



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MAPA OSVĚTLENÍ V GIS

THE LIGHTING MAP IN GIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Nejedlý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Lukáš Nejedlý **ID:** 160779 **Ročník:** 3 **Akademický rok:** 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Mapa osvětlení v GIS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se se základy světelné techniky a metodami měření intenzit osvětlení venkovních prostorů. 2) Prostudujte odpovídající hygienické normy a metodiku měření. 3) Poznatky rozvedte v literární rešerši. 4) Seznamte se s architekturou geografického informačního systému ArcView a možnostmi zpracování naměřených dat. 5) Pro zvolenou lokalitu změřte intenzity osvětlení a vypracujte mapu v GIS - ArcView. 6) Diskutujte dosažené výsledky a vhodným způsobem je prezentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PLCH, J. Světelná technika v praxi. IN-EL Praha, Praha 1999, ISBN 80-86230-09-0.

[2] SALAY, I. Pracujeme s geografickým informačním systémem ArcView GIS, Computer Press, Praha, 1999, ISBN 80-7226-214-9.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 27.5.2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou osvětlení pozemních komunikací a veřejných prostorů. Práce je rozdělena na dvě části. První část je zaměřena na základní pojmy světelné techniky, metodiku měření a odpovídající hygienické normy. V práci jsou také zmíněny elektrické světelné zdroje využívané ve veřejném osvětlení a základní informace o geografickém informačním systému ArcGIS, který byl využit při zpracování naměřených hodnot.

Druhá část je zaměřena na měření osvětlenosti ve Žďáře nad Sázavou a na grafickou analýzu naměřených hodnot v ArcView GIS. Naměřené hodnoty osvětlenosti byly porovnány s hygienickými limity normy ČSN 13 201.

KLÍČOVÁ SLOVA

Světlo, osvětlenost, elektrické světelné zdroje, veřejné osvětlení, luxmetr, GIS, norma ČSN EN 13 201

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the lighting of roads and public areas. The work is divided into two parts. First part is focused on the basic terms of lighting technology, measurement methodology and appropriate hygiene standards. The paper also discussed electric light sources used in public lighting and basic information on the geographic information system ArcGIS, which was used during the processing of the measured values.

The second part is focused on the measurement of illuminance in Žďár nad Sázavou and graphical analysis of the measured values in ArcView GIS. The measured values of the illumination were compared with hygienic limits standard ČSN 13 201.

KEYWORDS

Light, illuminance, electric light sources, street lighting, light meter, GIS, standart ČSN 13 201

NEJEDLÝ, L. *Mapa osvětlení v GIS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 64 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Rozman, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Mapa osvětlení v GIS jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních ani majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Rozmanovi, Csc. za odborné vedení, pomoc a rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	xi
1 Úvod do problematiky	1
1.1 Světlo.....	1
1.1.1 Základní veličiny světelné techniky.....	3
1.1.2 Zraková pohoda.....	4
1.1.3 Oslnění	4
1.2 Elektrické světelné zdroje	5
1.2.1 Vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem	6
1.2.2 Vysokotlaké halogenidové výbojky	7
1.2.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky	7
1.2.4 Světelné diody	8
2 Osvětlení venkovních prostorů	9
2.1 Venkovní osvětlení.....	9
2.2 Měřicí technika.....	10
2.2.1 Luxmetr	10
2.2.2 Jasoměr.....	13
2.3 Metodika měření	13
2.4 Normy veřejného osvětlení	16
3 Geografický informační systém	19
3.1 Základní poznatky o geografickém informačním systému	19
3.2 ArcGIS Desktop	21
3.3 Modely prostorových dat	21
3.4 Dimenze prostorových objektů	23
3.5 Aplikované analýzy.....	23
4 Příprava měření	26
4.1 Lokalita pro měření osvětlení.....	26
4.2 Zatřídění pozemní komunikace do třídy osvětlení.....	27
4.3 Měřicí přístroje.....	27
4.4 Souřadnicový systém.....	29
4.5 Měřicí síť	30

5	Dosažené výsledky	31
5.1	Rozsah měření	31
5.2	Analýzy jednotlivých oblastí.....	32
5.3	Zhodnocení.....	52
6	Závěr	60
	Literatura	62
	Seznam zkratek	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Spektrum elektromagnetického záření [12]	2
Obr. 2 Stupeň oslnění v závislosti na poloze zdroje oslnění v zorném poli [16]	5
Obr. 3 Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [12]	6
Obr. 4 Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par [12]	8
Obr. 5 Spektrální rozložení poměrné citlivosti fotočlánku [22]	11
Obr. 6 Průběh chyby měření [19]	11
Obr. 7 Hradlový fotočlánek [22]	12
Obr. 8 Síť vypočítaných bodů [7]	15
Obr. 9 Vztah GIS k příbuzným systémům [24]	19
Obr. 10 Mapové vrstvy [14]	20
Obr. 11 Druhy pravidelné rastrové sítě [10]	22
Obr. 12 Rozdíl mezi rastrovým a vektorovým obrazem [23]	22
Obr. 13 Nastavení analýzy Graduated colors	23
Obr. 14 Nastavení analýzy Spline with Barriers	24
Obr. 15 Nastavení nástroje Extract by Mask	24
Obr. 16 Nastavení nástroje Select	25
Obr. 17 Mapa měřené lokality	26
Obr. 18 Mapa veřejného osvětlení	29
Obr. 19 Transformace souřadnicového systému	30
Obr. 20 Síť kontrolních bodů	30
Obr. 21 Mapa zvolené lokality – vyznačené relevantní oblasti	32
Obr. 22 Oblast 1 – měřicí síť	33
Obr. 23 Oblast 1 – naměřené hodnoty osvětlenosti	33
Obr. 24 Oblast 1 – Graduated colors	33
Obr. 25 Oblast 1 – Spline with barriers	33
Obr. 26 Oblast 2 – měřicí síť	34
Obr. 27 Oblast 2 – naměřené hodnoty osvětlenosti	34

Obr. 28 Oblast 2 – Graduated colors	35
Obr. 29 Oblast 2 – Spline with barriers	35
Obr. 30 Oblast 3 – měřicí síť	36
Obr. 31 Oblast 3 – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	36
Obr. 32 Oblast 3 – Graduated colors	36
Obr. 33 Oblast 3 – Spline with barriers	37
Obr. 34 Oblast 4a – měřicí síť	37
Obr. 35 Oblast 4b – měřicí síť	37
Obr. 36 Oblast 4a – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	38
Obr. 37 Oblast 4b – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	38
Obr. 38 Oblast 4a – Graduated colors	38
Obr. 39 Oblast 4b – Graduated colors	38
Obr. 40 Oblast 4a – Spline with barriers	39
Obr. 41 Oblast 4b – Spline with barriers.....	39
Obr. 42 Oblast 5 – měřicí síť	40
Obr. 43 Oblast 5 – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	40
Obr. 44 Oblast 5 – Graduated colors	40
Obr. 45 Oblast 5 – Spline with barriers	40
Obr. 46 Oblast 6 – měřicí síť	41
Obr. 47 Oblast 6 – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	42
Obr. 48 Oblast 6 – Graduated colors	42
Obr. 49 Oblast 6 – Spline with barriers.....	43
Obr. 50 Oblast 7 – měřicí síť	44
Obr. 51 Oblast 7 – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	44
Obr. 52 Oblast 7 – Graduated colors	45
Obr. 53 Oblast 7 – Spline with barriers.....	45
Obr. 54 Oblast 8a – měřicí síť	46
Obr. 55 Oblast 8b – měřicí síť	46
Obr. 56 Oblast 8a – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	47

Obr. 57 Oblast 8b – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	47
Obr. 58 Oblast 8a – Graduated colors	47
Obr. 59 Oblast 8b – Graduated colors	47
Obr. 60 Oblast 8a – Spline with barriers	48
Obr. 61 Oblast 8b – Spline with barriers.....	48
Obr. 62 Oblast 9 – měřicí síť	49
Obr. 63 Oblast 9 – naměřené hodnoty osvětlenosti.....	49
Obr. 64 Oblast 9 – Graduated colors	49
Obr. 65 Oblast 9 – Spline with barriers	49
Obr. 66 Mapa zvolené lokality – Graduated colors.....	50
Obr. 67 Mapa zvolené lokality – Spline with barriers.....	51
Obr. 68 Hodnocení průměrné osvětlenosti s hygienickými limity	54
Obr. 69 Hodnocení minimální osvětlenosti s hygienickými limity – body	55
Obr. 70 Hodnocení minimální osvětlenosti s hygienickými limity – oblasti	56
Obr. 71 Hodnocení celkové rovnoměrnosti osvětlenosti s hygienickými limity.....	57
Obr. 72 Podoblasti 4a, 4b – průměrná osvětlenost.....	58
Obr. 73 Podoblasti 4a, 4b – minimální osvětlenost.....	58
Obr. 74 Podoblasti 8a, 8b – průměrná osvětlenost.....	58
Obr. 75 Podoblasti 8a, 8b – minimální osvětlenost.....	58
Obr. 76 Podoblasti 8a, 8b – celková rovnoměrnost osvětlenosti.....	59

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Oblasti optického záření v elektromagnetickém spektru [18].....	2
Tab. 2 Používané halogenidy a jejich index podání barev [12].....	7
Tab. 3 Srovnání světelné diody s vysokotlakovou sodíkovou výbojkou [25].....	8
Tab. 4 Časové spínání veřejného osvětlení [12].....	10
Tab. 5 Přípustné chyby luxmetrů pro jednotlivé typy měření [18]	12
Tab. 6 Rozdělení jasoměrů [18]	13
Tab. 7 Skupiny světelných situací [5]	17
Tab. 8 Charakteristické parametry [5].....	18
Tab. 9 Doporučený rozsah tříd [6]	27
Tab. 10 Doporučení pro výběr z rozsahu tříd osvětlení pro C1 [6].....	27
Tab. 11 Základní parametry – Luxmetr Voltcraft LX – 1108 [4]	28
Tab. 12 Základní parametry – GPSMap 60CSx [9]	28
Tab. 13 Třídy osvětlení s porovnatelnými hladinami osvětlení [5].....	52
Tab. 14 Hygienické limity pro třídu S [6]	52
Tab. 15 Hygienické limity pro třídu CE [6]	53
Tab. 16 Hygienické limity pro třídu ME [6]	53

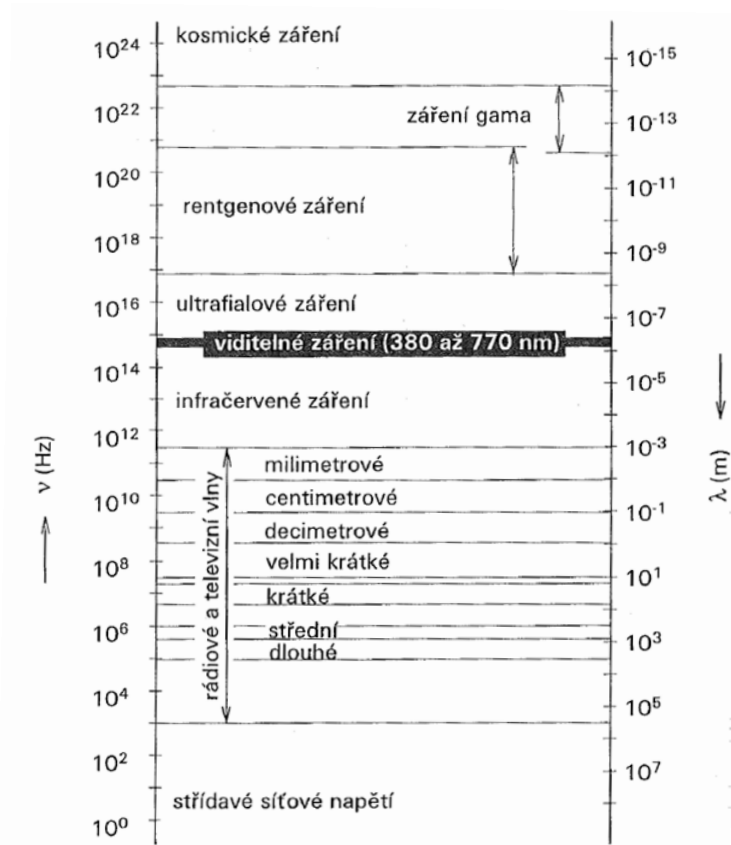
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Světlo společně se vzduchem a vodou patří mezi činitele, které podmiňují a zároveň ovlivňují veškerý pozemský život. Vlivem světla na lidský organismus se zabývá velké množství odborníků, protože světlo zprostředkovává přenos většiny informací a ovlivňuje zdraví kohokoliv z nás. Umělé osvětlení umožňuje bezpečný pohyb i v nočních hodinách, kdy je nedostatek denního světla. Množství světla, které je potřebné pro jednotlivé situace, určují normy ČSN EN.

Úvodní kapitola je zaměřena na teoretické základy světla a elektrické světelné zdroje využívané ve veřejném osvětlení. První podkapitola pojednává o podstatě světla, základních jednotkách světelné techniky, zrakové pohodě a oslnění, které může nastat působením veřejného osvětlení. Druhá podkapitola je zaměřena na popis jednotlivých druhů vysokotlakových výbojek a světelných diod.

1.1 Světlo

Světlo respektive viditelné záření je jediný druh elektromagnetického záření, které je schopno vyvolat zrakový vjem ve zrakovém orgánu. Jednotlivé druhy elektromagnetického záření lze charakterizovat prostřednictvím vlnové délky a frekvence. Nejdelší vlnovou délku má záření radiové, které na lidský organismus nepůsobí a člověk ho nedovede vnímat. Radiové záření je využíváno v radiotelegrafii, v rozhlasu, televizi a atd. Infračervené záření je záření, jehož zdrojem je každé teplé těleso. Dalším druhem záření je záření ultrafialové s vlnovou délkou kratší než viditelné záření. Pro člověka je neviditelné, ale existují živočichové, kteří ho dokáží vnímat. Ještě kratší vlnové délky má záření rentgenové, gama a kosmické. Rozdělení jednotlivých druhů záření je zobrazeno na obr 1. [18]



Obr. 1 Spektrum elektromagnetického záření [12]

Elektromagnetické záření, jehož vlnové délky leží v rozsahu 1 mm až 100 nm, se nazývá optické záření. Optické záření zahrnuje ultrafialové záření, infračervené a viditelné záření. Vlnové délky viditelného záření leží přibližně v rozsahu 380 nm až 770 nm. Viditelné záření je záření monochromatické, jelikož každá frekvence záření vzbudí určitý barevný počitek. Jednotlivé druhy optického záření a jejich složky jsou uvedeny v tab. 1. [12]

Tab. 1 Oblasti optického záření v elektromagnetickém spektru [18]

Druh záření	Označení	Vlnová délka [nm]	Kmitočet f [Hz]	Energie W_e [eV]
Ultrafialové	UV-C	100 až 280	$(30,00 \text{ až } 10,70) \cdot 10^{14}$	12,4 až 4,4
	UV-B	280 až 315	$(10,70 \text{ až } 9,50) \cdot 10^{14}$	4,4 až 3,9
	UV-A	315 až 380	$(9,50 \text{ až } 7,89) \cdot 10^{14}$	3,9 až 3,2
Viditelné	fialová	380 až 430	$(7,89 \text{ až } 6,98) \cdot 10^{14}$	3,2 až 2,9
	modrá	430 až 490	$(6,98 \text{ až } 6,12) \cdot 10^{14}$	2,9 až 2,5
	zelená	490 až 570	$(6,12 \text{ až } 5,26) \cdot 10^{14}$	2,5 až 2,2
	žlutá	570 až 600	$(5,26 \text{ až } 5,00) \cdot 10^{14}$	2,2 až 2,0
	oranžová	600 až 630	$(5,00 \text{ až } 4,76) \cdot 10^{14}$	2,0 až 1,9
	červená	630 až 770	$(4,76 \text{ až } 3,84) \cdot 10^{14}$	1,9 až 1,6
Infračervené	IR-A	770 až 1 400	$(3,84 \text{ až } 2,14) \cdot 10^{14}$	1,6 až 0,9
	IR-B	1 400 až $3 \cdot 10^3$	$(2,14 \text{ až } 1,00) \cdot 10^{14}$	0,9 až 0,4
	IR-C	$3 \cdot 10^3$ až 10^6	$(1,00 \text{ až } 0,30) \cdot 10^{14}$	0,4 až 0,12

Podle původu rozeznáváme světlo přirozené a umělé. Přirozené světlo vzniká bez lidského přičinění. Největším zdrojem přirozeného světla je Slunce. Umělé světlo vyrábí člověk pro svoji vlastní potřebu. V minulosti člověk využíval louče, svíčky a olejové lampy. V současné době je svíceno výhradně elektrickými zdroji (žárovky, výbojky, zářivky, LED). Člověk dokáže napodobit přirozené světlo kvalitativně (např. barva), ale nikoliv kvantitativně. Požadavky na umělé osvětlení se zvyšují, protože se zvyšují požadavky na kvalitu, efektivnost a množství vykonané práce. Osvětlení vnitřních i venkovních prostorů je velice energeticky náročné, proto je snaha používat zdroje, které tuto náročnost snižují. Požadavky na úspory by nikdy neměly mít větší váhu než požadavky na samotné světlo. [18], [22]

1.1.1 Základní veličiny světelné techniky

Jednotky světelné techniky nám umožňují vyjádřit účinky světla na lidské oko. Svítivost je jediná realizovatelná jednotka, proto jsou od svítivosti odvozeny veškeré další světelné jednotky. Pro činnost zraku je důležitá velikost zářivého toku Φ_e . Zářivý tok vyjadřuje množství vyzářené energie za jednotku času. Veškeré veličiny a jednotky jsou vztahovány na fotometrického pozorovatele. Fotometrické veličiny respektují rozdílnou citlivost lidského oka ke světlu různých vlnových délek. [20]

Světelný tok Φ

Světelný tok vyjadřuje množství světla, které vyzáří zdroj do všech směrů. Jednotkou světleného toku je lumen (lm). [20]

Svítivost I

Svítivost vyjadřuje, kolik světelného toku vyzáří zdroj do prostorového úhlu v určitém směru. Jednotkou svítivosti je kandela (cd). Pro svítivost platí následující vztah: [22]

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (1)$$

kde I – svítivost, Φ – světelný tok, Ω – prostorový úhel, do kterého je světelný tok vyzářen

Prostorový úhel Ω

Prostorový úhel je úhel při vrcholu kuželu. Jeho velikost závisí na velikosti plochy A vymežující kuželovou plochu na povrchu koule o poloměru r . Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr). Pro prostorový úhel platí vztah: [22]

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (2)$$

kde Ω – prostorový úhel, A – plocha podstavy kuželu na povrchu kulového prostoru, která vymežuje daný prostorový úhel, r – poloměr koule

Intenzita osvětlení (osvětlenost) E

Intenzita osvětlení vyjadřuje, kolik světelného toku dopadá na 1 m². Jednotkou intenzity osvětlení je lux (lx). Pro intenzitu osvětlení platí vztah: [18]

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I}{l^2} \quad (3)$$

kde Φ – dopadající světelný tok, S – osvětlená plocha, I – svítivost, l – vzdálenost od zdroje

Jas L

Jas udává, kolik svítivosti vnímá lidské oko z osvětlovací plochy v určitém směru. Oko přímo reaguje na jas. Jednotkou jasu je cd·m⁻². Pro jas platí vztah: [12]

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \gamma} \quad (4)$$

kde L – jas, dI – svítivost, dS – průmět svítící plochy, γ – úhel jednotkové plochy do roviny kolmé k tomuto směru

Kontrast jasu

Kontrast jasu je definován jako rozdíl jasu pozorovaného předmětu L_a a jeho okolí L_b . Kontrast určuje viditelnost předmětu. Rozlišujeme pozitivní a negativní kontrast. Pozitivní kontrast nastává v případě, že jas okolí je menší než jas předmětu. V opačném případě hovoříme o negativním kontrastu. Nejmenší rozlišitelný kontrast jasu je 0,018. Kontrast je definován vztahem: [20]

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (5)$$

kde K – kontrast, L_a – jas předmětu, L_b – jas okolí

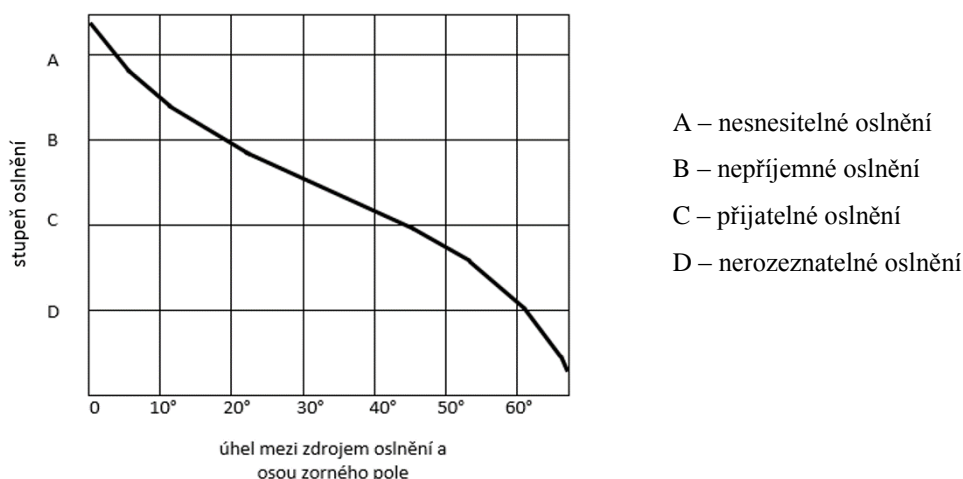
1.1.2 Zraková pohoda

Zraková pohoda je příjemný psychofyziologický stav, při kterém člověk dobře vidí, cítí se psychicky a fyzicky dobře. Zrakové pohody je dosaženo v místech, které jsou člověku vzhledově příjemné. Nedostatek světla způsobuje oční únavu, která se projevuje negativně na náladě člověka a jeho sníženou výkonností. Dobré osvětlení pracovních míst pozitivně ovlivňuje produktivitu a bezpečnost práce. Kvalitní osvětlení musí zajistit nejen dostatečné množství světelné energie v prostoru, ale také vhodné prostorové a časové rozložení. [20], [22]

1.1.3 Oslnění

Oslnění má velký vliv na vidění a na celkový stav nervové soustavy. K oslnění dochází v případě, že se vyskytují v zorném poli jasy výrazně odlišných hodnot nebo při výskytu jasu vyššího než, na který je oko adaptováno. Oslnění v mírném stupni člověk většinou ani

nezpozoruje, ale taky negativně ovlivňuje zrakovou činnost a způsobuje únavu. Jedná-li se o mírnou úroveň oslnění, tak zdroj oslnění upoutá pozornost na úkor pozorovaného předmětu. Při silném oslnění člověk zpozoruje pouze zdroj oslnění, nikoliv jeho okolí. Oslnění nastává v okamžiku, kdy hodnota jasu je $7,5 \cdot 10^3 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a vyšší. Velikost oslnění je dána jasem zdroje oslnění, jeho polohou, plošnou velikostí a kontrastem vůči pozadí. Závislost stupně oslnění na poloze zdroje oslnění je zobrazena na obr. 2. [16], [18]



Obr. 2 Stupeň oslnění v závislosti na poloze zdroje oslnění v zorném poli [16]

Nejdůležitější druh oslnění vztahující se ke světelné technice je oslnění kontrastem. Jak samotný název napovídá, oslnění je způsobeno vysokými jasy v zorném poli, na které není oko adaptováno. Zraková pohoda je narušena při poměru jasu 1:10 a oslnění nastává při překročení poměru jasu 1:100. Oslnění, které zhoršuje činnost zraku, by nikdy nemělo nastat působením osvětlovacích soustav. Vzniku oslnění je zabráňováno vhodným cloněním svítidel a správným geometrickým uspořádáním svítidel. [18]

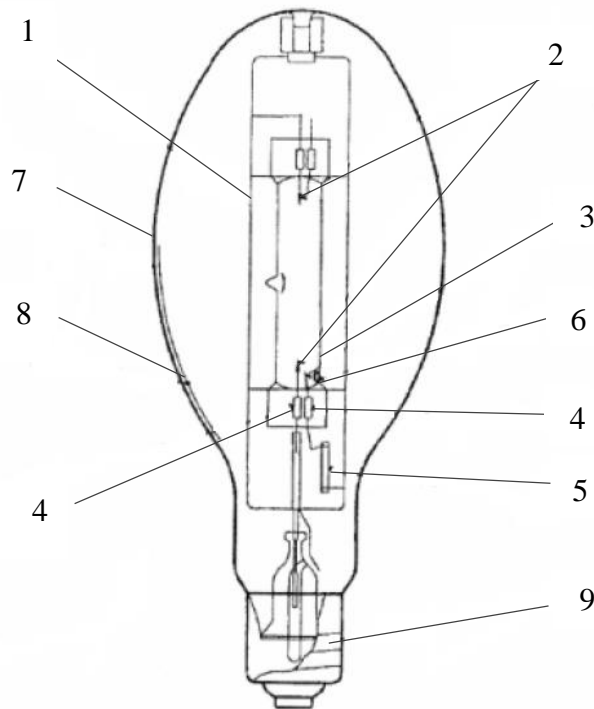
1.2 Elektrické světelné zdroje

Elektrické světelné zdroje přeměňují elektrickou energii na světelnou energii. Můžeme je rozdělit na zdroje teplotní (např. žárovky), výbojové a elektroluminiscenční (LED). Výbojové zdroje lze dále dělit na nízkotlaké (např. zářivky) a vysokotlaké (např. vysokotlaké rtuťové výbojky). V současné době jsou ve veřejném osvětlení využívány zejména vysokotlaké výbojové zdroje. Nové technologie umožnily ve veřejném osvětlení využívat také světelné diody (LED). Světelné diody jsou považovány za světelný zdroj budoucnosti, který ve veřejném osvětlení nahradí vysokotlaké výbojové zdroje. [12], [22]

Výbojové zdroje pracují na principu elektrických výbojů v plynech nebo v různých parách kovů. Při elektrickém výboji dochází k přeměně elektrické energie na kinetickou energii elektronů. Srážky elektronů s atomy plynu či kovovými parami mají za následek, že je energie elektronů přeměněna v optické záření. Princip světelných diod (LED) je založen na vyzařování energie v podobě fotonů (světla) v okamžiku samovolného návratu elektronů z excitovaného stavu do základního energetického stavu. [12], [22]

1.2.1 Vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem

Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou výbojky, u kterých vzniká viditelné záření obloukovým výbojem v parách rtuti při tlaku vyšším než 0,1 MPa. Výboj probíhá ve výbojové trubici (hořák), která je umístěna ve vnější baňce. Vnější baňka z křemenného skla stabilizuje elektrický režim hořáku, pohlcuje ultrafialové záření a vytváří plochu, na které je nanášena vrstva luminoforu. Do křemenného skla jsou zataveny wolframové (hlavní) elektrody a většinou jedna pomocná elektroda. Pomocná elektroda umožňuje vznik pomocného výboje mezi pomocnou a nejbližší hlavní elektrodou. Tento výboj ulehčuje vznik výboje mezi hlavními elektrodami. Část světla vzniká ve výboji a část ve vrstvě luminoforu. Vrstva luminoforu zlepšuje podání barev tím, že transformuje záření UV zejména do červené oblasti spektra. Jako luminofor je využíván vanadičnan yttritý, popřípadě vanadičnan-boritan-fosforečnan yttritý. Konstrukce vysokotlaké výbojky je znázorněna na obr. 3. [12]



Obr. 3 Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [12]

1 – nosný rámeček, 2 – hlavní elektrody, 3 – pomocná elektroda, 4 – molybdenová fólie, 5 – rezistor, 6 – rtuť, 7 – vnější baňka, 8 – vrstva luminoforu, 9 – patice

Největší výhodou vysokotlakových rtuťových výbojek je malý pokles světelného toku během provozu. Další výhodou je odolnost proti změnám teploty a otřesům. Tyto výbojky mají i určité nevýhody. Mezi hlavní nevýhody patří nízký všeobecný index podání barev a delší doba opětovného znovuzápalu. Z těchto důvodů vysokotlaké rtuťové výbojky nejsou využívány k osvětlení vnitřních prostorů. Vysokotlaké rtuťové výbojky sloužily k osvětlení průmyslových prostorů, ulic a sportovišť. Z osvětlení veřejných míst je postupně vytlačily kvalitnější a efektivnější vysokotlaké halogenidové a zejména vysokotlaké sodíkové výbojky. [22]

1.2.2 Vysokotlaké halogenidové výbojky

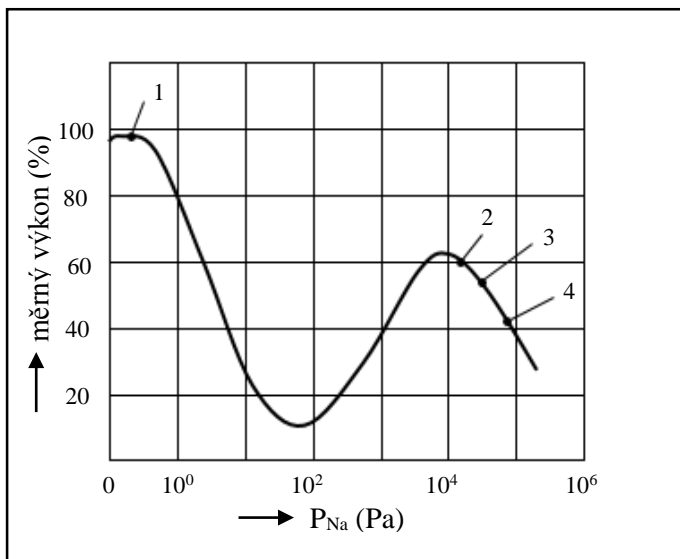
Vysokotlaké halogenidové výbojky je možné považovat za druh vysokotlakových rtuťových výbojek, u kterých vzniká světlo převážně zářením produktů halogenidů a v menší míře výbojem v parách rtuti. Vysokotlaké halogenidové výbojky mají vyšší index podání barev a měrný výkon než vysokotlaké rtuťové výbojky. Halogenid je sloučenina halového prvku s elektropozitivnějšími prvky (galium, thalium). Používané halogenidy a jejich index podání barev je zobrazen v tab. 2. Stavba halogenidové výbojky je velice podobná se stavbou vysokotlakové rtuťové výbojky. Vnější baňka je zhotovena z borosilikátového skla. Halogenidové výbojky jsou využívány v místech, kde jsou kladeny vysoké požadavky na barevné podání. Slouží k osvětlení obchodních prostor, muzeí a sportovišť. [22]

Tab. 2 Používané halogenidy a jejich index podání barev [12]

Halogenidy	Index podání barev R_a
NaI + TlI + InI	65
DyI ₃ +HoI ₃ +TmI ₃ +TlI	> 90
SnBr ₂ +SnI ₂	98
ScI ₃ +NaI+LiI	75

1.2.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky

U vysokotlakých sodíkových výbojek vzniká světlo při výboji v parách sodíku. Vysoký tlak způsobuje vznik silného spojitého záření, absorpci rezonančního záření a zejména pozitivně ovlivňuje index podání barev. Závislost měrného výkonu na tlaku par sodíku je zobrazena na obr. 4. Vysoký tlak způsobuje vysokou teplotu ve výbojové trubici, což má za následek, že hořák musí být vyroben z velice odolného materiálu (polykrystalický korund). Mezi největší výhody vysokotlakých sodíkových výbojek patří vysoký měrný výkon s přijatelným podáním barev, dlouhá životnost a snadná údržba. Ve veřejném osvětlení převažuje právě tento typ světelného zdroje. V obcích jsou využívány vysokotlaké sodíkové výbojky o příkonu 50 – 70 W, ve městech do 150 W a na velkých komunikacích 150 – 250 W. [12], [22]



- 1 – nízko tlaké sodíkové výbojky
- 2 – vysoko tlaké sodíkové standardní výbojky
- 3 – vysoko tlaké sodíkové výbojky se zlepšením podáním barev $R_a = 60$
- 4 – vysoko tlaké sodíkové výbojky s vynikajícím podáním barev $R_a > 80$

Obr. 4 Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par [12]

1.2.4 Světelné diody

Světelné diody (LED) jsou polovodičové součástky obsahující PN přechod, na kterém dochází k přeměně elektrické energie na energii světelnou. PN přechod vyzařuje světlo v případě, že jím prochází elektrický proud v propustném směru. Tento jev je nazýván elektroluminiscencí. Barva emitovaného světla závisí na chemickém složení polovodiče. Světlo, které vyzáří světelné diody, je téměř monochromatické. Světelné diody nedokáží přímo emitovat bílé světlo, protože je složeno z celého spektra vlnových délek. Bílé světlo vzniká pomocí lumiforu, který převede světlo vyzářené v oblasti UV na bílé světlo. PN přechod je u světelných diod většinou vyroben z GaP (galium-fosforid). V tab. 3 je zobrazeno srovnání základních provozních parametrů světelné diody s vysokotlakou sodíkovou výbojkou. [2], [17]

Tab. 3 Srovnání světelné diody s vysokotlakovou sodíkovou výbojkou [25]

Elektrický zdroj	Měrný výkon [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$]	Životnost [hod.]	Možnost regulace
Světelná dioda (LED)	až 200	až 100 000	100 – 60 % příkonu
Vysokotlaká sodíková výbojka	až 115	až 30 000	100 – 0 % příkonu

Srovnání základních provozních parametrů vyznívá ve prospěch světelných diod. Další výhodou světelných diod je možnost volit barevný tón světla (od 2 700 K do 6 500 K), což vysokotlakové sodíkové výbojky neumožňují (pevně nastavená 2 000 K). Největší nevýhodou světelných diod je vysoká pořizovací cena. Mezi další nevýhody patří nutnost použití stejnosměrného proudu a spektrální podání některých barev. Vývoj světelných diod není zdaleka u konce, předpokládá se zlepšení základních provozních parametrů, zejména měrného výkonu ($250 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$) a životnosti (200 000 hodin). [25]

2 OSVĚTLENÍ VENKOVNÍCH PROSTORŮ

Druhá kapitola je zaměřena na osvětlení venkovních prostorů, měřicí techniku, metodiku měření osvětlenosti venkovních prostorů a odpovídající hygienickou normu. První podkapitola pojednává o venkovním osvětlení, způsobu jeho hodnocení a ovládání veřejného osvětlení. Druhá podkapitola je nazvána měřicí technika. Tato podkapitola je věnována popisu konstrukce luxmetru, základnímu principu hradlového fotočlánku a jasoměru. Třetí podkapitola je zaměřena na metodiku měření intenzity osvětlení. Poslední podkapitola je věnována hygienické normě pro osvětlení pozemních komunikací.

2.1 Venkovní osvětlení

Venkovní osvětlení umožňuje bezpečný pohyb, vykonávat pracovní činnost, pořádat různé sportovní a kulturní akce v době, kdy není dostatek přírodního světla. Venkovní osvětlení míst přístupných veřejnosti označujeme jako veřejné osvětlení. Jedná se o neplacenou službu veřejnosti, která je hrazena z obecních rozpočtů. Požadavky na umělé osvětlení pozemních komunikací jsou zvyšovány s rostoucí hustotou dopravy a zvyšující se rychlostí. [12]

Základní veličinou při hodnocení veřejného osvětlení je osvětlenost, přestože pro dopravní bezpečnost má největší význam jas jízdní dráhy a jas překážek. Jas vozovky je možno měřit nejméně po jednom roce provozu vozovky, kdy se ustálí odrazné vlastnosti vozovky. U nové vozovky je možné měřit pouze osvětlenost. Řidič rozeznává jednotlivé překážky v jízdní dráze na základě kontrastu. Kontrast musí být větší, čím je slabší osvětlení jízdní dráhy. Při dobrém uličním osvětlení řidič postřehne překážku na jízdní dráze v případě, že poměr jasu je alespoň 1:1,5. Průměrný jas komunikace by měl dosahovat alespoň hodnot $0,8 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. [12], [18]

Dalším parametrem, který ovlivňuje kvalitu osvětlení, je omezení oslnění. Vzniku oslnění je zabráněno vhodným cloněním svítidel a správným geometrickým uspořádáním svítidel v dané soustavě. Osvětlovací soustavy využívané pro venkovní osvětlení mají zpravidla malý index podání barev, protože není prioritou získat informaci o barvě. Pro osvětlení komunikací jsou vhodné zdroje, které mají index podání barev $R_a = 20$. Pro osvětlení sportovišť nebo prostorů, z kterých je pořizován přímý televizní přenos, jsou využívány zdroje s vysokým indexem podání barev $R_a \geq 80$. [11]

Zapínání a vypínání veřejného osvětlení

Osvětlení je ovládáno ručně, časovými spínači nebo fotoelektrickými spínači. Fotoelektrické spínače umožňují respektovat skutečnou úroveň osvětlení. Časy, kdy je spínáno veřejné osvětlení, jsou zobrazeny v tab. 4. Osvětlení je možné spínat i na základě intenzity osvětlení okolního terénu (zástavby): [12]

V oblasti husté zástavby a v místech s vysoce náročnými dopravními podmínkami:

- zapnutí při $E = 80 \text{ lx}$
- vypnutí při $E = 40 \text{ lx}$

V oblastech mimo zástavbu:

- zapnutí při $E = 40 \text{ lx}$
- vypnutí při $E = 20 \text{ lx}$

Tab. 4 Časové spínání veřejného osvětlení [12]

Období	Zapnutí	Vypnutí
Zimní 23. 9. až 20. 3.	$\frac{1}{2}$ hod. po západu Slunce	$\frac{1}{2}$ hod. před východem Slunce
Letní 21. 3. až 22. 9.	$\frac{3}{4}$ hod. po západu Slunce	$\frac{3}{4}$ hod. před východem Slunce

2.2 Měřicí technika

Měřicí metody můžeme rozdělit na subjektivní (vizuální) metody a na metody objektivní (fyzikální). Subjektivní metody využívají pro posouzení osvětlení zrak, zatímco objektivní metody využívají fotočlánek (hradlový nebo emisní) jako měřicí přístroj. Pro zrakovou pohodu a činnost je nejdůležitější rozložení jasů v zorném poli. Z tohoto důvodu dochází i k měření jasu. [12]

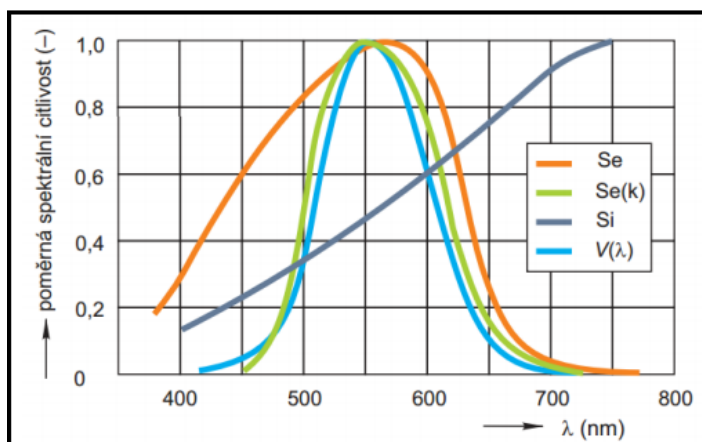
Měřením osvětlení se ověřuje:

- Jestli osvětlovací soustava poskytuje očekávané parametry osvětlení a jestli tyto parametry odpovídají normám (před uvedením soustavy do provozu)
- Jestli se parametry osvětlení osvětlovací soustavy nezhoršují z důvodu užívání

2.2.1 Luxmetr

Luxmetr je přístroj, který měří intenzitu osvětlení. Detektorem je hradlový křemíkový fotočlánek. Křemíkový fotočlánek nahradil méně citlivý selenový fotočlánek. Samotný fotočlánek není vhodný pro měření intenzity osvětlení, protože nemá stejné spektrální vlastnosti jako lidské oko (obr. 5). Z tohoto důvodu musí u fotočláneku proběhnout korekce. Korekce

fotočlátku je provedena pomocí diferenciálního filtru. Případná chyba, která může vzniknout při měření bez korekce, se liší podle druhu světelného zdroje. U žárovek může vzniknout chyba až 5% a u výbojek dokonce až 50%. [12], [18]



Se – nekorigovaný hradlový selenový fotočlánek

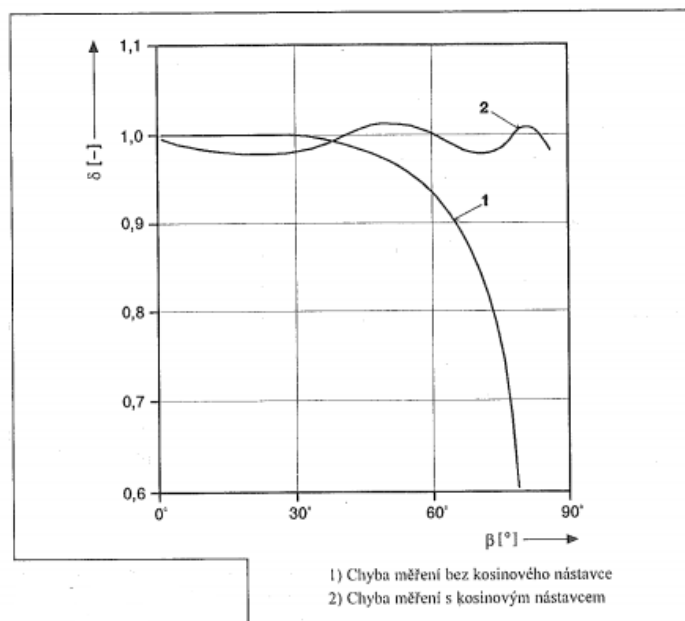
Se (k) – hradlový selenový fotočlánek s korekčními filtry

Si – nekorigovaný hradlový křemíkový fotočlánek

$V(\lambda)$ – spektrální citlivost normálního fotometrického pozorovatele při denním vidění

Obr. 5 Spektrální rozložení poměrné citlivosti fotočlátku [22]

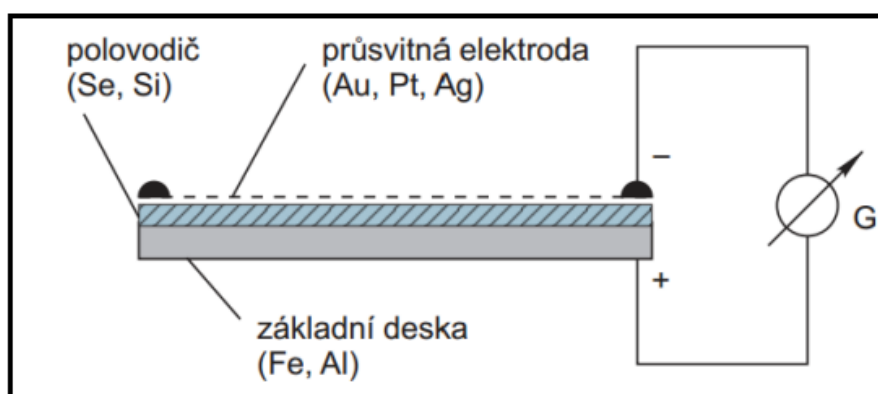
Další součástí fotočlátku je kosinový nástavec, který je neméně důležitý. Kosinový nástavec koriguje šikmé dopady světla na fotočlánek. U fotočlátku, který nemá kosinový nástavec, by vznikla chyba měření, která by se zvětšovala s úhlem dopadu. Při úhlu dopadu 30° je chyba přibližně 6%, zatímco při úhlu dopadu 45° je chyba větší než 15%. Rozdíl chyb, který vznikne při měření s kosinovým nástavcem a bez něj, je zobrazen na obr. 6. Kosinový nástavec a filtr je nezbytnou součástí fotočlátku pro měření osvětlenosti. Před začátkem měření je nutné ponechat fotočlánek 5 až 15 minut v prostředí, ve kterém bude provedeno měření. Je to z důvodu, aby se fotočlánek přizpůsobil a stabilizoval. [12], [18]



1) Chyba měření bez kosinového nástavce
2) Chyba měření s kosinovým nástavcem

Obr. 6 Průběh chyby měření [18]

Základní princip hradlového fotočlánku je založen na vnitřním fotoelektrickém jevu. Hradlový fotočlánek je složen ze základní kovové desky, na které je nanесena vrstva křemíku (selenu) s vodivostí typu P. Na vrstvě křemíku je umístěna velmi tenoučká a průsvitná vrstva platiny (zlata, stříbra) s vodivostí N. Vrstva křemíku s vrstvou platiny vytváří PN přechod. Osvětlením fotočlánku vzniká v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev. Při tomto jevu dochází k uvolnění elektronů z energetických hladin, ve kterých jsou pevně vázány k danému atomu, do vodivostních energetických hladin, ve kterých se chovají jako volné elektrony v kovu. Na PN přechodu vzniká elektrické napětí, které u křemíkového fočlánku dosahuje velikosti 0,5 V. Základní deska je obvykle vyrobena ze železa, popřípadě z hliníku. Kovový kroužek nacházející se na okraji platinové vrstvy odvádí proud do měřicího přístroje (mikroampérmetr). Schéma hradlového fotočlánku je zobrazeno na obr. 7. [11], [15]



Obr. 7 Hradlový fotočlánek [22]

Luxmetry lze rozdělit do čtyř skupin, jak uvádí tab. 5. Luxmetry pro přesné a laboratorní měření jsou využívány pro posouzení osvětlení v prostorech, kde jsou vysoké nároky na zřakovou činnost. Je vyžadována vysoká přesnost měření. Provozní luxmetry jsou využívány v případě, že je potřeba ověřit parametry osvětlení konkrétní osvětlovací soustavy. Orientační luxmetry jsou vhodné pro různá provozní měření, kde není požadována vysoká přesnost naměřených hodnot. Minimální životnost luxmetru je 5 000 h. [12]

Tab. 5 Přípustné chyby luxmetrů pro jednotlivé typy měření [18]

Přesnost	Typ měření	Celková přípustná chyba	Třída
L	Laboratorní	± 3	1
A	Přesné	± 5	2
B	Provozní	± 10	3
C	Orientační	± 20	4

2.2.2 Jasoměr

Jasoměr je přístroj, který umožňuje změřit jas. Jasoměr se liší od luxmetru optikou, která zajišťuje dopad světla na čidlo ve stanoveném prostorovém úhlu. Detektorem je opět fotočlánek. Vyhodnocovacím zařízením je mikroampérmetr, který je ovšem kalibrován v jednotkách jasu. Princip měření je založen na stanovení množství světelného toku procházející clonou jasoměru. Ze zorného pole je clonou vymezena plocha, ve které je stanovena hodnota jasu. Naměřená hodnota jasu odpovídá střední hodnotě jasu měřené plochy. Jasoměry lze rozdělit na základě velikosti měřicího úhlu do dvou skupin, jak uvádí tab. 6. [18], [20]

Tab. 6 Rozdělení jasoměrů [18]

Typ jasoměru	úhel
Bodové	$< 0,6^\circ$
Integrační	$> 2,0^\circ$

2.3 Metodika měření

Osvětlenost je měřena v několika kontrolních bodech srovnávací roviny. Umístění jednotlivých kontrolních bodů závisí na šířce vozovky a vzdálenosti mezi lampami veřejného osvětlení. Vzdálenost mezi kontrolními body by neměla přesáhnout vzdálenost 5 m. Světelný tok zdroje závisí na napájecím napětí zdroje, teplotě okolí, době provozu světelného zdroje a na míře znečištění světelně činných ploch svítidel. Měření venkovního osvětlení by mělo probíhat za suchého počasí, bez sněhové pokrývky. [12]

Pravidla pro měření osvětlenosti jsou stanovena v normě ČSN EN 13201-4:

Pro měření osvětlenosti je volen luxmetr s parametry tak, aby vyhovoval účelům měření. V případě, kdy chceme porovnat výsledky měření s vypočítanými hodnotami, je nutné měřit s největší přesností. V případě kontroly parametrů osvětlovací soustavy je pravděpodobné, že postačí menší počet měření. [8]

Při měření vodorovné a polokulové osvětlenosti je fotometrická hlava umístěna tak, aby rovina povrchu fotočláneku byla vodorovná. Fotočlánek musí být umístěn přímo na zem. V případě, že není možné umístit fotočlánek na zem, je umístěn maximálně do výšky 200 mm. Výšku fotočláneku je nutné zaznamenat do protokolu o měření. Pro měření poloválčové a svislé osvětlenosti je využívána fotometrická hlava, která je vyrobena pro tato měření. Při měření je střed fotometrické hlavy umístěn do výšky 1,5 m nad povrch komunikace a fotočlánek musí být ve svislé poloze a mít správnou orientaci. [8]

Rozlišujeme měření fotometrické a nefotometrické. Při fotometrickém měření zjišťujeme hodnoty osvětlení a jasů. Při nefotometrickém měření zjišťujeme ostatní související parametry.

Fotometrická měření definují tři základní podmínky:

- Ustálení poměrů po rozsvícení

Před samotným měřením osvětlenosti je nutné změřit osvětlenost v pravidelných časových intervalech na několika místech, abychom zjistili stabilitu světelného toku osvětlovací soustavy. Kontrolní měření je nutné provést, protože výbojky nemají ihned po zapnutí ustálený světelný tok.

- Klimatické podmínky

Klimatické podmínky, které panují během měření osvětlenosti, by neměly ovlivnit výsledky měření. Příliš vysoké nebo nízké teploty mohou ovlivnit světelný výkon tepelně citlivých zdrojů, popřípadě přesnost měřících přístrojů. Negativní vliv na měření může mít vítr o vysoké rychlosti, který může způsobit kývání svítidel nebo vibraci měřících přístrojů.

- Cizorodé světlo a stínění světla

Při měření osvětlenosti je nutné vyloučit jakékoliv odražené či přímé světlo z okolí nebo ho zohlednit. Jedná se o světlo z reklamních výloh, dopravní signalizace, osvětlení vozidel či zář z oblohy. Výskyt překážek v měřené oblasti je nutné zaznamenat do protokolu o měření. [8]

Nefotometrická měření definují čtyři základní podmínky:

- Geometrické údaje

Před samotným měřením musí být změřena geometrie osvětlovací soustavy. Geometrické údaje zahrnují plán měření v půdorysu, výšku osvětlovacích stožárů a přesah. Orientace, sklon a rotace je měřena jen v případě, že nám tyto informace ovlivní objektivitu měření.

- Elektrické napájecí napětí

Napájecí napětí je měřeno před zahájením měření i v průběhu měření a sledují se jeho změny.

- Teplota

Teplota vzduchu je měřena každých 30 minut ve výšce 1 metru nad povrchem pozemní komunikace.

- Měřící přístroj

Používané měřící přístroje musí být kalibrovány. [8]

Sít' kontrolních bodů

Není-li zúčastněnými stranami dohodnuta jiná síť, pak se má zvolit síť kontrolních bodů podle ČSN EN 13201-3. Síť kontrolních bodů je zobrazena na obr. 8. [7]

Místa kontrolních bodů, v nichž bude měřena intenzita osvětlení, se stanoví takto:

a) V podélném směru:

$$D = \frac{S}{N} \quad (6)$$

kde D – rozteč mezi body v podélném směru (m), S – rozteč svítidel (m), N – počet vypočtených bodů v podélném směru nabývající těchto hodnot:

pro $S \leq 30$ m, $N = 10$

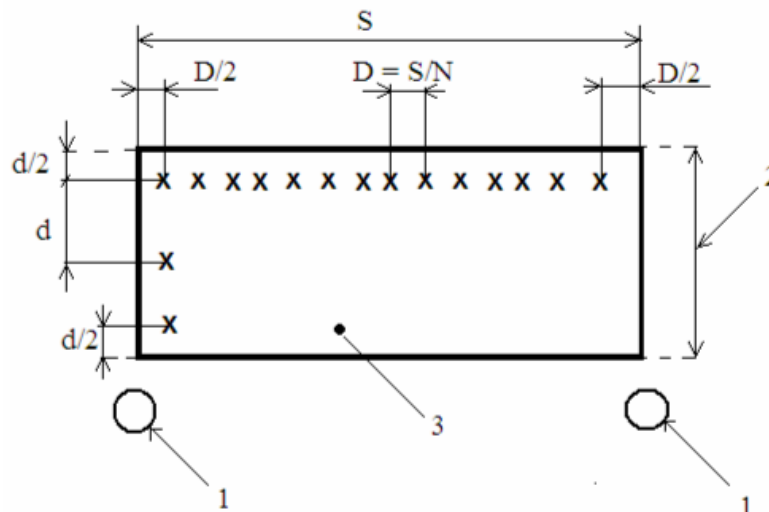
pro $S > 30$ m, nejmenší celé číslo splňující podmínku $D \leq 3$ m

První řada výpočtových bodů je umístěna ve vzdálenosti $D/2$ za prvním svítidlem.

b) V příčném směru

$$d = \frac{W_r}{n} \quad (7)$$

kde d – je rozteč bodů v příčném směru (m), W_r – šířka vozovky nebo relevantní oblast (m), n – počet bodů v příčném směru, jehož hodnota je větší nebo rovna 3 a je nejmenším celým číslem, který dává $d \leq 1,5$ m



Obr. 8 Síť vypočítaných bodů [7]

1 – světlo; 2 – šířka relevantní oblasti; 3 – výpočtové pole, x – označuje řady výpočtových bodů v podélném a příčném směru

2.4 Normy veřejného osvětlení

Osvětlením pozemních komunikací je věnována norma ČSN/EN 13 201. Tato norma je rozdělena na čtyři části:

- ČSN CEN/TR 13 201-1 (Část 1: Výběr tříd osvětlení)
- ČSN EN 13 201-2 (Část 2: Požadavky)
- ČSN EN 13 201-3 (Část 3: Výpočet)
- ČSN EN 13 201-4 (Část 4: Metody měření)

ČSN CEN/TR 13 201-1

První část normy obsahuje návod pro výběr tříd osvětlení. Pozemní komunikace je nutné zařadit do skupiny světelných situací podle tab. 7. Světelné skupiny jsou stanoveny na základě typické rychlosti hlavního uživatele a druhů uživatelů v relevantní oblasti (hlavní uživatel, jiný povolený uživatel, nepovolený uživatel). Na základě charakteristických parametrů je pozemní komunikaci přiřazena třída osvětlení, jak uvádí tab. 8. [5]

ČSN EN 13 201-2

Druhá část normy definuje třídy osvětlení pro pozemní komunikace na základě fotometrických požadavků s ohledem na zrakové požadavky uživatelů komunikace a zohledňuje vlivy tohoto osvětlení na životní prostředí. Součástí normy jsou hygienické limity pro jednotlivé třídy osvětlení. Norma rozlišuje tři základní a tři doplňkové třídy osvětlení: [6]

Základní třídy:

- ME – komunikace, po kterých se motorová vozidla pohybují střední až vysokou povolenou rychlostí
- CE – komunikace, které se nacházejí v konfliktních oblastech (složité křižovatky)
- S – komunikace určené pro chodce a cyklisty

Doplňkové třídy:

- A – komunikace určené pro chodce a cyklisty, je měřena polokulová osvětlenost pozemní komunikace
- ES – osvětlení pěších zón, je měřena poloválcová osvětlenost pozemní komunikace
- EV – komunikace, které vyžadují dostatečnou viditelnost svislých ploch (křižovatky), je měřena svislá osvětlenost pozemní komunikace

ČSN EN 13 201-3

Třetí část normy definuje a popisuje výchozí předpoklady a matematické postupy, které jsou využity při fotometrických výpočtech. [7]

ČSN EN 13 201-4

Čtvrtá část normy specifikuje postup měření umělého osvětlení ve venkovních prostorech. Obsahuje zásady a postupy pro fotometrické měření osvětlovacích soustav pozemních komunikací. [8]

Tab. 7 Skupiny světelných situací [5]

Typická rychlost hlavního uživatele km/h	Druh uživatelů v relevantní oblasti			Skupiny světelných situací
	Hlavní uživatel	Další povolený uživatel	Nepovolený uživatel	
> 60	Motorová vozidla		Velmi pomalá vozidla Cyklisté Chodci	A1
		Velmi pomalá vozidla	Cyklisté Chodci	A2
		Velmi pomalá vozidla Cyklisté Chodci		A3
> 30 a ≤ 60	Motorová vozidla Velmi pomalá vozidla	Cyklisté Chodci		B1
	Motorová vozidla Velmi pomalá vozidla Cyklisté	Chodci		B2
	Cyklisté	Chodci	Motorová vozidla Velmi pomalá vozidla	C1
> 5 až ≤ 30	Motorová vozidla Chodci		Velmi pomalá vozidla Cyklisté	D1
		Velmi pomalá vozidla Cyklisté		D2
	Motorová vozidla Cyklisté	Velmi pomalá vozidla Chodci		D3
	Motorová vozidla Velmi pomalá vozidla Cyklisté Chodci			D4
Rychlost chůze	Chodci		Motorová vozidla Velmi pomalá vozidla Cyklisté	E1
		Motorová vozidla Velmi pomalá vozidla Cyklisté		E2

Tab. 8 Charakteristické parametry [5]

	Parametry	Možnosti
Prostorové uspořádání	Směrově rozdělená komunikace	Ano Ne
	Druh křižovatek	mimoúrovňové úrovňové
	Vzdálenost mimoúrovňových křižovatek, vzdálenost mezi mosty	> 3 km ≤ 3 km
	Konfliktní oblast	Ano Ne
	Stavební opatření pro zklidnění dopravy	Ano Ne
Vliv dopravy	Intenzita silničního provozu na den	< 4000 4000 až 7 000 7 000 až 15 000 15 000 až 25 000 25 000 až 40 000 > 40 000
	Intenzita cyklistického provozu	běžná, velká
	Intenzita pěšího provozu	běžná, velká
	Náročnost navigace	běžná, větší než běžná
	Parkující vozidla	nevyskytují se, vyskytují se
	Rozpoznání obličejů	není potřebné, potřebné
	Riziko kriminality	běžné, větší než běžné
Vliv okolí a vnější vlivy	Složitost zorného pole	běžná, velká
	Jas okolí	venkovní prostředí, městské prostředí, městské centrum
	Převládající počasí	suché, vlhké

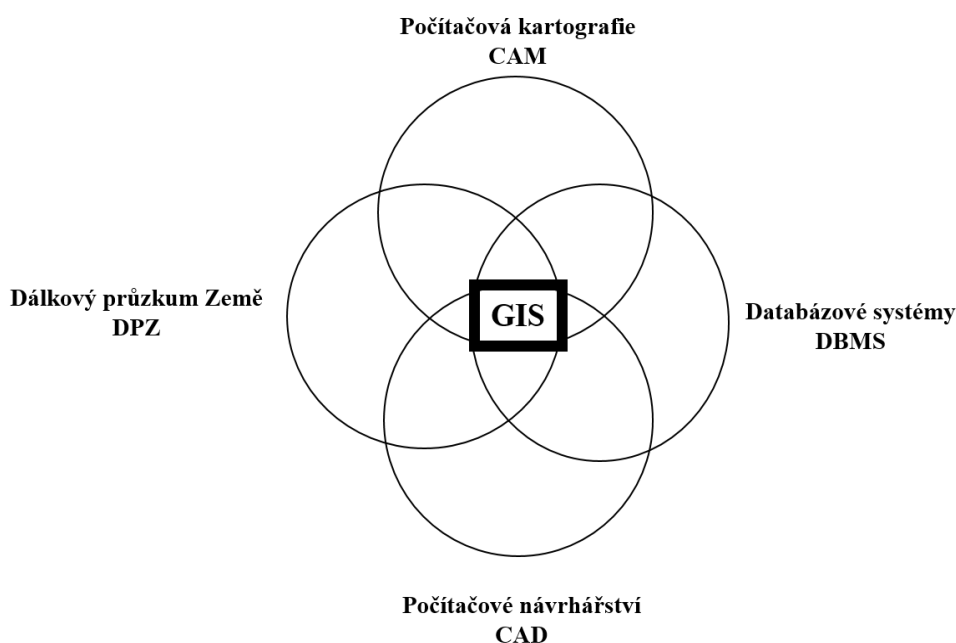
3 GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM

Kapitola je zaměřena na teorii o geografickém informačním systému, ve kterém bude provedena analýza naměřených hodnot. První podkapitola je věnována základním informacím o geografickém informačním systému. Druhá podkapitola pojednává o softwaru ArcGIS Desktop. V dalších podkapitolách jsou popsány modely prostorových dat, dimenze prostorových objektů, analýzy a nástroje, které budou využity při zpracování naměřených hodnot osvětlenosti.

3.1 Základní poznatky o geografickém informačním systému

Pánové R. Laurini a D. Thompson zavedli pojem prostorový informační systém (spatial information system), kterým označili počítačové nástroje pracující s údaji o objektech, které se vyskytují na, nad či pod povrchem Země. Přívlastek **prostorový** znamená, že je pracováno s údaji o objektech vyskytujících se v jakémkoliv souřadnicovém systému. [24]

Geografický informační systém (GIS) je možné definovat jako prostorový informační systém, který umožňuje prostorové prohlížení, analytické modelování prostorových dat, tvorbu simulací procesů, ukládání a sběr geografických dat. GIS obsahuje prvky ze systémů počítačové kartografie (CAM), počítačové návrhářství (CAD), dálkového průzkumu Země (DPZ) a databázového systému (DBMS). Vztah GIS k jednotlivým systémům je zobrazen na obr. 9. Ve světě existuje spor o to, jestli je GIS podmnožina či nadmnožina těchto systémů. [24]

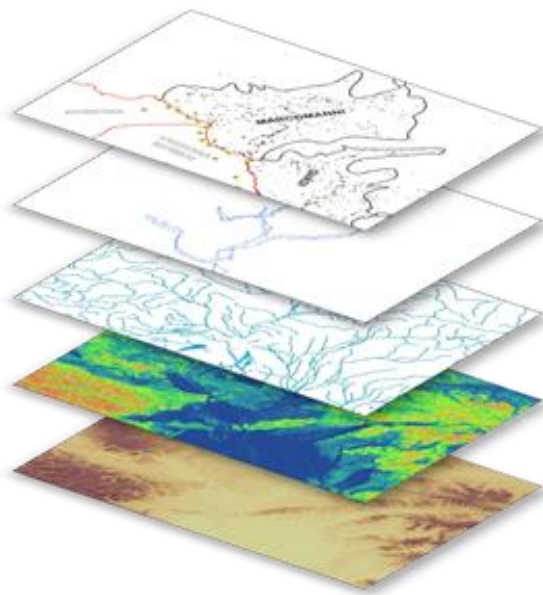


Obr. 9 Vztah GIS k příbuzným systémům [24]

GIS je složen ze čtyř komponentů:

- Hardware – nejčastěji osobní počítač
- Software – programy vhodné pro analýzu a vizualizaci dat
- Data – nejdůležitější součást geografického informačního systému
- Pracovníci

GIS pracuje s geografickými údaji (geodata), což jsou údaje o poloze vázané k povrchu Země. Geodata jsou složena z jednotlivých geoobjektů. Geoobjekty je možné rozdělit na přírodní (hory, řeky) a na objekty vytvořené člověkem (silnice, města). Geoobjekty reprezentující stejné téma (vodstvo, silnice, budovy) se ukládají do mapových vrstev, což následně usnadňuje analýzu dat. Mapové vrstvy jsou zobrazeny na obr. 10. Jednotlivé geoobjekty jsou v mapách reprezentovány prostřednictvím mapových prvků. Každý mapový prvek má polohu, reprezentativní tvar a symbol. Textové popisy často doplňují grafické symboly, aby umožnily přesnou identifikaci geoobjektu. [21]



Obr. 10 Mapové vrstvy [13]

Veškeré informace o mapových prvcích jsou uloženy v databázi GIS. GIS propojuje mapové prvky s informacemi o nich. Informace o mapových prvcích je možné rozdělit na neprostorové a prostorové. Neprostorové respektive atributové informace obsahují atributy, které jsou specifické pro každý geoobjekt. (např. řeka - atributem je její název, průměrná hloubka, rychlost toku, kvalita vody). GIS umožňuje nalézt prvky na základě libovolného počtu atributů a zobrazit je na mapě. Prostorové informace lze rozdělit na geometrické, které vyžadují měření (pozice, tvar, vzdálenost bodů), a na negeometrické informace, které jsou topograficky založené (spojitost, orientace, sousednost, obsahování). [21]

Na GIS lze nahlížet jako na nástroj kartografický, databázový nebo analytický. Pohled na GIS jako kartografický nástroj nám umožňuje zpracovávat, tvořit a zobrazovat mapy. Databázový pohled zdůrazňuje důležitost shromažďování, třídění a selektování údajů. Analytický pohled nám naopak vyzdvihuje možnost provádět prostorové analýzy a vytvářet modely. Jednotlivé pohledy na GIS se navzájem v různé míře doplňují a kombinují. [24]

3.2 ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop je software geografického informačního systému od firmy ESRI (Environmental Systems Research Institute). Existují tři úrovně ArcGIS Desktop, které se liší úrovní funkcionality – **ArcView**, **ArcEditor** a **ArcInfo**. ArcView obsahuje základní prvky a aplikace nutné pro práci s geodaty. ArcEditor je tvořen všemi funkcemi ArcView a navíc je rozšířen o pokročilejší možnosti editace. ArcInfo umožňuje ještě pokročilejší operace než ArcEditor a je tvořen výkonnějšími nástroji pro zpracování prostorových dat. ArcView obsahuje více než 80 nástrojů, ArcEditor jich nabízí přes 90 a ArcInfo obsahuje přibližně 250 nástrojů pro zpracování prostorových dat. [1]

ArcView tvoří základní sadu ArcGIS Desktop a je složen ze 4 aplikací - **ArcMap**, **ArcCatalog**, **ArcToolbox** a **ModelBuilder**. Aplikace ArcCatalog umožňuje uživatelům vyhledat, prohlížet, organizovat geografická data a vytvářet geodatabáze. Aplikace ArcMap umožňuje provádět různé prostorové analýzy, vytvářet mapy a editovat data. Aplikace ArcToolbox a ModelBuilder obsahují nástroje, které jsou použity pro zpracování geografických dat. Další aplikací, kterou využívá ArcGIS Desktop, je ArcGlobe. Aplikace ArcGlobe slouží pro práci ve 3D prostoru a nabízí dynamický 3D pohled na geografická data. ArcGIS Desktop je využíván zejména pro tvorbu prostorových analýz. Počet analýz, které lze provést výrazně zvyšují nadstavby, které existují pro všechny úrovně ArcGIS Desktop. [1]

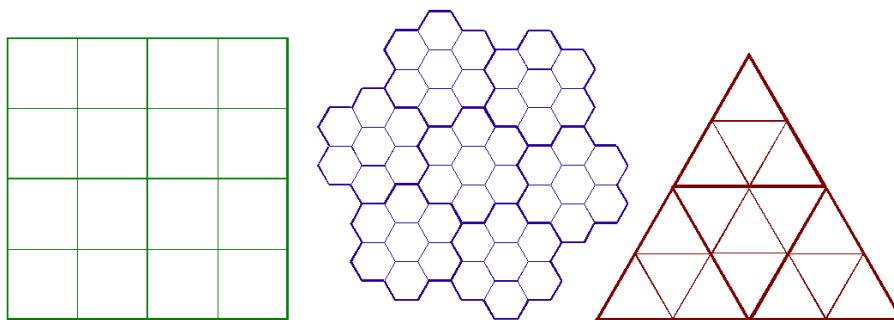
3.3 Modely prostorových dat

Vektorový model

Obrazy jsou složeny z geometrických útvarů (body, čáry, polygony). Poloha jednotlivých bodů je dána souřadnicemi x , y v souřadnicovém systému. Změna velikosti obrazu nemá za následek zhoršení její kvality, protože změna velikosti je provedena výpočtem. Tato skutečnost patří mezi největší výhody vektorového modelu. Mezi další výhody patří kompaktnost struktury, vysoká přesnost a malý objem uložených dat. Mezi nevýhody je řazena komplikovanost datové struktury a výpočetní náročnost. Vektorový model je vhodný použít při ukládání údajů pro plošné objekty, protože ukládají pouze údaje související s hranicemi objektu. [13], [24]

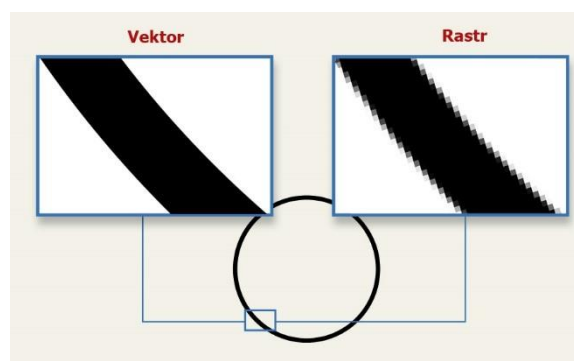
Rastrový model

Základním stavebním prvkem rastrového modelu je buňka (pixel). Jednotlivé buňky jsou uspořádány do mřížky a vytváří tzv. mozaiku. V případě, že v mřížce jsou buňky se stejnou velikostí, hovoříme o pravidelné mřížce. Tvar jednotlivých buněk nám určuje, zda se jedná o mřížku čtvercovou, trojúhelníkovou či hexagonální. Jednotlivé typy mřížek jsou zobrazeny na obr. 11. Kvalita obrázku je dána rozlišením a barevnou hloubkou. Čím více bodů je v obrázku, tím bude mít obraz větší rozlišení respektive kvalitu. Mezi hlavní výhody rastrového modelu patří jednoduchost datové struktury, jednoduchost simulací, relativní hardwarová a softwarová nenáročnost. Největší nevýhoda je ztráta kvality obrázku při změně velikosti obrázku, jak ukazuje obr. 12. Mezi další nevýhody patří velký objem uložených dat a menší vizuální kvalita rastrových výstupů. [20], [24]



Obr. 11 Druhy pravidelné rastrové sítě [10]

Jednotlivé typy dat byly považovány za navzájem neslučitelné. Vektorová reprezentace byla považována za vhodnější při databázových aplikacích GIS, zatímco rastrová reprezentace při analytických aplikacích. V současné době kvalitní systémy pracují s oběma typy dat. Tyto systémy využívají výhody obou modelů a umožňují převod dat mezi oběma modely (vektORIZACE, rasterizace). [13], [24]



Obr. 12 Rozdíl mezi rastrovým a vektorovým obrazem [23]

3.4 Dimenze prostorových objektů

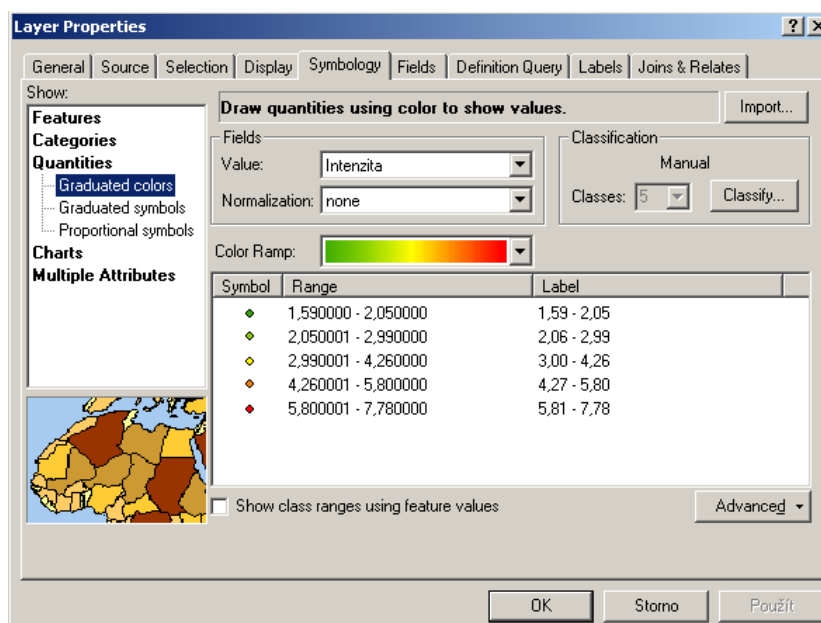
Mapové objekty mohou být vytvořeny v různých dimenzích. Dimenze určují rozšíření prostorového objektu v různých směrech prostoru. V reálném světě jsou vždy jednotlivé objekty trojrozměrné.

Mapové objekty je možné rozdělit podle počtu dimenzí, ve kterých jsou modelovány:

- Objekty bezrozměrné 0 D – objekty, které nemají délku ani plochu, jsou reprezentovány pomocí bodů (kostel)
- Objekty jednorozměrné 1 D – objekty, které mají konečnou délku a nulovou plochu, jsou reprezentovány pomocí čar (silnice)
- Objekty dvojrozměrné 2 D – objekty, které mají konečnou délku a plochu, jsou reprezentovány prostřednictvím polygonů (parky)
- Objekty trojrozměrné 3 D – objekty, které mají objem nebo plochu ohraničující tělesa, jsou reprezentovány prostřednictvím polyhedronů
- Čas je považován za čtvrtou dimenzi v případě, že je brána do úvahy dynamika geobjektů [24]

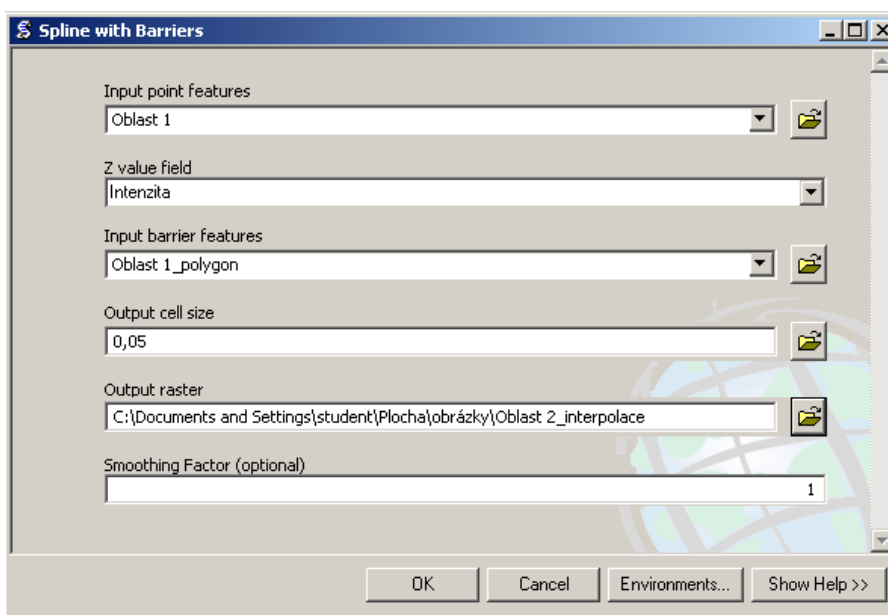
3.5 Aplikované analýzy

ArcGIS Desktop je využíván zejména pro tvorbu prostorových analýz. První analýzou, která bude využita pro zpracování naměřených hodnot osvětlenosti, je **Graduated colors**. Tato analýza zbarví jednotlivé body podle velikosti naměřené osvětlenosti. V našem případě byly hodnoty osvětlenosti pro každou relevantní oblast rozděleny do pěti skupin. Okno pro nastavení analýzy Graduated colors zobrazuje obr. 13.

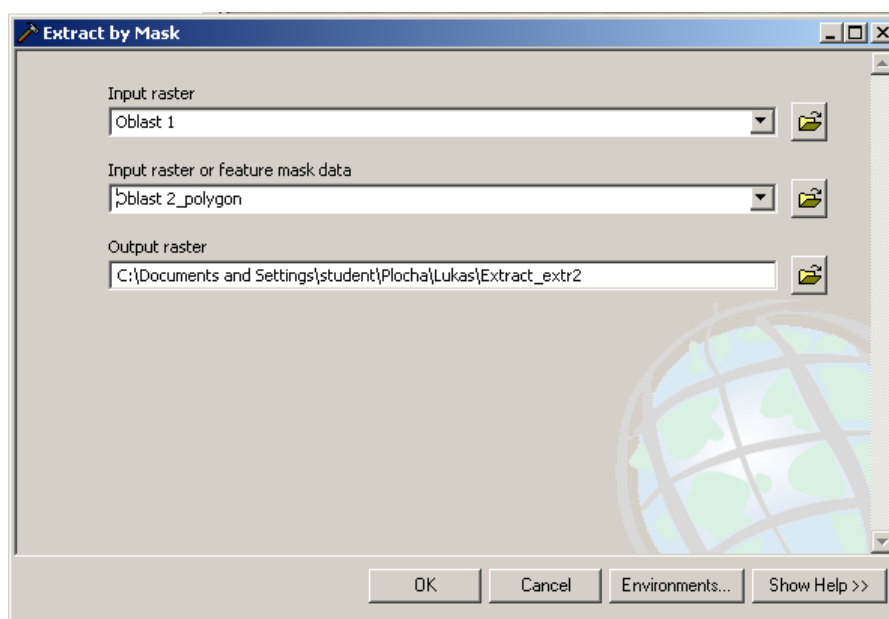


Obr. 13 Nastavení analýzy Graduated colors

Druhou analýzou, která bude využita, je **Spline with barriers**. Je to interpolační metoda, která z naměřených hodnot osvětlenosti vytvoří povrchový rastr rozložení osvětlenosti. Interpolace je proces, při kterém jsou vypočítány neznámé hodnoty určité veličiny v našem případě osvětlenosti ze známých hodnot. Výhodou interpolační metody Spline with barriers oproti jiným interpolačním metodám (IDW, Kriging) je skutečnost, že umí vypočítat nižší či vyšší hodnoty než jsou vstupní hodnoty. Spline with barriers vytváří pouze pravoúhlé povrchové rastry, proto bude využit nástroj **Extract by mask**, který ořízne okolí komunikace a vytvoří nový povrchový rastr odpovídající dané komunikaci. Okno pro nastavení analýzy Spline with barriers zobrazuje obr. 14 a okno pro nastavení nástroje Extract by mask zobrazuje obr. 15.

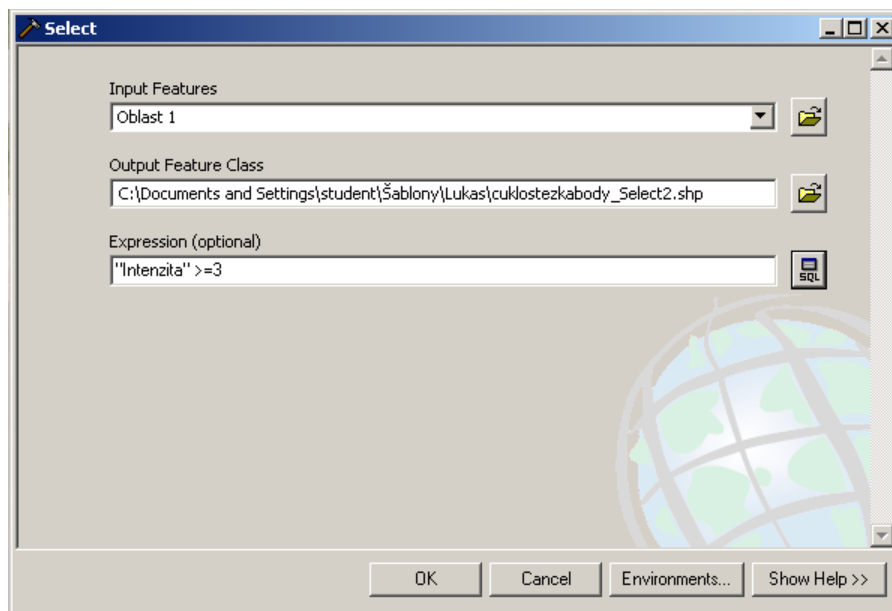


Obr. 14 Nastavení analýzy Spline with Barriers



Obr. 15 Nastavení nástroje Extract by mask

Nástroj **Select** bude využit při zhodnocení naměřených hodnot osvětlenosti s hygienickými limity. Tento nástroj umožňuje vybrat body, popřípadě oblasti (polygony) na základě námi navrženého kritéria. Body respektive oblasti splňující zadané kritérium jsou uloženy do nové vrstvy. Okno pro nastavení nástroje Select je zobrazeno na obr. 16.



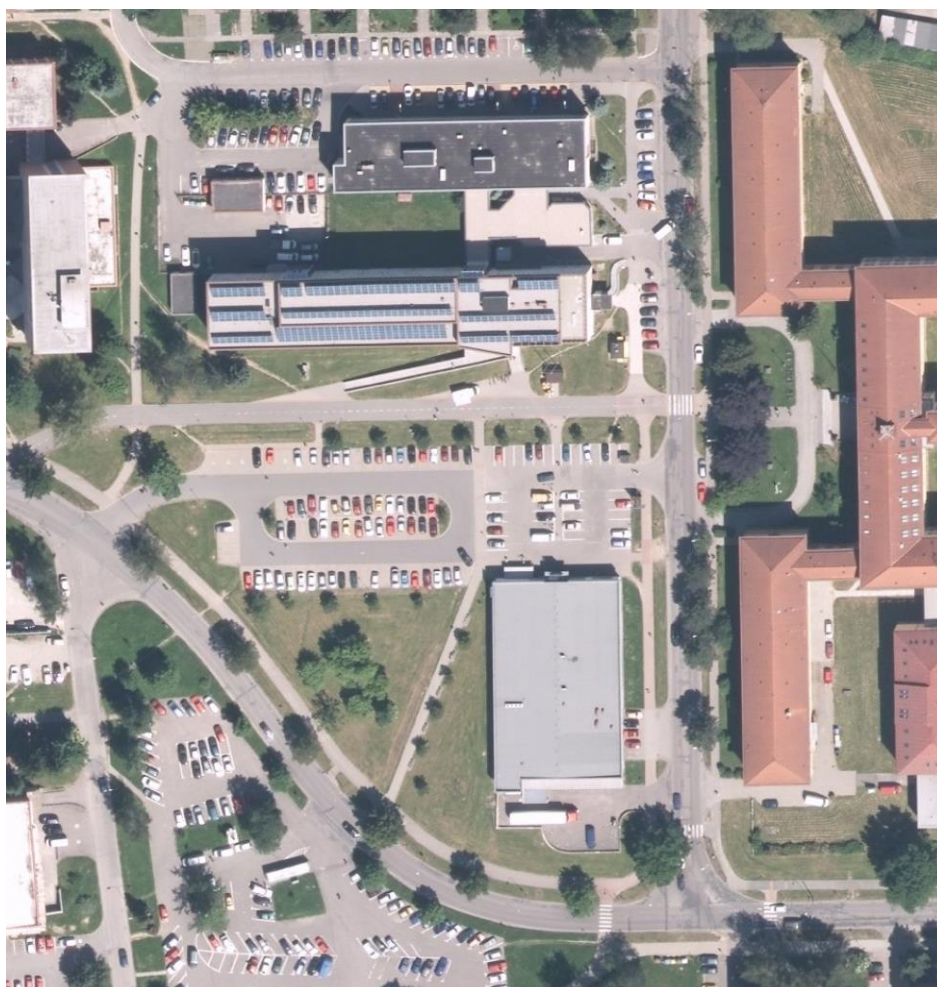
Obr. 16 Nastavení nástroje Select

4 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ

Kapitola je zaměřena na praktickou přípravu k měření osvětlenosti ve zvolené lokalitě. Podkapitoly popisují lokalitu, kde bude probíhat měření osvětlenosti, postup zatřídění pozemní komunikace do třídy osvětlení a měřicí přístroje využití při měření osvětlenosti. Další podkapitoly jsou věnovány souřadnicovému systému mapy a měřicí síti.

4.1 Lokalita pro měření osvětlení

Měření bude provedeno v městské části U průmyslové školy ve Žďáře nad Sázavou (obr. 17). Město se nachází 77 km severovýchodně od Brna v centrální oblasti Českomoravské vrchoviny na řece Sázavě. Lokalita byla zvolena z důvodů stížností místních obyvatel na nedostatečné osvětlení. V této oblasti se nachází poliklinika, supermarket Lidl, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Žďár nad Sázavou. Mapy, které budou použity k analýzám, jsou z internetových stránek <http://geoportal.cuzk.cz/>.



Obr. 17 Mapa měřené lokality

4.2 Zatřídění pozemní komunikace do třídy osvětlení

Každé pozemní komunikaci respektive relevantní oblasti, na které bude provedeno měření osvětlenosti, je nutné přiřadit třídu osvětlení dle normy ČSN EN 13 201 – 1. Relevantní oblast je uvažovaná část dopravního prostoru. Prvním krokem spočívá v přiřazení světelné skupiny pozemní komunikaci podle tab. 7. Druhým krokem je výběr třídy osvětlení pro vybranou skupinu světelných situací. Třída osvětlení je stanovena na základě geometrického uspořádání relevantní oblasti, dopravně a časově závislých charakteristik. Při výběru třídy osvětlení pro C1 světelnou skupinu je nutné použít tab. 9 a tab. 10. [6]

Tab. 9 Doporučený rozsah tříd [6]

Stavební opatření ke zklidnění dopravy	Riziko kriminality	Rozpoznání obličejů	Intenzita silničního provozu					
			Běžná			Velká		
			←	◦	→	←	◦	→
NE	Běžné	Není potřebné	S6	S5	S4	S5	S4	S3
		Potřebné	S5	S4	S3	S4	S3	S2
	Větší než běžné		S4	S3	S2	S3	S2	S1
ANO			S3	S2	S1	S3	S2	S1

Tab. 10 Doporučení pro výběr z rozsahu tříd osvětlení pro C1 [6]

Jas okolí		
Malý	Střední	Velký
←	◦	→

4.3 Měřicí přístroje

Při samotném měření jsme využili luxmetr a GPS přístroj. Oba dva přístroje jsou zapůjčeny ze školy.

Luxmetr Voltcraft LX – 1108

Tento typ luxmetru je využíván pro profesionální měření intenzity osvětlení, jelikož umožňuje změřit intenzitu osvětlení pro 4 různé světelné zdroje (sluneční světlo, světlo ze zářivek, sodíkových a rtuťových výbojek). Luxmetr je vybaven řadou funkcí. Funkce Data Hold umožňuje podržet naměřenou hodnotu na displeji přístroje. Funkce REC MAX/MIN

ukládá minimální a maximální hodnoty do vnitřní paměti. Funkce Peak-hold zobrazuje špičkové naměřené hodnoty. Luxmetr umožňuje změřit intenzitu osvětlení ve dvou jednotkách. Uživatel má volbu mezi jednotkou lux a foot-candle (stopová kandela = britská jednotka osvětlení). Technické parametry luxmetru jsou uvedeny v tab. 11. [3], [4]

Tab. 11 Základní parametry – Luxmetr Voltcraft LX – 1108 [4]

Rozměry	(Š x V x H) 68 x 200 x 30 mm
Přesnost	± 3 %
Napájení	Baterie 9 V
Rozlišení intenzity osvětlení	0,01 lx
Rozsah měření intenzity osvětlení	0 až 400 000
Hmotnost	280 g
Displej	3 ¼ - místní, LCD displej

GPSTMap 60CSx

Tato GPS (Global Positioning System) od Garminu obsahuje velice citlivý přijímač SiRF III, který je schopen přijímat signál z míst, kde jiné GPS signál nepřijímají. GPS přístroj je vybaven elektromagnetickým kompasem a barometrickým výškoměrem. Uživatel využívá mapy, které jsou nahrány na micro SD datovou kartu. Základní mapy pro Evropu, Afriku, Střední Asii jsou vloženy výrobcem. Přístroj je velice odolný proti vodě a vlhkosti. Přístrojem lze provést automatický výpočet trasy, což umožňuje vyhledání nejkratší a nejrychlejší trasy. Další parametry GPSTMap 60CSx jsou uvedeny v tab. 12. [9]

Tab. 12 Základní parametry – GPSTMap 60CSx [9]

Baterie – typ	2 x AA
Výdrž baterie	do 18 hod.
Typ displeje	Barevný TFT
Počet barev	256
Rozlišení displeje	160 x 240 pix
Displej uhlopříčka, vel. š. x v.	3.8 x 5.6 cm
Hmotnost	213 g
Rozměry zařízení, ŠxVxH	6.1 x 15.5 x 3.3 cm
Senzor	Fotodioda s filtrem
Světelné spektrum	470 až 690 nm

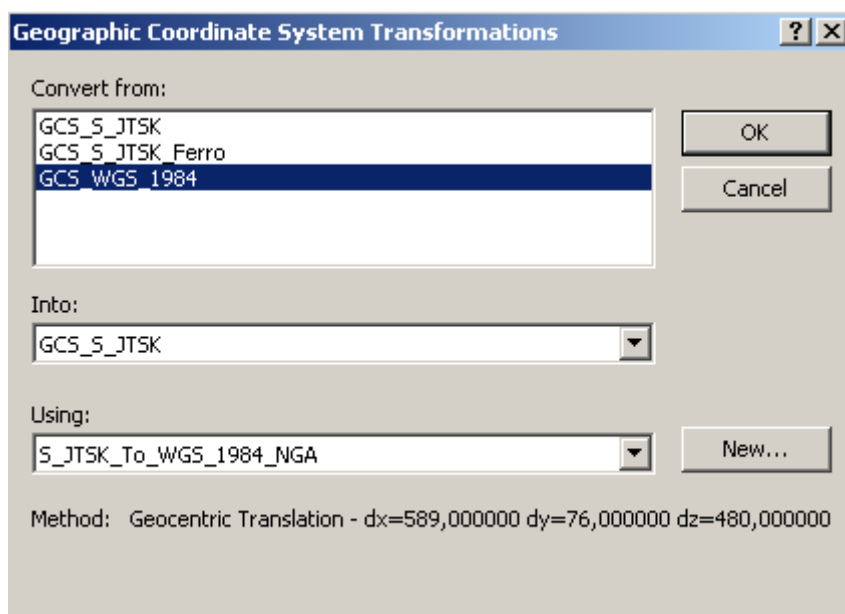
4.4 Souřadnicový systém

Před začátkem měření osvětlenosti bylo nutné pomocí GPSMAP 60CSx změřit přesné pozice lamp veřejného osvětlení v měřené lokalitě. Mapa zobrazující pozice lamp veřejného osvětlení je znázorněna na obr. 18.



Obr. 18 Mapa veřejného osvětlení

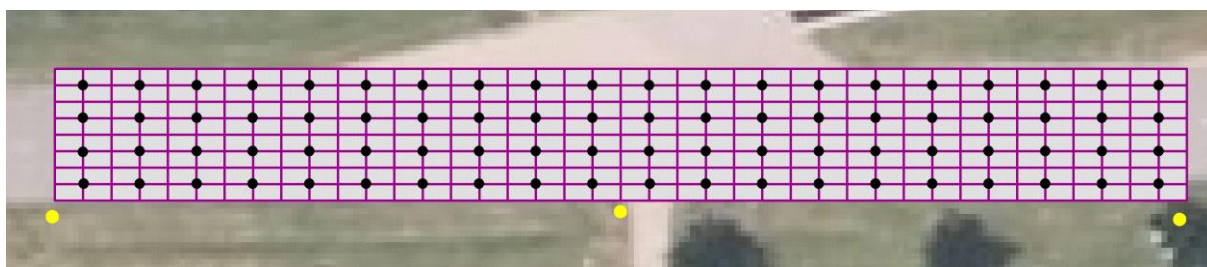
Naměřená GPS data byla v jiném souřadnicovém systému než poskytnutá mapa, proto bylo nutné naměřená data transformovat. Poskytnutá mapa byla v souřadnicovém systému S_JTSK. GPSMAP 60CSx tento formát souřadnicového systému nepodporuje a kdyby nebyla provedena transformace naměřených dat, došlo by k velkému zkreslení. GPS od Garminu využívají souřadnicový systém WGS_1984. Okno pro transformaci souřadnicového systému zobrazuje obr. 19.



Obr. 19 Transformace souřadnicového systému

4.5 Měřicí síť

Osvětlenost každé relevantní oblasti je měřena v několika kontrolních bodech. Pro každou relevantní oblast byla navržena síť kontrolních bodů podle normy ČSN EN 13 201-3. Umístění jednotlivých kontrolních bodů závisí na šířce vozovky a vzdálenosti mezi lampami veřejného osvětlení. K měření vzdáleností bylo využito padesátimetrové pásmo. Ze zmíněných vzdáleností byly vypočítány jednotlivé pozice kontrolních bodů v měřicí síti pro všechny relevantní oblasti. Před samotným měřením byly pozice jednotlivých kontrolních bodů vyznačeny křídou na povrch komunikace. Měřicí síť byla navržena v ArcView GIS prostřednictvím nástroje **Create Fishnet**. Síť kontrolních bodů je zobrazena na obr. 20.



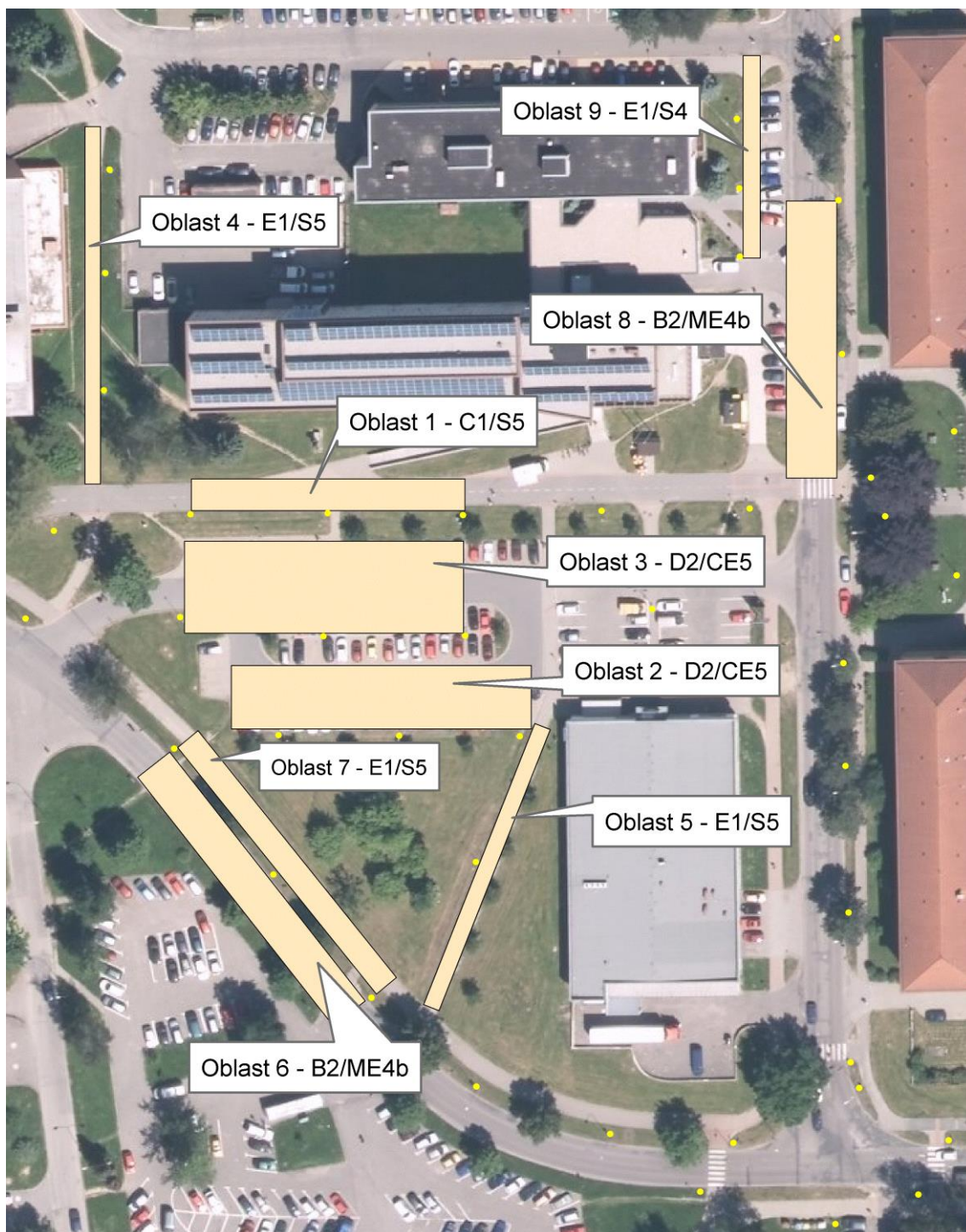
Obr. 20 Síť kontrolních bodů

5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Následující kapitola je zaměřena na praktické měření osvětlenosti ve zvolených oblastech a na analýzu naměřených hodnot prostřednictvím programu ArcView GIS. V podkapitolách jsou popsány jednotlivé oblasti a srovnány naměřené hodnoty osvětlenosti s hygienickými limity normy ČSN EN 13 201.

5.1 Rozsah měření

Měření osvětlení probíhalo v období od 1. 2. 2016 do 13. 2. 2016. Před samotným měřením byla zjištěna teplota vzduchu, která se pohybovala v rozsahu od 5 °C do 7 °C. Počasí, které panovalo v průběhu měření, neovlivnilo výsledky samotného měření. V nočních hodinách panovalo bezvětří a v okolí zvolené lokality se nevyskytovala žádná sněhová pokrývka. Veřejné osvětlení bylo zapínáno přibližně v 17:25 SEČ. Před začátkem měření byl luxmetr ponechán 10 minut v lokalitě, kde probíhalo měření. Během této doby bylo provedeno kontrolní měření osvětlenosti. Měření bylo vždy zahájeno v 18:30 přibližně hodinu po zapnutí veřejného osvětlení. Měření vodorovné osvětlenosti bylo provedeno pro devět relevantních oblastí. Jednotlivým relevantním oblastem byla přiřazena třída osvětlení na základě normy ČSN CEN/TR 13 201-1. Při měření byl na luxmetru nastaven režim pro měření sodíkových výbojek. Naměřené hodnoty osvětlenosti byly členem rodiny zaznamenány do připravené tabulky. Celkem bylo změřeno 1043 hodnot. Na obr. 21 je zobrazena mapa s vyznačenými relevantními oblastmi. K jednotlivým relevantním oblastem je přiřazena třída osvětlení (skupina světelných situací/ třída osvětlení).

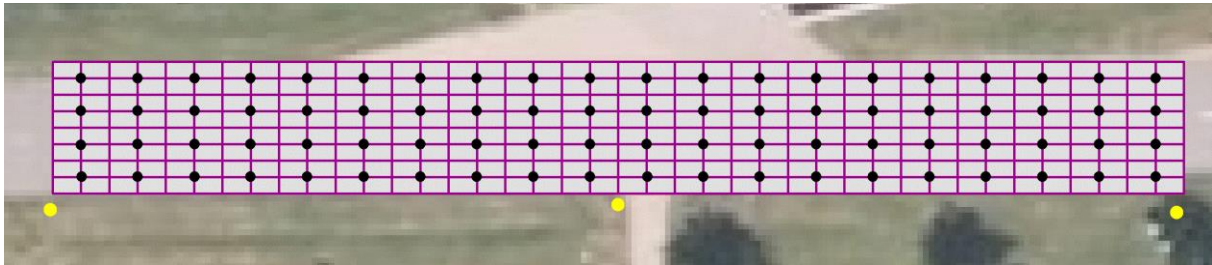


Obr. 21 Mapa zvolené lokality – vyznačené relevantní oblasti

5.2 Analýzy jednotlivých oblastí

Oblast 1 je cyklostezka před poliklinikou. Povolenými uživateli jsou cyklisté a chodci. Oblast byla zařazena do třídy osvětlení C1/S5. Šířka komunikace je 5 m a vzdálenost mezi lampami veřejného osvětlení je 26 m. Mezi dvěma lampami veřejného osvětlení byla navržena měřicí síť čítající 40 bodů. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřicími body 2,6 m

a v příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 1,25 m. Pro danou oblast bylo změřeno 80 hodnot. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 1,59 lx po 7,78 lx. Obr. 22 zobrazuje měřicí síť oblasti a obr. 23 ukazuje naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 24 a výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 25.



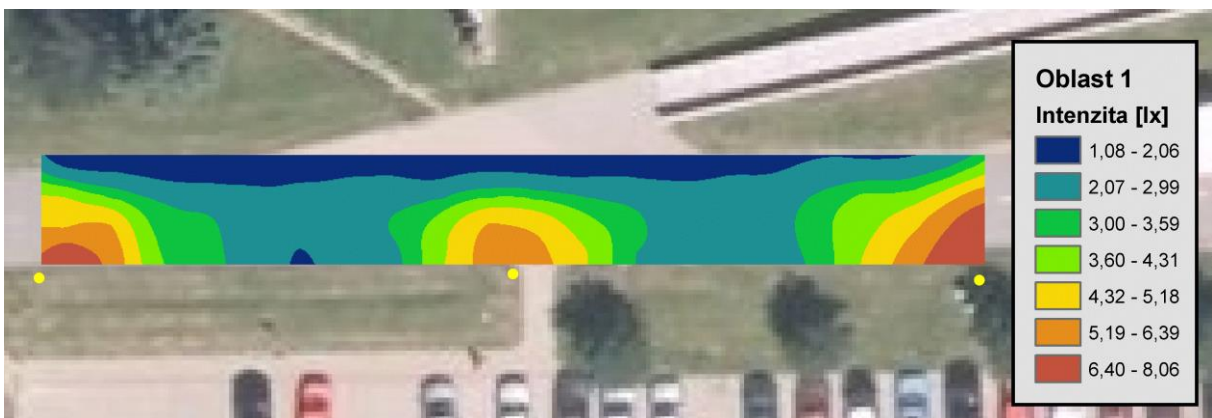
Obr. 22 Oblast 1 – měřicí síť



Obr. 23 Oblast 1 – naměřené hodnoty osvětlenosti



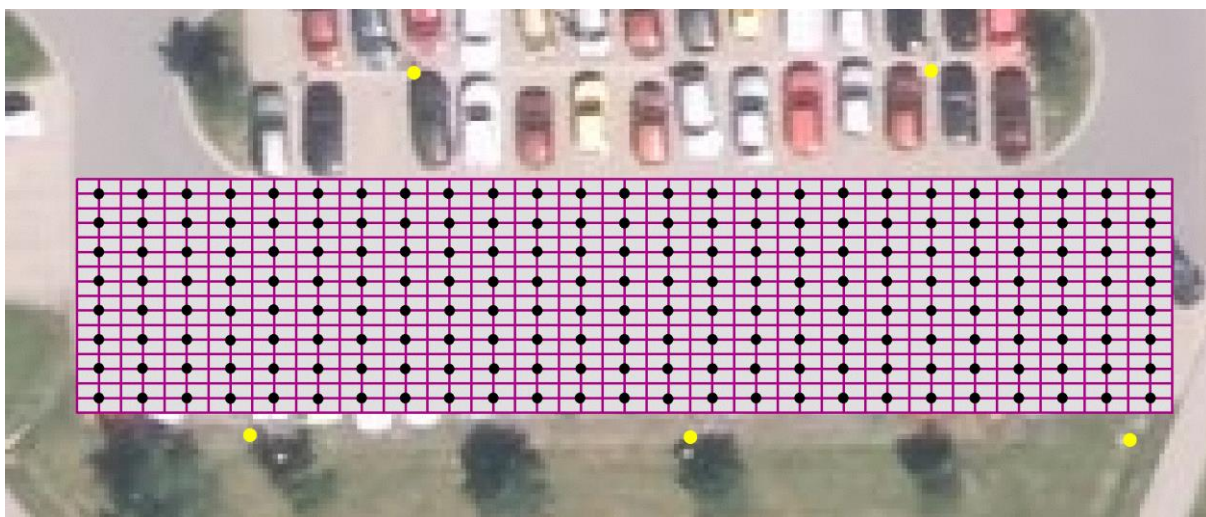
Obr. 24 Oblast 1 – Graduated colors



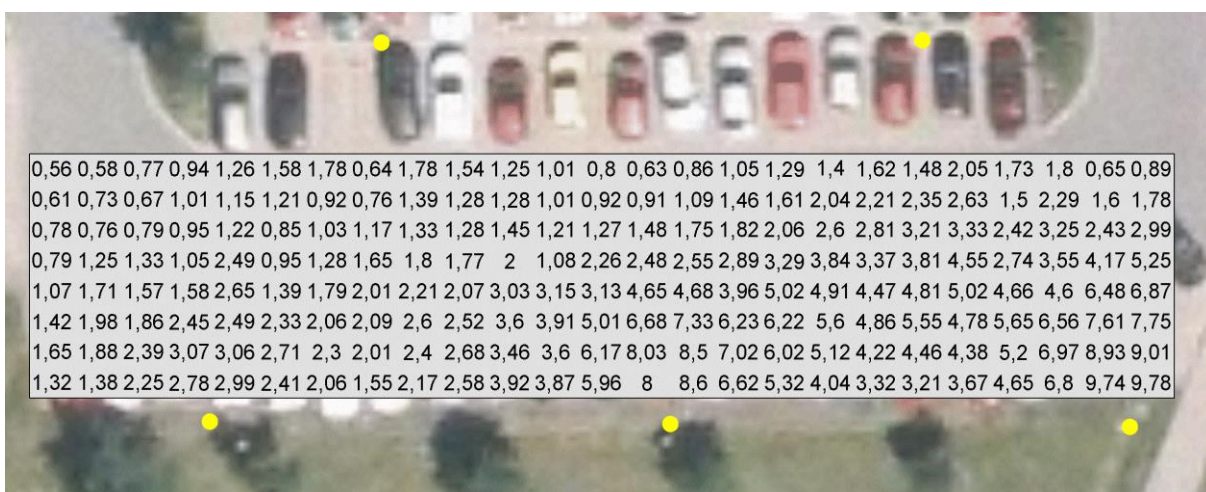
Obr. 25 Oblast 1 – Spline with barriers

Oblast 2 je silniční komunikace s parkovištěm vedle obchodního domu Lidl. Hlavními uživateli komunikace jsou motorová vozidla a chodci. Povolenými uživateli jsou cyklisté a velmi pomalá vozidla. Oblast byla zařazena do třídy osvětlení D2/CE5. Šířka relevantní oblasti je 11,5 m a vzdálenost mezi lampami veřejného osvětlení je 22 m. Mezi dvěma lampami veřejného osvětlení byla navržena měřicí síť čítající 80 bodů. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřícími body 2,2 m a v příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 1,44 m. Pro danou oblast bylo změřeno 200 hodnot. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 0,56 lx po 9,78 lx. Obr. 26 zobrazuje měřicí síť oblasti a obr. 27 ukazuje naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech.

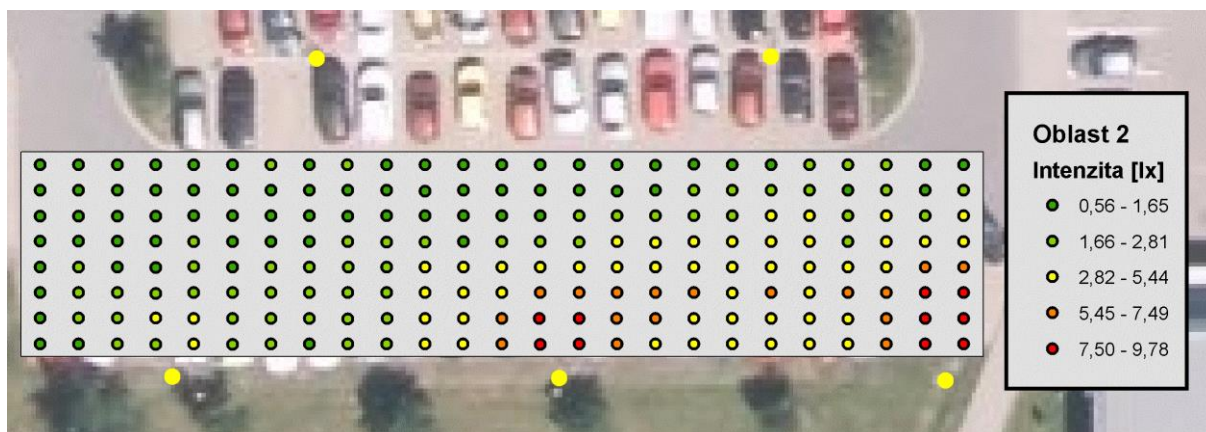
Naměřené hodnoty osvětlenosti ovlivnila skutečnost, že jedna lampa veřejného osvětlení svítila velmi slabě. Další skutečnost, která ovlivnila neměřené hodnoty, jsou lampy veřejného osvětlení nacházející se ve středu parkoviště. Tyto lampy veřejného osvětlení osvětlovaly a současně vrhaly stín na určité části relevantní oblasti. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 28 a výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 29.



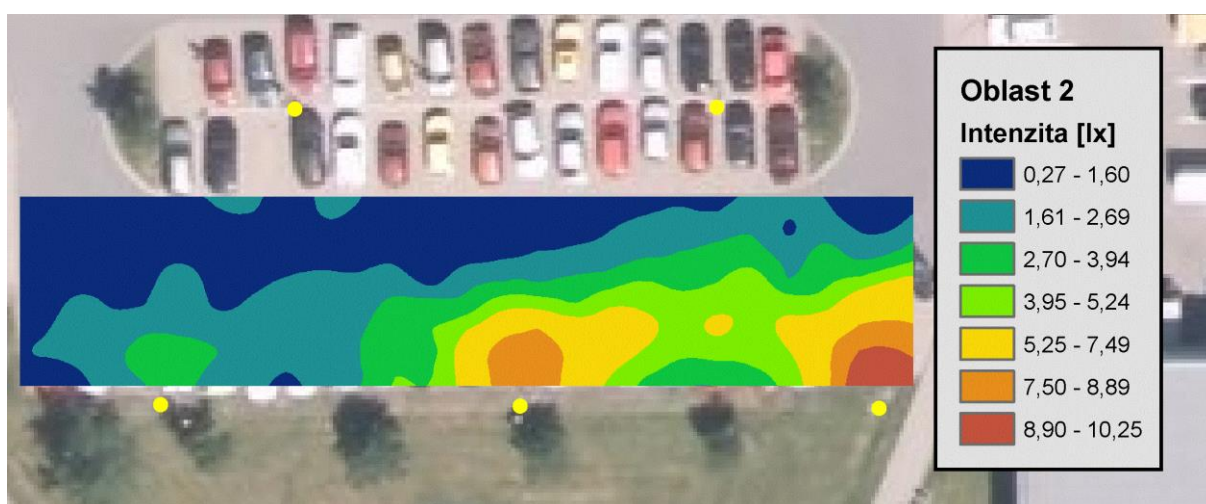
Obr. 26 Oblast 2 – měřicí síť



Obr. 27 Oblast 2 – naměřené hodnoty osvětlenosti

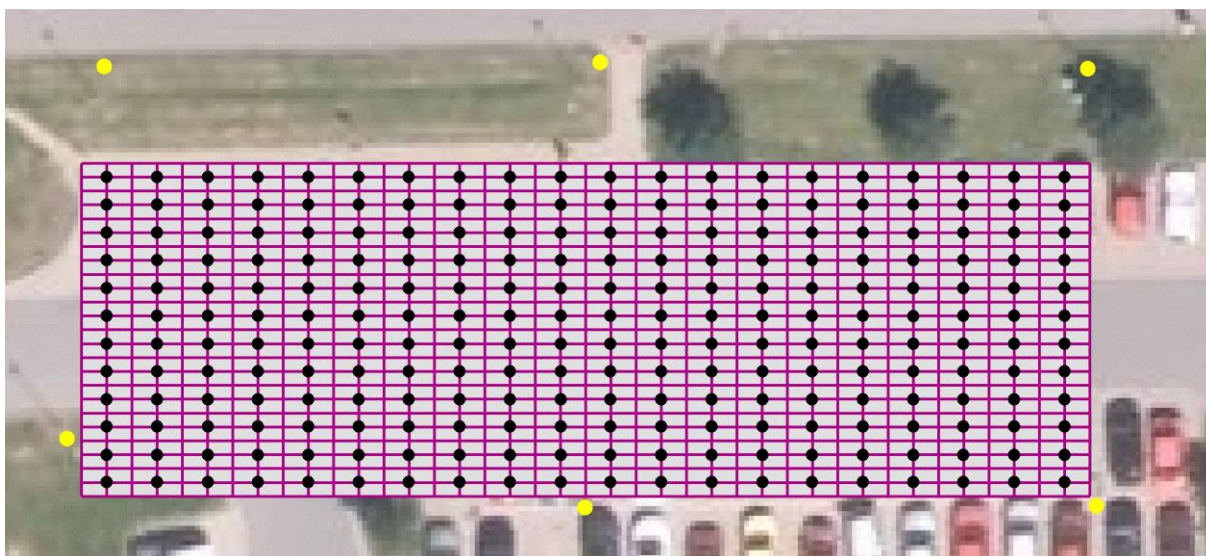


Obr. 28 Oblast 2 – Graduated colors

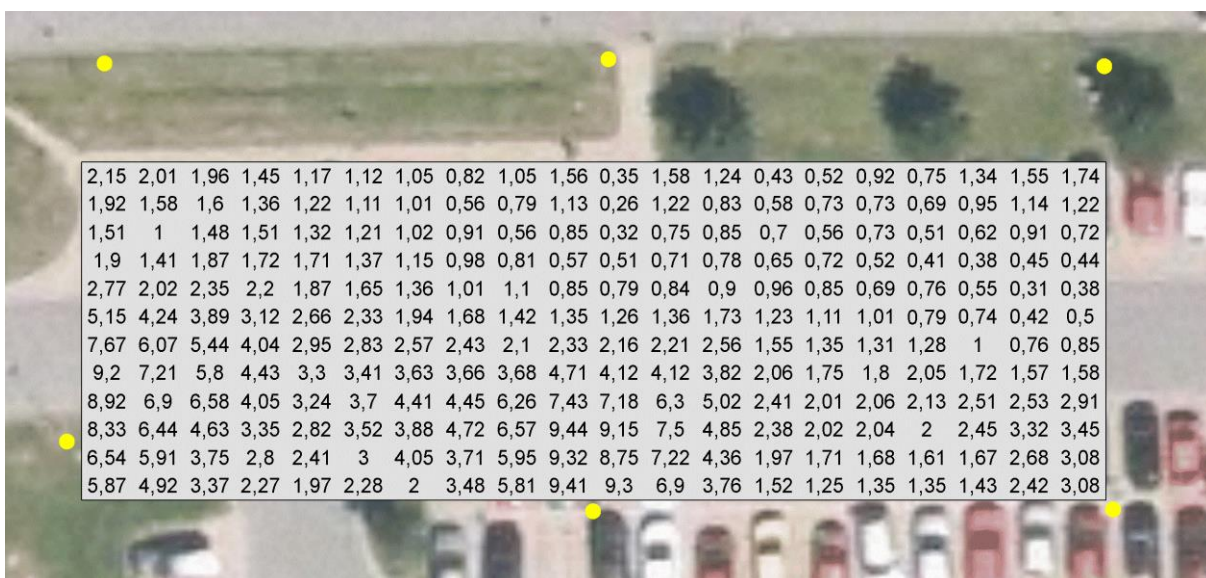


Obr. 29 Oblast 2 – Spline with barriers

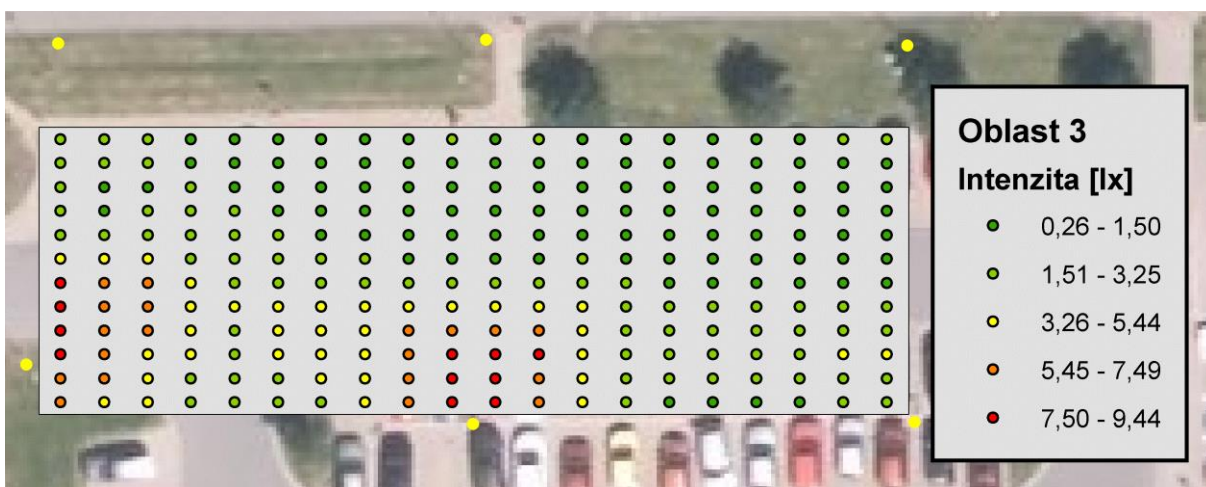
Oblast 3 je obdobná s oblastí 2. Oblast 3 se nachází na druhé straně parkoviště před poliklinikou a byla také zařazena do třídy osvětlení D2/CE5. Šířka relevantní oblasti je 17 m a vzdálenost mezi lampami veřejného osvětlení je 27 m. Mezi dvěma lampami veřejného osvětlení byla navržena měřicí síť čítající 120 bodů. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřicími body 2,7 m a v příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 1,42 m. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 0,26 lx po 9,44 lx. Naměřené hodnoty osvětlenosti byly ovlivněny lampami veřejného osvětlení přiléhající k cyklostezce. Pro danou oblast bylo změřeno 240 hodnot. Obr. 30 zobrazuje měřicí síť oblasti a obr. 31 ukazuje naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 32 a výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 33.



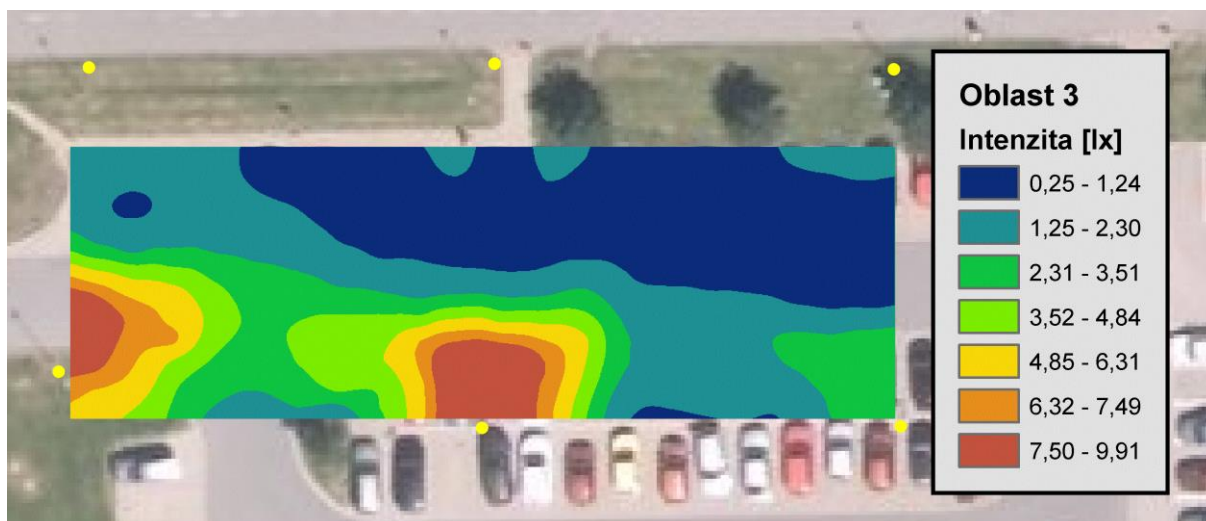
Obr. 30 Oblast 3 – měřicí síť



Obr. 31 Oblast 3 – naměřené hodnoty osvětlenosti



Obr. 32 Oblast 3 – Graduated colors



Obr. 33 Oblast 3 – Spline with barriers

Oblast 4 je chodník směřující do sídliště. Hlavním a jediným povoleným uživatelem jsou chodci. Oblast byla zařazena do třídy osvětlení E1/S5. Šířka relevantní oblasti je 2,5 m a vzdálenost mezi lampami veřejného osvětlení není v oblasti 4 jednotná. Z tohoto důvodu byla oblast 4 rozdělena na podoblasti 4a a 4b. Délka podoblasti 4a je 28 m a délka podoblasti 4b je 39,6 m. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřicími body 2 m (4a) respektive 2,2 m (4b) a v příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 1,42 m. Pro danou oblast bylo změřeno 96 hodnot. Obr. 34 a obr. 35 zobrazují měřicí sítě. Obr. 36 a obr. 37 ukazují naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 38 a na obr. 39. Výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 40 a na obr. 41.



Obr. 34 Oblast 4a – měřicí síť



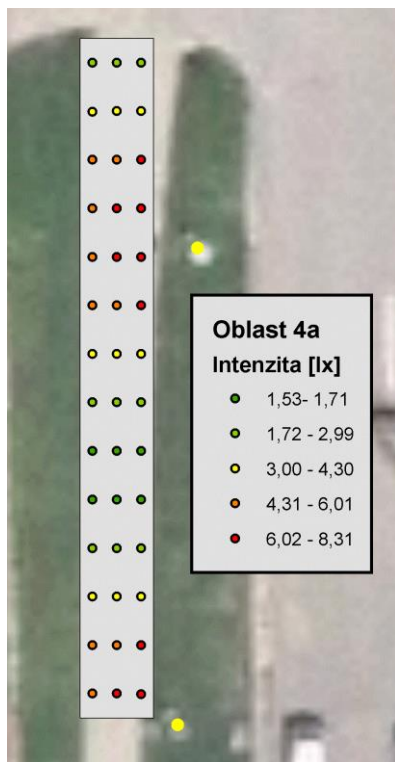
Obr. 35 Oblast 4b – měřicí síť



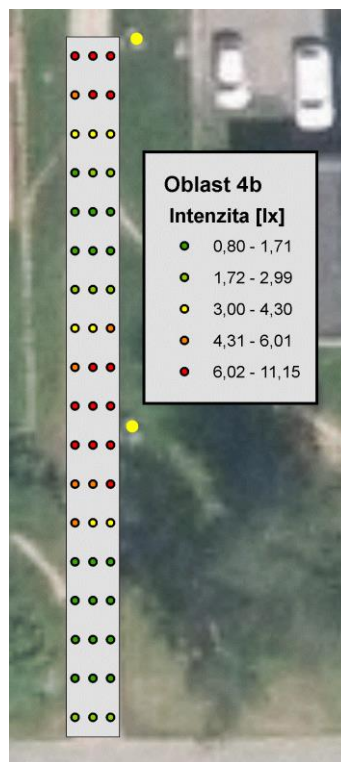
Obr. 36 Oblast 4a – naměřené hodnoty osvětlenosti



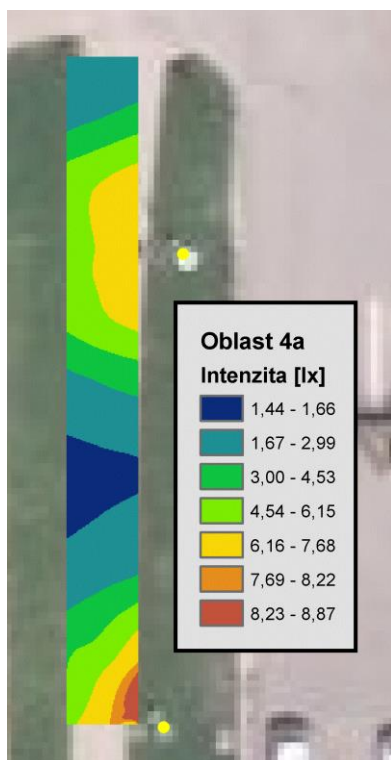
Obr. 37 Oblast 4b – naměřené hodnoty osvětlenosti



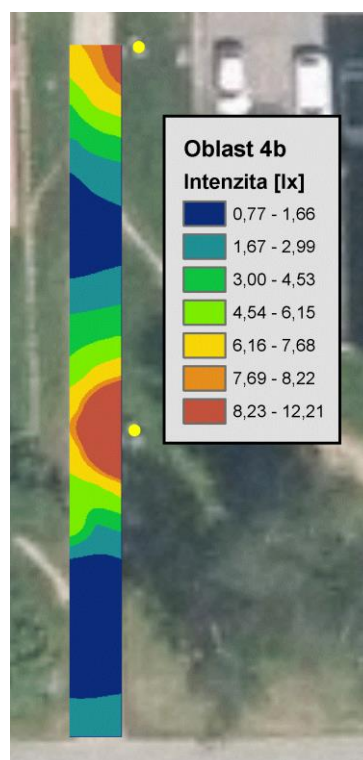
Obr. 38 Oblast 4a – Graduated colors



Obr. 39 Oblast 4b – Graduated colors



Obr. 40 Oblast 4a – Spline with barriers

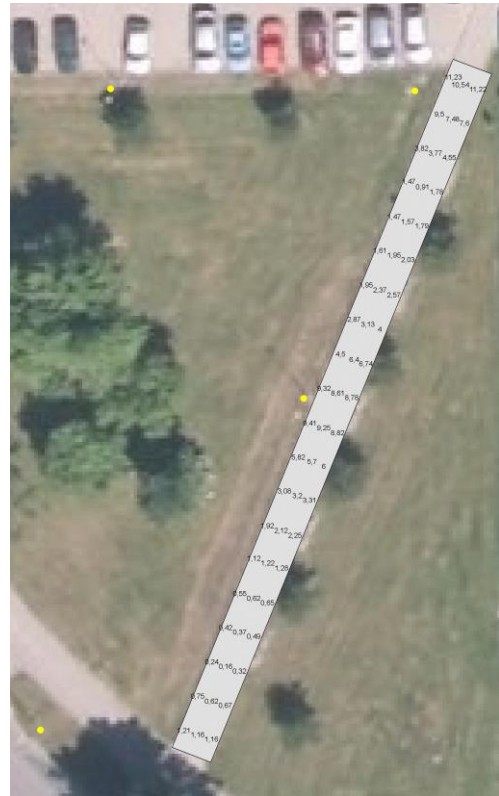


Obr. 41 Oblast 4b – Spline with barriers with barriers

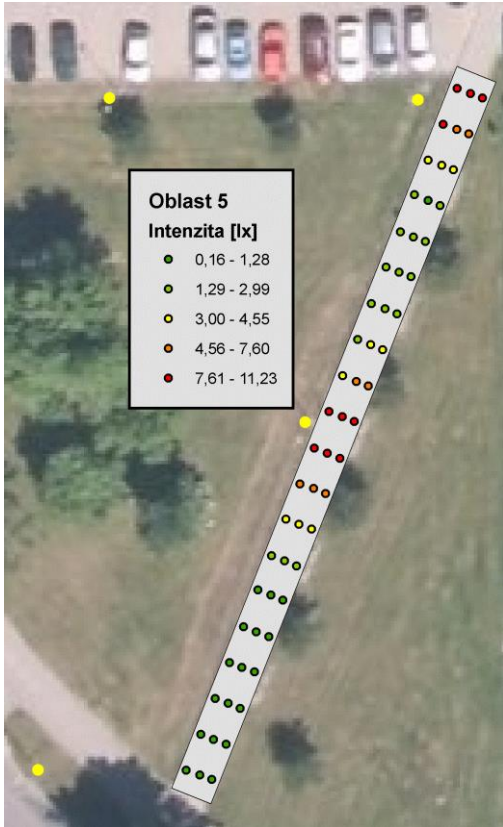
Oblast 5 je chodník směřující k obchodnímu domu Lidl. Hlavním a jediným povoleným uživatelem jsou chodci. Oblast byla zařazena do třídy osvětlení E1/S5. Šířka relevantní oblasti je 2,3 m. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřícími body 2,8 m a v příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 0,77 m. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 0,16 lx po 11,23 lx. V oblasti se nachází pouze jediná lampa veřejného osvětlení orientovaná k chodníku. Zbylé dvě lampy veřejného osvětlení v oblasti jsou orientované jinými směry z důvodu osvětlení jiných oblastí. Celkem bylo změřeno 60 bodů. Naměřené hodnoty ovlivnily stíny vrhající přilehlé stromy. Obr. 42 zobrazuje měřicí síť oblasti a obr. 43 ukazuje naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 44 a výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 45.



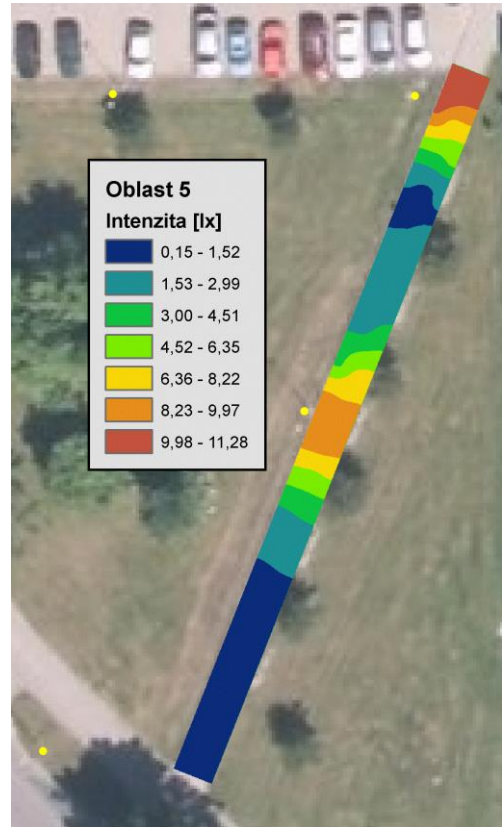
Obr. 42 Oblast 5 – měřicí síť



Obr. 43 Oblast 5 – naměřené hodnoty osvětlenosti

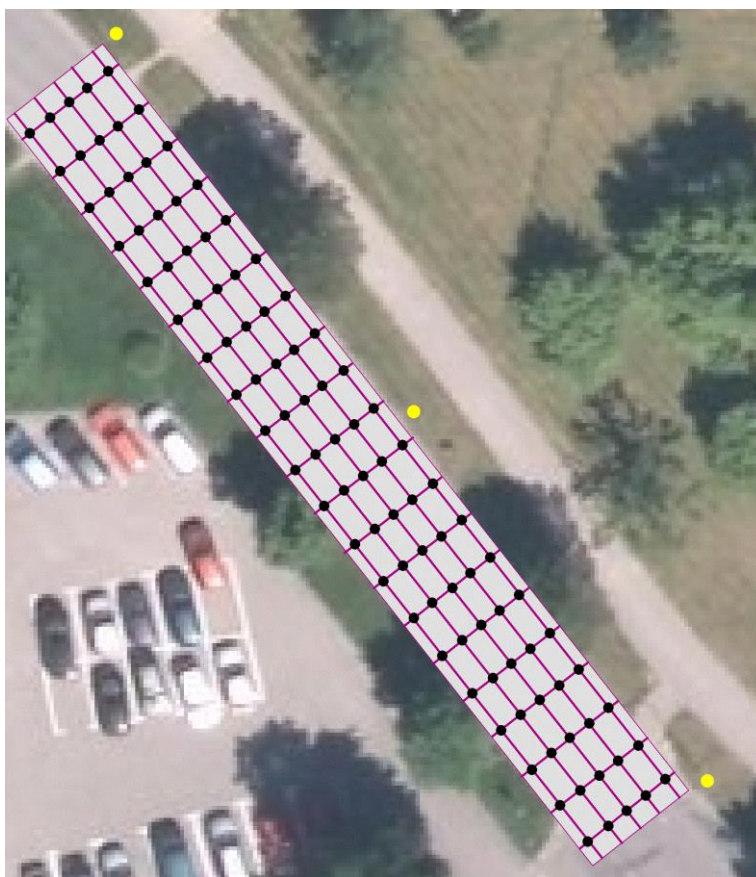


Obr. 44 Oblast 5 – Graduated colors

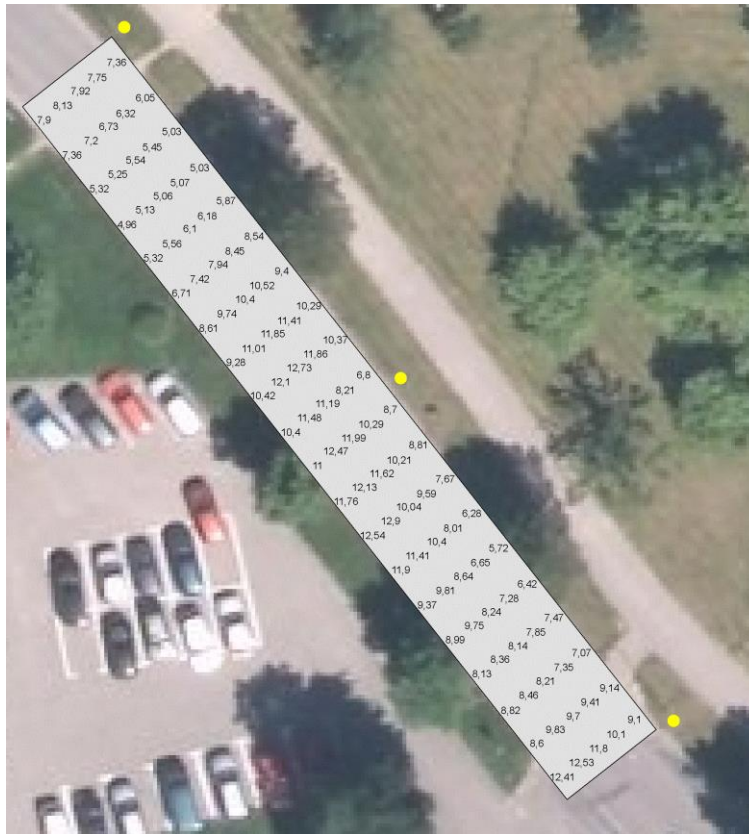


Obr. 45 Oblast 5 – Spline with barriers

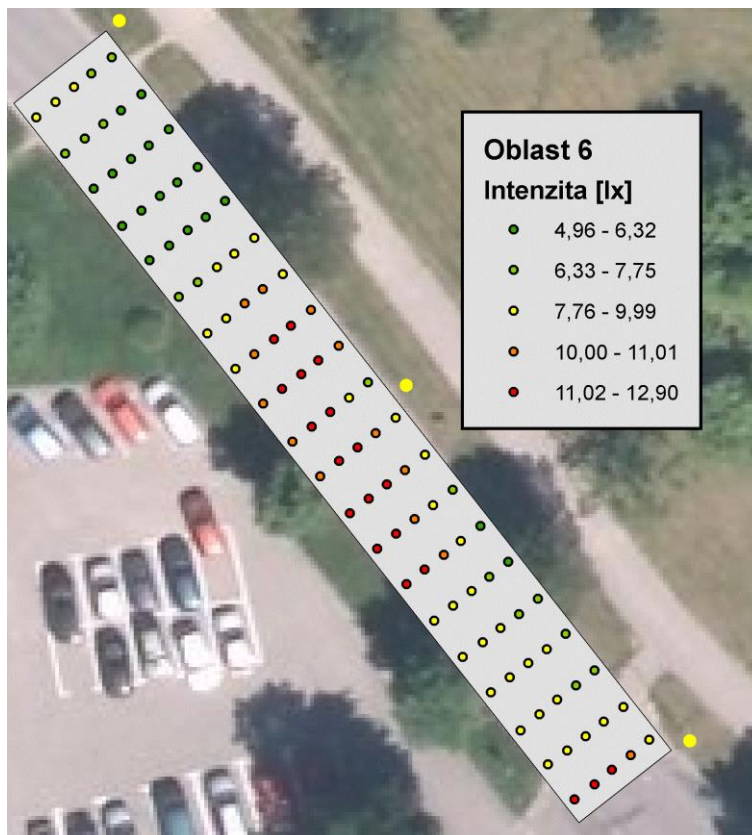
Oblast 6 je hlavní silniční komunikace protínající sídliště U průmyslové školy. Hlavními uživateli komunikace jsou motorová vozidla, cyklisté a velmi pomalá vozidla. Oblast je zařazena do třídy osvětlení B2/ME4b. Šířka relevantní oblasti je 7 m a vzdálenost mezi lampami veřejného osvětlení je 30 m. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřicími body 3 m a v příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 1,4 m. Mezi dvěma lampami veřejného osvětlení byla navržena měřicí síť čítající 50 bodů. Celkem bylo změřeno 100 hodnot. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 4,96 lx po 12,90 lx. Naměřené hodnoty osvětlenosti ovlivnily přilehlé stromy, které vrhají stíny na silniční komunikaci. Obr. 46 zobrazuje měřicí síť oblasti a obr. 47 ukazuje naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 48 a výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 49.



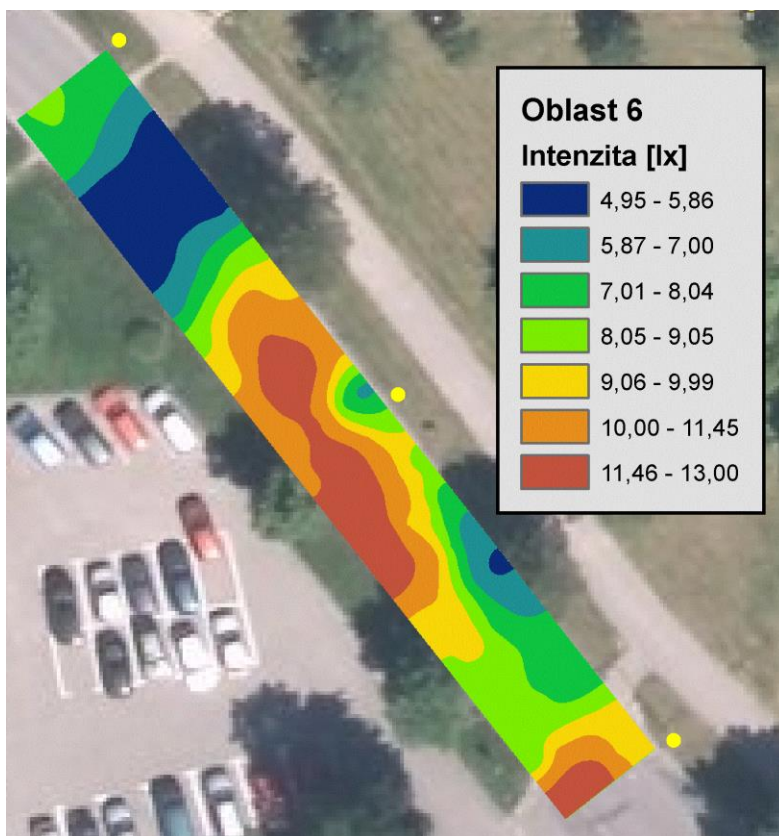
Obr. 46 Oblast 6 – měřicí síť



Obr. 47 Oblast 6 – naměření hodnoty osvětlenosti

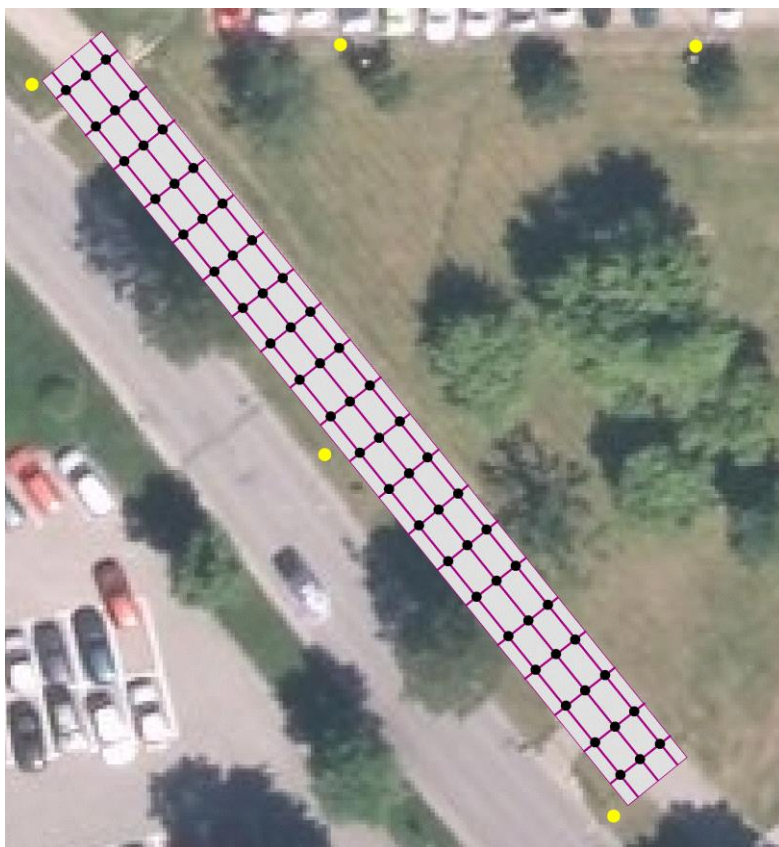


Obr. 48 Oblast 6 – Graduated colors

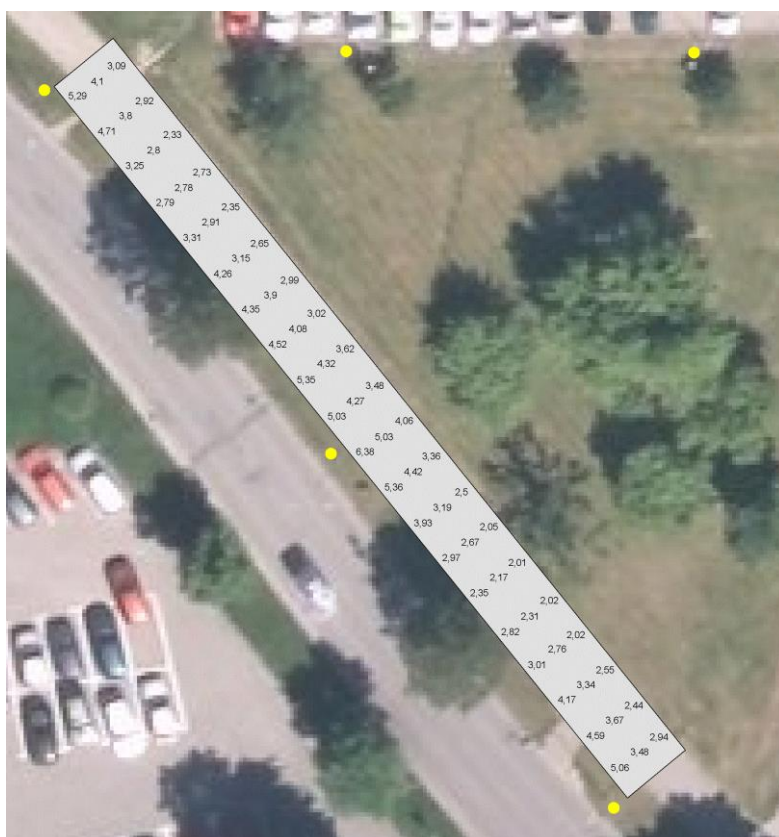


Obr. 49 Oblast 6 – Spline with barriers

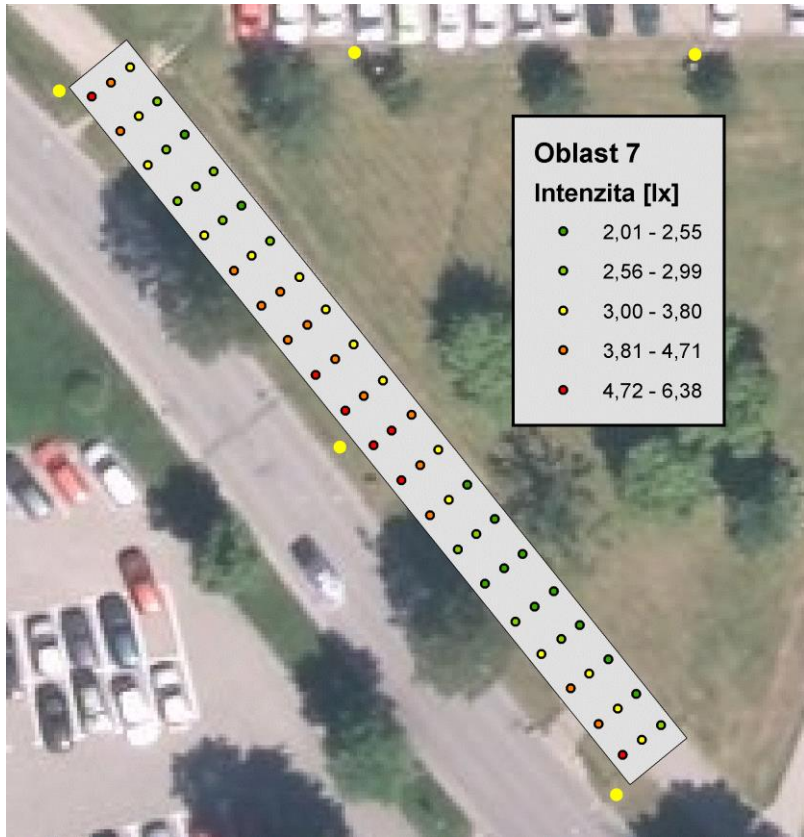
Oblast 7 je chodník přilehlý k silniční komunikaci (oblast 6). Chodník není možné hodnotit s přilehlou komunikací, protože to stanovuje norma ČSN 13201. Hlavním uživatelem jsou chodci. Chodci jsou také jediným povoleným uživatelem. Oblast byla zařazena do třídy osvětlení E1/S5. Šířka komunikace je 3,4 m a vzdálenost mezi lampami veřejného osvětlení je 30 m. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřícími body 3 m a v příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 1,13 m. Mezi dvěma lampami veřejného osvětlení byla navržena měřící síť čítající 30 bodů. Celkem bylo změřeno 60 hodnot. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 2,01 lx po 6,38 lx. Naměřené hodnoty osvětlenosti ovlivnily přilehlé stromy, které vrhají stíny na komunikaci. Obr. 50 zobrazuje měřící síť oblasti a obr. 51 ukazuje naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 52 a výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 53.



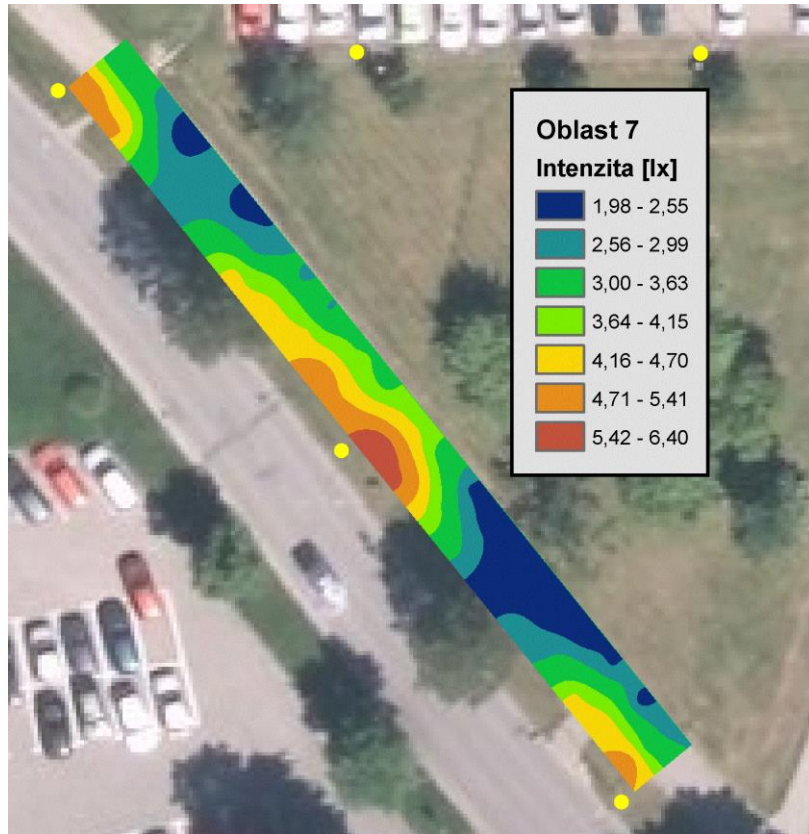
Obr. 50 Oblast 7 – měřicí síť



Obr. 51 Oblast 7 – naměřené hodnoty osvětlenosti

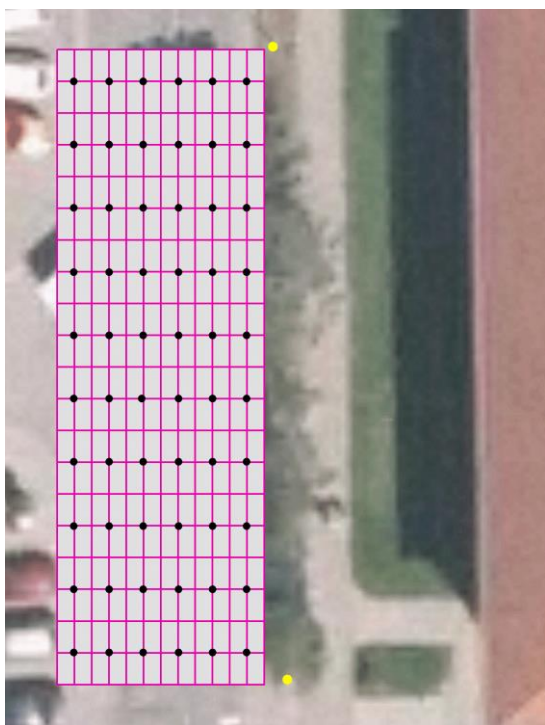


Obr. 52 Oblast 7 – Graduated colors

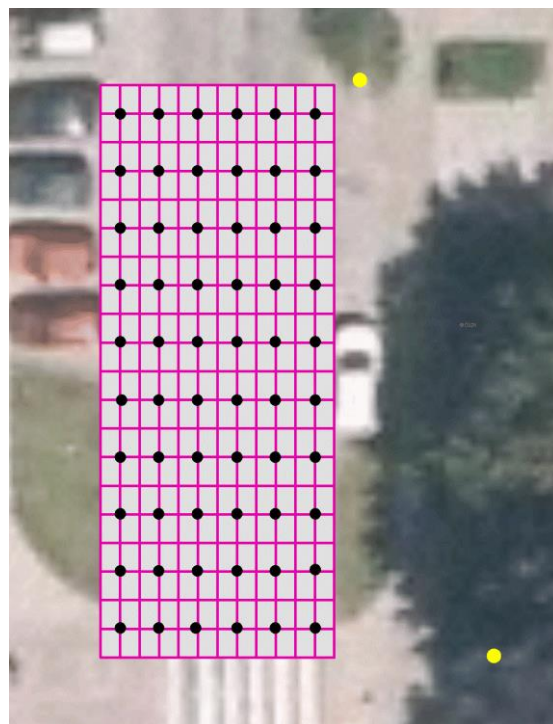


Obr. 53 Oblast 7 – Spline with barriers

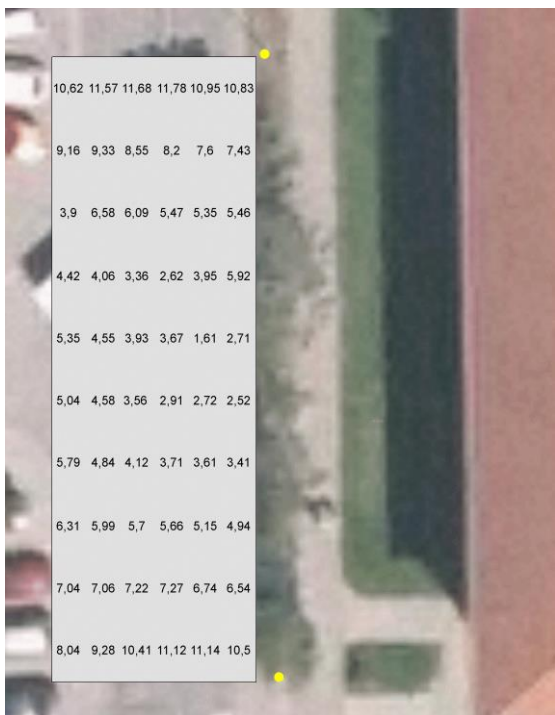
Oblast 8 je silniční komunikace před Vyšší odbornou školou a Střední průmyslovou školou. Hlavními uživateli komunikace jsou motorová vozidla, cyklisté a velmi pomalá vozidla. Oblast je zařazena do třídy osvětlení B2/ME4b. Šířka relevantní oblasti je 8 m a vzdálenost mezi lampami veřejného osvětlení není v oblasti 8 jednotná. Z tohoto důvodu byla oblast 8 rozdělena na podoblasti 8a a 8b. Délka podoblasti 8a je 28 m a délka podoblasti 8b je 26 m. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřicími body 2,8 m pro podoblast 8a a 2,6 m pro podoblast 8b. V příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 1,33 m. Celkem bylo změřeno 120 hodnot. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 1,61 lx po 13,47 lx. Naměřené hodnoty byly ovlivněny stíny vrhající přilehlé stromy. Obr. 54 a obr. 55 zobrazují měřicí sítě podoblastí. Obr. 56 a obr. 57 ukazují naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 58 a obr. 59. Výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 60 a na obr. 61.



Obr. 54 Oblast 8a – měřicí síť



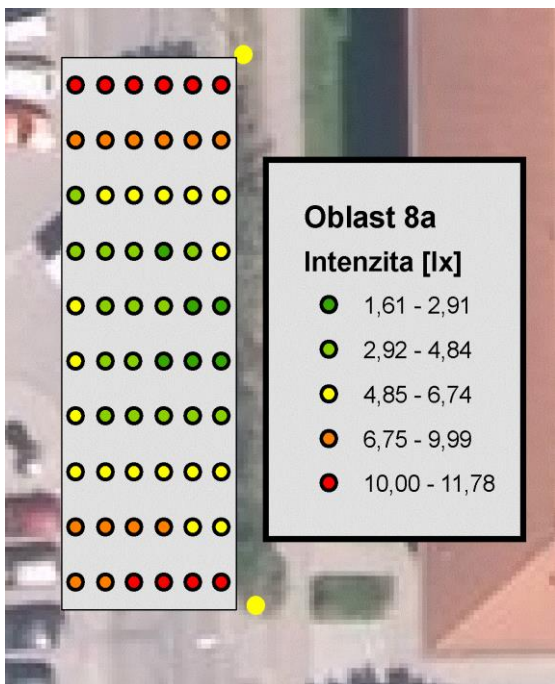
Obr. 55 Oblast 8b – měřicí síť



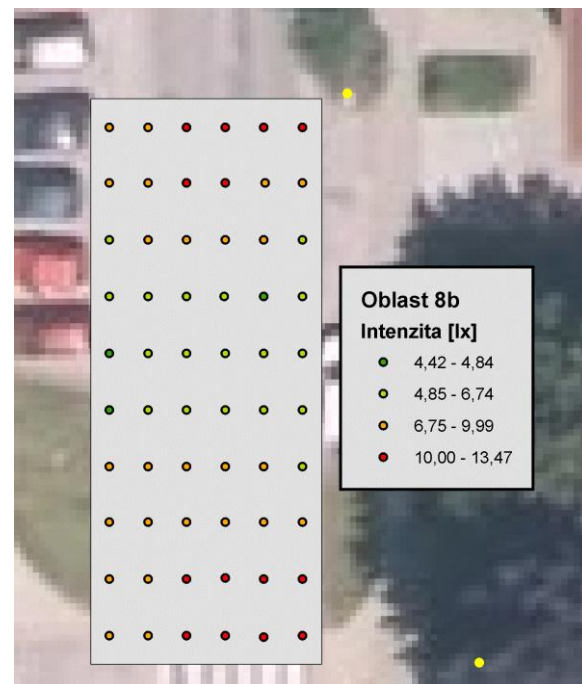
Obr. 56 Oblast 8a – naměřené hodnoty osvětlenosti



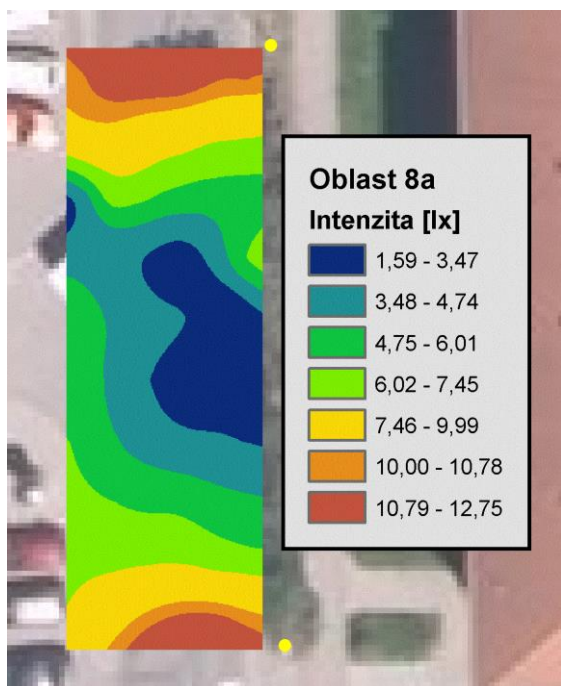
Obr. 57 Oblast 8b – naměřené hodnoty osvětlenosti



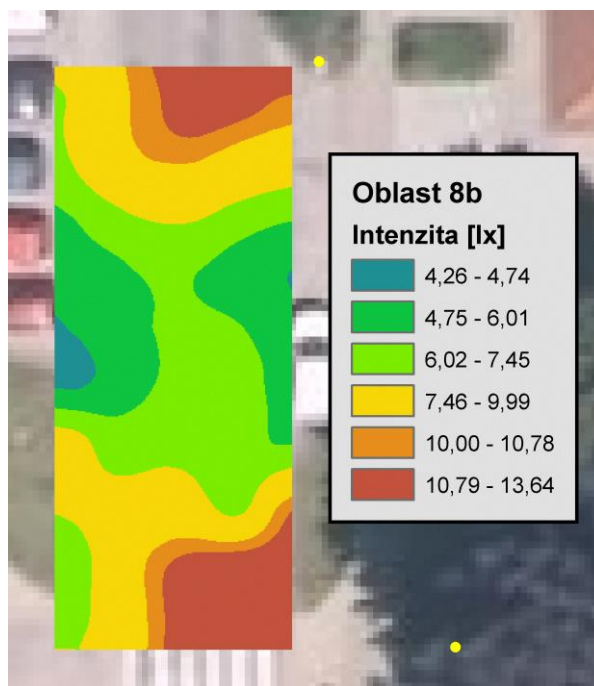
Obr. 58 Oblast 8a – Graduated colors



Obr. 59 Oblast 8b – Graduated colors



Obr. 60 Oblast 8a – Spline with barriers



Obr. 61 Oblast 8b – Spline with barriers

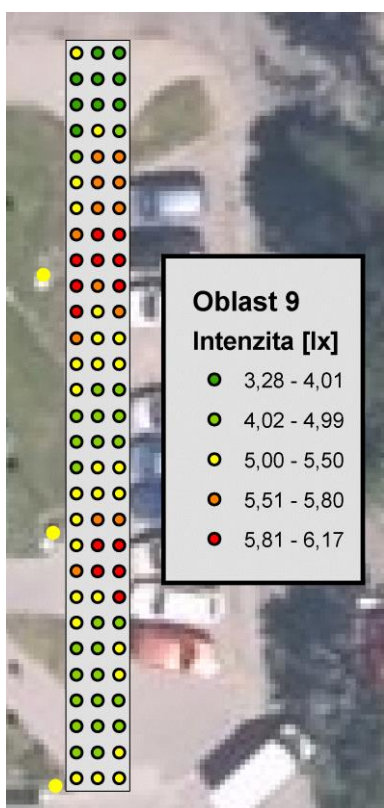
Oblast 9 je chodník před hlavním vchodem polikliniky. Hlavním a jediným povoleným uživatelem jsou chodci. Oblast byla zařazena do třídy osvětlení E1/S4. Šířka komunikace je 3 m a vzdálenost mezi lampami veřejného osvětlení je 13 m. V podélném směru byla vzdálenost mezi měřícími body 1,3 m a v příčném směru byly jednotlivé body vzdáleny 1 m. Mezi dvěma lampami veřejného osvětlení byla navržena měřící síť čítající 30 bodů. Celkem bylo změřeno 87 hodnot. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 3,28 lx po 6,17 lx. Obr. 62 zobrazuje měřící síť oblasti a obr. 63 ukazuje naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech. Analýza Graduated colors je zobrazena na obr. 64 a výsledek analýzy Spline with Barriers je znázorněn na obr. 65.



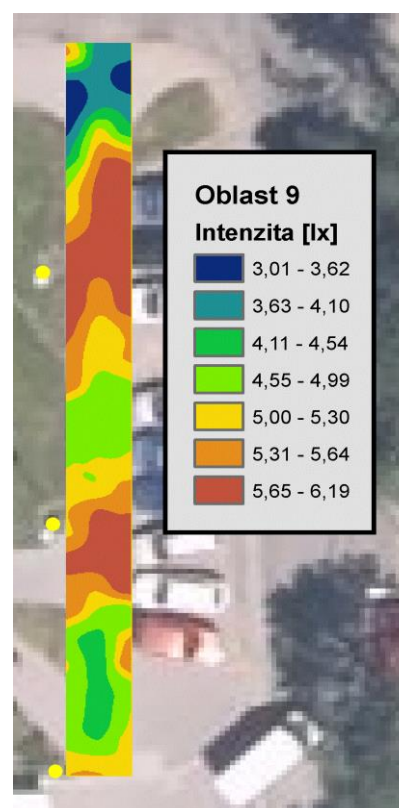
Obr. 62 Oblast 9 – měřicí síť



Obr. 63 Oblast 9 – naměřené hodnoty osvětlenosti

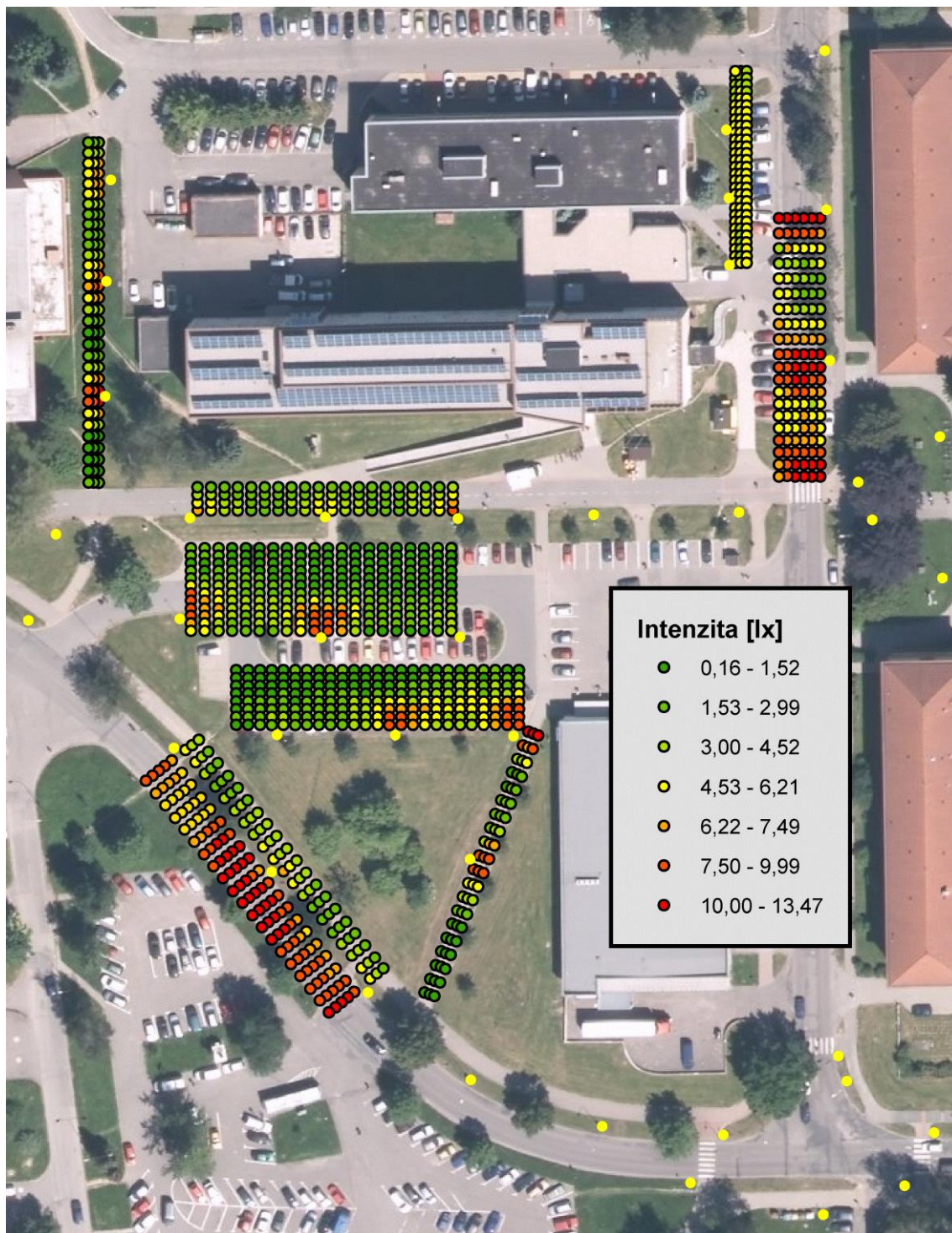


Obr. 64 Oblast 9 – Graduated colors

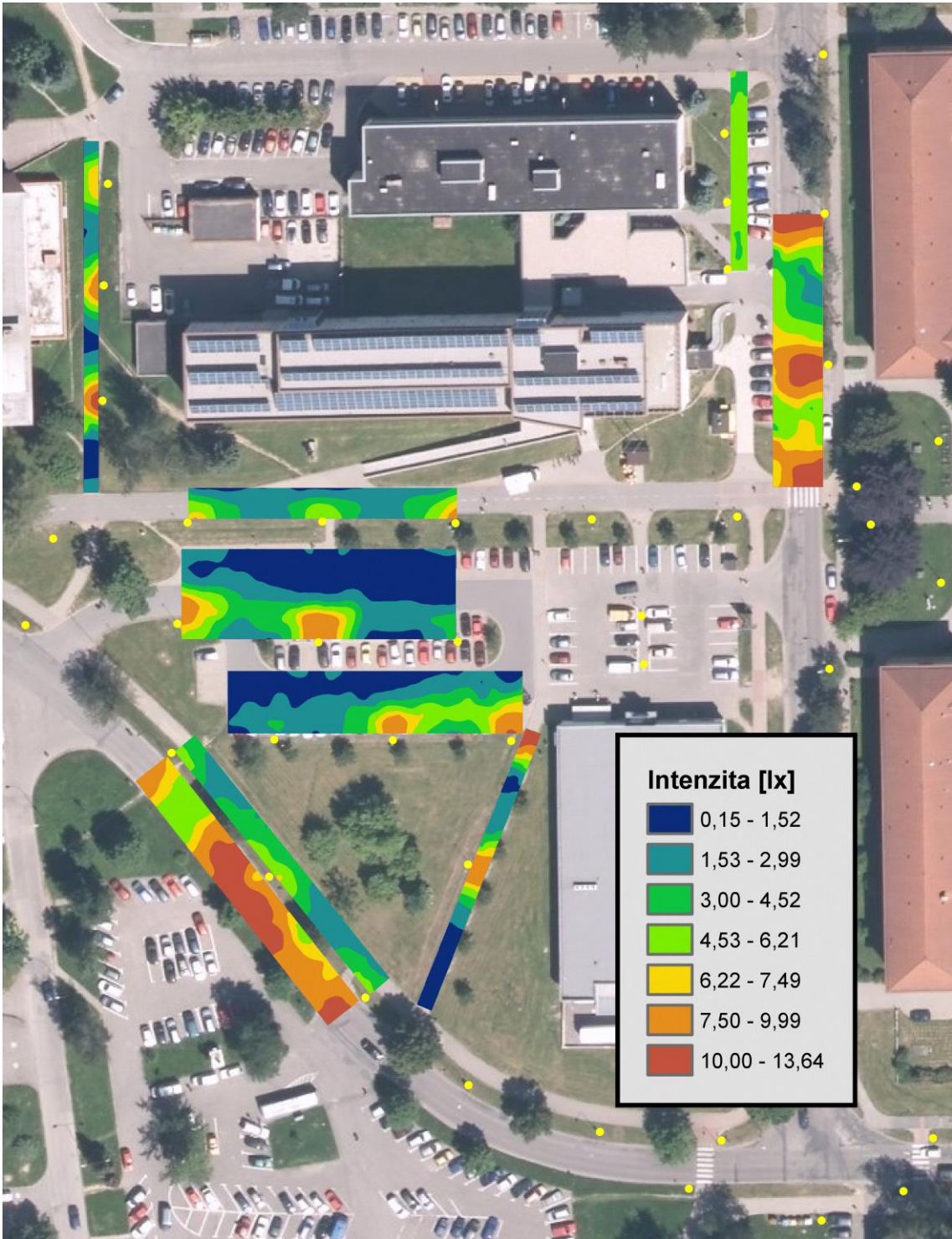


Obr. 65 Oblast 9 – Spline with barriers

Předešlá část podkapitoly 5.2 byla zaměřena na analýzy jednotlivých oblastí. Následující dvě mapy nám poskytnou informaci o osvětlenosti v celé lokalitě. Mapy nám umožní porovnat hodnoty osvětlenosti i mezi oblastmi, které spadají do stejné třídy osvětlení. Obr. 66 zobrazuje výsledek analýzy Graduated colors a obr. 67 znázorňuje výsledek analýzy Spline with barriers pro všechny relevantní oblasti.



Obr. 66 Mapa zvolené lokality – Graduated colors



Obr. 67 Mapa zvolené lokality – Spline with barriers

5.3 Zhodnocení

Jednotlivým relevantním oblastem byla přiřazena třída osvětlení. Ve zvolené lokalitě se vyskytují relevantní oblasti s třídami osvětlení: ME4b, CE5, S5 a S4. Pro všechny třídy osvětlení byla měřena vodorovná osvětlenost, přestože norma ČSN/EN 13 201 udává hodnoty jasů pro třídu osvětlení ME4b. Norma ČSN CEN/TR 13 201-1 umožňuje třídu osvětlení ME4b přirovnat k třídám osvětlení, které mají podobnou hladinu osvětlení. V našem případě bude třída ME4b přirovnána ke třídě CE4 a S2, proto bude hodnocena stejnými parametry jako zmíněné třídy. Třídy osvětlení s porovnatelnými hladinami osvětlení jsou uvedeny v tab. 13.

Tab. 13 Třídy osvětlení s porovnatelnými hladinami osvětlení [5]

	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5			
	MEW1	MEW2	MEW3	MEW4	MEW5			
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6

Relevantní oblasti jsou hodnoceny parametry v závislosti na zvolené třídě osvětlení. Parametry pro jednotlivé třídy osvětlení stanovuje norma ČSN EN 13 201-2. K hodnocení osvětlení budou využity parametry: průměrná osvětlenost \bar{E} (pro třídy CE, S), minimální osvětlenost E_{min} (pro třídu S) a celková rovnoměrnost osvětlenosti U_0 (pro třídu CE). Celkovou rovnoměrnost osvětlenosti lze vypočítat jako podíl minimální a průměrné osvětlenosti. Tab. 14 zobrazuje hygienické limity pro třídu S a tab. 15 zobrazuje hygienické limity pro třídu CE. Třída ME není hodnocena hodnotami osvětlenosti, jak uvádí tab. 16.

Tab. 14 Hygienické limity pro třídu S [6]

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} [lux] ^a (udržovaná hodnota)	E_{min} [lux] (udržovaná hodnota)
S1	≥ 15	≥ 5
S2	≥ 10	≥ 3
S3	$\geq 7,5$	$\geq 1,5$
S4	≥ 5	≥ 1
S5	≥ 3	$\geq 0,6$
S6	≥ 2	$\geq 0,6$
S7	neurčeno	neurčeno

^a Pro zajištění dostatečné rovnoměrnosti osvětlení nesmí vypočtená hodnota \bar{E} navržené osvětlovací soustavy překročit 1,5 násobek hodnoty \bar{E} uvedené v tabulce.

Tab. 15 Hygienické limity pro třídu CE [6]

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} [lux] (udržovaná hodnota)	U_0
CE0	≥ 50	$\geq 0,4$
CE1	≥ 30	$\geq 0,4$
CE2	≥ 20	$\geq 0,4$
CE3	≥ 15	$\geq 0,4$
CE4	≥ 10	$\geq 0,4$
CE5	$\geq 7,5$	$\geq 0,4$

Tab. 16 Hygienické limity pro třídu ME [6]

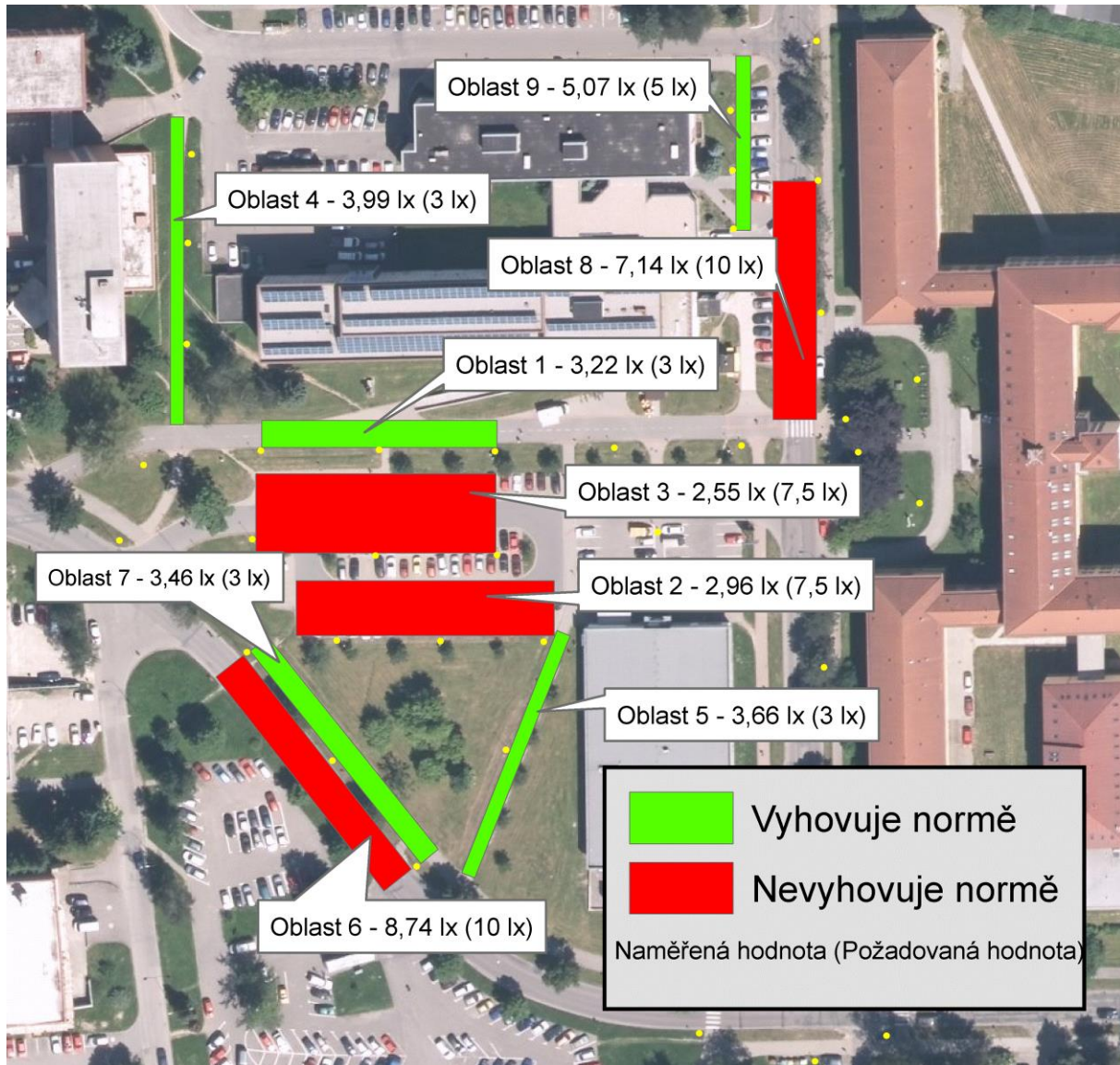
Třída	Jas suchého povrchu pozemní komunikace			Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	\bar{L} [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] udržovaná hodnota	U_0	U_1	TI [%] ^a	SR ^b
ME1	$\geq 0,2$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10	$\geq 0,5$
ME2	$\geq 0,15$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10	$\geq 0,5$
ME3a	$\geq 0,1$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME3b	$\geq 0,1$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME3c	$\geq 0,1$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME4a	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME4b	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME5	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME6	$\geq 0,3$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	neurčeno

^a Zvýšení prahového přírůstku o 5% lze připustit v případech, kde jsou použity světelné zdroje s nízkým jasem.

^b Toto kritérium lze uplatnit pouze v případě, kde k silniční komunikaci nepřiléhají jiné komunikace s vlastními požadavky.

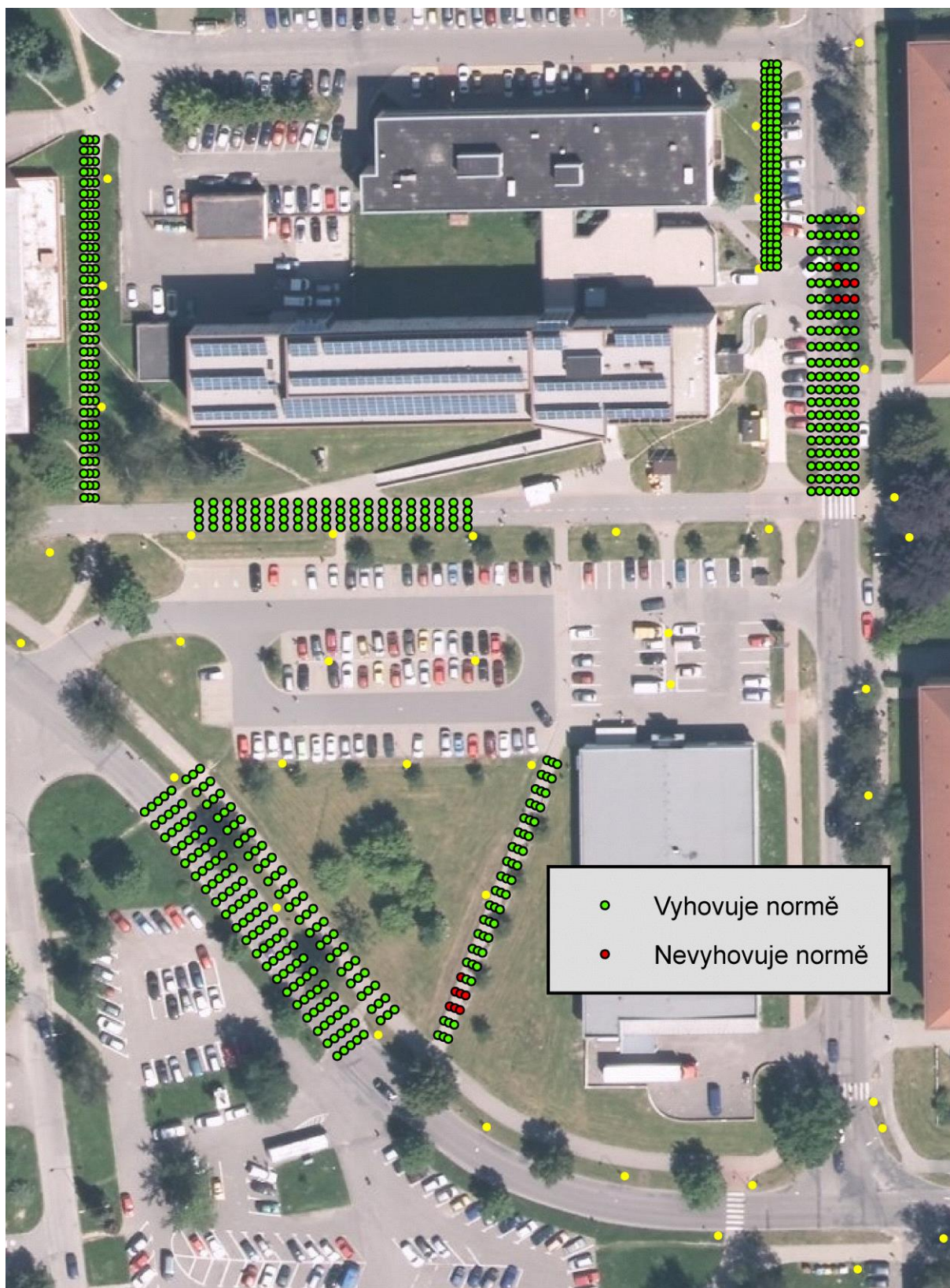
Kde \bar{L} je průměrný jas povrchu pozemní komunikace, U_0 je celková rovnoměrnost jasu, U_1 je podélná rovnoměrnost jasu, TI je prahový přírůstek a SR je činitel osvětlení okolí.

Na následující mapě jsou hodnoceny všechny relevantní oblasti prostřednictvím průměrné osvětlenosti. Mapa je zobrazena na obr. 68 a je z ní patrné, že z devíti relevantních oblastí čtyři nevyhovují hygienickým limitům normy ČSN 13 201. Jedná se o oblasti 2, 3, 6, 8. Na mapě jsou zobrazeny průměrné hodnoty osvětlenosti a požadované průměrné hodnoty osvětlenosti pro jednotlivé relevantní oblasti.

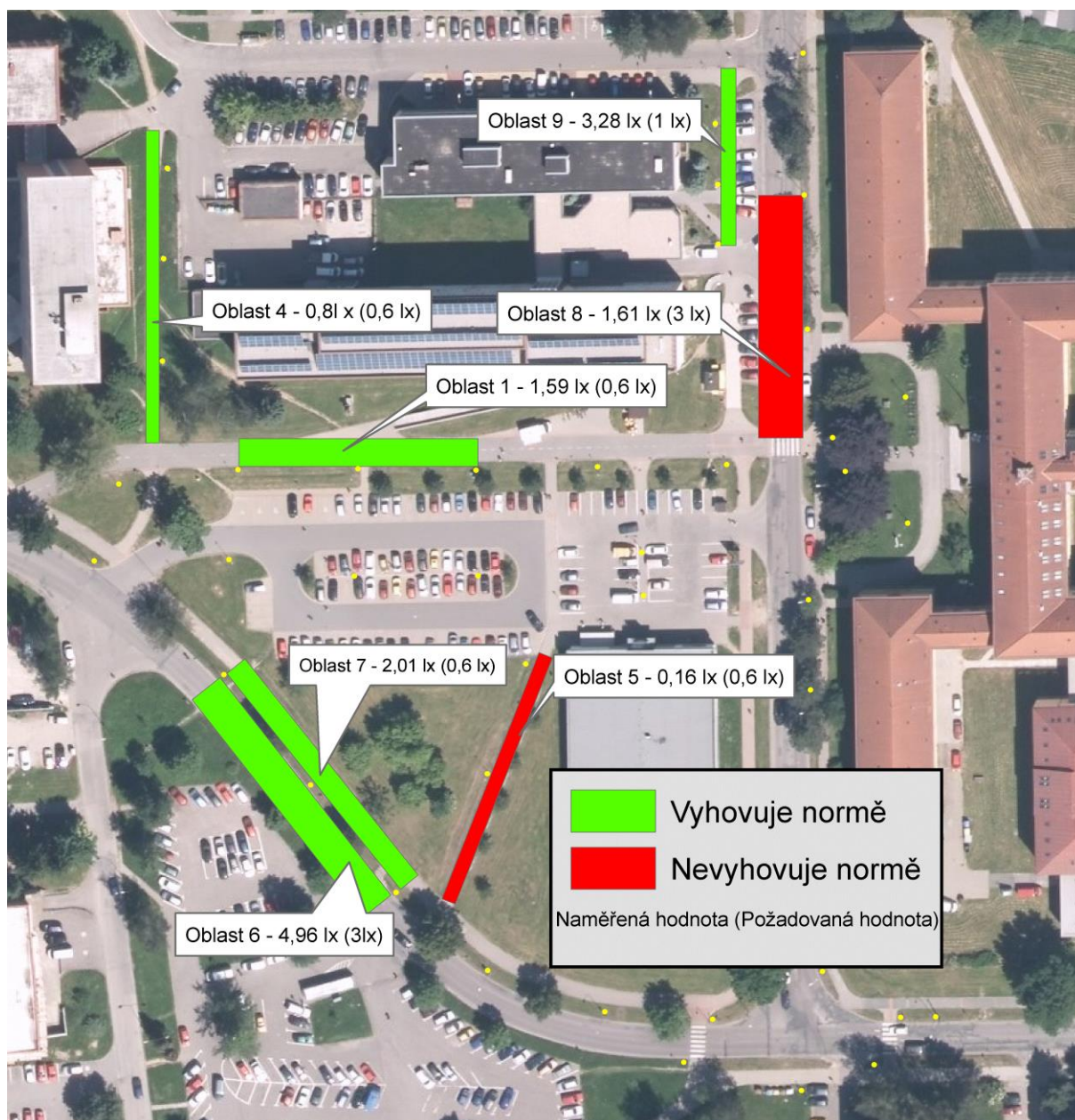


Obr. 68 Hodnocení průměrné osvětlenosti s hygienickými limity

K hodnocení minimální osvětlenosti budou využity následující dvě mapy. Třída CE není hodnocena prostřednictvím minimální osvětlenosti, proto oblast 2 a oblast 3 spadající do třídy CE nejsou hodnoceny. Na obr. 69 je zobrazena mapa zobrazující jednotlivé body v relevantních oblastech. Jednotlivé body jsou barevně rozlišeny v závislosti na souladu naměřené hodnoty osvětlenosti s hygienickými limity. Body zobrazené zeleně vyhovují normě a naopak body zobrazené červeně normě nevyhovují. Na obr. 70 je zobrazena mapa zobrazující naměřenou a požadovanou hodnotu minimální osvětlenosti pro jednotlivé relevantní oblasti. Oblast 5 a oblast 8 nevyhovují hygienickým limitům z hlediska minimální osvětlenosti.

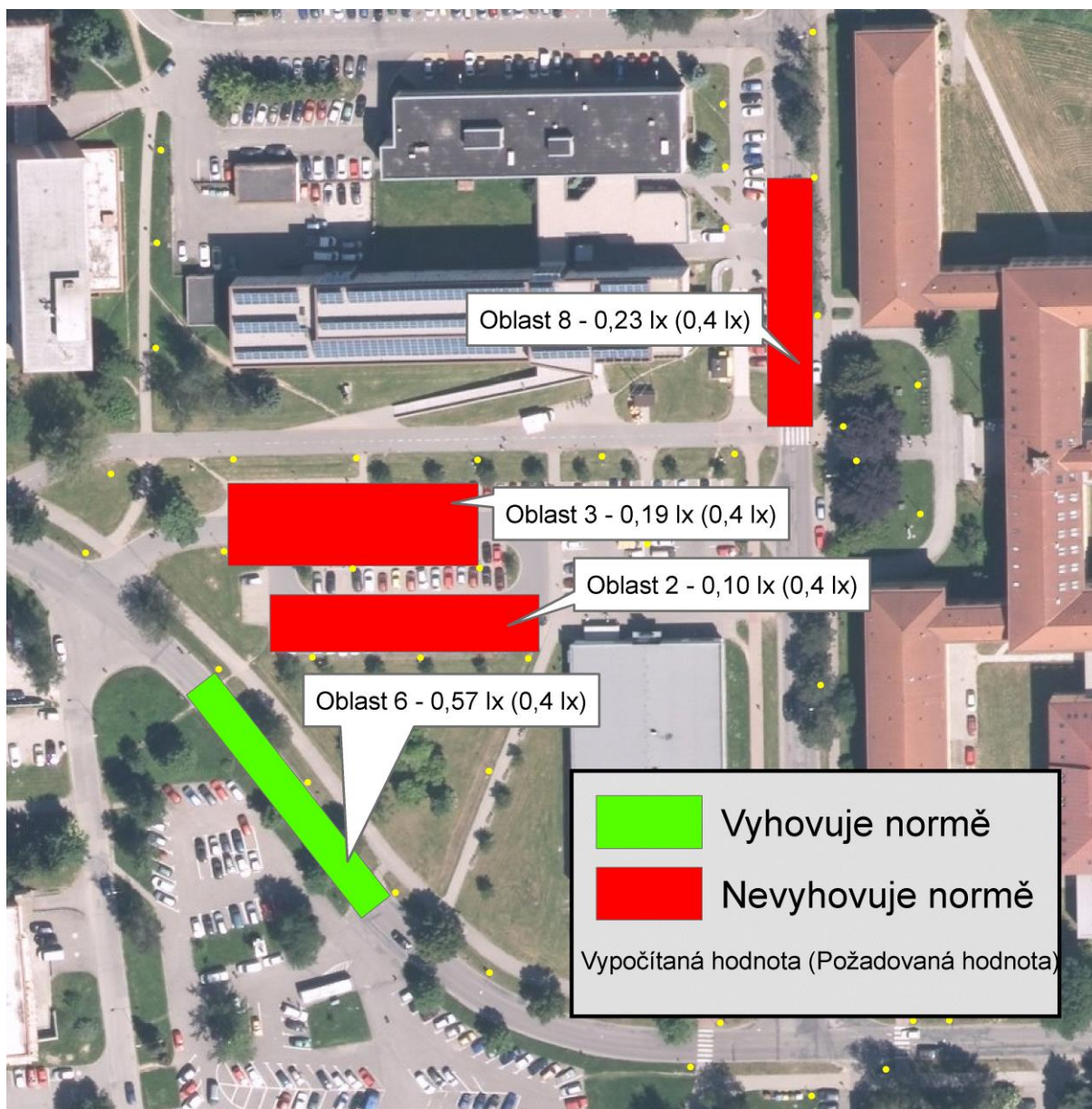


Obr. 69 Hodnocení minimální osvětlenosti s hygienickými limity – body



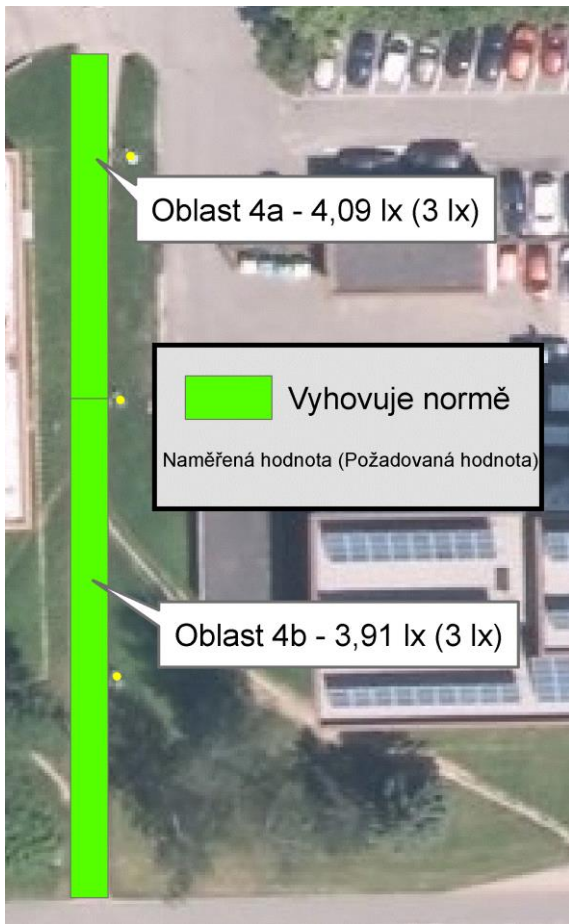
Obr. 70 Hodnocení minimální osvětlenosti s hygienickými limity – oblasti

Vyhodnocení z hlediska celkové rovnoměrnosti osvětlenosti stanovuje norma pouze pro třídu osvětlení CE. Je to hodnota, která se vypočítá z podílu minimální a průměrné osvětlenosti. V našem případě bylo hodnocení provedeno pro oblast 2, 3, 6 a 8. Oblast 6 a oblast 8 lze hodnotit pomocí celkové rovnoměrnosti z důvodu přirovnání třídy ME4b k třídě CE4. Mapa zobrazující vyhodnocení podle celkové rovnoměrnosti je zobrazena na obr. 71. Na mapě jsou zobrazeny vypočítané a požadované hodnoty celkové rovnoměrnosti osvětlenosti pro jednotlivé relevantní oblasti. Z mapy je patrné, že jediná oblast 6 vyhovuje hygienickým limitům.



Obr. 71 Hodnocení celkové rovnoměrnosti osvětlenosti s hygienickými limity

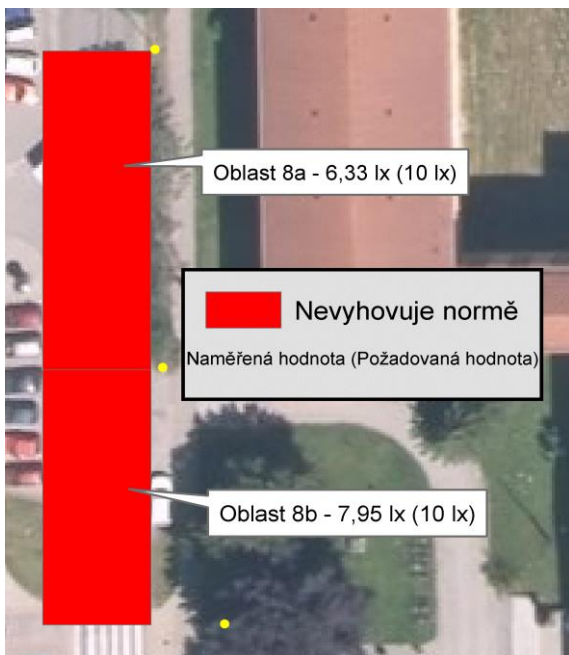
Oblast 4 a oblast 8 byly rozděleny na dvě podoblasti, proto je možné provést vyhodnocení pro každou podoblast samostatně. Na obr. 72 jsou podoblasti 4a a 4b hodnoceny podle průměrné osvětlenosti a obr. 73 znázorňuje podoblasti 4a a 4b hodnocené dle minimální osvětlenosti. Podoblasti 4a a 4b vyhovují požadovaným hodnotám minimální i průměrné osvětlenosti. Podoblasti 8a a 8b hodnoceny podle průměrné osvětlenosti jsou zobrazeny na obr. 74. Obr. 75 zobrazuje podoblasti 8a a 8b hodnocené dle minimální osvětlenosti. Na obr. 76 jsou podoblasti 8a a 8b hodnoceny prostřednictvím celkové rovnoměrnosti osvětlenosti. Požadovanou hodnotu průměrné osvětlenosti nespĺňuje podoblast 8a ani podoblast 8b. Podoblast 8a nevyhovuje požadované hodnotě minimální osvětlenosti ani požadované hodnotě celkové rovnoměrnosti osvětlenosti. Podoblast 8b v obou parametrech požadovanou hodnotu splňuje. Je evidentní, že podoblast 8a je méně osvětlena než podoblast 8b. Hlavní příčinou jsou stromy, které vrhají stíny na podoblast 8a.



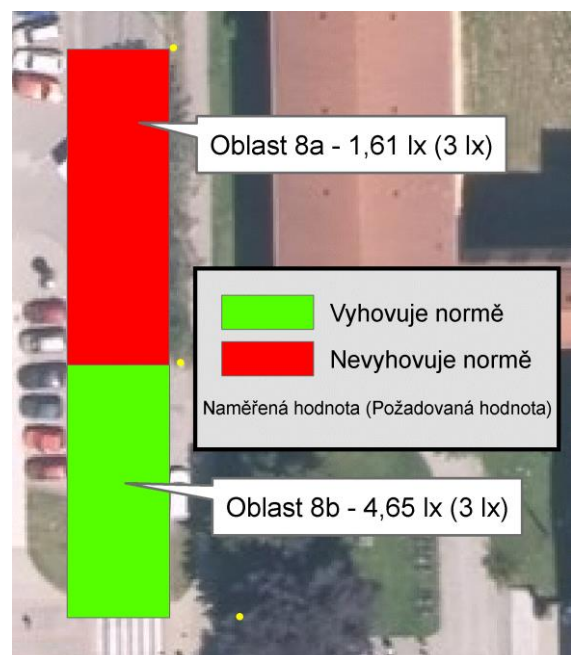
Obr. 72 Podoblasti 4a, 4b – průměrná osvětlenost



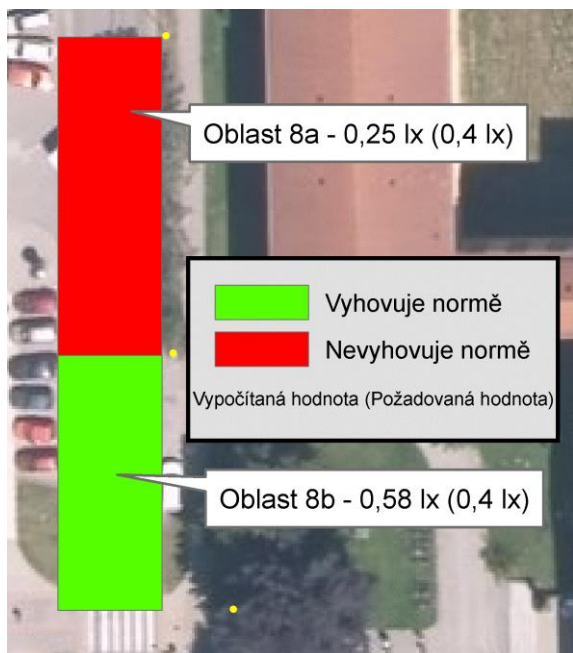
Obr. 73 Podoblasti 4a, 4b – minimální osvětlenost



Obr. 74 Podoblasti 8a, 8b – průměrná osvětlenost



Obr. 75 Podoblasti 8a, 8b – minimální osvětlenost



Obr. 76 Podoblasti 8a, 8b – celková rovnoměrnost osvětlenosti

6 ZÁVĚR

Bakalářskou práci je možné rozdělit na dvě části. Teoretická část je věnována základům světelné techniky a metodám měření intenzit osvětlení venkovních prostorů. Byla prostudována odpovídající hygienická norma a metodika měření osvětlení venkovních ploch. Dále je popsána architektura geografického informačního systému ArcView GIS. V praktické části bylo provedeno měření osvětlenosti ve zvolené lokalitě a z naměřených hodnot osvětlenosti byly vytvořeny mapy v ArcView GIS. Dále naměřené hodnoty osvětlenosti byly porovnány s hygienickými limity normy ČSN 13 201.

Pro zpracování naměřených hodnot osvětlenosti byly využity dvě analýzy. První analýzou, která byla použita na zpracování naměřených hodnoty, je Graduated colors. Analýza Graduated colors zbarvila jednotlivé body podle velikosti naměřené osvětlenosti. Analýza Spline with barriers je druhá analýza, která byla aplikovaná na naměřené hodnoty. Je to interpolační metoda, která z naměřených hodnot osvětlenosti vytvořila povrchový rastr rozložení osvětlenosti.

Celkem bylo změřeno 1043 bodů v devíti relevantních oblastech. Naměřené hodnoty osvětlenosti se pohybovaly v rozmezí od 0,16 lx po 13,47 lx. Srovnání naměřených hodnot s hygienickými limity bylo provedeno v podkapitole 5.3. Jednotlivé relevantní oblasti byly hodnoceny parametry v závislosti na zvolené třídě osvětlení. Pro třídu CE5 stanovuje norma hygienické limity pro průměrnou osvětlenost a celkovou rovnoměrnost osvětlenosti. Třídy SE5 a SE4 byly hodnoceny z hlediska průměrné a minimální osvětlenosti. Třída ME4b byla přirovnána k třídám CE4 a S2, proto byla hodnocena všemi třemi parametry.

Na obr. 68 jsou hodnoceny všechny relevantní oblasti z hlediska průměrné osvětlenosti. Bylo zjištěno, že z devíti relevantních oblastí čtyři oblasti nesplňují hygienické limity. Hodnota průměrné osvětlenosti v oblastech 2, 3, 6 a 8 byla nižší než požadovaná hodnota stanovená normou.

Na obr. 69 a obr. 70 jsou hodnoceny relevantní oblasti z hlediska minimální osvětlenosti. Bylo zjištěno, že oblast 5 a oblast 8 nesplňují hygienické limity z hlediska minimální osvětlenosti. V oblasti 5 bylo naměřeno 7 hodnot osvětlenosti a v oblasti 8 bylo naměřeno 6 hodnot osvětlenosti nižších než požadovaná hodnota osvětlenosti.

Na obr. 71 jsou relevantní oblasti hodnoceny z hlediska celkové rovnoměrnosti osvětlenosti. Hodnoceny mohly být pouze čtyři oblasti (oblast 2, 3, 6, 8). Pouze oblast 6 vyhovovala požadavkům normy.

Celkově je možné konstatovat, že chodníky (oblast 4, 5, 7, 9) a cyklostezka (oblast 1) byly dostatečně osvětlené. Jediná oblast 5 nevyhovovala požadované hodnotě z hlediska minimální osvětlenosti. Naopak komunikace určené pro automobily (oblast 2, 3, 6, 8) byly nedostatečně

osvětlené. Jediná oblast 6 vyhovovala požadované hodnotě z hlediska celkové rovnoměrnosti osvětlenosti a minimální osvětlenosti. Nejhůře osvětlené bylo parkoviště (oblast 2, oblast 3), kde naměřené hodnoty osvětlenosti byly velmi nízké oproti požadovaným hodnotám.

Ke zlepšení osvětlení ve zvolené lokalitě, zejména pro komunikace určené pro automobily, by pomohlo vyměnit současné zdroje za výkonnější světelné zdroje, popřípadě prořezat nebo odstranit stromy vrhající stíny na pozemní komunikace. Další opatření, které by pomohlo zlepšit stávající situaci, je zmenšit rozteč mezi lampami veřejného osvětlení.

LITERATURA

- [1] ARCDATA PRAHA, S.R.O. *Co je ArcGIS* [online]. © 2001–2004 ESRI [cit. 2015-12-22]. Dostupné z: <http://download.arcdata.cz/doc/2005/Co-je-ArcGIS-90.pdf>.
- [2] BLOUDÍČEK, Radim. *Energetické a světloteknické systémy letišť*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2009, 111 s., [2] I. obr. příl. ISBN 978-80-7231-693-9
- [3] CONRAD ELECTRONIC S. R. O. Digitální luxmetr: LX-1108. VOLTcraft. *Měřicí technika* [online]. © 2008 – 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.voltcraft.cz/digitalni-luxmetr-lx-1108.k121885>
- [4] CONRAD ELECTRONIC S. R. O. *Návod k obsluze: Digitální luxmetr LX-1108*. Česká republika, 12/2011. Dostupné z: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/121885-an-01-cs-Digitalni_luxmetr.pdf
- [5] ČSN EN 13201-1, *Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení*. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [6] ČSN EN 13201-2, *Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky*. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [7] ČSN EN 13201-3, *Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet osvětlení*. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [8] ČSN EN 13201-4, *Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření*. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [9] GARMIN CZECH S:R:O. GPSMAP 60 CSx. *Garmin* [online]. Garmin Czech s.r.o., © 2009-2013 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.garmin.cz/produkty/mapy-a-ostatni/jiz-nevyrabene/jiz-nevyrabene-pristroje/nevyrabene-outdoor/gpsmap-60-csx.html>
- [10] Geografický informační systém. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 11. 12. 2015. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Geografick%C3%BD_informa%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m&oldid=13129092
- [11] HABEL, Jiří. *Osvětlování*. 1. vyd. -dot. Praha: České vysoké učení technické, 1995, 328 s. ISBN 80-01-00728-6
- [12] HABEL, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, 1995, 437 s., 30 příl. ISBN 800-901985-0-3
- [13] KOLÁŘ, Jan. *Geografické informační systémy 10*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, iii, 149 s. ISBN 80-01-01698-6.

- [14] KOMÓROCZY, Balázs, Geografické informační systémy, *Marcomannia* [online]. Dolní Dunajovice: Archeologický ústav Akademie věd ČR Brno, v.v.i. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.marcomannia.cz/PAGES/GIS.html>
- [15] KOSMÁK, František, Princip fotovoltaického článku. *Elektrika*. [online]. 3. 10. 2009 [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>
- [16] KRTOLOVÁ, Alena, Jiří MATOUŠEK a Ladislav MONZER. *Světlo a osvětlování*. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1981, 269 s.
- [17] MATĚJKA, Roman. LED diody. *Popular* [online]. 13. 7. 2014 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://popular.fbmi.cvut.cz/elektrotechnika/Stranky/LED%20diody.aspx>
- [18] NETUŠIL, Jaroslav. *Světlo v teorii a v praxi*. 1. vyd. Praha: Práce, 1960
- [19] PLCH, Jiří. *Světelná technika v praxi*. Vyd. 1. Praha: IN-EL, 1999, 210 s. ISBN 80-86230-09-0
- [20] ROZMAN, Jiří, Petr SADOVSKÝ a David ČERMÁK. *Diagnostika životního prostředí*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 2000, 136 s. ISBN 80-214-1771-4
- [21] SALAY, I. *Pracujeme s geografickým informačním systémem ArcView GIS*, Computer Press, Praha, 1999, ISBN 80-7226-214-9
- [22] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9
- [23] STARGEN GROUP S. R. O. SLOVNÍK – Rastrová grafika. *Stargen* [online]. Praha: Stargen GROUP s.r.o. © 2000 – 2014 [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: <http://www.stargen.cz/slovník/rastrova-grafika/>
- [24] TUČEK, Ján. *Geografické informační systémy: principy a praxe*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1998, xiv, 424 s. ISBN 80-7226-091-X
- [25] ŽÁK, Petr, Simona ŠVECOVÁ. Koncepce veřejného osvětlení měst a obcí – Část 6. *Světlo: časopis pro světlo a osvětlování* [online]. 19. 2. 2015 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/koncepce-verejneho-osvetleni-mest-a-obci-cast-6--752>

SEZNAM ZKRATEK

LED	Light Emitting Diode (dioda emitující světlo)
UV	Ultrafialové záření
IR	Infračervené záření
GIS	Geografický informační systém
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GPS	Global Positioning System
SEČ	Středoevropský čas