $<0,42$ )	0,53	Претежно дифузно	Бетонски коловоз; Асфалтен коловоз каде што најмалку на 80% од површината зрната (каменчињата) стрчат над асфалтот
R2	0,07	0,58 ( $0,42\div 0,85$ )	1,80	Делумно дифузно	Лиен нов асфалт; Груб асфалтен бетон каде што најмалку 60% од каменчињата се поголеми од 10 mm
R3	0,07	1,11 ( $0,85\div 1,35$ )	2,38	Делумно насочено	Асфалтен бетон со зрна помали од 10 mm; Груб асфалт, но полиран поради истрошеност
R4	0,08	1,55 ( $>1,35$ )	3,03	Претежно насочено	Мазен асфалт; Истрошен леен асфалт
R5 <sup>14</sup>	–	$>1,80$	$>3,55$	Изразито насочено	Главна мазни површини изработени од асфалт со мала содржина на чакал со многу мала гранулација и голема количина на врзивно средство

Како што беше наведено, определувањето на коефициентот на сјајноста опишан претходно се однесува на суви подлоги. Со цел да се опфатат и случаите кога подлогата (коловозот) е влажен, *CIE* дефинирала четири стандардни класи на влажни коловози, W1÷W4.

За стандардните класи на коловози (според R, N или W класификацијата) се изготвени таканаречени  $g$ -табели во коишто е дадена зависноста на редуцираниот коефициент на сјајност од аголот  $e\beta$  ( $0\div 180^\circ$ ) и од аголот  $\tau$  ( $\tan\tau=0\div 12$ ).

Вредностите за редуцираниот коефициент на сјајност што ќе се добијат од  $g$ -табелите треба да се корегираат (скалираат) ако средниот коефициент на сјајност на разгледуваниот коловоз отстапува од вредноста на  $q_0$  наведена во табелата 9.10.

<sup>13</sup> Покрај класите R, во употреба се и класите N1÷N4 главно наменети за материјали со изразито дифузни рефлексни својства и коишто најчесто се користат во скандинавските земји.

<sup>14</sup> Класата R5 не е конечно дефинирана поради недостаток на мерења за доволен број подлоги.

### 9.4.5 Пресметка на релативниот пораст на прагот $TI$

Физиолошкото блескотење се манифестира како пречка, односно светлечки заклон (*veil*) создаден во окото на набљудувачот, а предизвикан од светлинските извори во видното поле. На овој светлечки заклон му одговара сјајност која е наречена *еквивалентна сјајност на прекривање (veiling luminance)*. Релативниот пораст на прагот всушност покажува колку треба да се зголеми контрастот на предметите кога определен број светилки се во видното поле на набљудувачот, во однос на контрастот кога тие светилки се надвор од видното поле (не создаваат директно блескотење).

Според [9], во условите кога средната сјајност на коловозот е во интервалот 0,05 до 5 cd/m<sup>2</sup>, за пресметување на  $TI$  (во проценти) се користи следната емпириска формула:

$$TI = 65 \cdot \frac{L_v}{\bar{L}^{0,8}}, \quad (9.15)$$

каде што со  $L_v$  и  $\bar{L}$  се означени еквивалентната сјајност на прекривање (во cd/m<sup>2</sup>) и средната сјајност на коловозот (во cd/m<sup>2</sup>), соодветно. Релативниот пораст на прагот  $TI$  се пресметува за најнеповолниот случај кога светилките се чисти и сите сијалици се нови (т.е. земајќи дека факторот на одржување на светилките е еднаков на единица).

За пресметка на еквивалентната сјајност на прекривање постојат повеќе методи. Во препораките на CIE [9,10] е изложен метод којшто, со мали измени, е прифатен во многу национални стандарди и препораки. Според тој метод,  $L_v$  се пресметува според изразот:

$$L_v = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{E_{G_i}}{\theta_i^2}, \quad (9.16)$$

каде што е:

$E_{G_i}$  осветленост (во lx) во окото на набљудувачот од светилката  $i$  во рамнина нормална на правецот на набљудување;

$\theta_i$  агол (во радијани) помеѓу правецот на набљудување и правецот што го определуваат локациите на набљудувачот и светилката  $i$ ;

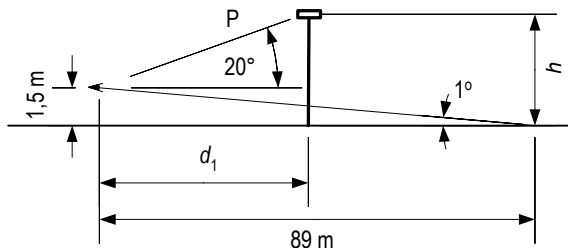
$m$  број на светилки коишто создаваат директно физиолошко блескотење.

Во изразот (9.16) се претпоставува дека окото на набљудувачот се наоѓа на 1,5 m над коловозот. Правецот на набљудување е паралелен со оската на сообраќајницата и е насочен за агол од 1° под хоризонталата (слика 9.16). Набљудувачот се наоѓа пред првата светилка на растојание  $d_1 = 2,75 \times (h - 1,5) \text{ m}^{15}$ .

<sup>15</sup> Рамнината  $P$  и хоризонталата го дефинираат аголот на отворот на ветробранското стакло за најголем број возила, поради што светилките што се наоѓаат на растојанија помали од  $d_1$  не се наоѓаат во видното поле на возачите, а со тоа и не причинуваат директно блескотење.

Позициите на набљудувачот во правец нормален на оската на сообраќајницата се идентични како и во случајот за пресметка на средната сјајност (слика 9.8).

Бројот на светилки  $m$  од изразот (9.16) се определува така што се смета со сите светилки што се наоѓаат пред набљудувачот (во насоката на гледање) на растојанија не помали од  $d_1$  и не поголеми од  $500 \text{ m}^{16}$ .



Слика 9.16 Дефиниција на аглите за пресметка на  $Tl$

Ако геометријата на распоредот на светилките не е симетрична во однос на оската на коловозот и/или ако сите светилки не се со еднакви фотометриски тела и сообраќајницата е предвидена за сообраќај во две насоки, релативниот пораст на прагот се пресметува за двете насоки на движење, а поголемата вредност треба да биде помала од соодветната вредност од табелата 9.2 за дефинираната класа на сообраќајницата.

<sup>16</sup> Очигледно е дека релативното учество на членовите за поедините светилки од сумата во изразот (9.16) зависи обратно пропорционално од квадратот на растојанието помеѓу светилката и набљудувачот, така што влијанието на најоддалечените светилки може да се занемари. Во [9] е изложена процедура според којашто може да се намали бројот на светилки за пресметка на  $L_v$ , со цел да се скуси времето за пресметки. Меѓутоа, треба да се има предвид фактот дека процедурите за пресметка на сјајноста и осветленоста препорачани во [9] се изготвувани во време кога релативно малите брзини на тогашните компјутери наметнувале определени занемарувања во пресметките.

**10 ЛИТЕРАТУРА**

- [1] P. Podlipnik, A. Čop: *Svetlotehnički priručnik*. Elektrokovina, Maribor, 1978.
- [2] E. Širola: *Cestovna rasvjeta*. ESING, Zagreb, 1997.
- [3] Д. Рајичиќ: *Електрично осветление*. Електротехнички факултет – Скопје, Скопје, 1993.
- [4] S. T. Henderson, A. M. Marsden, eds.: *Lamps and Lighting, 2 ed.* Edward Arnold, London, 1979.
- [5] J. R. Coaton, A. M. Marsden, eds.: *Lamps and Lighting, 4 ed.* Arnold, London, 1997.
- [6] M. S. Rea, ed.: *The IESNA Lighting Handbook, 9 ed.* IESNA, New York, 2000.
- [7] Б. Трпеновски, Н. Целакоски: *Елементи од нумеричката математика*. Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, 1987.
- [8] CIE: *Guide for Interior Lighting*. Publication CIE 29-2, 1986.
- [9] CIE: *Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting*. Publication CIE 30-2, 1982.
- [10] CIE: *Glare and Uniformity in Road Lighting Installations*. Publication CIE 31, 1976.
- [11] CIE: *Road Lighting for Wet Conditions*. Publication CIE 47, 1979.
- [12] CIE: *Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic*. Publication CIE 115, 1995.
- [13] Philips Lighting: *Lighting Manual, 5. ed.* Philips, Eindhoven, 1993.
- [14] Philips Lighting: *Business Unit International Sales Catalogue 1999/2000*. Philips, Eindhoven, 1999.
- [15] Osram: *Indoor and Outdoor Lighting '96/97* (CD-ROM). Osram GmbH, München, 1996.
- [16] Osram: *Lighting Programme 1999/2000* (CD-ROM). Osram GmbH, München, 1999.
- [17] Osram: *Lichtprogramm 1999/2000*. Osram GmbH, München, 1999.
- [18] <http://www.lighting.philips.com>.
- [19] <http://www.osram.com> (<http://www.osram.de>).