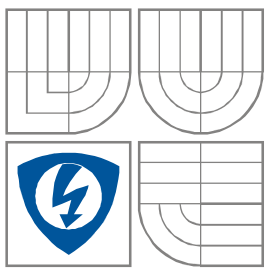


	VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
	FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MAPA OSVĚTLENÍ TERÉNU V GIS

MAP OF TERRAIN LIGHTING IN GIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

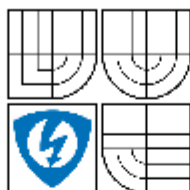
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Blatný Michal

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Martin Čížek

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Michal Blatný
Ročník: 3

ID: 73082
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Mapa osvětlení terénu v GIS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s architekturou geografického informačního systému ArcView a jeho možnostmi práce s naměřenými daty.

Proveďte měření osvětlení ve vybrané lokalitě, vytvořte digitální mapu osvětlení tohoto terénu a srovnajte výsledky s hygienickým předpisem.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ROZMAN J. a kol. Diagnostika životního prostředí. Skriptum. Brno: FEI VUT v Brně, 2000.
- [2] ArcGIS 9 – Začínáme s ArcGIS. ESRI, Inc. 2006, 435 s

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Martin Čížek

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Blatný
Bytem: Blatnická 5, Brno, 628 Narozen/a (datum a místo): 3.2.1987

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Mapa osvětlení terénu v GIS

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Martin Čížek

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činnost dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 5. června 2009

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou veřejného osvětlení v porovnání s normami ČSN EN a dále na zpracování naměřených dat za použití GIS. Také seznamuje se základními pojmy osvětlení.

Annotation

This bachelor's thesis describes fundamental terms in lighting and deals with street lighting intensity measurement. The text describes an outline of the future work focused to comparison of the measured values with ČSN EN standards using GIS.

Klíčová slova

Intenzita osvětlení, osvětlenost, veřejné osvětlení, GIS, norma ČSN EN, spektrum světla, optická pohoda, oko, světelné zdroje, optické veličiny a jednotky, ArcGIS, ArcMap, ArcCatalog, vrstvy, analýza, nástroje.

Keywords

Illumination level, illuminance, street lighting, GIS, standard ČSN EN, light spectrum, optic well-being, eye, source of light, , optic magnitude and units. ArcGIS, ArcMap, ArcCatalog, layers, analysis, tools.

BLATNÝ, M. Mapa osvětlení terénu v GIS: *bakalářská práce*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009. 68 s.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou 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 a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Čížkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	8
2	Světlo	9
2.1	Sluneční záření	9
2.2	Elektromagnetické záření	10
2.2.1	Rozdělení elektromagnetického záření	12
2.3	Kvantová fyzika	12
3	Zrak	15
3.1	Světlolomný aparát	15
3.2	Sítnice	16
3.3	Fotoreceptory	17
3.4	Adaptace oka	18
3.5	Oslnění	19
3.6	Kontrast	19
3.7	Frekvence splývání	20
3.8	Barva	20
4	Optické veličiny	21
4.1	Světelný tok	21
4.2	Prostorový úhel	21
4.3	Svítivost	21
4.4	Osvětlenost	22
4.5	Světlení	22
4.6	Jas	22
4.7	Veličiny charakterizující materiál	23
5	Optická pohoda	26
5.1	Rychlost čtení	26
5.2	Barevné účinky na optickou pohodu	27
6	Barva	28
6.1	Spektrální vyjádření světla	29
6.1.1	Teplota chromatičnosti	29
6.1.2	Poměrné spektrální složení světla	30
6.1.3	Kolorimetrická soustava CIE	31
6.2	Podání barev	31
7	Světelné zdroje	33
7.1	Výbojové světelné zdroje	33
7.1.1	Vysokotlaké rtuťové výbojky	34
7.1.2	Vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem	34
7.1.3	Vysokotlaké halogenidové výbojky	36
7.1.4	Vysokotlaké sodíkové výbojky	36
8	Venkovní osvětlení	38
8.1	Veřejné osvětlení	38
8.2	Zapínání veřejného osvětlení	39
8.3	Osvětlenost V.O.	39
9	Měření osvětlenosti	40
9.1	Výška a orientace fotometrické hlavy	41
9.2	Síť kontrolních bodů	41
9.2.1	Poloha kontrolních bodů	41
10	GIS	43
10.1	Dimenze geoobjektů	43
10.2	Jak s GISem pracovat?	43

11	Praktické zpracování zadání	45
11.1	Měření oblasti a jejich vlastnosti	45
11.2	Mapa v ArcGIS	47
11.3	Měřicí síť	49
12	Měření osvětlení	52
13	Analýza a výsledné zpracování dat	53
13.1	Soulad naměřených hodnot s normami	56
13.1.1	Tabulky normovaných hodnot	56
13.1.2	Příprava v ArcMap pro analýzu	56
13.2	Analýza hodnot vůči normám	58
13.2.1	Analýza Minimální osvětlenosti	58
13.2.2	Analýza průměrné osvětlenosti	60
13.2.3	Analýza celkové rovnoměrnosti	61
13.3	Statistická analýza	64
14	Měřicí přístroje	65
14.1	GPS Garmin 60csx	65
14.2	Luxmetr LX-1108	66
15	Závěr	67
	Seznam použité literatury:	68

1 Úvod

Za život na zemi vděčíme především slunečnímu záření. energii z něj využívá jak fauna, tak i flora. Abychom viděli a dokázali rozlišovat detaily je zapotřebí světla. „Kolik“ světla je zapotřebí při jakých situacích určují normy ČSN EN. Tyto hodnoty lze naměřit pomocí luxmetru a získaná data osvětlenosti můžeme pro lepší názornost uvést do GISu, neboli geografického informačního systému. V následujících kapitolách se seznámíme se základními pojmy spojené se světlem, s problematikou měření osvětlení a s analýzou naměřených dat v programu ArcGIS 9, které byly získány měřením v areálu VUT vedle ústavu elektrotechniky sídlící na Kolejní 4.

2 Světlo

Světlo je část spektra elektromagnetického záření, které se k nám na Zem dostává převážně ze Slunce - denní světlo, nebo méně používané slovní spojení přírodní světlo. Další zdroje záření jsou uvedeny pro znázornění v tabulce Tab. 2.1. My se budeme ovšem zabývat převážně jen slunečním světlem a výbojkami.

Tab 2.1 - Zdroje světla [10]

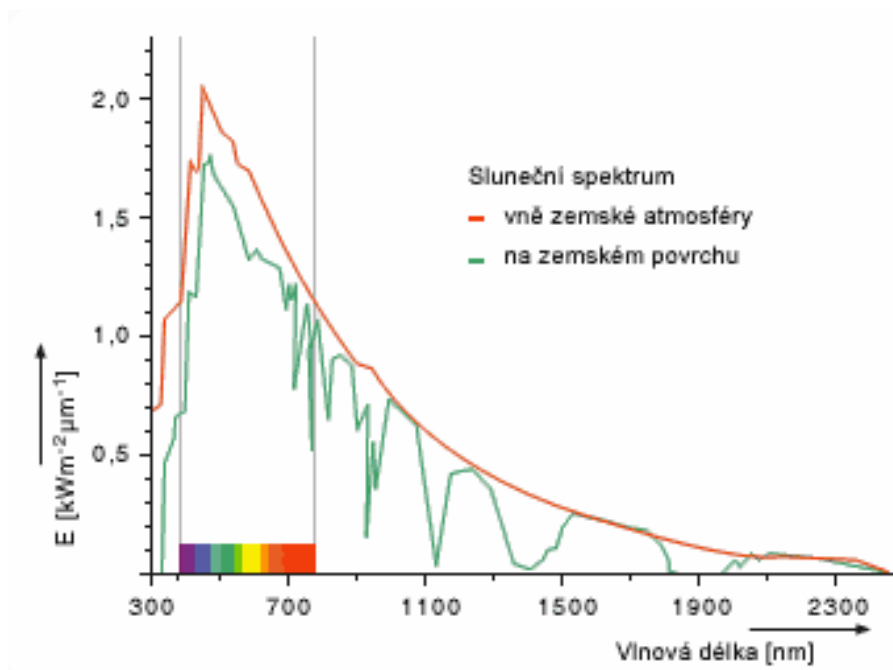
- sálání tepla (záření černého tělesa)
 - o záření žárovky
 - o sluneční světlo
- záření plazmatu (oheň, oblouková lampa)
- atomová spektrální emise (emise mohou být stimulované nebo spontánní)
 - o laser a maser (stimulovaná emise)
 - o světlo LED diody
 - o plynové výbojky
- urychlení volného nosiče proudu (obvykle elektron, využívá se např. v synchrotronech)
- luminiscence, podle spouštěcího mechanismu:
 - o chemiluminiscence
 - o bioluminiscence
 - o sonoluminiscence
 - o riboluminiscence
- fluorescence
- fosforence
 - o katodové záření
- radioaktivní rozpad
- anihilace páru částice-antičástice

2.1 Sluneční záření

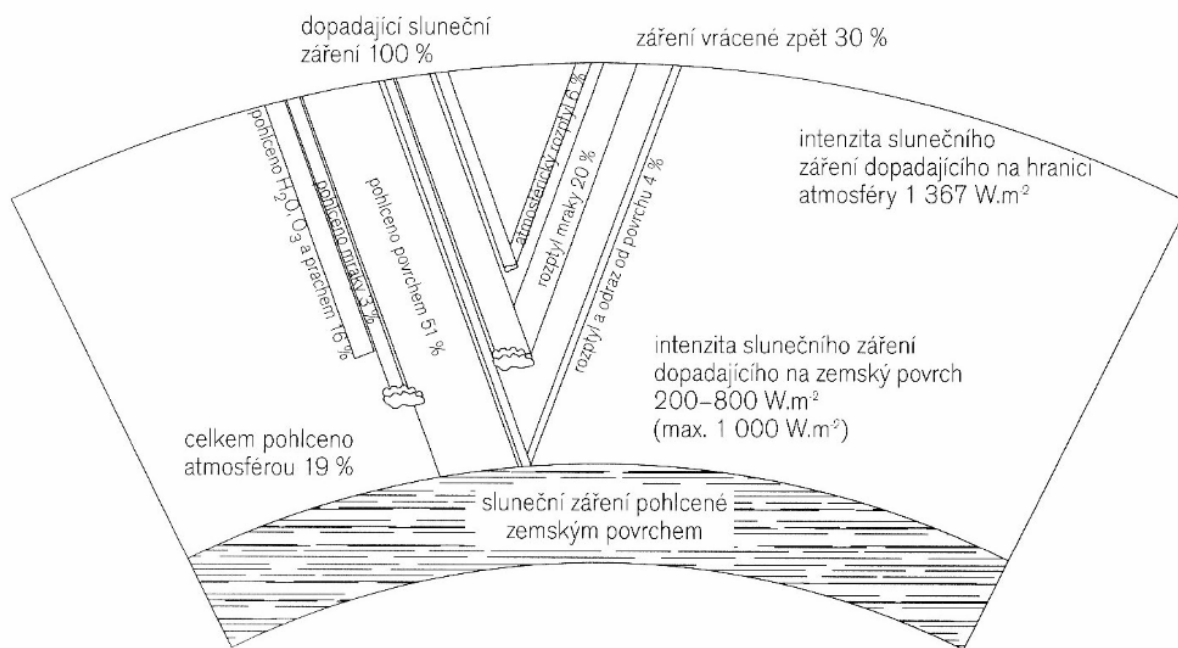
Slunce můžeme považovat jako nevyčerpatelný zdroj energie. Na zemský povrch dopadá tok slunečního záření $1,725 \cdot 10^{17}$ W. Největší přednost sluneční energie je v její dosažitelnosti - je všeobecně dostupná a navíc i ekologická.

Na hranici zemské atmosféry je intenzita slunečního záření $1,373 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Tato hodnota se nazývá *solární konstanta*. Udává výkon slunečního záření procházející na hranici zemské atmosféry jednotkou plochy nastavené kolmo ke slunečním paprskům. V podstatě má 99,9 % energie dostupné na zemském povrchu svůj původ ve sluneční energii. Zbývající část představuje geotermální energie, energie přílivu a odlivu a jaderná energie. [3]

Na obrázku Obr 2.1 můžeme spatřit spektrální hustotu energie záření v kosmickém prostoru - červená křivka a na zemském povrchu - zelená křivka. Náhlé změny zelené křivky blížící se na ose y k nulovým hodnotám jsou způsobeny interferencemi mezi molekulami plynů, hlavně kyslíku a vodní páry, obsaženy v atmosféře a zářením, kde při určitých frekvencích dochází k vlastním rezoncím molekul a tím i k útlumu. Opačný případy se nazývají tzv. *atmosférická okna*.



Obr 2.1 Spektrální hustota energie [11]

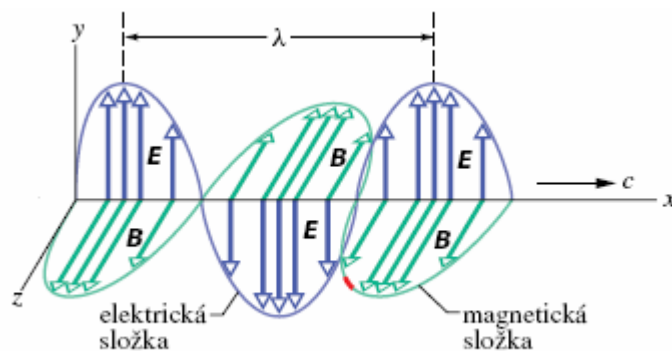


Obr 2.2 Sluneční radiový tok [3]

Obrázek Obr 2.2 nám ukazuje jak postupuje sluneční záření na Zemi. Atmosféra pohltí 19 %, povrch země 51% a 30% záření se pomocí rozptýlu vrátí zpět do vesmíru.

2.2 Elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření se skládá z elektrické i z magnetické části. Složení elektrického pole a magnetického pole lze vidět na obrázku Obr 2.3.



Obr 2.3 - Skládání elektromagnetické vlny [5]

Délku vlny bychom mohli zjistit ze vzorce (2.1)

$$c = \lambda \cdot f \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.1)$$

c - rychlost světla (a všech ostatních elmag. vln) ve vakuu 299 792 458 $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

λ - vlnová délka $[\text{m}]$

f - frekvence $[\text{s}^{-1}]$

Přičemž rychlost světla se dá také vyjádřit jako:

$$c = \frac{E_m}{B_m} \quad (2.2)$$

E_m - maximální amplituda elektrické složky

B_m - maximální amplituda magnetické složky

A nebo také:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad (2.3)$$

ϵ_0 - permitivita vakua = $\epsilon_0 = \frac{1}{c^2 \cdot \mu_0} [\text{F} \cdot \text{m}^{-1}]$

μ_0 - permeabilita vakua = $4\pi \cdot 10^{-7} [\text{H} \cdot \text{m}^{-1}]$

pro zajímavost:

$$\epsilon_0 = \frac{D}{E} [\text{C} \cdot \text{m}^{-2} / \text{V} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (2.4)$$

$$\mu_0 = \frac{B}{H} [\text{T} / \text{A} \cdot \text{m}^{-1} = \text{Wb} \cdot \text{m}^{-2} / \text{A} \cdot \text{m}^{-1} = \text{H} \cdot \text{m}^{-2} / \text{m}^{-1}] \quad (2.5)$$

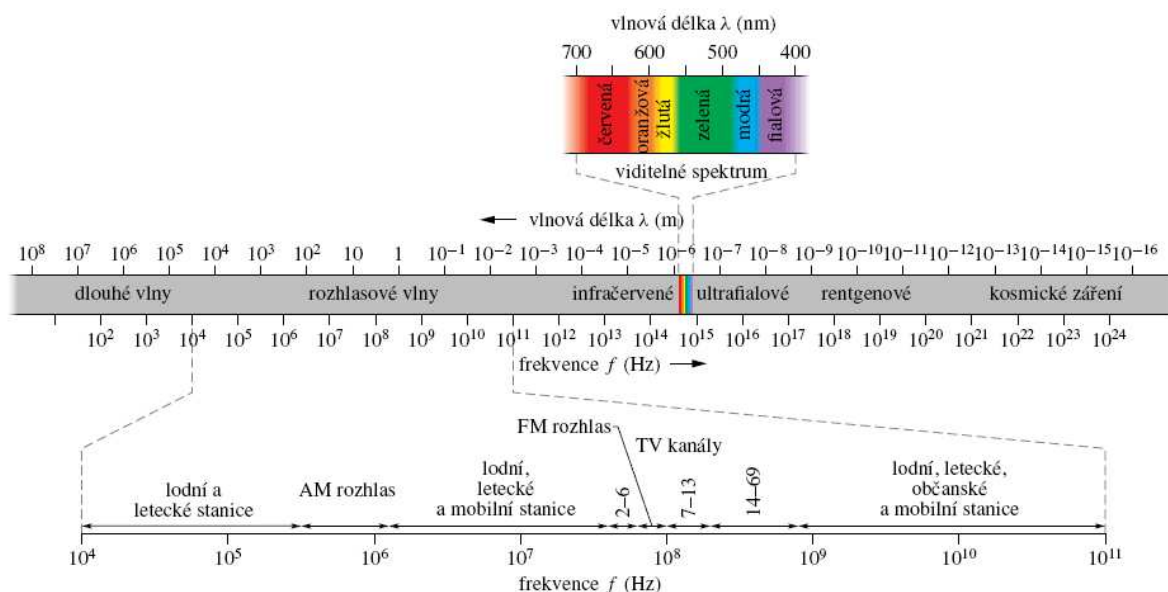
2.2.1 Rozdělení elektromagnetického záření

Elektromagnetické záření se dá rozdělit na 7 základních částí:

- dlouhé vlny
- rozhlasové vlny
- infračervené záření
- viditelná oblast spektra
- ultrafialové záření
- rentgenové záření
- kosmické záření

Frekvence i vlnové délky jednotlivých oblastí lze vidět na Obr. 2.4.

Viditelná oblast je v rozmezí vlnových délek přibližně 380 - 780 nm. Každá vlnová délka v tomto rozmezí má za následek jinou barvu. Na nízkých vlnových délkách je barva fialová a přechází přes modrou, zelenou, žlutou, oranžovou až po červenou na největší vlnovou délku viditelné části spektra - viz Obr. 2.4.



Obr 2.4 - Elektromagnetické spektrum [5]

2.3 Kvantová fyzika

Jelikož nelze klasickou elektromagnetickou teorií vysvětlit některé fyzikální jevy (interference záření s látkami), používáme pro prezentaci elektromagnetického záření i tzv. kvantovou fyziku. Kvantová fyzika se používá pro elektromagnetické vlny, které jsou vyzařovány, jiným slovem emitovány, ze zdroje o velikosti jádra nebo atomu. Platí to například pro gama záření, rentgenové záření, ale i pro viditelné světlo.

Podle světoznámého fyzika Maxe Plancka (r.1918 oceněn Nobelovou cenou) je energie záření emitována formou zářivých kvant - fotonů. Energii kvanta můžeme vypočítat podle vzorce (2.6).

$$E = h \cdot f \quad [eV] \quad (2.6)$$

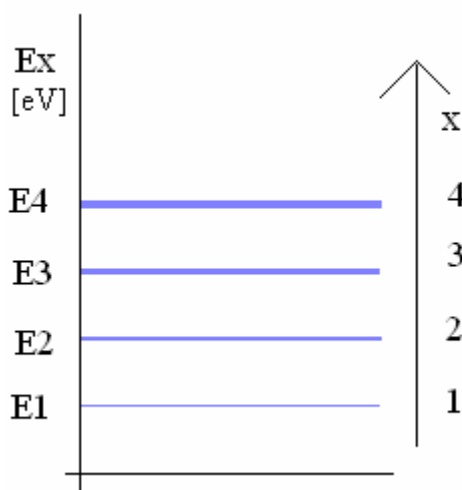
kde h - Planckova konstanta $6,63 \cdot 10^{-34}$ [J·s]
 f - frekvence [Hz]

Malou úpravou získáme vzorec:

$$E = x \cdot h \cdot f \quad [eV] \quad (2.7)$$

Přičemž x je reálné celočíselné číslo, který nám říká, že energie záření je celistvým násobkem zářivého kvanta.

Čili pokud chce elektron přejít ze stavu energie E_1 , na stav E_2 , musí absorbovat foton, který bude mít energii $E_2 - E_1$. Na jinou hodnotu energie (třeba na $E_{1,5}$) se elektron dostat nemůže. Tomuhle přesunu elektronu se říká *kvantový skok*. [5] Pro názornější ukázkou použijeme obrázek Obr 2.5.



Obr 2.5 - Kvantové skoky

Obdobně je tomu i opačným směrem. Pokud elektron bude chtít přejít např. ze stavu E_3 na E_2 , bude muset vyzářit energii rovnou $E_3 - E_2$.

Tab. 2.2 – Parametry záření [3]

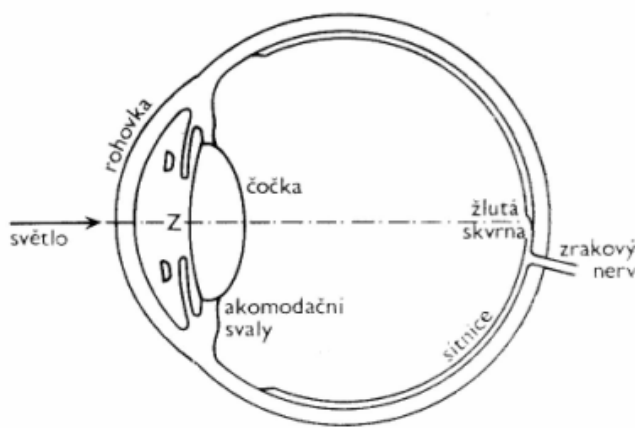
Druh záření	Označení	vlnová délka [nm]	Energie [eV]
Ultrafialové	UV-C	100-280	12,4 - 4,4
	UV-B	280-315	4,4 - 3,9
	UV-A	315-380	3,9 - 3,2
Viditelné	fialová	380-430	3,2 - 2,9
	modrá	430-490	2,9 - 2,5
	zelená	490-570	2,5 - 2,2
	žlutá	570-600	2,2 - 2,0
	oranžová	600-630	2,0 - 1,9
	červená	630-780	1,9 - 1,6
Infračervené	IR-A	780-1400	1,6 - 0,9
	IR-B	1400-3000	0,9 - 0,4
	IR-C	3x10e3 - 10e6	0,4 - 0,0012

V tabulce Tab. 2.2 vidíme vzájemnou souvislost mezi druhem záření, označením, vlnovou délkou, frekvencí a energií.

3 Zrak

Zrak slouží k orientaci, poznávání a učení člověka. Zprostředkovávající zrakový orgán je oko. Zprostředkování obrazu se dá popsat třemi jednoduchými kroky [2]:

- 1 - vytvoření obrazu na sítnici pomocí světlolomných aparátů
- 2 - podráždění receptorů a tím vytvoření analýzy a syntézy, která je přenesena synapsemi
- 3- převod vzruchu do mozku a následné reakce - reflexivní reakce, akomodace, pohyb očí..



Obr 3.1 - Zjednodušená skladba oka [2]

3.1 Světlolomný aparát

Světlolomný aparát se skládá z rohovky, komorové vody, čočky a sklivce. Rohovka, která je neustále zvlhčována slzami, představuje první čočku pro prostupující světlo. Má pevně daný tvar i polohu, a proto je její ohnisko stálé. Další čočka již pozici ohniska měnit dokáže. Je spojena svaly, které dokáží měnit její tvar. Kolem čočky je komorový mok, který nejenže pomáhá čistit rohovku a udržovat ji bez choroboplodných zárodků, ale díky němu není index lomu světla mezi rohovkou a čočkou tak razantní.

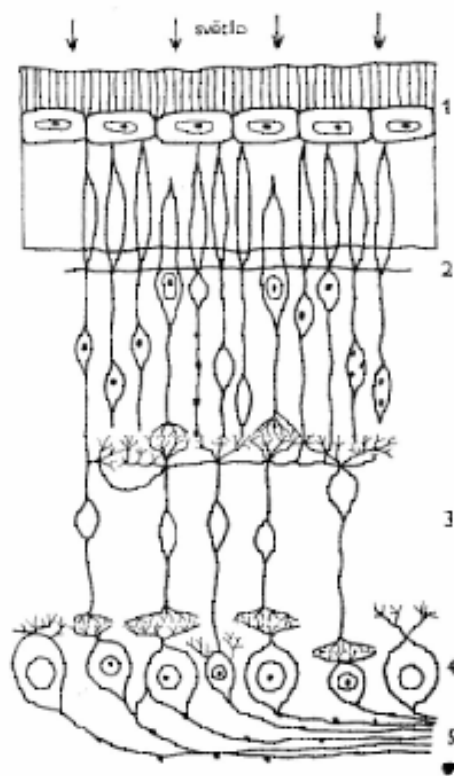
Pohyb svalů spojených s čočkou mají za následek tzv. akomodaci. Toto slovo by se pro lepší pochopení dalo nahradit slovem zaostření. Čočka se tedy dokáže buď vyklenout a nebo rozšířit, podle toho, jestli jsou svaly v kontrakci, nebo naopak uvolněné.

Poruchy s akomodací jsou spojeny s nemocemi - krátkozrakost a dalekozrakost. Tato porucha se dá jednoduše napravit pomocí čoček, umístěných před rohovku. [2]

Poruchy s akomodací jsou nejen vrozené, ale jsou způsobeny i okolními vlivy: Tělesná a duševní únava, farmaka, ale i **intenzita osvětlení**. Což je jeden z důvodů, proč se zabýváme optickou pohodou prostředí a proč jsou stanoveny určité normy.

3.2 Sítnice

Sítnice je asi nejdůležitější část oka. Skládá se z 11 částí. Hned za *Bruchovou membránou* najdeme *pigmentový epitel*, jehož buňky vysílají své výběžky ke svým světločivým buňkám, které se nazývají *fotoreceptory*. Fotoreceptory se skládají z tyčinek a čípků (o nich ještě bude zmínka dále). Za nimi najdeme *vnější hraniční blánu*, která díky svému vazivovému charakteru má funkci podpůrnou. Pokud bychom dali *vnější zrnitou blánu* pod mikroskop, uvidíme, že se skládá pouze z jader fotoreceptorů. *Vnější plexiformní vrstva* je směsice buněk a výběžků, kde se již nacházejí synaptická spojení zrakových neuronů. *Vnitřní zrnitá blána* se skládá z těl bipolárních, horizontálních, amakrinních a Müllerových buněk. *Vnitřní plexiformní vrstva* obsahuje velmi složitá synaptická spojení. Devátá vrstva je odvozena od *gangliových buněk*, které tuto vrstvu vyplňují svými těly. Následující vrstva je složena z jejich výběžků, tudíž *nervovými vlákny*, které se soustřeďují do jednoho určitého místa - do papily zrakového nervu, kde leží vyústění z oka. Jelikož v tomto místě nejsou žádné receptory, obraz, který se promítne na toto místo, člověk neuvidí. O tomto místě na sítnici hovoříme jako o tzv. slepé skvrně. Poslední vrstva sítnice, průzračná hraniční blána, je tvořena z velmi tenkých a hustých spleť *gliálních vláken*. [2]



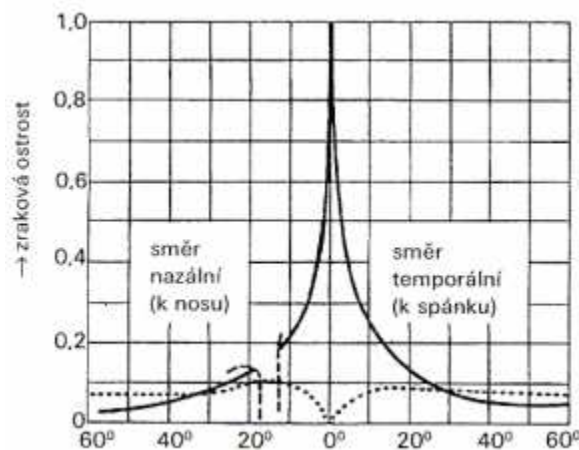
Obr. 3.2 -Zjednodušená skladba sítnice [2]

1- pigmentové buňky; 2- čípky a tyčinky; 3- zrnitá vrstva sítnice; 4-gangliové buňky;
5- nervová vlákna

3.3 Fotoreceptory

Fotoreceptory jsou světločivými elementy, které využívají proces fotorecepce - přeměna energie světelného kvanta na energii nervového vzruchu. Tato energie způsobí nervové podráždění a tím vznikne zrakový vjem.

Rozložení, počet a tím i vzájemný poměr tyčinek a čípků se mění podle polohy na sítnici. Centrální jamka (fovea centralis) obsahuje pouze čípky. Je to oblast nejostřejšího vidění. Ve vzdalujících se periferiích se počet čípků snižuje a nabývá hodnot menších než tyčinek. Na tomto faktu závisí zraková ostrost, která je vidět na obrázku Obr. 3.3. Sítnice obsahuje 6,5 milionů čípků a asi 125 milionů tyčinek, přičemž jen fovea centralis obsahuje cca 800 tisíc čípků. [2]



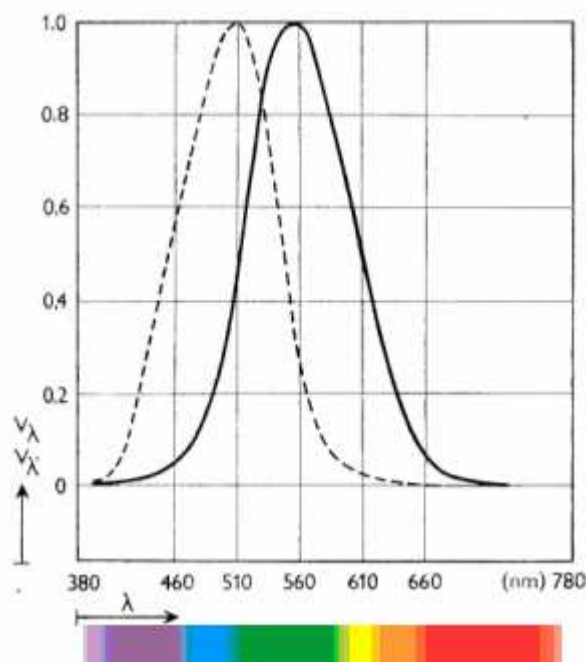
Obr. 3.3 - Závislost zrakové ostrosti na místě sítnice. [2]

..... tyčinky
_____ čípky

Také rozlišujeme 2 druhy vidění:

Fotopické - denní vidění, kdy rozlišujeme barvy. Uplatňují se čípky, jelikož tyčinky jsou na světlo méně citlivé.

Skotopické - vidění za šera, barvy nerozlišujeme. Uplatňují se tyčinky a spektrální citlivost se posouvá doleva. Viz Obr 3.4.



Obr. 3.4 - Relativní spektrální citlivost oka [5]

———— fotopické vidění

----- skotopické vidění

3.4 Adaptace oka

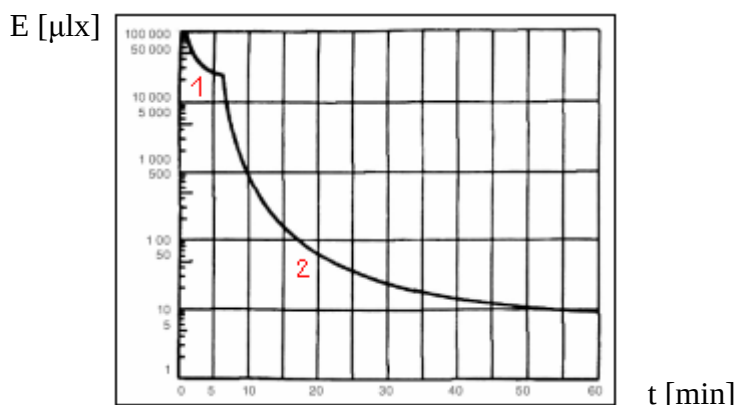
Adaptace oka, neboli přizpůsobení oka určité míře osvětlenosti. Adaptace na světlo nebo na tmu se uskutečňuje díky fotochemickému jevu. Tento jev probíhá při osvětlení fotopigmentů čípků a tyčinek.

Rhodopsin, nebo-li také zrakový purpur, je fotopigment tyčinek. Oční adaptace je založena na rozkladu rhodopsinu pomocí světla a syntézy vlivem tmy. Intenzita osvětlení ovlivňuje rychlost rozkladu. Rychlost závisí i na vlnové délce světla. Ozáření mění rhodopsin svoji barvu na žlutou a poté na bílou. Nejrychleji bledne při žlutozeleném, modrém, zeleném a žlutém světle. Nejpomaleji při ozáření červeným světlem. **Proto je vhodné použít červené osvětlení všude tam, kde je rychlý přechod mezi osvětlenou a tmavou místností (kino, divadlo atp.).**

Fotopigmenty tyčinek jsou cytolab, erytolab a cyanolab. Díky tomu rozlišujeme 3 druhy čípků - každý z nich obsahuje jeden z fotopigmentů, který je závislý na jinou vlnovou délku barevného světla.

Průběh adaptace probíhá podle grafu Obr. 3.5 na kterém vidíme, že nejdříve se uplatní adaptace čípků a poté adaptace tyčinek, která trvá o poznání déle. Z toho vyplývá, že se lidské oko rychleji přizpůsobí na světlo (během několika vteřin), než na tmu (desítky minut). Než se oko adaptuje na světlo, tak člověk vidí velmi špatně, a nebo je dočasně zcela oslepen. To závisí na míře intenzity náhlého osvětlení. Takto oslnění můžeme být přímo - sluneční svit, umělé osvětlení, a nebo nepřímo - odrazem od lesklých ploch. [2]

Proto je třeba dbát na velikost intenzity osvětlení a jasů, tudíž i na materiály okolních předmětů nebo v našem případě vozovky atp.



Obr. 3.5 - křivka prahové citlivosti adaptace čípků a tyčinek [2]

- 1- čípky
2- tyčinky

Zároveň probíhá adaptace pomocí zorniček. Při vyšší intenzitě osvětlení se zorničky zmenšují, naopak při nedostatku světla se zvětšují.

3.5 Oslnění

K oslnění dojde při překročení určité hodnoty kontrastu. Této hodnotě říkáme *únosná míra*.

Je to tedy způsobeno vystavením oka větším hodnotám jasu, než na které bylo adaptováno. Zpravidla je to při hodnotách jasu $7,5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a vyšším. Oslnění můžeme rozdělit na 3 druhy:

oslnění rušivé: vzniká odpoutáním pozornosti na bod s vyšším jasnem než okolí.

oslnění omezující: pocit zrakové nepohody a snížení zrakových schopností, který vznikl náhlou změnou jasu.

oslnění oslepující: hodnoty jasu se náhle zvýšily natolik, že je člověk oslepen i poté, co příčiny oslnění už zmizely. [2], [4]

3.6 Kontrast

Kontrast je rozdíl mezi dvěma hodnotami jasů, daný vztahem 3.1.

$$K = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad [-] \quad (3.1)$$

L_1 - jas 1. plochy [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]

L_2 - jas 2. plochy [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]

Pokud je jas $L_2 > L_1$, nazýváme kontrast kladný (světlá ploška na tmavém pozadí). V opačném případě, kde $L_2 < L_1$ je kontrast nazýván záporným (tmavá ploška na světlém pozadí). [4]

3.7 Frekvence splývání

Při dopadu světla na sítnici s frekvencí 10 Hz, čili pokud světlo bliká tak, že za vteřinu desetkrát zasvítí do oka, vzniká nepříjemný pocit. Přičemž s každým osvětlením sítnice vzniká v centrálním nervstvu světelná stopa. Při záblesku tedy zůstává stopa, za kterou po určité chvíli, v závislosti na frekvenci, následuje další záblesk. Pokud zvýšíme frekvenci tak, aby při záblesku následovala stopa a bezprostředně za ní další záblesk, dostali jsme se na frekvenci splývání. Ta je podle Ferriova-Porterova zákona - vzorec 3.2.

$$f_p = a \cdot \log I \cdot b \quad [\text{Hz}] \quad (3.2)$$

I - intenzita kladné fáze podnětu

a, b - parametry organismu

Frekvence splývání je přibližně 20-50 Hz. [2], [4].

3.8 Barva

Pokud mluvíme o barvě světla, hovoříme o chromatičnosti. Pokud o barvě povrchu, jedná se o koloritě. Barva světla se v praxi označuje jako teplota chromatičnosti udávaná v Kelvinech. [2]

4 Optické veličiny

4.1 Světelný tok

Světelný tok je množství světelné energie kterou vyzáří zdroj; posuzováno z hlediska lidského oka na různé vlnové délky. [3]

- značka Φ
- jednotka: lumen [lm]

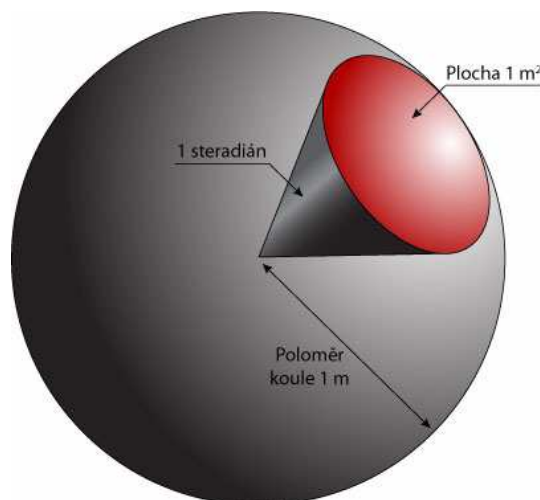
4.2 Prostorový úhel

Prostorový úhel je úhel světelného kužele ze středu koule vymezující plochu S z plochy koule o průměru r . [3]

- značka ω
- jednotka: steradián [sr]

- vzorec: $\omega = \frac{S}{r^2}$

(4.1)



Obr. 4.1 - znázornění prostorového úhlu [14]

4.3 Svítivost

Svítivost je množství světelného toku které vyzáří bodový zdroj ve směru osy prostorového úhlu. [3]

- značka I
- jednotka: kandela [cd]

- vzorec $I = \frac{\Phi}{\omega}$

(4.2)

Pozn: led dioda - 0,005 cd

svíčka - 1 cd

100W žárovka - 135 cd

reflektory auta - 100 000 cd

fotografický blesk - 1 000 000 cd [14]

4.4 Osvětlenost

Osvětlenost, jinými slovy intenzita osvětlení určuje jak velký světelný tok dopadá na plochu S, anebo jakou intenzitu osvětlení naměříme od bodového zdroje se svítivostí I ve vzdálenosti l. [3]

- značka **E**

- jednotka: lux [lx]

- vzorec: $E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I}{r^2}$ (4.3)

Pozn: Běžná hodnota osvětlení ve vnitřních prostorách = 100–2000 lx,

Slunečný letní den > 70 tisíc lx .

Při noci za úplňku < 0,5 lx.

Lidský zrak je natolik adaptabilní, že dokáže vnímat určité už při 10^{-9} lx, bez možnosti rozlišovat jakékoliv předměty.

Text dokáže člověk přečíst i do hodnot 10^8 lx. [2]

4.5 Světlení

Světlení je hodnota světelného toku, který vychází z plochy S. [3]

- značka: **M**

- jednotka: lumen / m² [lm·m⁻²]

- vzorec: $M = \frac{\Phi}{S}$ (4.4)

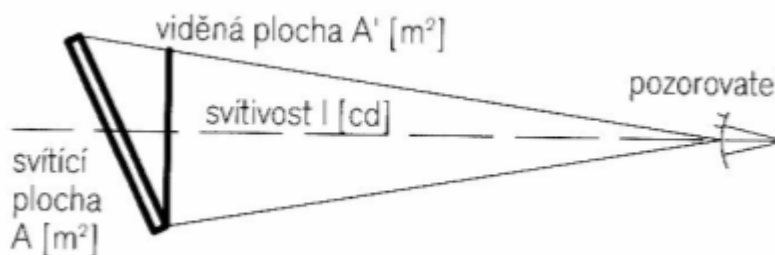
4.6 Jas

Jas nám udává kolik svítivosti vnímá lidské oko z osvětlené plochy v určitém směru, přičemž člověk vidí pouze plochu A' z celkové plochy. Názorné zobrazení na obrázku Obr 4.2. [3], [4]

- značka: **L**

- jednotka: kandela / m² [cd·m⁻²]

- vzorec: $L = \frac{dI}{dA \cdot \cos \alpha} = \frac{I}{A'}$ (4.5)



Obr. 4.2 - zjednodušené zobrazení pro výpočet jasu [3]

4.7 Veličiny charakterizující materiál

Optické vlastnosti materiálů jsou velmi důležité při návrhu a konstrukci jak v různých průmyslových odvětvích, tak i pro běžný život.

Světelný tok dopadající na určitý materiál se dělí na 3 určité části:

$\Phi \rho$ - část, která se odrazí

$\Phi \tau$ - část, která projde

$\Phi \alpha$ - část, která je pohlcena

Tudíž:

$$\Phi \rho + \Phi \tau + \Phi \alpha = \Phi \quad (4.6)$$

Světelně technické vlastnosti materiálů se dají popsat tedy 3 písmeny řecké abecedy:

$$\rho - \text{činitel odrazu} \quad \rho = \frac{\Phi \rho}{\Phi} \quad (4.7)$$

$$\tau - \text{činitel prostupu} \quad \tau = \frac{\Phi \tau}{\Phi} \quad (4.8)$$

$$\alpha - \text{činitel pohlcení} \quad \alpha = \frac{\Phi \alpha}{\Phi} \quad (4.9)$$

Z logických důvodů platí:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (4.10)$$

Pro neprůsvitné materiály platí:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (4.11)$$

Pro pohlcující materiály platí:

$$\alpha = 1 \quad (\text{černé těleso}) \quad (4.12)$$

Pro prostředí venku i v místnosti v praxi pro výpočty platí:

$$\tau = 1 \quad (\text{optické prostředí nerozptyluje ani nepohlcuje}) \quad (4.13)$$

Pro názornost některých materiálů a jejich činitelů se můžeme podívat do tabulky Tab. 4.1 a Tab. 4.2

Tab. 4.1- Činitel odrazu některých povrchů 1 [1]

materiál, povrch		činitel odrazu ρ (%)	materiál, povrch		činitel odrazu ρ (%)	
hliník plátovaný		75 - 90	dřevo javorové, surové, přírodně voskované		40 - 50	
hliník leštěný		60 - 72				
matný hliníkový povrch		55 - 60	dřevo dubové, surové, přírodně voskované		30 - 49	
stříbro leštěné		85 - 94				
platina leštěná		62	dřevo ořechové		10 - 20	
zlato leštěné		70	dřevo mahagonové		15 - 20	
nikl leštěný		53 - 63	dřevo mořené tmavé		10 - 30	
chrom leštěný		60 - 70	malba (zeď)	bílá		76 - 88
leštěný povrch nerez oceli		55 - 60		žlutá	světlá	66 - 80
bílý smalt		85 - 90			tmavá	47 - 67
žula		cca 44		hnědá	světlá	30 - 48
cihly	žluté	cca 35			tmavá	14 - 31
	červené	cca 25		červená	světlá	39 - 65
sádra		cca 80			tmavá	17 - 93
malta velmi jasná		cca 50		zelená	světlá	36 - 69
omítky ušlechtilé jasné		cca 40			tmavá	11 - 35
malta tmavá		cca 25		modrá	světlá	24 - 56
papír	bílý	cca 80			tmavá	5 - 25
	světle žlutý	60 - 70		růžová		35 - 61
	světle zelený			šedá	světlá	35 - 67
	namodralý světlý				tmavá	15 - 35
	středně modrý			35 - 45	černá	

Tab. 4.2 – Činitel odrazu některých povrchů 2 [1]

materiál ; tloušťka	činitel		
	odrazu ρ (%)	prostupu ρ (%)	pohlcení ρ (%)
sklo čiré; 2 - 4 mm	6 - 11	90 - 92	2 - 4
sklo maltované; 2 - 3 mm	6 - 11	75 - 91	3 - 9
sklo opálové bílé; 2 - 3 mm	29 - 52	36 - 66	3 - 10
sklo opalizované; 2 - 3 mm	13 - 28	59 - 84	3 - 13
mramor bílý lesklý; 7,3 - 10 mm	30 - 71	3 - 8	24 - 65
hedvábí bílé	28 - 38	61 - 71	cca 1
silon bílý	cca 55	cca 17	cca 28
silon šedý průhledný	cca 8	cca 79	cca 13

Pomocí činitele odrazu a intenzity osvětlení jsme schopni zjistit i hodnotu světlení:

$$M = \rho \cdot E \quad [\text{lx}] \quad (4.11)$$

Plocha, která by dokonale rozptylovala světlo se nazývají *Lambertovy zářiče*. Jas těchto ploch by nezávisel na úhlu dopadu. Ekvivalentní prostorový úhel by byl roven π a tím se dostaneme ke vzorci:

$$M = \pi \cdot L \quad [\text{lx}] \quad (4.12)$$

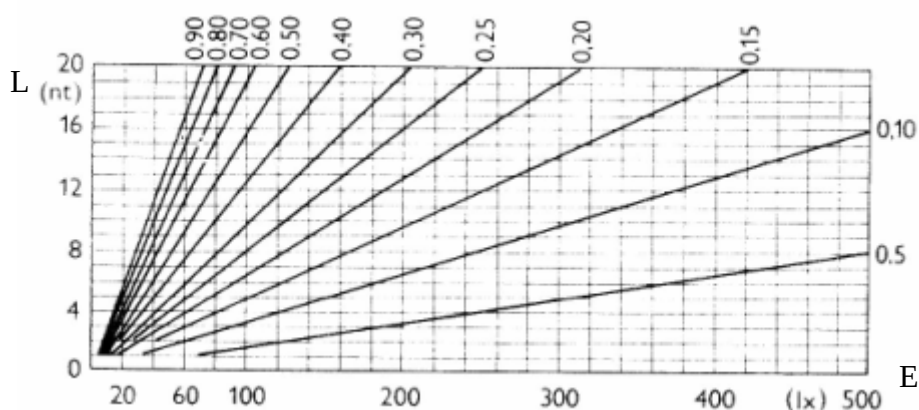
Dosazením vzorce 4.11 do 4.12 dostaneme:

$$\rho \cdot E = \pi \cdot L \quad (4.13)$$

Díky tomuto vztahu můžeme se znalostí intenzity osvětlení a činitele odrazu zjistit hodnoty jasu. Nebo z hodnot E a L dopočítat činitel odrazu.

Ve skutečnosti se ideální materiály nenachází, přesto se ovšem v praxi některé plochy za Lambertovy zářiče považují a s těmito vzorci se počítá. [1]

Vzájemné propojení veličin E, L a ρ lze vidět na obrázku Obr. 4.3.



Obr. 4.3 - graf závislosti mezi jase, osvětleností a činitelem odrazu. Jas je zde uveden v jednotkách nit [nt], což je staré označení pro $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. U každé přímký je označen na pravé straně její činitel odrazu.[2]

5 Optická pohoda

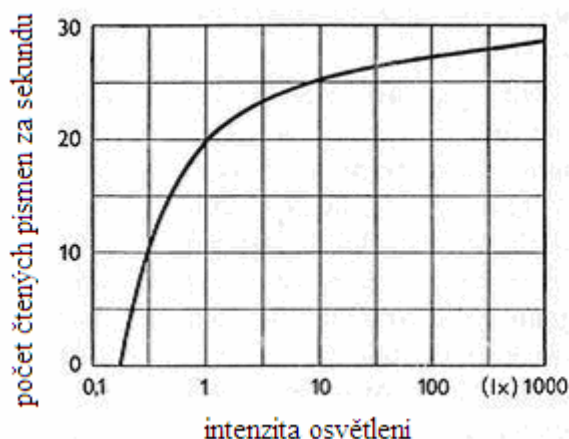
Jelikož je zrak spjat s CNS - centrální nervovou soustavou, je jeho funkce negativně ovlivněna okolními vlivy, jako například teplotou, rozrušením, pocitem chladu, hlukem, fyzickým vyčerpáním. Funkce může být ovlivněna i pozitivně, například dobrou náladou, klidným pracovním prostředím nebo radostí. Rozmístění předmětů, tvary předmětů, hodnoty osvětlení, jasů a kontrastů a druhy barev jak osvětlení, tak pozadí, mají také neopomenutelný vliv na funkci zraku. Pokud nejsou dodrženy určitá pravidla a doporučení ohledně výše zmíněným veličinám, není člověk v tzv. optické pohodě. To má za následek nejen například únavu, pocity deprese atp., ale i přímé ohrožení zdraví.

K ohrožení může dojít například nedodržením předepsaných hodnot osvětlenosti v určitých pracovních prostorách, jako třeba v dílnách při práci na strojích - pokud bude málo světla, lehce se může stát, že dojde k úrazu. Nebo při osvětlení pracoviště s cirkulárou jedinou zářivkou se stejnou frekvencí, jakou se otáčí kotouč - ten potom vypadá, jako by se netočil - stroboskopický jev, který je také zdrojem nepříjemného pocitu. Stejně tak je nebezpečné, aby chirurg operoval při menším osvětlení než nařizují normy. Pro hrubou práci stačí 200 lx, pro práci jemnou je vhodná intenzita osvětlení 500 lx (hodnota v kancelářích), pro velmi jemnou je třeba mít aspoň 1000 lx. Na operačních sálech je třeba kolem 30 000 lx. Další nebezpečí může nastat nevhodným umístěním osvětlení. To je zvlášť nebezpečné v dopravě. Takové nebezpečí může nastat třeba příliš velkým rozestupem osvětlení od sebe. Také je třeba dbát pozornost, aby nebyl řidič oslněn, ať už příliš velkým osvětlením přímo ze zdroje, a nebo odražením světla z některých lesklých ploch v okolí komunikace. Proto je třeba dbát pozornosti na použité materiály vozovky. O tom ale podrobněji v kapitole Veřejné osvětlení.

Optická pohoda je tedy psychofyzilogický jev, kdy se člověk cítí příjemně a pohodlně a zrak plní optimálně svoji funkci, přičemž nehrozí žádné zdravotní nebezpečí.

5.1 Rychlost čtení

Do optické pohody bychom mohli zařadit i hodnoty osvětlení pro četbu. Rychlost čtení je totiž závislá na osvětlenosti. Jak? To popisuje Obr. 5.1.



Obr. 5.1- Grafická závislost zobrazující rychlost čtení [2]

5.2 Barevné účinky na optickou pohodu

Jak účinkují které barvy na CNS a tím na člověka uvidíme v následujících tabulkách.

Tab. 5.1 – Optická pohoda barev 3[2]

Intenzita osvětlení [lx]	Barevný vzhled světla		
	teplý	střední	chladný
≤ 500	příjemný	neutrální	chladný
500 - 3 000	povzbuzující	příjemný	neutrální
≥ 3 000	nepřirozený	povzbuzující	příjemný

Tab. 5.2 – Optická pohoda barev 1[3]

barva	prostorový vjem	dojem teploty	vyvolá pocit
modrá	vzdaluje, zvětšuje	ochlazuje	uklidňuje
zelená	vzdaluje	ochlazuje	velmi uklidňuje
červená	přibližuje, zmenšuje	otepluje	velmi dráždí, zneklidňuje
oranžová	velmi přibližuje	velmi otepluje	povzbuzuje
žlutá	přibližuje, zmenšuje	velmi otepluje	povzbuzuje
hnědá	velmi přibližuje, zmenšuje	neutralizuje	povzbuzuje
fialová	velmi přibližuje	ochlazuje	znepokojuje, dráždí

Tab. 5.3 – Optická pohoda barev 2 [3]

BARVY	Působení		
	shora	z bočních stran	zdola
Teple světlé	povzbuzují	zdánlivě zvyšují teplotu povrchu a přibližují prostor	prohlubují prostory a zvedají ho směrem do výšky
teple temné	zavírají, stlačují	dobře ohraničují a vytvářejí zdání blízkosti	dávají pocit jistoty a pocit stoupání (barvy připomínají zemi)
studené světlé	rozjasňují, na okrajích zvedají	dávají pocit chladu, vedou do dále a rozlišují prostor	povrchy s těmito barvami se zdají být hladkými, prostory nutí k rychlé chůzi, mnohdy budí obavy a nejistotu
studené temné	tísňivé, podmračené	vzbuzují smutek a chlad	sníží prostor do hloubky

6 Barva

Vjem barvy je dán dopadem světla (elektromagnetického záření) určité vlnové délky na sítnici, kde působí různá podráždění. Která vlnová délka působí jakou barvou je znázorněno v tabulce Tab. 2.2.

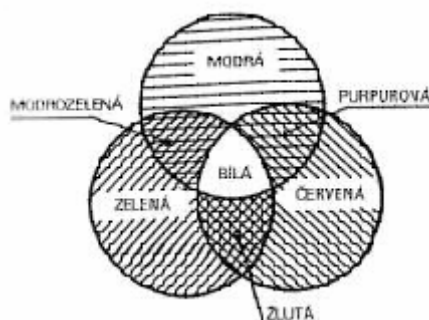
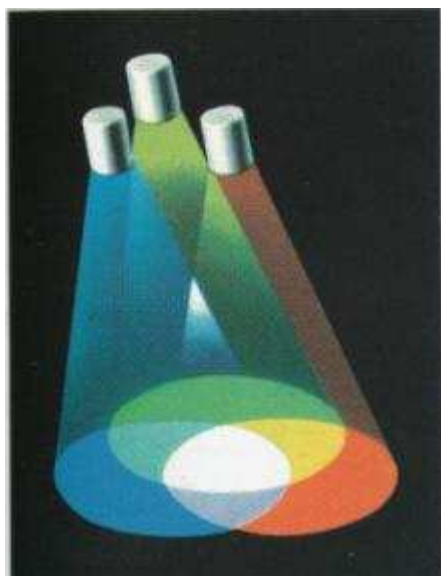
Jak již bylo řečeno, barva světla se označuje jako chromatičnost. Barva povrchu předmětů, která je touto barvou ozářena působí barvou která se značí jako kolorita. Barva světla se v praxi označuje jako teplota chromatičnosti udávaná v Kelvinech.

Chromatičnost je dána spektrálním složením záření vyzařujícího zdroje.

Kolorita je dána spektrálním složením záření vyzařujícího zdroje, který osvětluje daný předmět a vlastnostmi tohoto předmětu - propustností či odrazností.

Kromě spektrálních barev, které můžeme poznat například pozorováním duhy, a nebo podíváním se do tabulky Tab. 2.2, rozlišujeme i tzv. nespektrální barvy, které jsou dány míšením 2 konců viditelného spektra, jako například červené a fialové. Tyto barvy se nazývají purpury.

Míšení různých spektrálních světél má za následek vznik jiné barvy. Názorná ukázka je na obrázku Obr. 6.1 a Obr. 6.2.



Obr. 6.2 - Míšení 3 základních barev. [1]

Obr 6.1 - Míšení 3 základních barev: R- červené, G- zelené a B- modré (RGB - označení z angličtiny) [1]

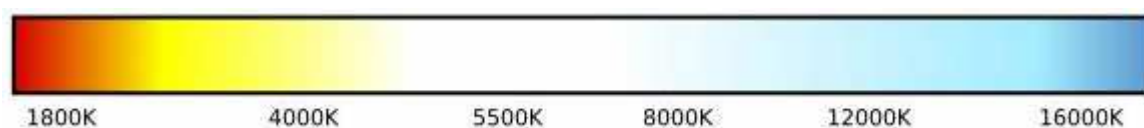
6.1 Spektrální vyjádření světla

Spektrální složení světla se dá vyjádřit více způsoby. Většinou se používají:

- teplota chromatičnosti
- poměrné spektrální složení světla
- souřadnice v kolorimetrické soustavě CIE

6.1.1 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti udává hodnotu teploty, na kterou by musel být zahřát černý zářič, aby měl uvažovanou chromatičnost.

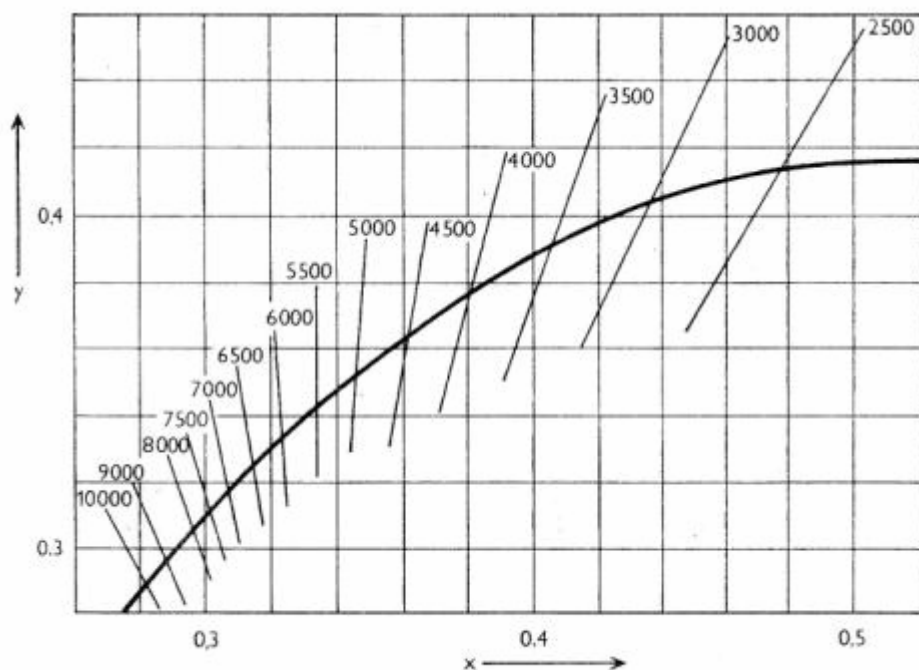


Obr. 6.3 - Teplota chromatičnosti, v Kelvinech [K] [12]

Tab. 6.1 – Chromatičnost některých zdrojů [12]

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• 1200 K: svíčka• 2800 K: žárovka, slunce při východu a západu• 3000 K: studiové osvětlení• 5000 K: obvyklé denní světlo, zářivky• 5500 K: fotografické blesky, výbojky; toto je obvyklá barevná teplota používaná v profesionální fotografii• 6000 K: jasné polední světlo• 6500 K: standardizované denní světlo• 7000 K: lehce zamračená obloha• 8000 K: oblačno, mlhavo (mraky zabarvují světlo do modra)• 10 000 K: silně zamračená obloha nebo jen modré nebe bez Slunce |
|--|

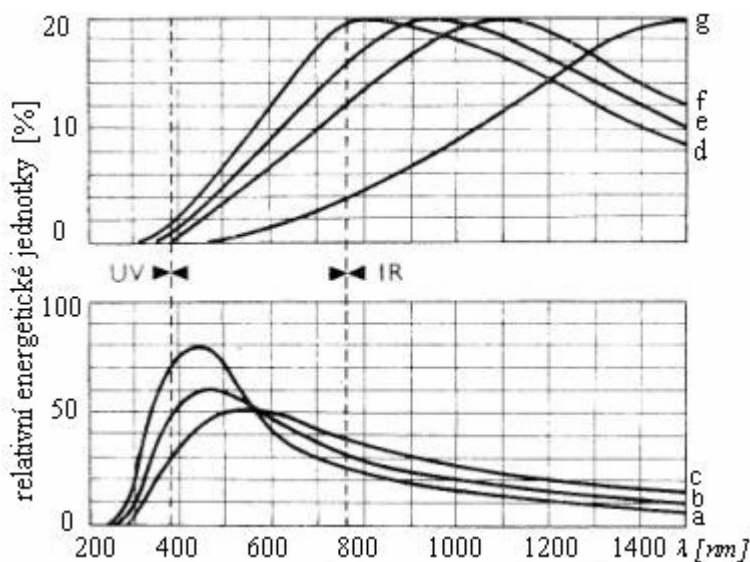
Zdroj záření, který je svojí chromatičností blízko teplotní křivce se nahrazuje tzv. náhradní chromatičností. Ta je ovšem jen přibližná - Obr. 6.4.



Obr 6.4 - graf pro zjištění náhradní teploty chromatičnosti podle kolorimetrické soustavy CIE [2]

6.1.2 Poměrné spektrální složení světla

Vynáší se jako křivka do grafu, kde na vodorovné ose x je vlnová délka λ [nm] daného druhu světla a na svislé ose je poměrná hodnota energie [%]. Názorná ukázka na obrázku Obr 6.5.

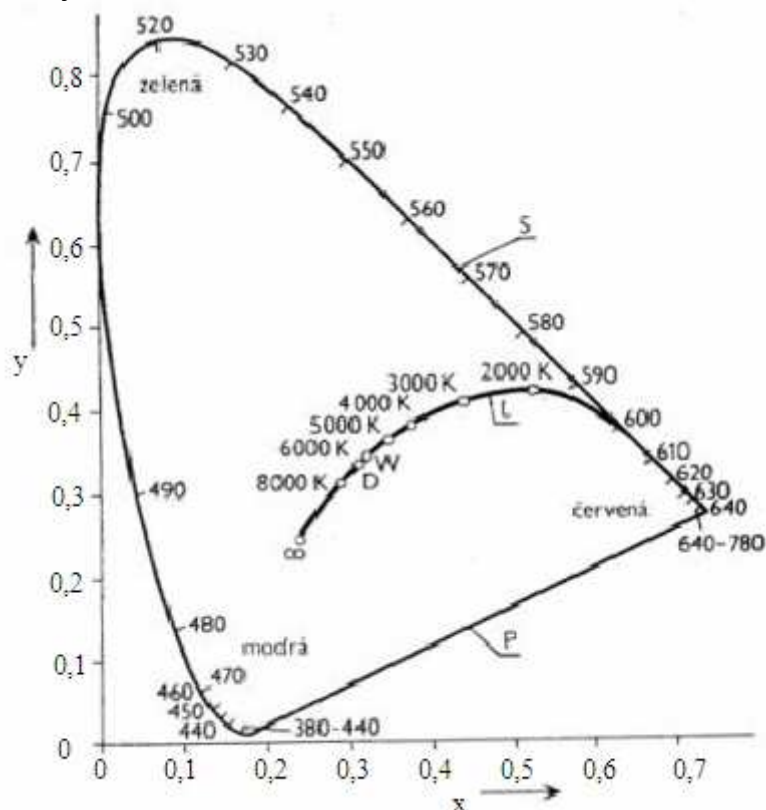


Obr 6.5 - Poměrné spektrální složení světla různých zdrojů

a - světlo severní oblohy (10 000K); b - světlo úplně zatažené oblohy (6 000K); c - přímé sluneční světlo (5 335K); d - halogenová žárovka 1000W (3 000K); e - klasická žárovka 200W (2 800K); f - klasická žárovka 15W (2 400K); g - infra žárovka (2 000K) [2]

6.1.3 Kolorimetrická soustava CIE

Chromaticita se v této soustavě určuje třemi souřadnicemi - x, y, z , respektive pouze dvěma, neboť součet $x + y + z = 1$.



Obr. 6.6 - Diagram chromaticity kolorimetrické soustavy CIE v pravoúhlých souřadnicích. [1]

Popis k Obr. 6.6:

Na oblé straně S obrazce je znázornění chromaticity v závislosti na vlnové délce.

Dolní přímka P znázorňuje nespektrální barvy - purpury.

Křivka L v obrazci znázorňuje teplotní chromaticita.

Bod W - bílé světlo. Souřadnice $x = 1/3$ a $y = 1/3$

Bod D - místo teplotní chromaticity denního světla (6 500K)

6.2 Podání barev

Barva předmětu ozářeného denním světlem se může lišit od barvy předmětu, který je například pod výbojovým zdrojem světla, které má odlišné spektrální složení. Problémy z toho faktu plynou i v běžném životě. Například jídlo v obchodě ozářené běžnou žárovkou se nám může zdát vábné, nebo jen „normální“, zatímco jídlo ozářené výbojkou působí nevábně a odpudivě.

Spektrální složení světla má tedy vliv na vjem barvy ozařovaného předmětu. Tento vliv nazýváme jako tzv. podání barev. Vjem barvy si tedy člověk „ať už vědomě, nebo nevědomě srovnává s barvou na kterou je zvyklou.

K číselnému ohodnocení se používá tzv. index podání barev, který udává stupeň shodnosti barvy předmětu ozářeného určitým zdrojem a barvy téhož předmětu ozářeným předem smluveným zdrojem za určených podmínek. Výpočtem dospějeme k hodnotě která se nazývá všeobecný index podání barev a označuje se R_a . Dále můžeme vypočítat i speciální indexy barevného podání - R_1, R_2, R_3 atd. Ty se ovšem v praxi používají méně. [1]

Výpočet R_a :

$$R_a = 100 - 4,6\Delta E_a \quad (6.1)$$

$$R_i = 100 - 4,6\Delta E_i \quad (6.2)$$

$$\Delta E_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 4,6\Delta E_i \quad (6.3)$$

n - počet použitých barevných vzorků (obvykle 8 nebo 14)

$$\Delta E_i = 800 \sqrt{[(u_{oi} - u_o) - (u_{ki} - u_k)]^2 + [(v_{oi} - v_o) - (v_{ki} - v_k)]^2} \quad (6.4)$$

$i - 1, 2, 3 \dots$

u_o, v_o - souřadnice bodu popisujícího chromatičnost světla srovnávacího zdroje v diagramu uv

u_k, v_k - souřadnice bodu popisujícího chromatičnost světla zkoušeného zdroje v diagramu uv

u_{oi}, v_{oi} - souřadnice bodu popisujícího v diagramu $u v$ barevný vjem i -tého vzorku osvětleného srovnávacím zdrojem.

u_{ki}, v_{ki} - souřadnice bodu popisujícího v diagramu $u v$ barevný vjem i -tého vzorku osvětleného zkoušeným zdrojem.

Souřadnice u, v jsou používány v dřívější soustavě UVW.

Přepočet mezi UVW a XYZ [1]:

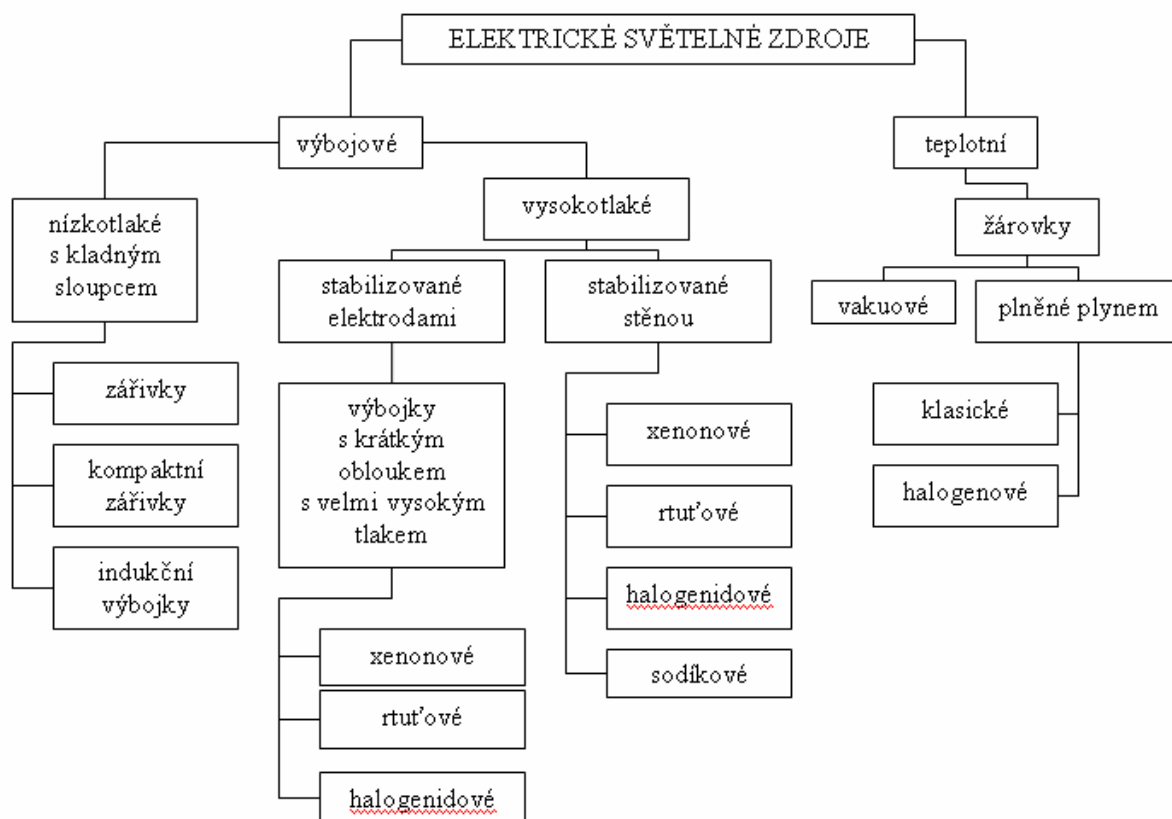
$$u = \frac{4x}{-2x + 12y + 3} \quad (6.5)$$

$$v = \frac{9x}{-2x + 12y + 3} \quad (6.6)$$

Hodnoty indexu podání barev R_a se pohybují od 0 do 100. Přičemž $R_a = 100$ představuje zdroj s nejdůvěrnějším osvětlením. Takový index najdeme i při denním osvětlení. Oproti tomu nulový R_a je typický pro monochromatické nízkotlaké sodíkové výbojky.

7 Světelné zdroje

O světelných zdrojích jsme se zmínili již v první kapitole, především v tabulce Tab. 2.1. Nyní nás zajímají zdroje, které se převážně používají v elektrotechnice a to v oblasti silnoproudé elektrotechnice. Tyto zdroje najdeme v diagramu na obrázku Obr. 7.1.



Obr. 7.1. - Diagram světelných zdrojů [1]

V oblasti veřejného osvětlení se v ČR používá 3 světelných zdrojů, a sice *halogenidových, rtuťových a sodíkových*. Ty řadíme mezi výbojové a dále mezi vysokotlaké.

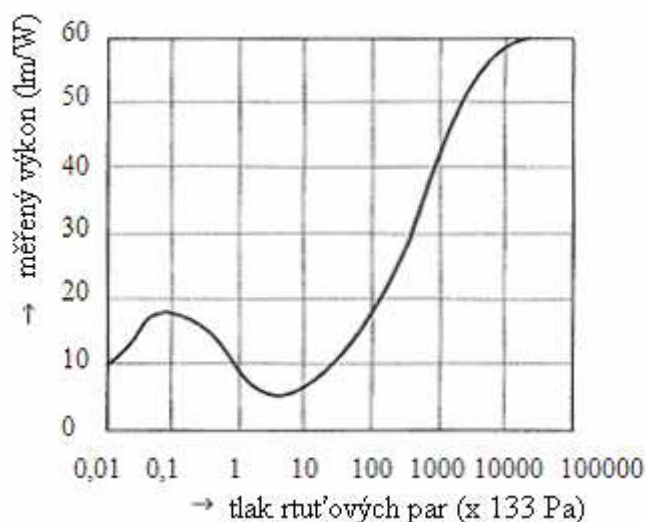
7.1 Výbojové světelné zdroje

Funkce je založena na chemických procesech, které jsou způsobeny průchodem elektrického náboje prostředím s obsahem určitého plynu.

7.1.1 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Zvyšováním tlaku se mění vlastnosti světelného zdroje. Oproti nízkotlakým výbojkám (1Pa), u kterých převládá vyzařované spektrum v UV oblasti, zdroj vyzařuje více na větších vlnových délkách, čili ve viditelné oblasti a spektrum je spojitě. Taktéž roste měrný výkon. Ovšem ve spektru chybí zastoupení červeného světla, a proto tento zdroj nemá ve veřejném osvětlení, kvůli špatnému indexu podání světla, místo, pokud nepoužijeme jednu z možných úprav:

- 1) použití luminoforu, díky kterému se UV složka mění na červené světlo.
- 2) Kombinace rtuťové výbojky se žárovkou.
- 3) Použití vhodné příměsi do rtuťového výboje, tzv. halogenidů, které doplní mezery ve spektru. To už potom mluvíme o halogenidových výbojkách.



Obr. 7.1 - Závislost měrného výkonu na tlaku rtuťových par [1]

7.1.2 Vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem

Hlavní část světla zde vzniká při tlaku výplně, čili tlaku rtuťových par 100 kPa. Tato hodnota je nezávislá na typu baňky. Je tedy jedno, zda je použit luminofor nebo ne. Stejně tak, jestli se jedná o směsovou výbojku se sérií s wolframem.

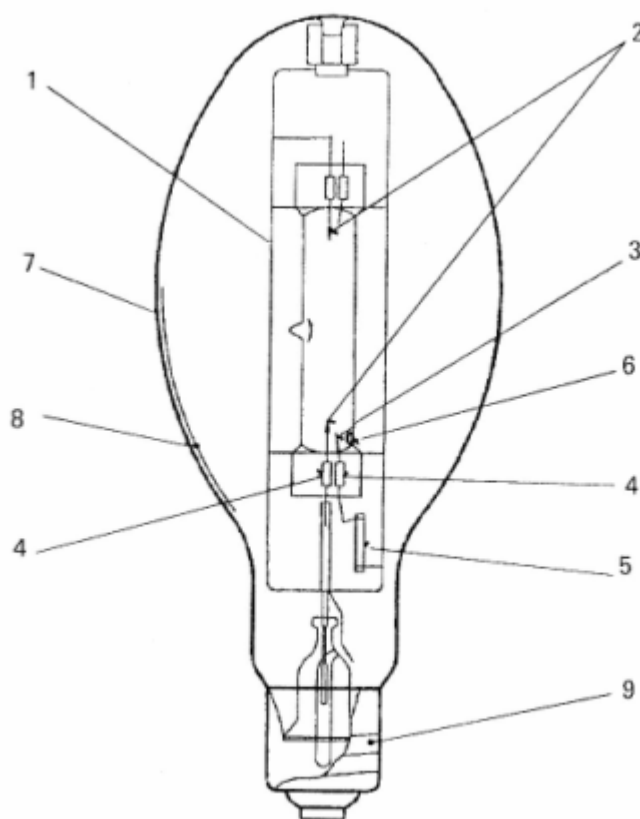
Výbojová trubice - hořák - je vyroben z křemenného skla. V něm jsou zataveny hlavní elektrody i s pomocnou elektrodou. Molybdenová fólie se používá na vakuový záťah. Výbojová trubice je naplněna při tlaku 20 kPa určitým množstvím rtuť a argonem, který usnadňuje zapálení výboje.

Díky pomocné elektrodě může vzniknout pomocný výboj mezi hlavní a pomocnou elektrodou, který předem zajišťuje ionizaci v hořáku a také pomáhá k vytvoření hlavního výboje mezi hlavními elektrodami.

Vnější baňka, která slouží jako zábrana proti UV, se používá i jako místo, na které se nanáší luminofor. Při výkonu do 125 W se vyrábí baňka ze sodo-vápenatého skla. Nad 125 W je použita baňka z boro-křemičitého skla. Jako luminofor se používá vanadičnan yttritý, nebo vanadičnan-boritan-fosforečnan.

Použití patice, zda-li E27 nebo E40, záleží na příkonu. Teplota chromatičnosti je kolem 3000K až 3900K. Index podání barev $R_a = 40 - 59$.

Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky je zobrazena na obrázku Obr. 7.2. Standardní řada výbojek je uvedena v tabulce Tab. 7.1. [1]



Obr. 7.2 - Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [1]

1-nosný rámeček; 2-hlavní elektrody; 3-pomocná elektroda; 4-molybdenová folie; 5-rezistor; 6-rtuť; 7- vnější baňka; 8-vrstva luminoforu; 9-patice

Tab. 7.1 – Výrobní řada rtuťových výbojek [1]

Příkon výbojky (W)	50	80	125	250	400	700	1000
Jmenovitý světelný tok (lm)	1800	3800	6300	13000	22000	38500	58000
Patice	E27	E27	E27	E40	E40	E40	E40
Provozní proud (A)	0,6	0,8	1,15	2,15	3,25	5,4	7,5
Měrný výkon (lm/W)	36	47,5	50	52	55	55	58
Příkon včetně předradníku (W)	59	89	137	266	425	735	1045

7.1.3 Vysokotlaké halogenidové výbojky

Existují chemické prvky a sloučeniny, které po přidání do výbojky změny spektrální složení záření daného světelného zdroje. Především se tak dá docílit získání červeného spektra, které ve vysokotlaké rtuťové výbojce chybí. Jako nejlepší výplň se používají halogenidy (jodidy, bromidy..), které jsou stálé a nejsou agresivní vůči hořáku. Stavba tohoto zdroje je obdobná jako u rtuťových výbojek.

Index podání barev je tedy závislý na použité sloučenině. Příklady jsou uvedeny v Tab.7.2. [1]

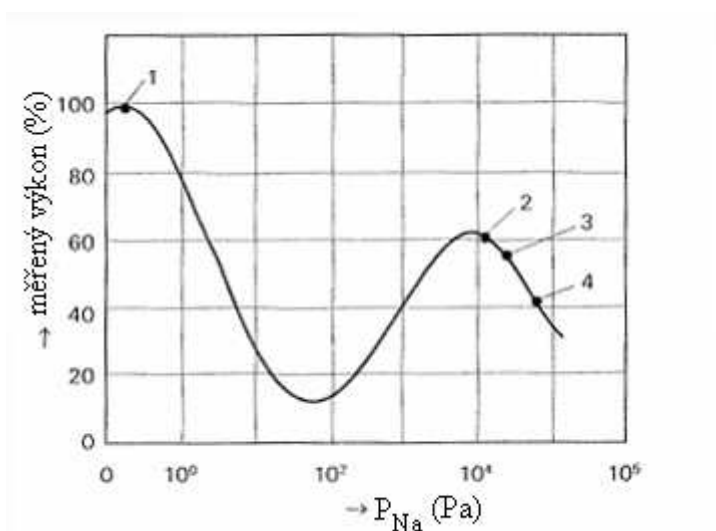
Tab. 7.2 – Sloučeniny pro vysokotlaké halogenidové výbojky [1]

Sloučeniny	Rezonanční část spektra	Index podání barev R_a
NaI + TlI + InI	589, 535, 410 a 450 [nm]	65
DyI ₃ + HoI ₃ + TmI ₃ + TlI	Velmi husté spektrum	> 90
ScI ₃ + NaI + LiI	Modro- zelená a červená oblast	75
SnBr ₂ + SnI	Spojité spektrum	98

7.1.4 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Pokud bychom použili sodík u nízkotlakých výbojek, dostali bychom vyzařované spektrum v oblasti kolem 590 nm. To se ovšem v české republice moc neuchytilo kvůli špatnému R_a , a tak se používají vysokotlaké sodíkové výbojky, kde se při zvýšení tlaku sice sníží vyzařovaný výkon, ale rozšíří se spektrum a tím i index podání barev. Graf závislosti vyzařovaného výkonu na tlaku lze vidět na obrázku Obr. 7.3. Spektrum je vidět na obrázku Obr. 7.5.

Vysokotlaké sodíkové výbojky se používají v průmyslovém osvětlení, ale převážně se s nimi setkáváme u veřejného osvětlení. [1]



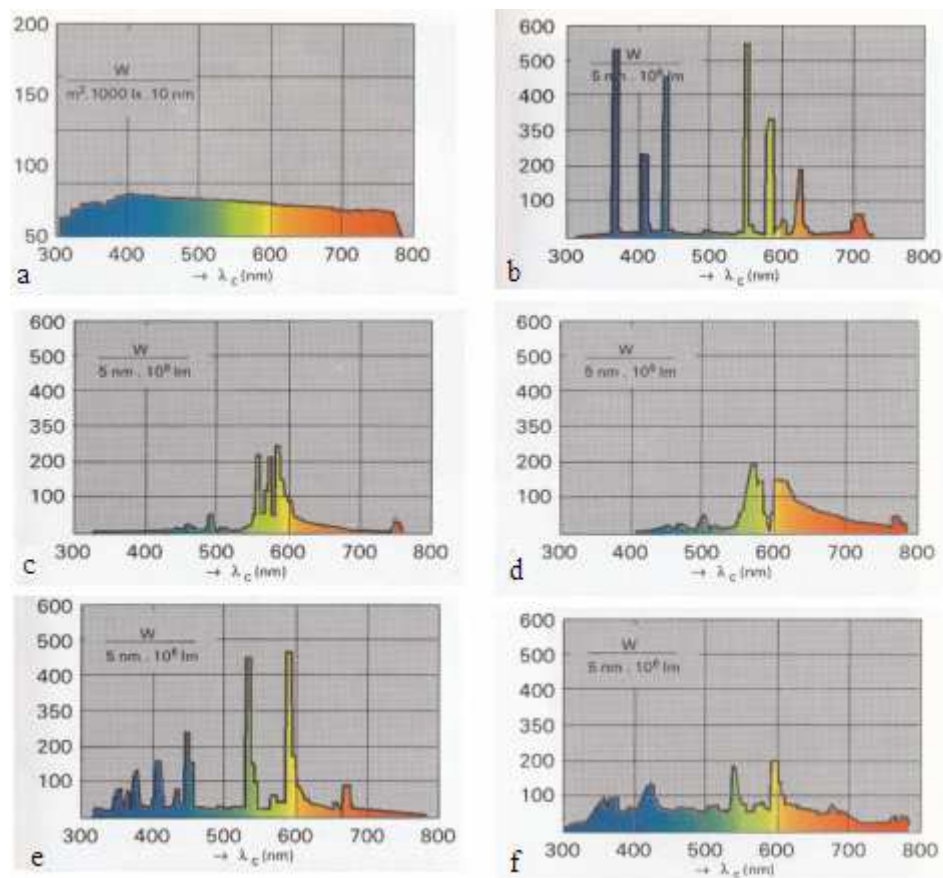
Obr. 7.3 - Grafická závislost mezi měrným výkonem a tlakem par

1 - nízkotlaké sodíkové výbojky

2 - vysokotlaké sodíkové výbojky standardní

3 - vysokotlaké sodíkové výbojky se zlepšeným indexem podání barev $R_a = 60$

4 - vysokotlaké sodíkové výbojky s vynikajícím indexem podání barev $R_a > 80$



Obr. 7.5 spektrum světelných zdrojů [1]

a) denní světlo; b) vysokotlaká rtuťová výbojka s přidaným luminoforem;
c) standardní vysokotlaká sodíková výbojka; d) vysokotlaká sodíková výbojka se zlepšeným
podáním barev; e) halogenidová výbojka s příměsí Na, Tl, In; f) halogenidová výbojka
s příměsí halogenidů vzácných zemin

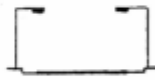
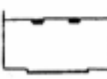
8 Venkovní osvětlení

Venkovní osvětlení zajišťuje osvětlení v několika typově různých situacích. Převážně v dopravě, na venkovním pracovišti a na sportovišti. Dále slouží jako dekoračně architektonická součást nebo se používá v reklamě.

8.1 Veřejné osvětlení

Veřejné osvětlení zaručuje osvětlení na komunikacích a prostranstvích. Tato neplacená služba je obyvatelům poskytována za účelem orientace i za tmy. Navíc snižuje riziko kriminality.

Na veřejných komunikacích se používají osvětlovací soustavy znázorněné na obrázku Obr.8.1. [1]

Název soustavy	Směrové rozdělené	Směrové nerozdělené
jednostranná se stožáry po pravé straně vozovky		
jednostranná se stožáry po levé straně vozovky		
vystřídaná		
párová		
převěsová osová		
převěsová párová		
řetězec		

Obr. 8.1 - soustavy veřejného osvětlení [1]

Je důležité, aby byla vybrána správná soustava a s tím i geometrické uspořádání, které dokáže řidiči prozradit průběh silniční komunikace, jako jsou zatáčky atp. Také je zapotřebí dostatečně osvětlit přechody pro chodce.

8.2 Zapínání veřejného osvětlení

Veřejné osvětlení (dále jen V.O.) může být zapínáno dvěma způsoby.

- 1) spínání podle intenzity osvětlení
- 2) časové spínání

Každý způsob zapínání popisují dané tabulky.

Tab.8.1 - Spínání podle intenzity osvětlení [1], [7]

1a. V oblastech husté zástavby a v místech s vysoce náročnými dopravními podmínkami	
stav	okolní osvětlenost
zapnutí	80 lx
vypnutí	40 lx
1b. V oblastech mimo zástavbu	
stav	okolní osvětlenost
zapnutí	40 lx
vypnutí	20 lx

Tab. 8.2 - Časové spínání [1], [7]

období	zapnutí	vypnutí
zimní 23.9 až 20.3	1/2 hod. po západu Slunce	1/2 hod. před východem slunce
letní 21.3 až 22.9	3/4 hod. po západu Slunce	3/4 hod. před východem slunce

8.3 Osvětlenost V.O.

Intenzitu osvětlení udávají normy. Povolená intenzita se ale mění v závislosti na skupině světelné situace a tím i třídy osvětlení. Příkladné vysvětlení je vidět na praktické části této práce, která začíná od kapitoly 11.

9 Měření osvětlenosti

Měření osvětlenosti se provádí podle normy ČSN EN 13201-4 takto:

Osvětlenost je potřeba měřit luxmetrem s parametry odpovídajícími účelům měření. V případech, kdy se požaduje pouze orientační měření, není nutné, aby luxmetr byl dokonale zkalibrován, je třeba však brát v úvahu jeho dlouhodobé stárnutí.

Pro měření vodorovné a svislé osvětlenosti se používá fotometrická hlava pro měření rovinné osvětlenosti.

Pro měření polokulové a polokulové osvětlenosti je nutno použít fotometrické hlavy navržené pro tyto účely.

Poznámka: Polokulovou osvětlenost v bodě lze při dodržení následujícího postupu měřit i měřícím přístrojem určeným pro měření rovinné osvětlenosti. Vodorovná osvětlenost $E_{\text{vodorovná}}$ vytvořená všemi svítidly se měří v bodě. Složka E_1 se měří tím způsobem, že měřící hlava se natočí tak, aby světelný paprsek měřeného svítidla dopadal na snímací plochu fotometrické hlavy kolmo a všechno ostatní světlo bylo vyloučeno. Polokulová osvětlenost je pak dána výrazem:

$$E_{\text{polokulová}} = \frac{1}{4} \left[E_{\text{vodorovná}} + \sum_{k=1}^n (E_K) \right] \quad (9.1)$$

kde E_K je příspěvek od k -tého svítidla;

$\sum_{k=1}^n$ označuje součet příspěvků od prvního až po n -té svítidlo.

Zvláštní péči je nutno věnovat tomu, aby členové měřící skupiny během měření neclonili světlu, dopadajícímu na fotometrickou hlavu. Z tohoto důvodu se doporučuje použití buď měřícího přístroje propojeného s měřící hlavou pomocí kabelu, nebo měřící přístroje s kabelem dálkového ovládání. Kabely mají být natolik dlouhé, aby se měřící technici mohli postavit tak, aby nedošlo k zaclonění světla, které by jinak dopadalo na fotometrickou hlavu.
[9]

9.1 Výška a orientace fotometrické hlavy

a) Vodorovná a polokulová osvětlenost

Rovina povrchu fotočlánku fotometrické hlavy musí být vodorovná. Fotočlánek má být umístován přímo na zem, ale tam, kde to není možné, se smí umístit do výšky až 200 mm, což je nutno zaznamenat do protokolu o měření.

b) Poloválcová a svislá osvětlenost

Střed fotočlánku fotometrické hlavy musí být umístěn ve výšce 1,5 metrů nad povrchem země. Fotočlánek fotometrické hlavy musí být svislý a mít správnou orientaci, v obvykle v podél komunikace. [9]

9.2 Sít' kontrolních bodů

Není-li zúčastněnými stranami dohodnuta jiná sít', pak se má zvolit sít' kontrolních bodů podle EN 13201-3. [9]

9.2.1 Poloha kontrolních bodů

Výpočtové body musí být rovnoměrně rozloženy ve výpočtovém poli (viz *Obr. 9.1*) a jejich počet musí být volen následovně:

a) v podélném směru

Rozteč v podélném směru se stanoví podle rovnice:

$$D = \frac{S}{N} \quad (9.2)$$

kde D je rozteč mezi body v podélném směru, v metrech [m]

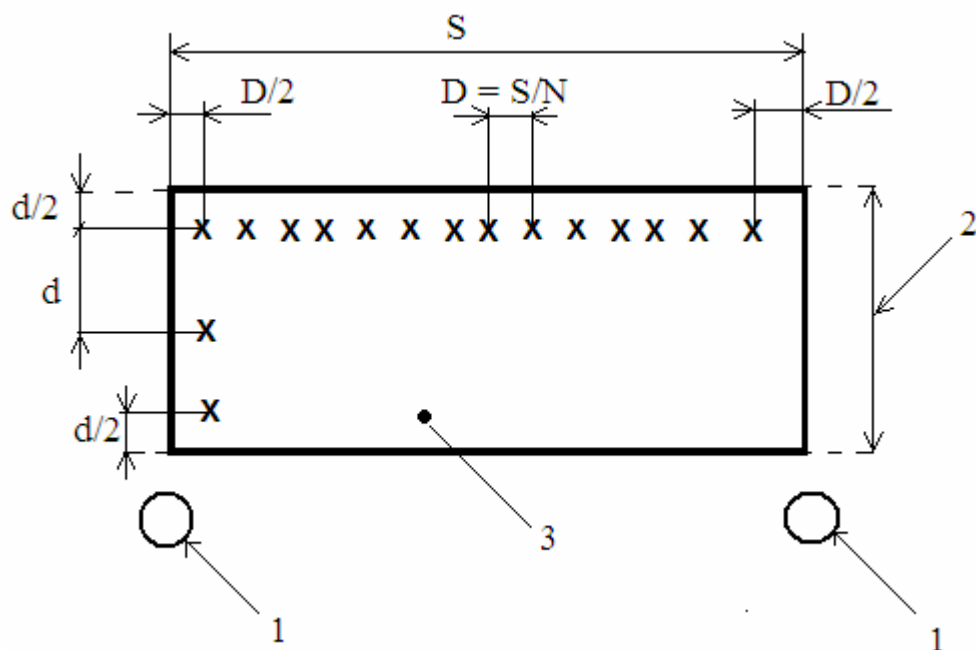
S je rozteč svítidel, v metrech [m]

N je počet výpočtových bodů v podélném směru, které nabývají těchto hodnot:

Pro $S \leq 30\text{m}$, $N = 10$

Pro $S > 30\text{m}$, nejmenší celé číslo splňující podmínku $D \leq 3\text{m}$.

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



Obr. 9.1 – Sít' výpočtových bodů [8]

1- světlo;

2- šířka relevantní oblasti W_r ;

3- výpočtové pole

x označuje řady výpočtových bodů v podélném a příčném směru

b) v příčném směru

$$d = \frac{W_r}{n} \quad (9.3)$$

kde d je rozteč bodů v příčném směru měřená v metrech [m]

W_r je šířka komunikace nebo relevantní oblasti, v metrech [m]

n je počet bodů v příčném směru, jejichž hodnota je větší nebo rovna 3 a je nejmenším celým číslem, které dává $d \leq 1,5$ m.

Vzdálenost bodů od okrajů relevantní oblasti je $D/2$ v podélném směru a $d/2$ v příčném směru. [8]

Informace o luxmetru budou uvedeny v navazující bakalářské práci, a to k přímo použitému typu měřicího přístroje.

10 GIS

Neboli geografický informační systém, je na počítačích založený informační systém pro získávání, ukládání, analýzu a vizualizaci dat, která mají prostorový vztah k povrchu Země. Geodata, se kterými GIS pracuje jsou definována svou geometrií, topologií, atributy a dynamikou. [13]

GIS se skládá z těchto komponent:

- Hardware - nejčastěji osobní počítač s barevným monitorem, skener pro možnost vstupu obrazových dat, tiskárna či plotter pro možnost mapového výstupu.
- Software - specializovaná sada programů pro analýzu a vizualizaci geodat.
- Data - nejdůležitější a často finančně nejnáročnější součást GISu.
- Pracovníci (uživatelé) - lidé se znalostmi geografie schopní obsluhovat informační technologie. [13]

10.1 Dimenze geoobjektů

Základní dělení geoobjektů je dělení podle počtu dimenzí. Reálné objekty na zemském povrchu jsou vždy trojrozměrné. Do prostředí GIS se však transformují podle potřebné úrovně generizace.

- **0D geoobjekty** - Bezrozměrné objekty, body, definované pouze svou polohou. Příkladem může být například autobusová zastávka v GISu modelujícím dopravu nebo GSM vysílač v GISu mobilního operátora modelující pokrytí signálem.
- **1D geoobjekty** - Objekty jednorozměrné, úseky čar, s konečnou délkou a nulovou plochou. Pomocí 1D geoobjektů, linií, se nejčastěji modelují silnice, řeky, apod.
- **2D geoobjekty** - Objekty dvojrozměrné, polygony, s konečným obvodem a konečnou plochou.

3D geoobjekty - Objekty trojrozměrné, polyhedrony. V GISech se používají výjimečně, ve specifických případech. Třetí rozměr je v GISech nejčastěji modelován pomocí tzv. Digitálního modelu terénu (DMT). [13]

10.2 Jak s GISem pracovat?

Abychom mohli s GISem pracovat, je zapotřebí mít nějaký software. V našem případě se jedná o program ArcView. Základní práce s ArcView je složena z několika málo základních bodů. Uvedeme si krátký postup.

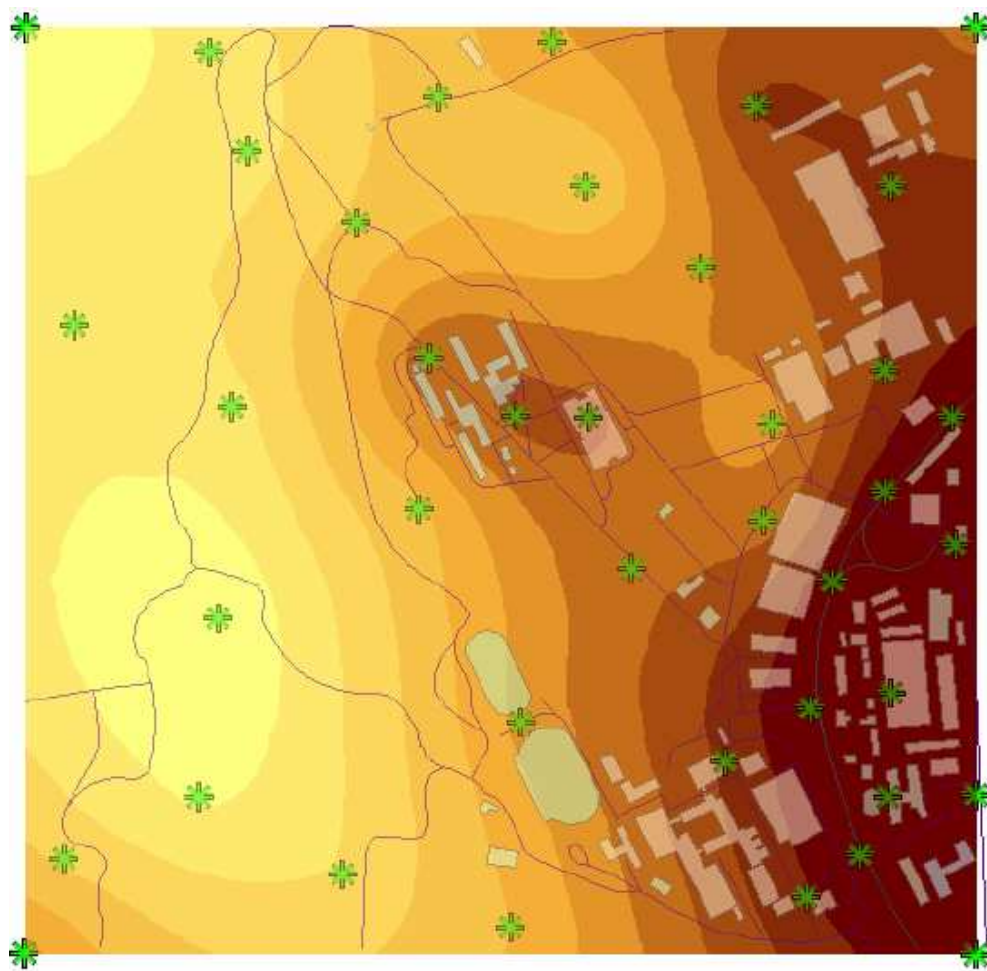
Nejprve se vytvoří mapa. Vytvoří se tak, že neskenujeme výkres mapy a vložíme do programu a nebo můžeme vložit obrázek mapy např. ze serveru www.mapy.cz, kde máme na výběr, zda chceme fotomapu, nebo základní, či turistickou. Takto vložená mapa je ovšem rastrová. Pro naši práci je třeba mapa vektorová.

Vektorizaci mapy získáme tak, že si vytvoříme několik vrstev, které chceme do mapy zahrnout. Například silnici, budovu, les, vodní plochu, zastávky. Každé vrstvě lze nastavit určité parametry, jako je třeba barva, tloušťka ohraničení, ale i podmínky zobrazení nebo

průhlednost. Především musíme vybrat z jakého základního prvku se vrstva bude skládat. Na výběr máme ze tří možností - bod, linie a polygon. Kapitola 10.1 poukazuje na správný výběr z těchto tří možností. Nyní si jen musíme dát pozor, abychom vrstvy poskládali správně na sebe. To znamená, že například body pro zastávky na silnici budou nad vrstvou silnice, neboť pokud by byla na vrstvě pod silnicí, nebyly by zastávky vidět.

Po tomto základním postupu vytvoření mapy většinou následuje to nejdůležitější – práce s daty. Pokud máme data orientovaná k přesné poloze, a ne jen orientačně, je třeba mapě přiřadit souřadnice. Nejvýhodnější to je pomocí GPS souřadnic, které stanovíme na určitý bod o kterém víme, kde se přesně nachází. Nyní, když máme mapu prostorově orientovanou, můžeme zadávat data. Data můžeme zadat přímo v programu a nebo je můžeme importovat. Takto se dají například vložit informace o hodnotách plynů, hluku a nebo pro nás směrodatné hodnoty osvětlení, které naměříme v terénu luxmetrem a zároveň uvedeme polohu měření pomocí GPS.

S vloženými je možno provádět jak jednoduché operace (zobrazení hodnot číselně, zobrazení barevné mapy označující intenzitu naměřených hodnot), tak i složitější (podmíněné zobrazení a ostatní výpočty).



Obr. 10.1 - Příklad aplikace programu ArcView. [15]

11 Praktické zpracování zadání

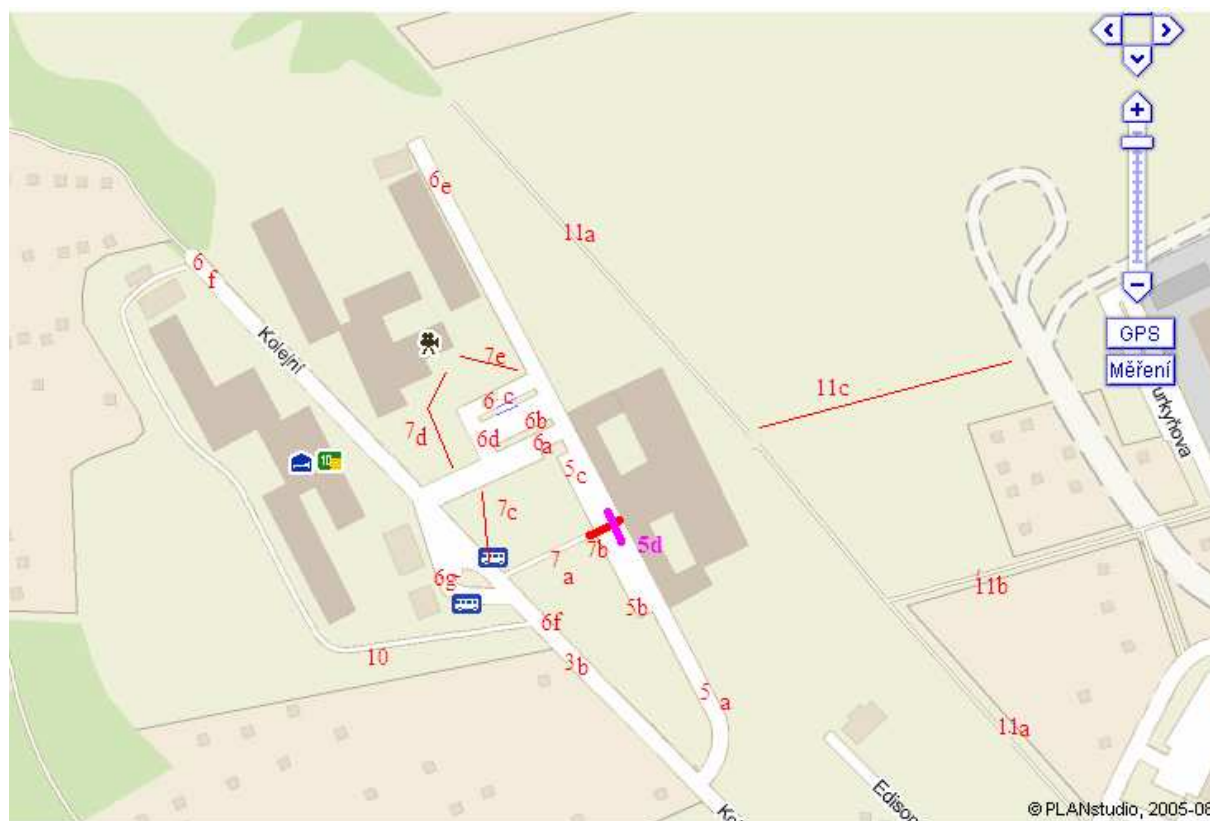
Postup praktického řešení zadaného úkolu (provést měření ve vybrané lokalitě, vytvořit digitální mapu a srovnat výsledky s hygienickými předpisy) můžeme shrnout do několika bodů:

1. Na mapě okolí areálu VUT vyznačit měřenou oblast, která nás zajímá, zjistit relevantní oblast a měřící body.
2. Parametry pozemní komunikace vyplnit do formuláře pro výběr třídy osvětlení. Z norem ČSN EN 13201 zjistit skupiny světelné situace a třídu osvětlení.
3. Skupiny světelné situace zaneš do GISu ve formě vrstev a k dané situaci zavést i třídu osvětlenosti. K třídě osvětlenosti zadat povolené hodnoty osvětlenosti.
4. V přesně daných bodech naměřit hodnoty osvětlení pomocí luxmetru a tyto hodnoty převést do GISu.
5. V GISu za použití vhodných analýz naměřené hodnoty porovnat s povolenými a upozornit na případné nedostatky.

Následující kapitoly obsahují přesný chronologický postup přípravy a zpracování praktického úkolu.

11.1 Měřené oblasti a jejich vlastnosti

Abychom věděli v jaké oblasti bude probíhat měření intenzity osvětlení, použili jsme mapu areálu VUT z internetových stránek www.mapy.cz, do nichž jsme označili oblasti měření. Pro dané oblasti jsme vypsali formulář pro výběr třídy osvětlení, který je uveden v normě ČSN EN 13201-1 a také v tabulce *Tab. 11.1.*



Obr. 11.1 – Označení měřených oblastí

Na obrázku *Obr 11.1.* jsou označené oblasti, které byly vybrány na základě následujících parametrů komunikace. Jedna oblast může mít právě jednu šířku komunikace – šířku relevantní oblasti. Dále musí mít přesně dané povolené uživatele komunikace a další parametry, které jsou uvedeny v normě ČSN EN 13201-1 v tabulce *TAB.1 SKUPINY SVĚTELNÝCH SITUACÍ* a *TAB.2 CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY*.

Tab. 11.1 – formulář pro výběr třídy osvětlení pro úsek 5b

Formulář pro výběr třídy osvětlení					
Viz tabulka 1 - Skupiny světelných situací					
Uživatel	Hlavní	Motorová vozidla	Velmi pomalá vozidla	Cyklisté	Chodci
		☒	☐	☐	☒
	Další povolený uživatel	Motorová vozidla	Velmi pomalá vozidla	Cyklisté	Chodci
		☐	☒	☒	☐
	Nepovolený uživatel	Motorová vozidla	Velmi pomalá vozidla	Cyklisté	Chodci
		☐	☐	☐	☐
Typická rychlost hlavního uživatele [km/h]		> 60	> 30 a ≤ 60	> 5 ≤ 30	Rychlost chůze
		☐	☐	☒	☐
Skupina světelné situace: D2					
Viz tabulka 2 - Charakteristické parametry					
Konfliktní oblast	Ano		Ne		
	☒		☐		
Složitost zorného pole	Běžná		Velká		
	☒		☐		
Náročnost navigace	Běžná		Větší než běžná		
	☒		☐		
Parkující vozidla	Ano		Ne		
	☒		☐		
Riziko kriminality	Běžné		Větší než běžné		
	☒		☐		
Rozpoznání obličejů	Není potřebné		Potřebné		
	☒		☐		
Jas okolí	Malý		Velký		
	☒		☐		
Převládající počasí	Suché		Vlhké		
	☐		☒		
Stavební opatření ke zklidnění dopravy	Ano		Ne		
	☐		☒		
Směrově rozdělená komunikace	Ano		Ne		
	☐		☒		
Druh křižovatky	Mimoúrovňové		Úrovňové		
	Vzdálenost křižovatek mezi mosty		Hustota		
	[km]		[počet křižovatek na km]		
	> 3	≤ 3	> 3	≤ 3	
	☐	☐	☐	☒	
Intenzita silničního provozu, počet vozidel [km]	< 7 000	≥ 7 000 a < 15 000	≥ 15 000 a < 25 000	> 25 000	
	☒	☐	☐	☐	
Intenzita cyklistického provozu	Běžná		Velká		
	☒		☐		
Intenzita pěšího provozu	Běžná		Velká		
	☐		☒		
Třída osvětlení: CE5					

Z takto vypsanych formulářů byla pomocí normy ČSN EN 13201 vybraná třída osvětlení. V případě silnice spojené s parkovištěm před fakultou VUT na ulici Kolejní 4, námi oblast označená jako 5b, spadá pod třídu osvětlení CE5. Normované hodnoty intenzit v určitých tříd osvětlení budou uvedeny v dalších kapitolách.

11.2 Mapa v ArcGIS

V programu ArcGIS 9 bylo využito podprogramů ArcCatalog pro vytváření vrstev (layers) a vektorových geoobjektů (shapefile). Použití geoobjektů bylo popsáno v kapitole 10.1 – Dimenze Geoobjektů. A dále podprogram ArcMap, kde se vytváří vektorová mapa na fotografickém podkladě požadované mapy s použitím námi vytvořenými shapefile. Do mapy jsou později vloženy body obsahující hodnoty naměřených intenzit osvětlení. Tyto hodnoty jsou poté pomocí analýz obsažených v ArcMap zpracovány a graficky vyhodnoceny.

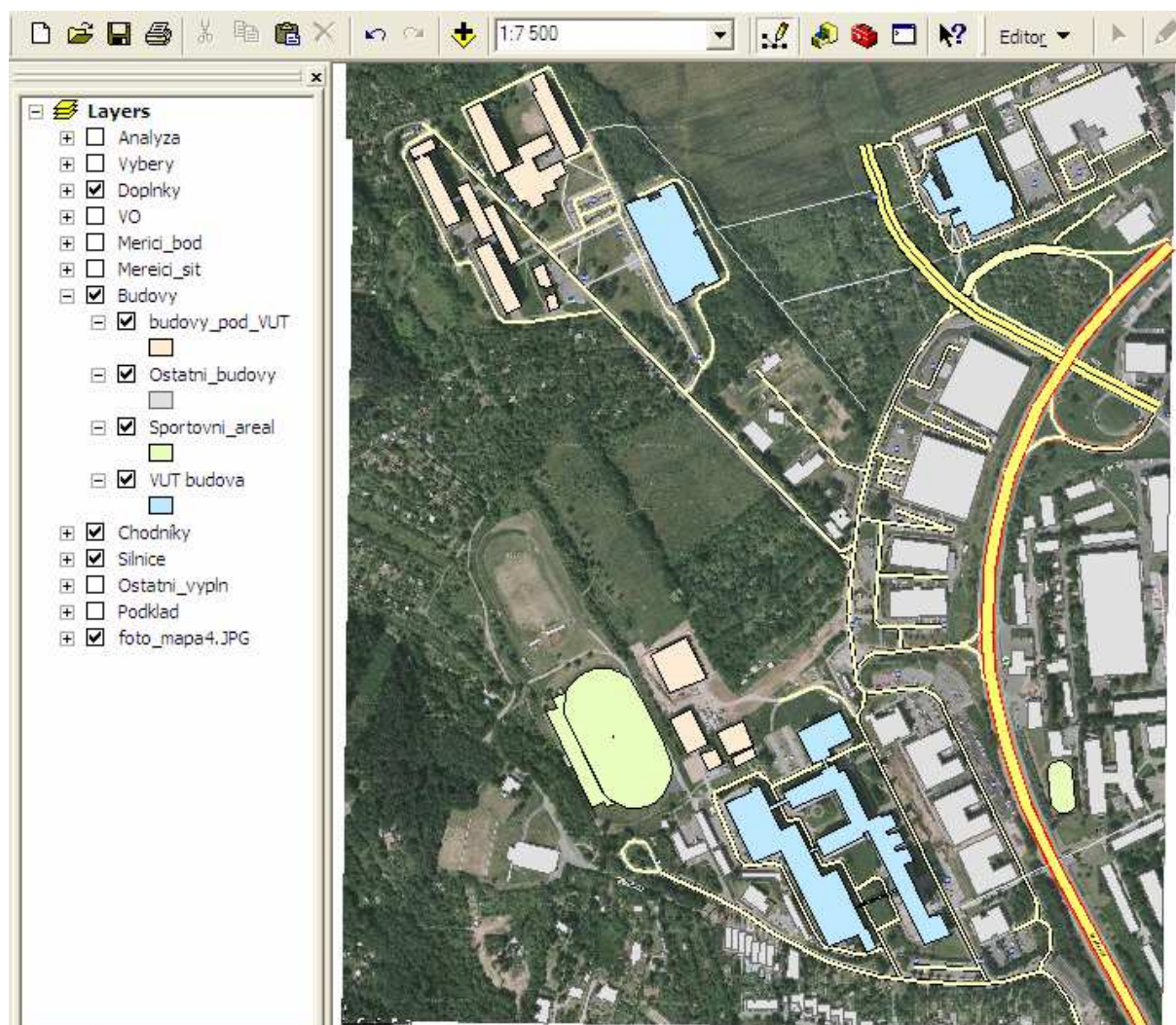
Jelikož chceme zaznamenat do mapy polohu V.O. zjištěnou pomocí GPS, je třeba vytvářenému projektu v ArcMap přiřadit souřadnice, označené jako *coordinate system*. Praktický postup nastavení souřadnic je poměrně složitý, proto zde nebude popsán a bude brán jako nastavený fakt. Popis je ovšem obsažen v použité literatuře [15].

Do programu ArcMap jsme vložili fotomapu okolí VUT z www.mapy.cz. Aby bylo rozlišení mapy dostačující i při přiblížení, je mapa vytvořena z několika dílů s větším rozlišením spojených v jeden celek a uložena ve formátu jpeg.



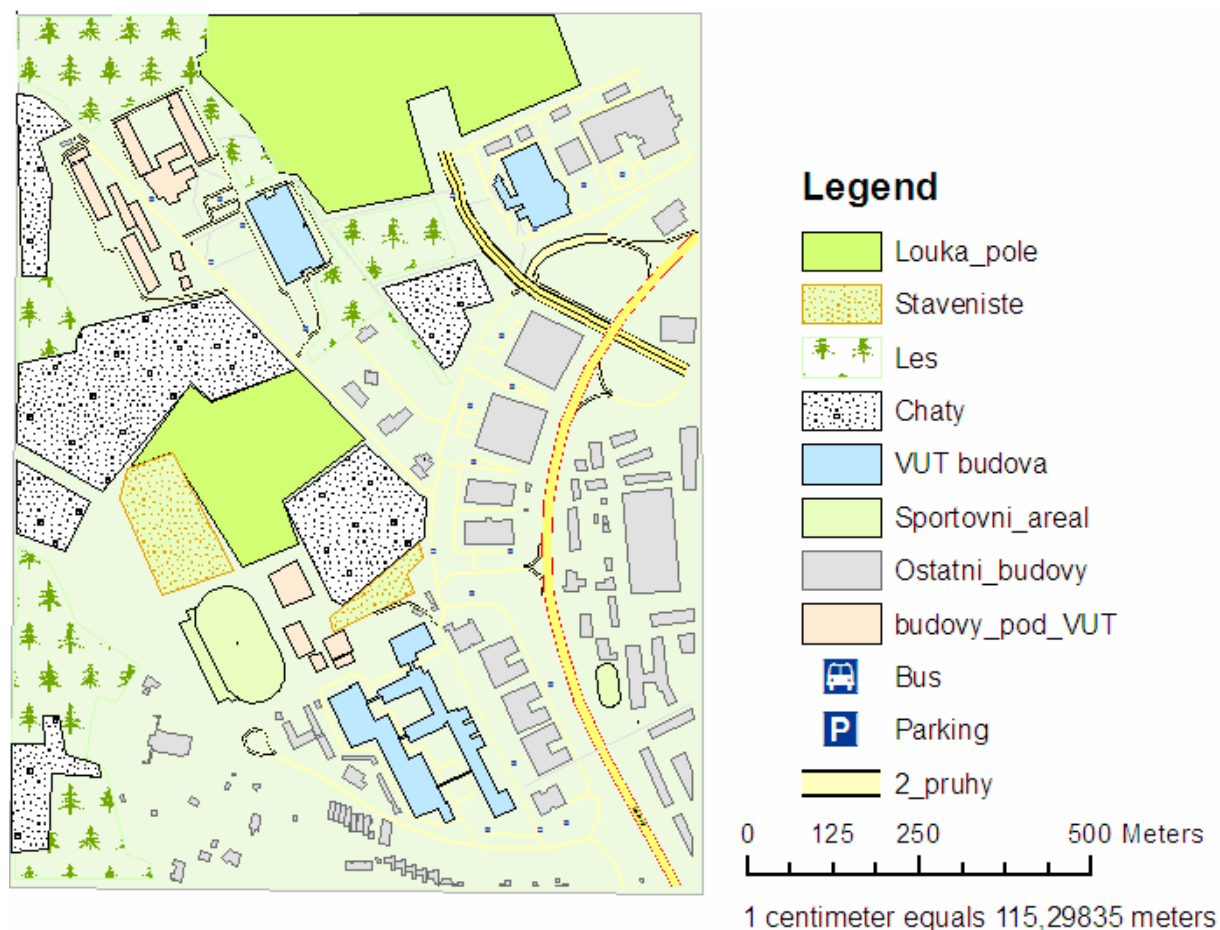
Obr. 11.2 – fotomapa použitá v ArcMap

Na vloženou mapu se nakreslí obrysy budov, silnic a jiných objektů. Pro jednu skupinu budov či silnic je vytvořen jeden shapefile. Na obrázku *Obr. 11.3* je vidět různé shapefile pro různé skupiny. V levém okně programu lze vybírat vrstvy, které chceme zobrazit. Uprostřed horní lišty volíme měřítko zobrazení.



Obr. 11.3 – Použití vrstev různých shapefile v ArcMap

K výsledné mapě lze připojit legendu i měřítko, jak ukazuje obrázek *Obr. 11.4*. To se ovšem používá pouze pro výstup z programu.

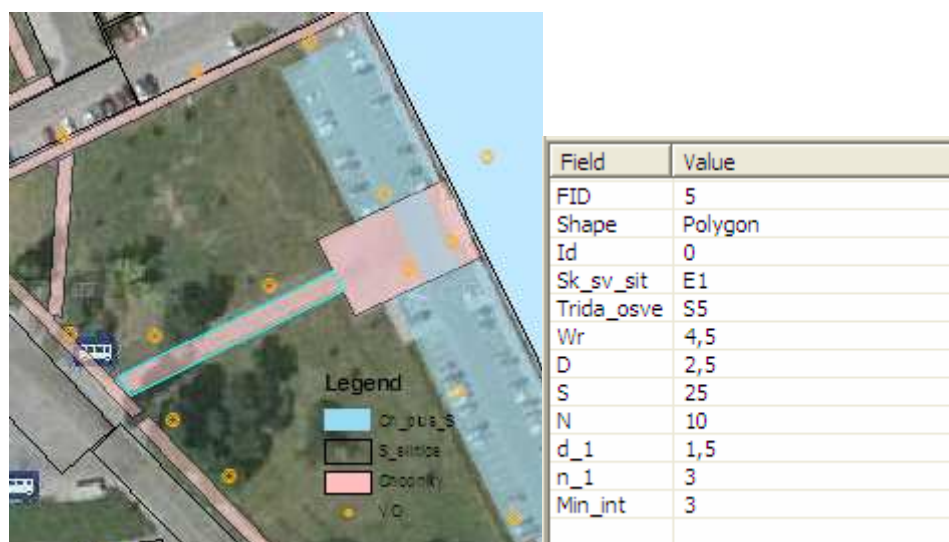


Obr. 11.4 – grafický výstup vytvořené mapy

11.3 Měřicí síť

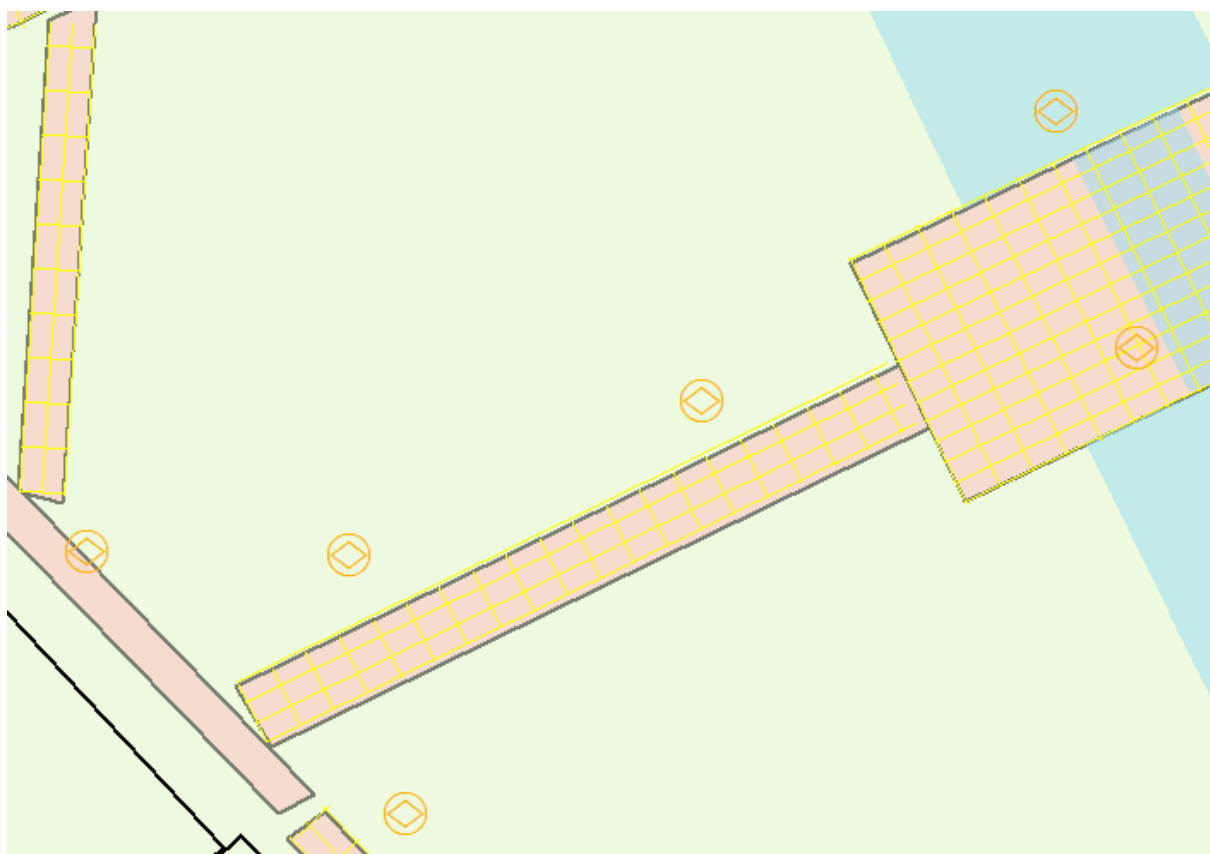
Pro měření podle norem, je třeba znát měřicí síť ve které jsou označena měřicí místa. K jejímu vytvoření je třeba znát parametry relevantní oblasti zmíněné v kapitole 9.2. Pro snadné orientování byly vytvořeny 3 druhy polygonů obsahující potřebné atributy. Jeden pro relevantní oblast obsahující silnici, druhý pro oblast obsahující silnici i chodník a třetí pro relevantní oblast k samotnému chodníku. Daná relevantní oblast je určena podle skupiny světelné situace. Například výše již zmiňovaná oblast 5b před fakultou na Kolejní má skupinu světelné situace značenou D2. Podle normy to znamená, že se do relevantní oblasti zahrnuje silnice i chodník.

Pro zjištění vzdálenosti mezi V.O. byla použita jednoduchá funkce k měření vzdáleností v ArcMap. Zjištěné polohy V.O. pomocí GPS Garmin 60csx byly digitálně přeneseny do PC a poté vloženy do projektu jako shapefile.



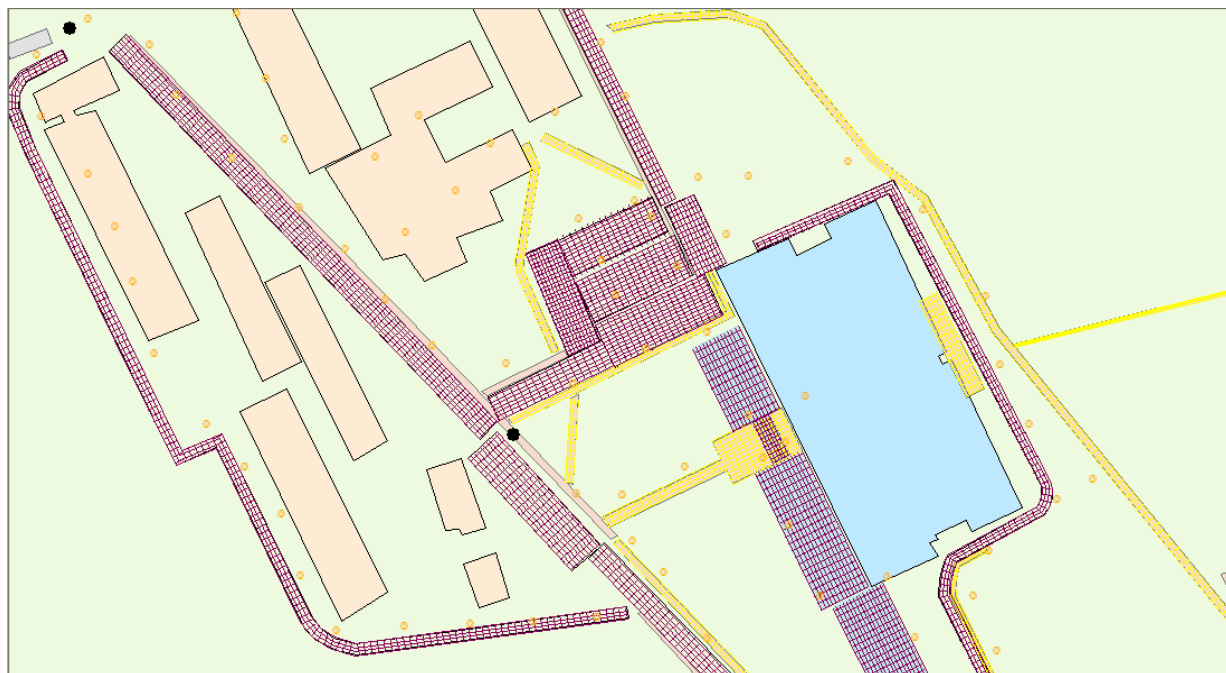
Obr 11.5 – Relevantní oblasti s atributy

Na obrázku *Obr.11.5* jsou kromě relevantních oblastí vidět také parametry pro zvýrazněnou oblast, potřebné k vytvoření měřicí sítě, jež je zobrazena na *Obr 11.6* žlutou barvou.

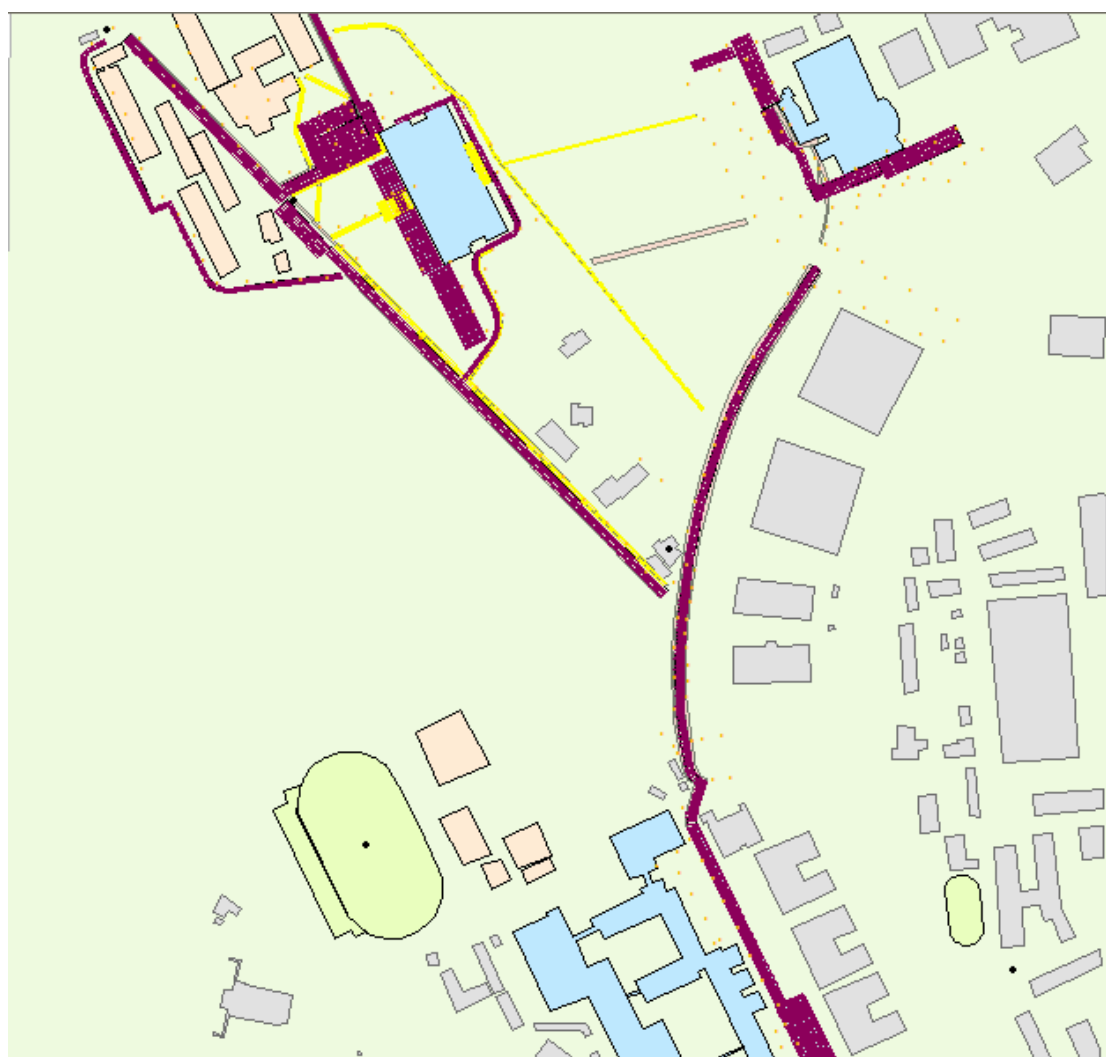


Obr. 11.6 – Měřicí síť podrobná

Na základě těchto relevantních oblastí a jejich parametrů byla vytvořena měřicí síť pro téměř celý areál VUT



Obr 11.7 – Měřicí síť střední



Obr. 11.8 – Měřicí síť velká

12 Měření osvětlení

Nyní bylo teoreticky možné měřit osvětlení v celém areálu VUT. Prakticky to bylo ovšem nereálné, jelikož nakreslením měřicí sítě byl odhalen problém spojený s počtem měřících bodů. Těch vzniklo minimálně 10 000, a proto se praktické měření osvětlení přesunulo na okolí ústavu biomedicínckého inženýrství na ulici Koleční 4.

Podle norem se měří - Poloválcová a svislá osvětlenost

- Vodorovná a polokulová osvětlenost

Z formuláře pro výběr tříd osvětlení jsme zjistili, že naše oblast obsahuje pouze třídy osvětlení CE5, MEW4b, S5 a S6. Podle normy ČSN EN 13201-2 se pro tyto třídy měří osvětlenost vodorovná. Postup měření této osvětlenosti je uveden v kapitole 9.1.

K měření intenzity osvětlení došlo pomocí luxmetr LX-1108 v období 11. – 13.4.2009 ve 20:10 SEČ, 15 minut po sepnutí V.O. Slunce zapadlo v 19:37. V.O. není tedy spínáno podle normy časově.

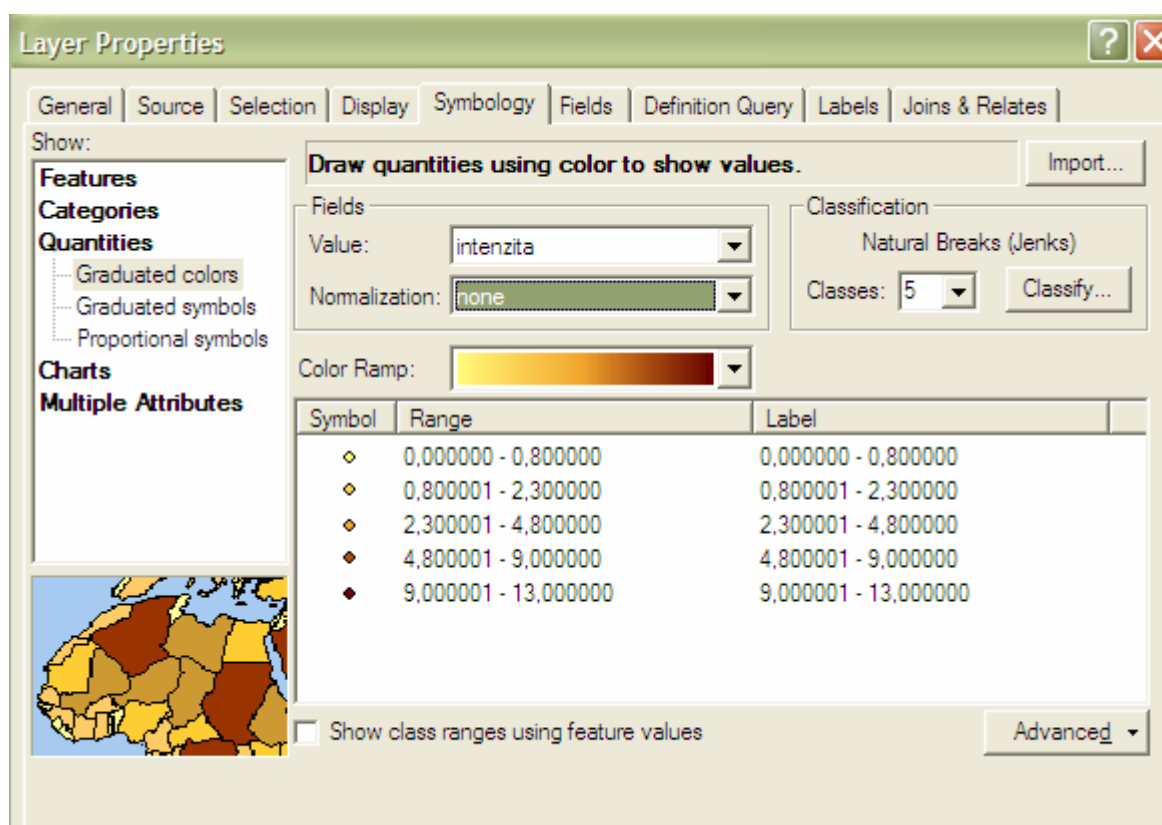
Při měření byl zapnutý mód na měření osvětlení sodíkových výbojek. Měřící body byly ve dne označeny křídou na povrch komunikace. Hodnoty osvětlení byly zapsány mnou zvoleným asistentem do předem vytištěné tabulky. Celkem bylo změřeno 897 hodnot.

Při měření byly zjištěny určité nedostatky v teoreticky vypočítané a nakreslené měřicí síti, způsobené odchylkou GPS při určování polohy V.O. a také rozlišením mapy. Proto byla síť znovu překreslena přímo podle počtu naměřených hodnot. Jelikož vzdálenosti mezi měřícími body jsou v metrech a hodnoty osvětlenosti nepříliš se mění, nemá tento fakt vliv na věrohodnost měření. Do průsečíků v měřicí síti byly vloženy body, které obsahovaly sloupce pro naměřenou intenzitu a vypočtenou průměrnou intenzitu.

Naměřená osvětlenost byla opsána z praktického měření a průměrná intenzita vypočítána pro jednotlivé úseky zvlášť – viz další kapitola.

13 Analýza a výsledné zpracování dat

Nejjednodušší a zároveň pravděpodobně i nejefektivnější analýza a zpracování naměřených intenzit spočívá v přiřazení barevné škály bodům, které nesou informaci o hodnotě intenzity. Pokud klikneme na vlastnosti vrstvy bodů, znázorňující měřící body intenzit, zobrazí se okno jako v případě *Obr. 13.1*. V něm v menu *Symbology* a následně v levém okně po vybrání *Quantities-Graduated colors* můžeme vybrat, podle jakého parametru se má barevná škála měnit. Dále si můžeme vybrat spektrum barev a také do kolika tříd tyto škály roztrždit.



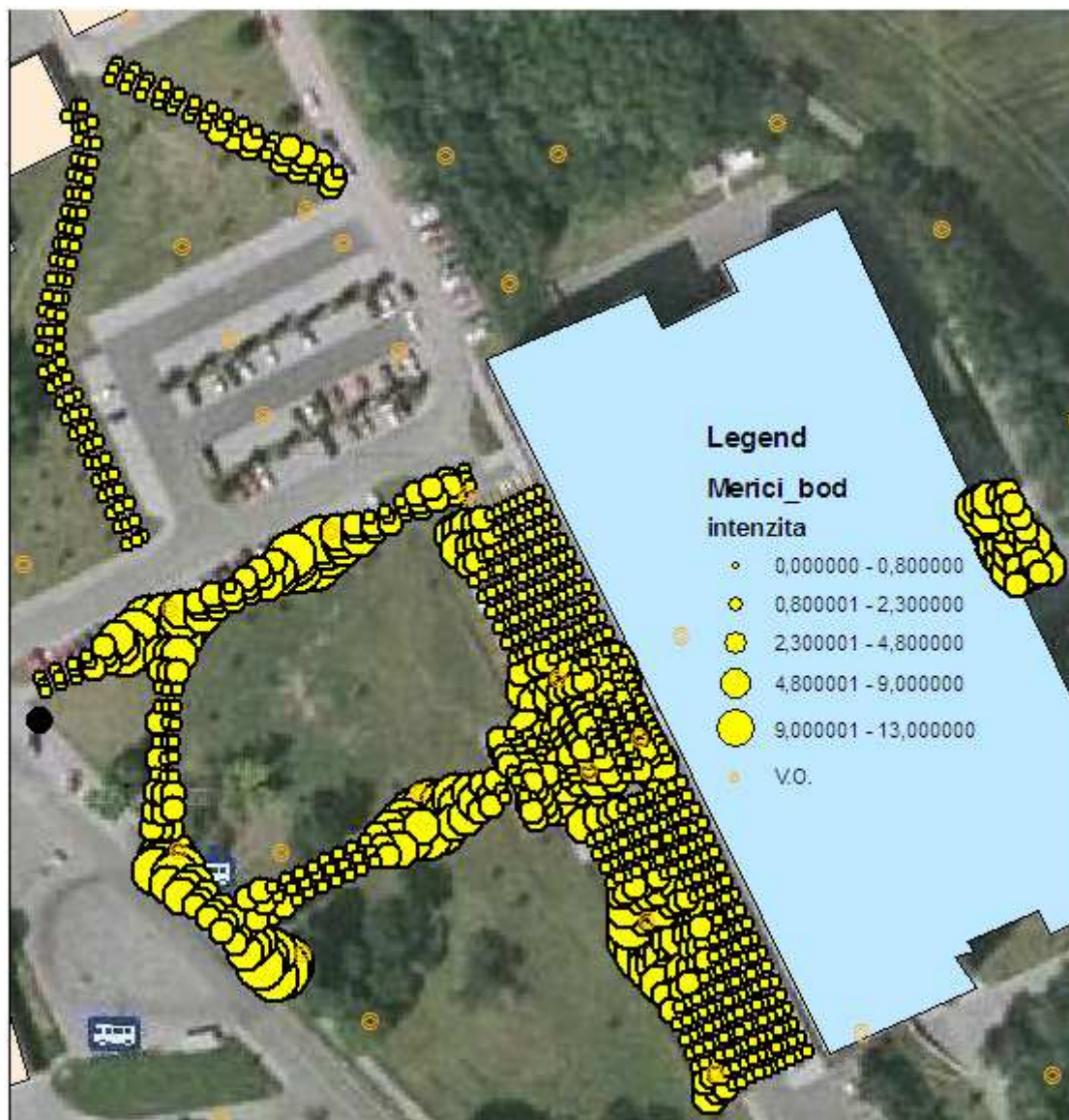
Obr 13.1 – Nastavení podmíněného zbarvení symbolů

Po tomto nastavení získáme výslednou mapu *Obr. 13.2*.



Obr. 13.2. – Naměřená osvětlenost [lx] zobrazená barevnou škálou

Také lze použít místo *Quantites-Graduated colors*, metodu *Quantites-Graduated symobls*. Zde se podle velikosti intenzity mění velikost bodů. Tato metoda krásně ukáže, kde se hodnoty začínají zvětšovat, ovšem pokud jsou body blízko u sebe, nelze přesněji určit hodnoty z důvodu vzájemného překrývání – jak lze vidět na Obr. 13.3..



Obr. 13.3 - Naměřená osvětlenost v [lx] zobrazená velikostí bodu

13.1 Soulad naměřených hodnot s normami

Pro porovnání naměřených parametrů podle norem je třeba nejprve si ujasnit, co ČSN EN 13201 sděluje k určitým třídám osvětlenosti. Jelikož v našem případě se jedná pouze o třídy osvětlenosti CE, S a MEW4b, nebudeme se jinými zabývat.

13.1.1 Tabulky normovaných hodnot

Tab. 13.1 – Osvětlenost pro třídu osvětlenosti S a CE

Třídy osvětlení S			Třídy osvětlení CE		
Vodorovná osvětlenost			Vodorovná osvětlenost		
Třída	$\bar{E}$ [lx] udržovaná hodnota	E min [lx]	Třída	$\bar{E}$ [lx] udržovaná hodnota	Uo
S1	≥ 15	≥ 5	CE0	≥ 50	$\geq 0,4$
S2	≥ 10	≥ 3	CE1	≥ 30	$\geq 0,4$
S3	$\geq 7,5$	$\geq 1,5$	CE2	≥ 20	$\geq 0,4$
S4	≥ 5	≥ 1	CE3	≥ 15	$\geq 0,4$
S5	≥ 3	$\geq 0,6$	CE4	≥ 10	$\geq 0,4$
S6	≥ 2	$\geq 0,6$	CE5	$\geq 7,5$	$\geq 0,4$
S7	neurčeno	neurčeno			

Jelikož třída osvětlenosti MEW4b obsahuje hodnoty jasu a nikoli intenzity osvětlení, je podle normy možné za použití tabulky s porovnatelnými hladinami osvětlenosti zajistit alternativní třídu osvětlenosti.

Tab. 13.2 – Třídy osvětlení s porovnatelnými hladinami osvětlení

Třídy osvětlení s porovnatelnými hladinami osvětlení								
	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6		
	MEW1	MEW2	MEW3	MEW4	MEW5			
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6
V případě tříd osvětlení ME/MEW se uvažují odrazné vlastnosti povrchu komunikace uvedené v publikaci CIE 66:1984, tabulka C.2								

13.1.2 Příprava v ArcMap pro analýzu

Abychom mohli porovnávat hodnotu $\bar{E}$ (průměrnou hodnotu), je třeba ji nejdříve vypočítat. Průměrná hodnota se ale uvažuje v dané relevantní oblasti, proto je třeba vybírat body pouze v dané oblasti. Výběru můžeme docílit několika způsoby. Například vykreslením „lasa“ kolem bodů, které je poté vybere. Poté stačí v atributové tabulce vybraných prvků po pravém kliknutí myši na jméno sloupce vybrat *statistics* a kolonka *mean* nám zobrazí průměrnou hodnotu.

Jelikož je $\bar{E}$ braná pro celou oblast, je třeba vytvořit nový polygon, který bude tuto hodnotu obsahovat. Pro další analýzu budou třeba i další atributy – Skupina světelné situace, třída osvětlenosti, E_{min} , U a normované hodnoty těchto 3 atributů. Viz Obr. 13.4 a 13.5..



Obr 13.4 – Nové oblasti pro analýzu dat
(FID - skupina světelné situace / třída osvětlenosti)

Attributes of realna_oblast											
FID	Shape *	Id	Sk sv sit	Trida osve	E prum	E min	U	N E prum	N E min	N U	
0	Polygon	0	D2	CE5	0,77	0,1	0,129	7,5	0	0,4	
1	Polygon	0	E1	S5	2,3	0,1	0,043	3	0,6	0	
2	Polygon	0	E1	S5	1,47	0,1	0,068	3	0,6	0	
3	Polygon	0	B2	MEW4b	4,4	1,1	0,25	10	0	0,4	
4	Polygon	0	E1	S6	1,68	0,3	0,178	2	0,6	0	
5	Polygon	0	B1	MEW4b	3,1	0,5	0,161	10	0	0,4	
6	Polygon	0	E1	S6	0,19	0,1	0,526	2	0,6	0	
7	Polygon	0	E1	S6	0,62	0,1	0,161	2	0,6	0	
8	Polygon	0	E1	S5	2,52	1	0,396	3	0,6	0	
9	Polygon	0	D2	CE5	1,14	0,1	0,087	7,5	0	0,4	

Obr 13.5 – Atributy nových oblastí pro analýzu dat

13.2 Analýza hodnot vůči normám

V porovnání s normami budeme srovnávat v závislosti na třídě osvětlení následující parametry:

$\bar{E}$ - průměrnou osvětlenost (třída osvětlenosti CE, MEW4b i S) [lx]

$E_{\min}$ – minimální hodnotu osvětlenosti (S) [lx]

U – Celková rovnoměrnost (polokulové osvětlenosti) - poměr minimální a průměrné hodnoty. (CE, MEW4b)

Pro Analýzu využijeme aplikaci *Toolbox* s *tools Select* a *Interselect*.

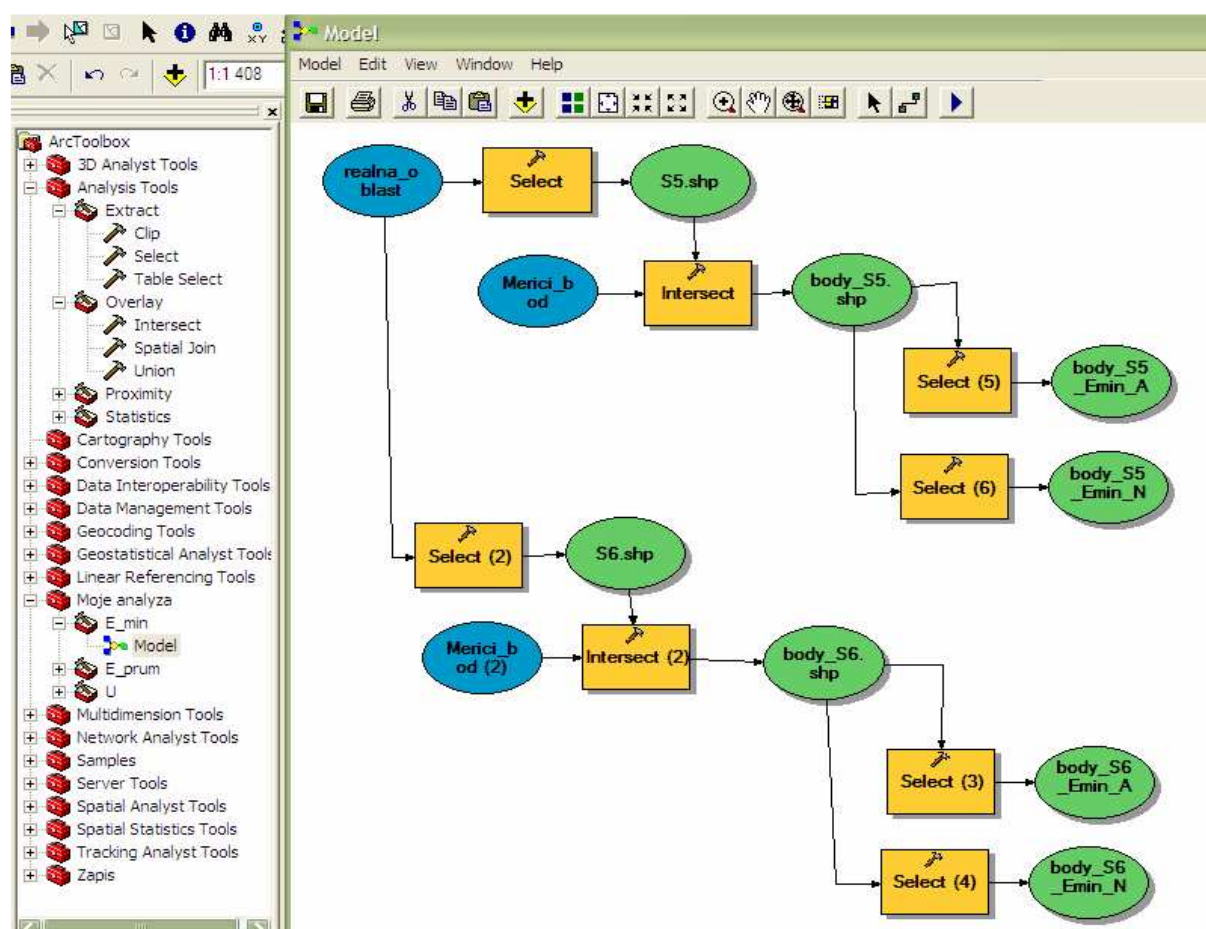
Tools Select dokáže vybrat určitou vrstvu v závislosti na zadaném parametru. Např. vybrat body s intenzitou menší než 5 lx.

Tools Interselect vybere vrstvy, které se kříží nebo jinak obsahují jinou vrstvu.

Vytvoříme si vlastní Toolbox *Moje analiza*, která bude obsahovat Toolsety $E_{\min}$, E_{prum} a toolset U . Tyto Toolsety budou obsahovat model, do kterého vložíme *Tools Select* a *Interselect* s požadovaným nastavením. Viz Obr 13.6..

13.2.1 Analýza Minimální osvětlenosti

Pro tuto analýzu byl vytvořen Toolset s názvem $E_{\min}$.



Obr 13.6 – Vytvoření toolboxu a modelu pro $E_{\min}$

Popis schématu shora:

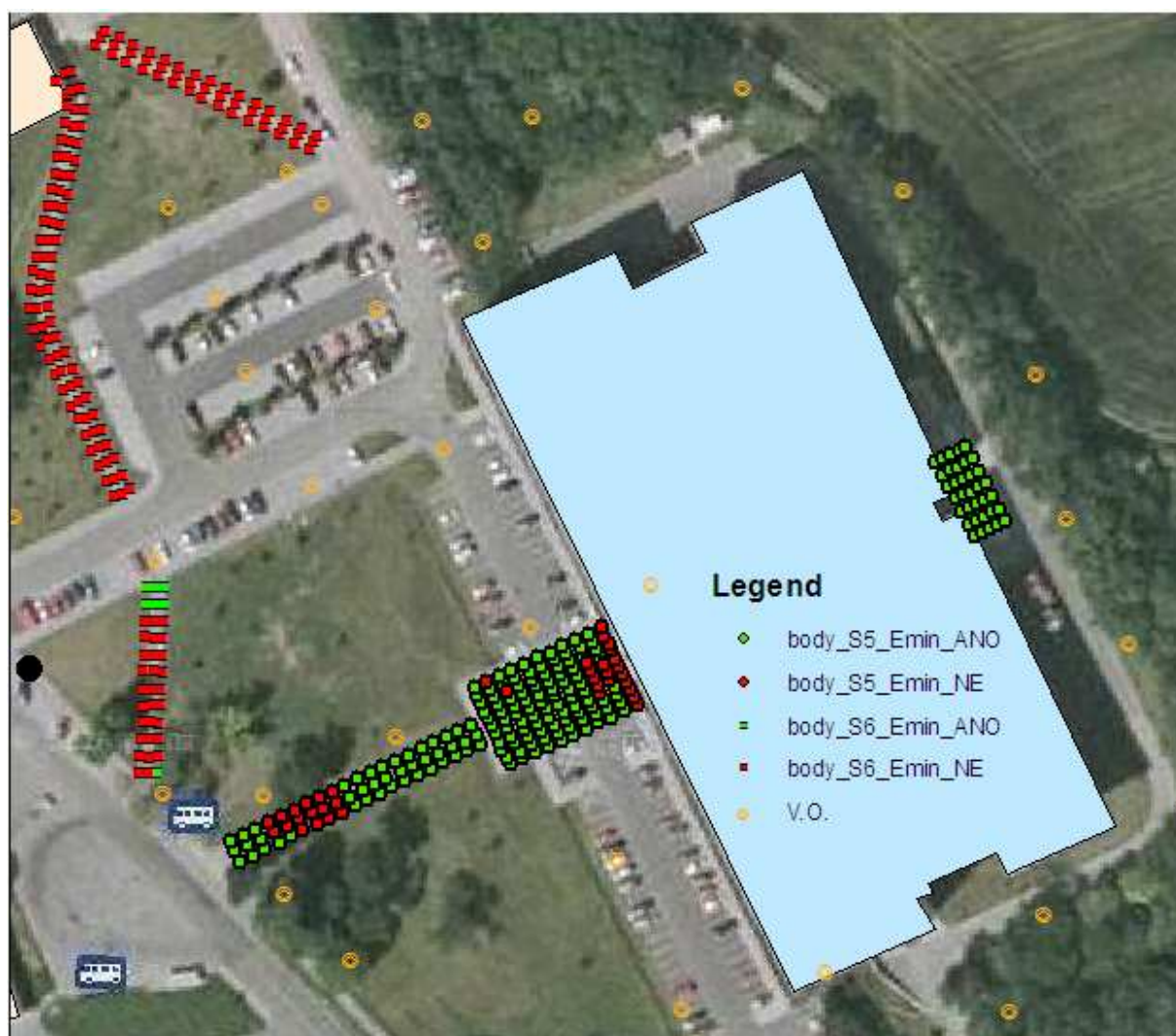
Tools Select vybere z vrstvy „realna_oblast“ ty polygony, které mají v atributu Třída osvětlení řetězec S5. Poté tools Interselect vybere z vrstvy „Merici_bod“ ty body, které leží na vrstvě „S5“. Z těchto bodů pak tools Select vybere ty body, které mají v atributu Intenzita hodnotu větší nebo rovnou N_E_min a vytvoří novou vrstvu těchto bodů.

Obecně řečeno se vyberou měřící body, jenž mají intenzitu osvětlení větší nebo rovnou hodnotě udávané normou a které zároveň leží na oblasti se třídou osvětlenosti S5.

Dále model obsahuje části pro nesplnění normy a pro oblast S6.

Na následujícím obrázku *Obr. 13.7* lze vidět výsledek použití vytvořeného toolboxu.

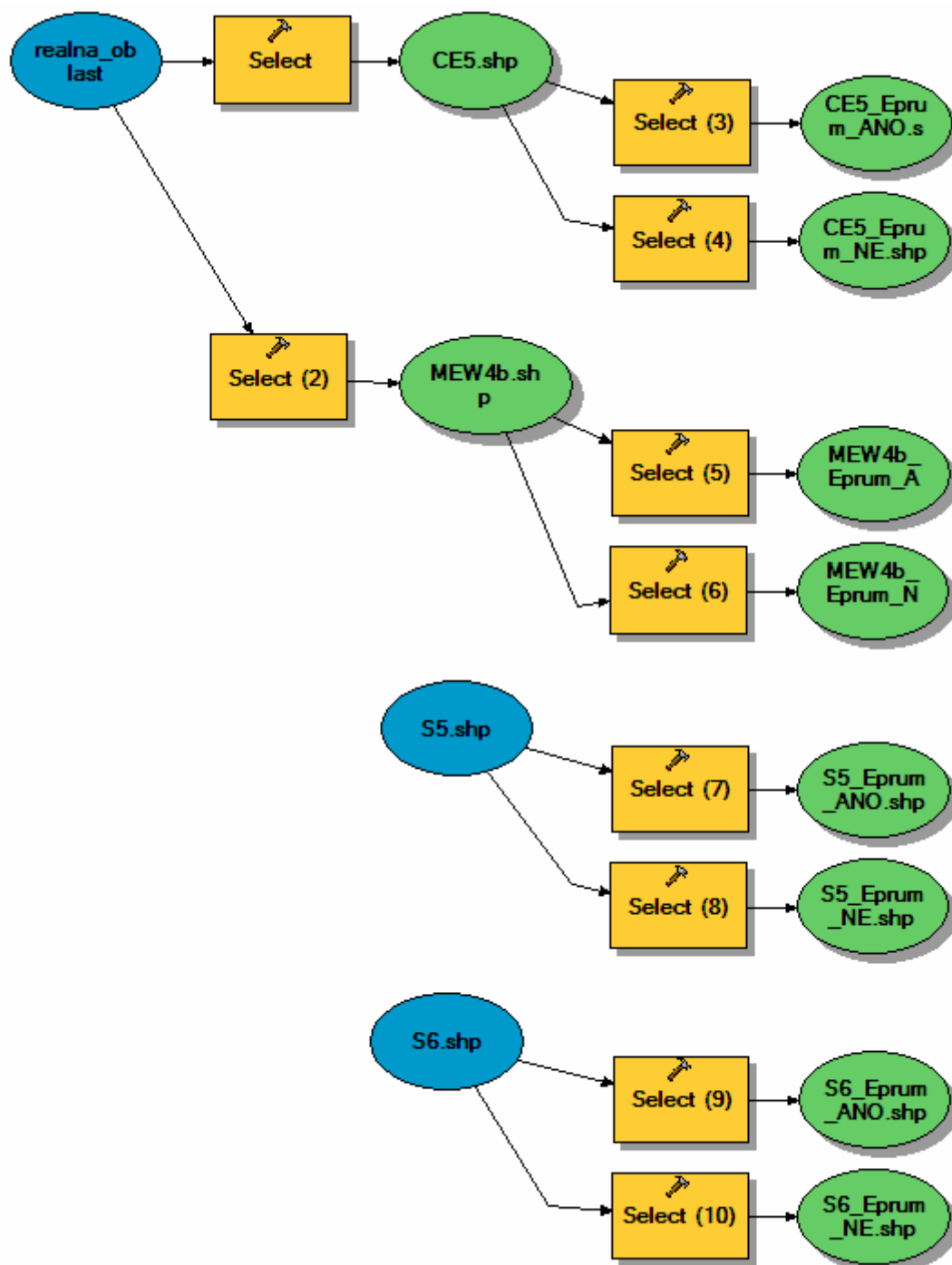
Způsob, jakým chceme vrstvu zobrazit (tvar, barva, velikost) si můžeme samozřejmě vybrat.



Obr. 13.7 – Soulad minimální osvětlenosti s normou
Červený kruh – bod v oblasti S5 s neodpovídající minimální osvětleností
Zelený čtverec - bod v oblasti S6 s odpovídající minimální osvětleností

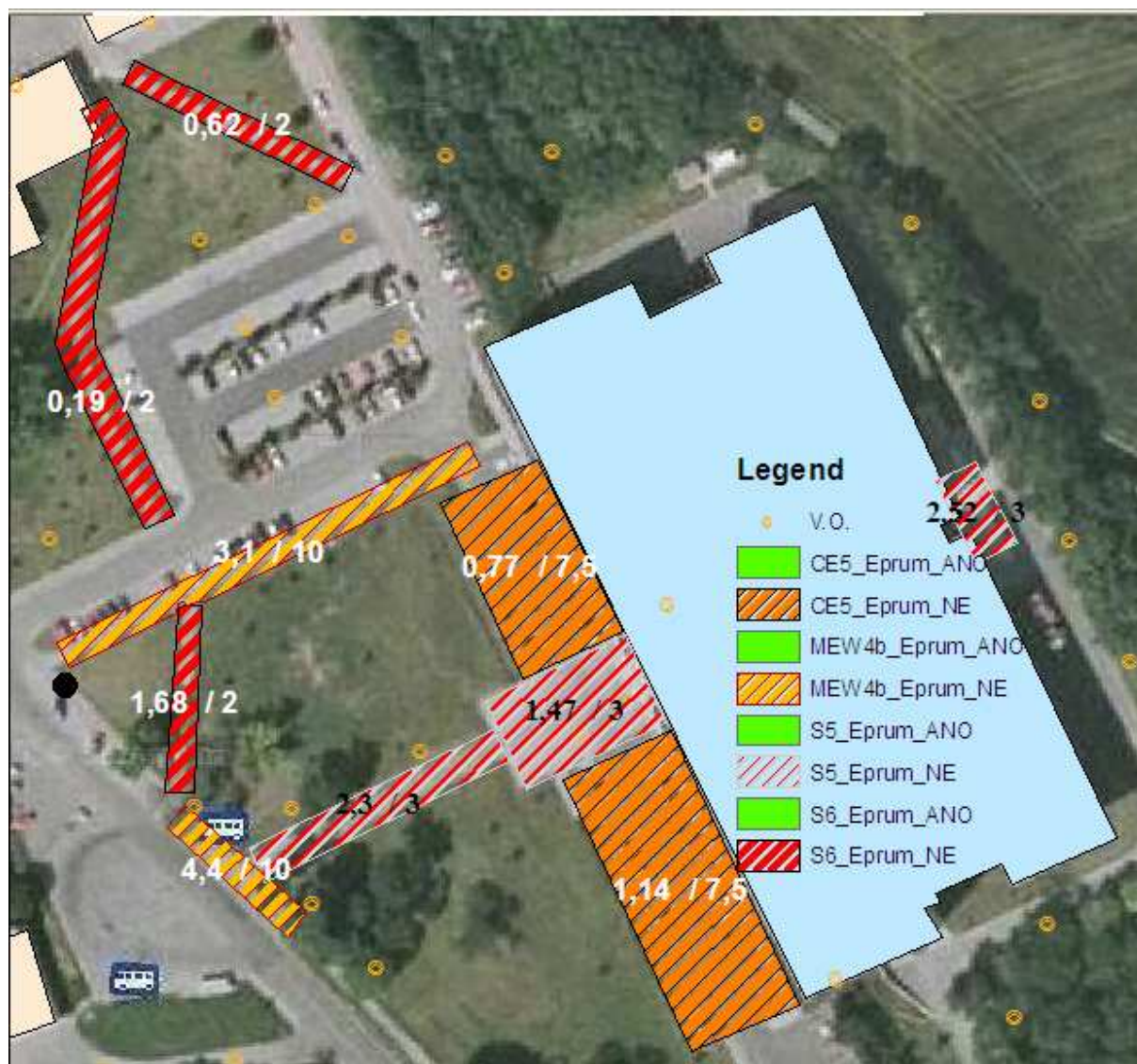
13.2.2 Analýza průměrné osvětlenosti

Podobným způsobem vytvoříme i model pro výběr E_prum, čili ověření průměrné hodnoty osvětlenosti vůči normě. Jelikož průměrná osvětlenost je zohledněna k celkové relevantní oblasti, nepoužíváme zde už body, ale pouze oblasti měření.



Obr. 13.8 – Model pro analýzu průměrné osvětlenosti

Uvedeným modelem jsme vybrali oblasti podle třídy osvětlení a z nich jsme dále vybrali ty, které mají průměrnou osvětlenost větší, či menší než je povoleno normou. Z tohoto výběru jsme vytvořili nové vrstvy, které ke možné libovolně zobrazovat a upravovat vzhled. Vytvořené vrstvy jsou vidět na obrázku Obr. 13.9..



Obr. 13.9 - Soulad průměrné osvětlenosti s normou
(naměřená / normovaná)

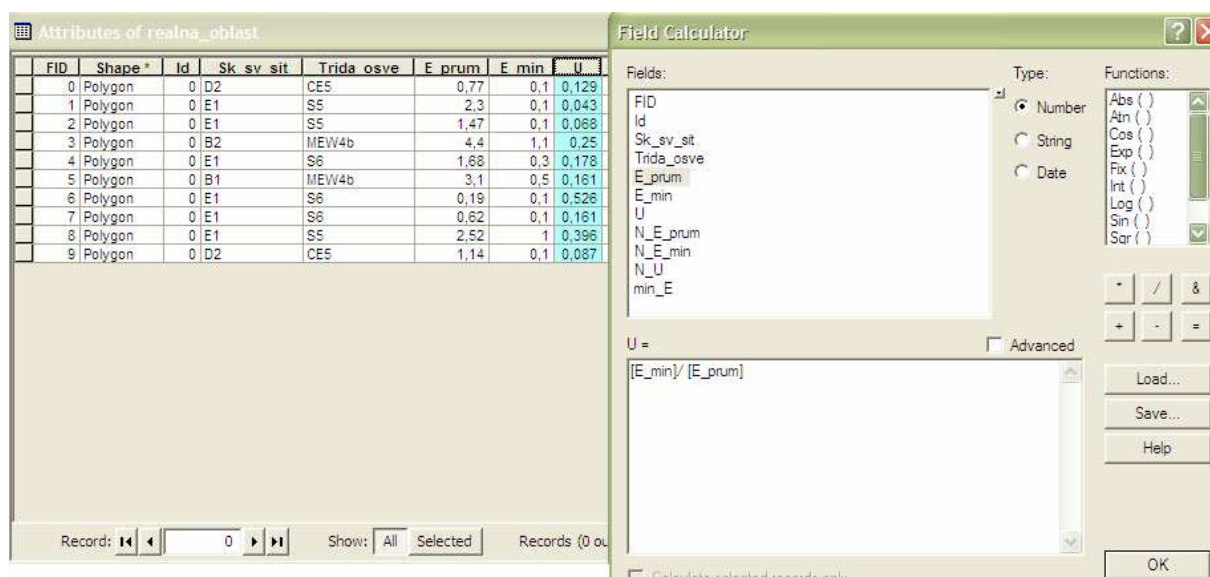
13.2.3 Analýza celkové rovnoměrnosti

Celková rovnoměrnost je opět brána pro celou oblast, nikoli pro samostatné měřicí body.

Ta se vypočítá jako poměr mezi minimální osvětleností v dané oblasti a průměrnou osvětleností. Pro výpočet použijeme funkci Field Calculator, který zvolíme při kliknutí pravým tlačítkem myši na sloupec *U* v atributové tabulce měřených oblastí. Zde si jednoduše zvolíme že naše vybrané pole se vypočítá podělením dvou jiných sloupců. Tato metoda má 2 menší nedostatky. První, že nemůžete použít k výpočtu sloupce z jiných vrstev. Druhý problém nastane při dělení ještě s nenaplněnými kolonkami – to se program zhroutí.

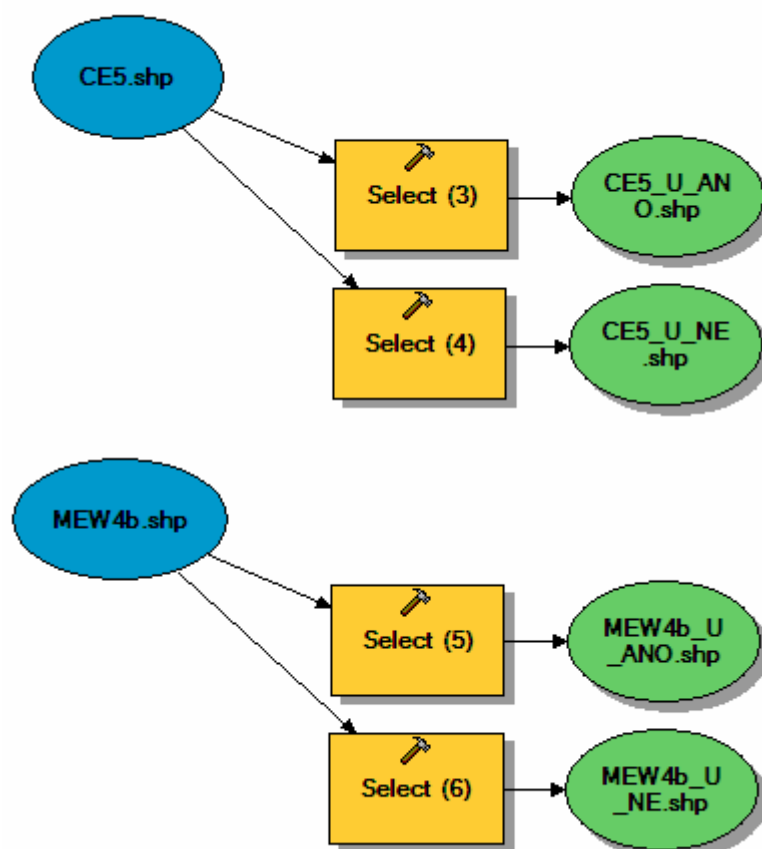
Minimální hodnotu osvětlenosti v dané oblasti zjistíme tak, že se podíváme do atributové tabulky naměřených hodnot v dané oblasti a tam si zvolíme vzestupné seřazení.

Tuto hodnotu potom napíšete do atributové tabulky měřených oblastí, aby mohla být použita k výše popsanému výpočtu.



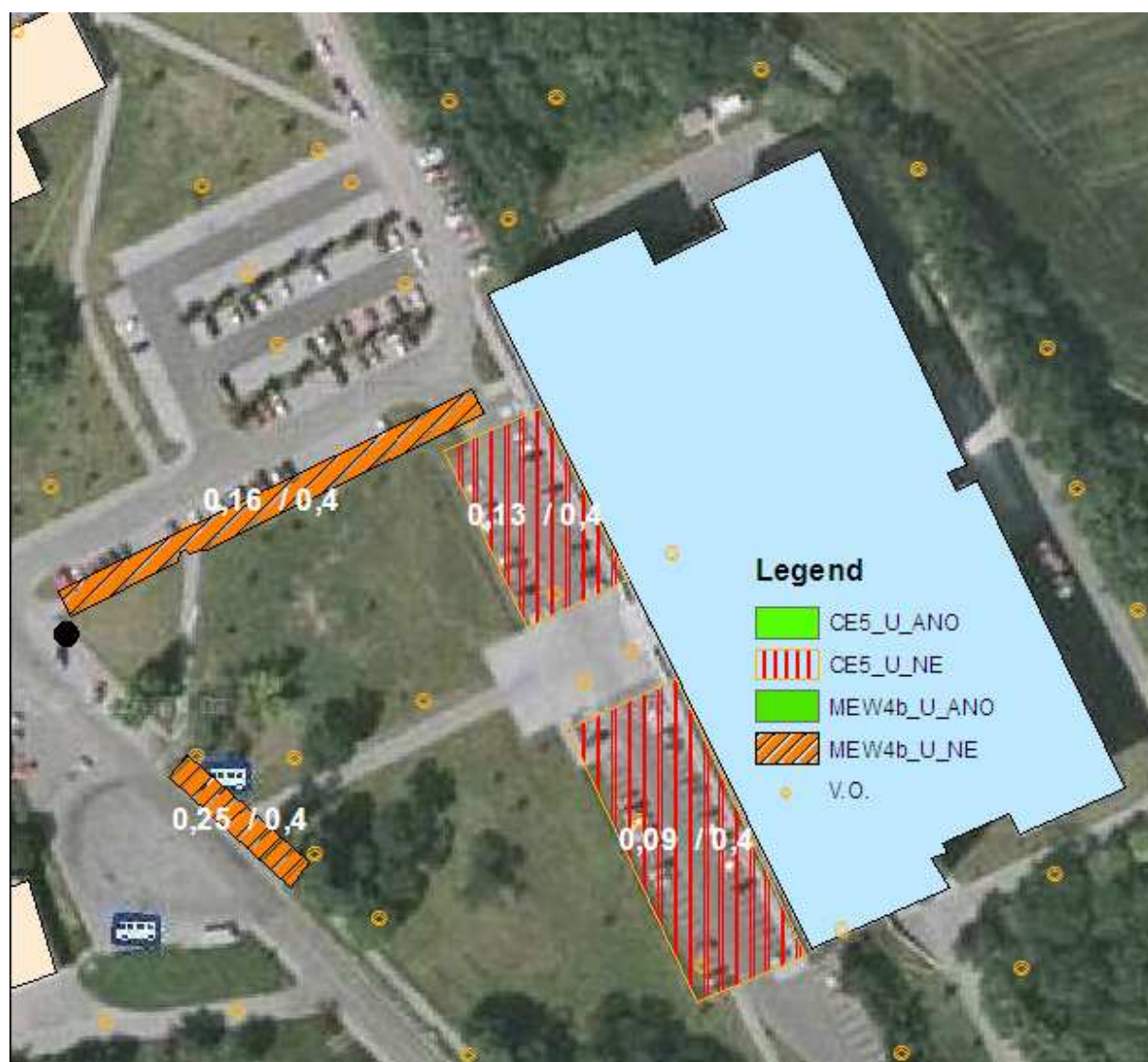
Obr. 13.10- Field Calculator

Model pro analýzu celkové rovnoměrnosti je založen na stejném principu jako model pro analýzu průměrné osvětlenosti. Pouze neporovnáváme průměrnou osvětlenost, ale parametr U . Vybíráme pouze z vrstev CE5 a MEW4b, neboť celková rovnoměrnost se určuje pouze u těchto tříd osvětlenosti.



Obr. 13.11 – Model pro analýzu celkové rovnoměrnosti

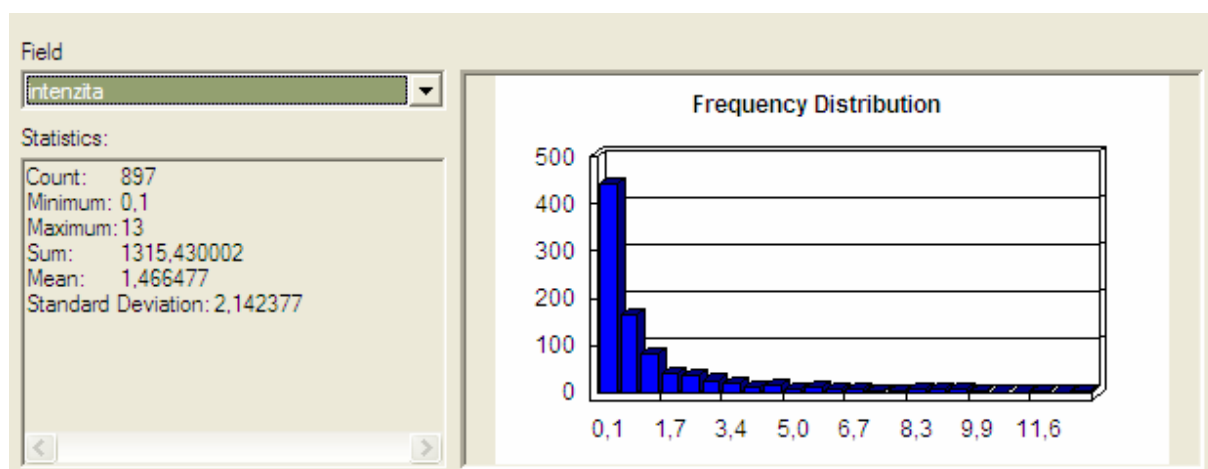
Po použití výše uvedeného modelu vznikne mapa ukazující oblasti, kde celková rovnoměrnost odpovídá, respektive neodpovídá normě.



Obr. 13.12 - Soulad celkové rovnoměrnosti s normou
(naměřená / normovaná)

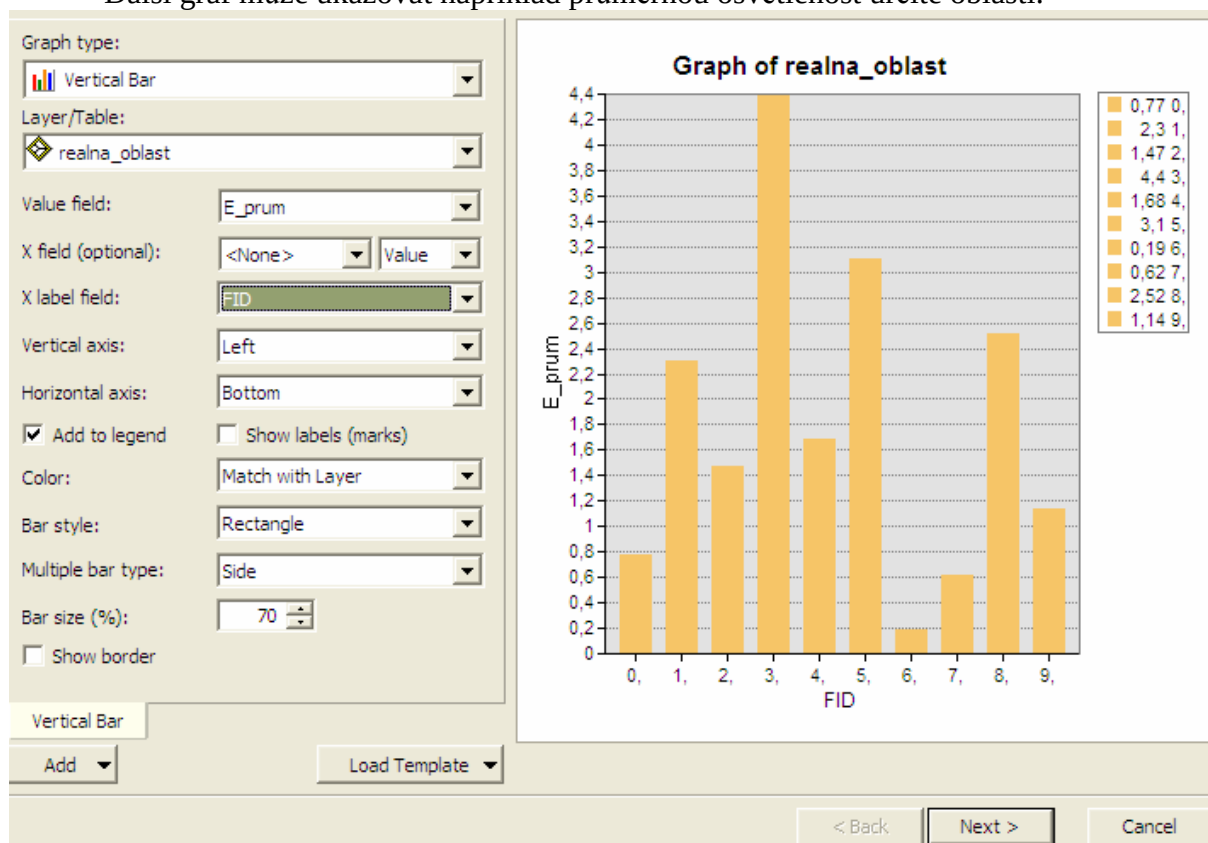
13.3 Statistická analýza

Výstupem této analýzy je graf určující statistické zastoupení vybrané hodnoty



*Graf 13.1 – Graf naměřené intenzity osvětlení
Osa x – intenzita osvětlení [lx]
Osa y – počet naměřených hodnot [-]*

Další graf může ukazovat například průměrnou osvětlenost určité oblasti:



Graf 13.2 – Vertikální graf E_prum k FID

Graf 13.2 zobrazuje průměrnou hodnotu osvětlenosti v měřených oblastech označenými pořadovými čísly FID, které jsou zobrazeny i na Obr. 13.3..

14 Měřicí přístroje

Při praktickém zpracování bylo potřeba použití GPS přístroje a luxmetru. Následující podkapitoly budou obsahovat stručný popis jejich parametrů.

14.1 GPS Garmin 60csx

Tento přístroj využívá „Global Positioning System“, který dokáže pomocí satelitů obíhajících kolem oběžné dráhy lokalizovat svoji polohu na mapě s přesností několika metrů. Se zvyšujícím se počtem nalezených družic se zvyšuje i přesnost přístroje. K této základní vlastnosti je přidáno několik doplňků, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Přístroj pracuje na civilní frekvenci 1575,42 MHz.

Tab. 14.1 - Vlastnosti GPS Garmin 60csx

Rozměry zařízení, ŠxVxH	6.1 x 15.5 x 3.3 cm
Displej - velikost, ŠxV	3.8 x 5.6 cm
Displej - rozlišení, ŠxV	160 x 240 pix.
Displej - typ	256 color TFT
Hmotnost	213 g
Dotyková obrazovka	Ne
Baterie - typ2 x AA Baterie - výdrž	do 18 hod.
Voděodolnost:	Ano
Plave na hladině	Ne
Vysoce-citlivý přijímač	Ano
Basemapa	Ano
Předinstalované mapy	Ne
Další mapy v dodávce	Atlas Czech + TOPO Czech
Možnost dohrání map	Ano
Vestavěná paměť	Není
Slot na paměťovou kartu	microSD
Waypointy/oblíbené/pozice	1000
Trasy	50
Track log	10.000 bodů/20 tras
Autorouting	Ano
Electronický kompas	Ano
Barometrický výškoměr	Ano
Geocaching mód	Ano
Outdoor GPS hry	Ano
Slunce/Měsíc info	Ano
Tabulky příliv/odliv	Ano
Výpočet plochy	Ano
Možnost přidat body zájmu	Ano
Prohlížeč obrázků	Ne
Bezdrátová technologie ANT	Ne
PC propojení	serial/USB

14.2 Luxmetr LX-1108

Luxmetr je přístroj měřící intenzitu osvětlení. Spektrální rozložení citlivosti fotoelektrických snímačů bývá z pravidla odlišné od spektrální citlivosti oka pozorovatele a proto se používají přizpůsobovací filtry. Šikmý dopad světla na plochu fotočlánku je korigován tzv. kosinovým nástavcem. Nepoužití nástavce způsobí až 15% chybu měření. Použití nevhodného filtru až 50% chybu měření.

Vedle funkce podržení zobrazení naměřené hodnoty na displeji přístroje (Data-Hold) a funkce automatického ukládání maximálních naměřených hodnot do paměti (Peak-Hold) je tento přístroj vybaven funkcí měření intenzity osvětlení ze 4 různých světelných zdrojů: sluneční světlo, zářivky, sodíkové a rtuťové výbojky.

Technická data: Rozsah měření: 0 až 400 000 luxů, Rozlišení: 0,01 lux, Přesnost: +- 3 %, Spektrum: 470 až 690 nm, Funkce vyrovnaní nuly, Interface „RS-232“.Napájení: 1 destičková baterie 9 V, Hmotnost: 280 g.

15 Závěr

Teoretickým seznámením s problematikou osvětlení, praktickým měřením, prostudováním norem a následnou analýzou zjištěných dat a informací v programu ArcMap jsem dospěl k následujícím poznatkům:

Měření uskutečněné u fakulty elektrotechniky na ulici Kolejní 4 obsahuje určité nepřesnosti ve vzdálenostech, ale vůči celku jsou zanedbatelné.

U naměřených hodnot osvětlenosti s počtem 897 se intenzita osvětlení pohybuje v rozmezí od 0.1 lx po 13 lx.

Minimální osvětlenost v měřené oblasti normě ČSN EN 13201 neodpovídá. Podrobný obraz mapy je uveden v kapitole 13.2.1.

Analýzou bylo dále zjištěno, že *průměrná osvětlenost* není v souladu s normou v žádné z měřených oblastí. Stejně tak i *celková rovnoměrnost* neodpovídá normě v měřených oblastí.

Z výše uvedených faktů lze konstatovat nedostatečné osvětlení v okolí elektrotechnické fakulty na ulici Kolejní 4.

Pro zlepšení nynějšího stavu a docílení souladu osvětlenosti s normou ČSN EN 13201 lze doporučit zaměnit veřejné osvětlení za V.O. s větším výkonem a nebo doplnit současnou síť veřejného osvětlení o další zdroje osvětlení, popřípadě obě varianty dohromady.

Seznam použité literatury:

- [1] Habel, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. Jiří Habel a kolektiv. Praha : FCC Public, 1995. 437s., [16] s. barevné obrazové přílohy. ISBN: 80-901985-0-3.
- [2] Krtilová, Alena; Matoušek, Jiří; Monzer, Ladislav. *Světlo a osvětlování*. 1. vyd. Praha : Avicenum, 1981. 269 s.
- [3] Plch, Jiří. *Osvětlení neosvětlitelných prostor*. Jiří Plch, Jitka Mohelníková, Petr Suchánek. 1. vyd. Brno : ERA, 2004. v, 129 s. (21. století). ISBN 80-86517-82-9.
- [4] Rozman J. *Diagnostika životního prostředí*. 2. vyd. Brno: FEKT VUT, 2003. 133 s. ISBN: 80-214-1771-4.
- [5] Halliday D., Resnik R, Walker J. *Fyzika, vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2001. 1254 s. ISBN: 80-214-1868-0
- [6] ČSN EN 13201-1, *Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení*. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [7] ČSN EN 13201-2, *Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky*. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [8] ČSN EN 13201-3 *Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet osvětlení* vyd. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [9] ČSN EN 13201-4 *Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření*, vyd. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [10] *Světlo* [online], poslední aktualizace 23.12.2008 17:45 [cit. 28.12.2008], Wikipedie. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Btlo>
- [11] *Vnímání* [online] [cit. 28.12.2008], Osram. Dostupné z WWW: http://www.osram.cz/osram_cz/SVTELN_DESIGN/O_svtle/Svtlo_a_lovk/Vnmn/index.html (spektrum světla)
- [12] *Barevná teplota* [online], poslední aktualizace 8. 10. 2008 10:29 [cit. 28.12.2008], Wikipedie. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplota_chromati%C4%8Dnosti
- [13] *Geografický informační systém* [online], poslední aktualizace 6. 12. 2008 18:13. [cit. 28.12.2008], Wikipedie. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/GIS>
- [14] *Veličiny pro měření světla* [online], poslední aktualizace 15. 2. 2007 [cit. 28.12.2008], Fotografování. Dostupné z WWW: http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1p_01_photometry.html
- [15] Ratičák, Milan. *Manuál k diplomové práci Ekologický informační systém*, Brno: VUT Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií 2007, 92 s.