

Optimalizace osvětlení pracovních prostorů

Bc. Michal Ondrášek

Diplomová práce
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal ONDRÁŠEK**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Optimalizace osvětlení pracovních prostorů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši problematiky osvětlení na základě doporučené literatury.
2. Proměřte osvětlenosti konkrétních pracovních místností. V každé místnosti stanovte průměrné hodnoty osvětlenosti s chybou měření a porovnejte je s normovanými hodnotami osvětlenosti pro dané případy.
3. V pracovních prostorech s nedostatečným osvětlením navrhňte několik variant nových osvětlovacích soustav. V počítačovém programu Wils proveďte simulace osvětlenosti a oslnění těchto soustav.
4. Proveďte vyhodnocení simulací osvětlení a doporučte nejvhodnější varianty pro realizaci umělého osvětlení v daných prostorech.
5. Citujte použitou literaturu.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Bystřický, V., Kaňka, J.: **OSVĚTLENÍ: ČVUT Praha, 1999.**
2. Horňák, P.: **UMELÉ OSVETLENIE: ALFA Bratislava, 1979.**
3. Netušil, J.: **SVĚTLO V TEORII A PRAXI: Práce Praha, 1960**
4. Čánská, M.: **NĚKOLIK POZNÁMEK K OSVĚTLENÍ PRACOVIŠŤ: České pracovní lékařství 2006, roč. 7., č. 1, 4 s.**
5. Fojtek, A., Foukal, J.: **TABULKY VYBRANÝCH FYZIKÁLNÍCH A TECHNICKÝCH VELIČIN: VŠB v Ostravě, 1992.**
6. Baxant, P.: **ELEKTRICKÉ TEPLA A SVĚTLO: VUT v Brně, 2004.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Vašina, Ph.D.**
Ústav fyziky a mater. inženýrství

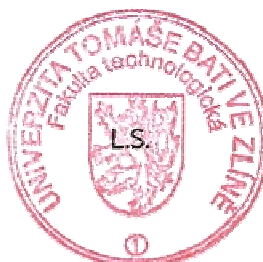
Datum zadání diplomové práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2010**

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 1.5.2010

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cíl této práce spočívá v analýze osvětlenosti a oslnění v prostoru výrobní dílny pro zpracování kovů. Na základě naměřených hodnot je provedena počítačová simulace pomocí počítačového programu Wils 6.3. Pomocí programu jsou navrženy nové varianty s požadovanými hodnotami osvětlenosti a oslnění, jež jsou následně porovnány.

Klíčová slova: osvětlení, oslnění, měření, simulace, Wils 6.3

ABSTRACT

Purpose of this dissertation is in illumination and glare analysis in the area of engineering workshop. Computer simulation is made in the basis of measured results with the help of software Wils 6.3. New versions of solving situation (with requested values) are designed with the help of the software and then mutually compared.

Keywords: illumination, glare, measurement, simulation, Wils 6.3

Děkuji tímto svému vedoucímu bakalářské práce ing. Martinu Vašinovi, Ph.D., za poskytnutou literaturu a cenné připomínky při vypracování diplomové práce. Těž všem ostatním, kteří pomohli, byť jen drobnou radou. Rovněž děkuji za podporu své rodině.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

.....

Ve Zlíně dne 1.5.2010

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ROZDĚLENÍ OSVĚTLENÍ	12
2 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ	13
2.1 SVĚTELNÉ ZDROJE	15
2.1.1 Druhy světelných zdrojů.....	15
2.1.2 Podání barev a barva světla	17
2.2 SVÍTIDLA	19
2.2.1 Parametry svítidel.....	19
2.3 ZÁKLADNÍ VELIČINY PRO POPIS UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ	21
2.4 METODY SVĚTELNĚ TECHNICKÝCH VÝPOČTŮ	26
2.4.1 Metoda toková.....	26
2.4.2 Metoda bodová.....	28
2.4.3 Metoda poměrných příkonů	30
2.5 ČINITEL ODRAZU	31
3 POČÍTAČOVÁ SIMULACE - WILS 6.3	33
3.1 MOŽNÉ METODY VÝPOČTU	33
3.1.1 Další možnosti programu	33
3.2 VÝSTUP PROGRAMU	34
3.3 POSTUP PRÁCE V PROGRAMU	34
4 CÍLE PRÁCE	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
5 MĚŘENÝ PROSTOR	39
6 MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI NA KONTROLNÍCH MÍSTECH	40
6.1 LUXMETR	40
6.2 KONTROLNÍ MÍSTA.....	41
6.3 NAMĚŘENÉ HODNOTY OSVĚTLENOSTÍ	42
6.3.1 Příklad výpočtu	45
6.4 POROVNÁNÍ S NORMATIVNÍMI HODNOTAMI	48
7 MĚŘENÍ ČINITELE ODRAZU	49
7.1 MÍSTA MĚŘENÍ	49
7.2 NAMĚŘENÁ HODNOTY A VÝPOČET.....	50
7.2.1 Příklad výpočtu	53
8 POČÍTAČOVÁ SIMULACE	55

8.1	SOUČASNÝ STAV	56
8.2	NÁVRH PRVNÍ.....	60
8.3	NÁVRH DRUHÝ	61
8.4	NÁVRH TŘETÍ	64
8.5	NÁVRH ČTVRTÝ.....	66
8.6	POROVNÁNÍ NÁVRHŮ	69
8.6.1	Hodnotící kritéria	69
8.6.2	Vyhodnocení dle kritérií.....	73
ZÁVĚR		75
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		76
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		78
SEZNAM OBRÁZKŮ		81
SEZNAM TABULEK.....		83
SEZNAM PŘÍLOH.....		84

ÚVOD

Vidění všech předmětů v našem okolí nám umožňuje světlo a zrak. Zrak je naším nejdůležitějším smyslem. Světlo je druh energie. Každý žijící organismus je na této energii závislý, proto je světlo nezbytným předpokladem veškerého života na Zemi. Můžeme říct, že světlo je základem života, pohody a zdraví.

Mluvíme-li o osvětlení které pochází ze Slunce, nazývá se denní. Rozlišujeme další dva druhy umělé a sdružené osvětlení. Sdružené je kombinací denního a umělého světla.

Denního osvětlení má nezastupitelnou důležitost, neboť ovlivňuje metabolické funkce a psychické ladění člověka. Ovšem ne vždy je možné zajistit osvětlení pouze denním osvětlením, např. výrobní prostory, či práce v noci. Proto má správně navržené umělé osvětlení své opodstatnění.

Správný návrh osvětlení je důležitý pro vytvoření zrakové pohody. Důležité je také jeho správné rozložení bez nadměrných jasů a kontrastů. Při návrhu osvětlení je třeba vycházet z potřeb konkrétního prostoru, z jeho rozměrů, rozložení předmětů a vlastností povrchů.

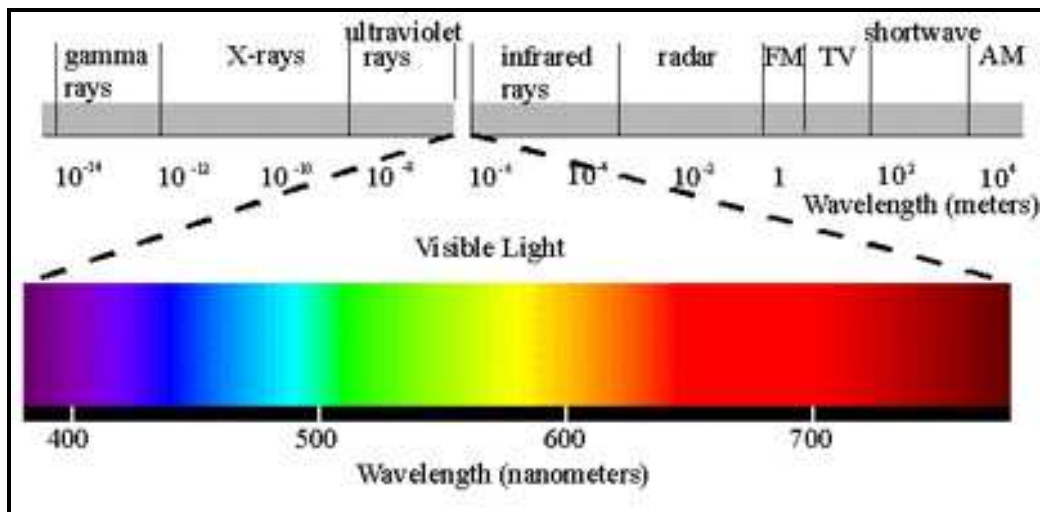
Návrh osvětlení je realizován pomocí správného rozložení osvětlovacích těles a zvolení správných světelných zdrojů do těchto těles. Toto rozložení osvětlovacích těles nazýváme „osvětlovací soustavou“. Navržení vhodné osvětlovací soustavy a jejího typu je důležitý z několika hledisek. Především splnění požadavků na osvětlenost, vyhovění hygienickým požadavkům a také úspora elektrické energie.

Od vynálezu žárovky v roce 1879 uplynulo již spousta času. Dnes nemusíme řešit, zda si můžeme něčím přisvítit, ale můžeme řešit jak to provést nejlépe.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROZDĚLENÍ OSVĚTLENÍ

Dle Maxwellovy teorie (MAXWELL, C. 1831-1879) má světlo charakter elektromagnetického vlnění různých vlnových délek. Z toho viditelné záření tvoří přibližně oblast v intervalu vlnových délek 380 nm až 780 nm (Obr.1). Viditelným zářením označujeme optické záření schopné přímo vyvolat zrakový vjem. Viditelné světlo je absorbováno a emitováno elektrony v atomech a molekulách, když přecházejí mezi energetickými hladinami. Různé frekvence a vlnové délky světla vidíme jako barvy, od červené po fialovou. Červená má nejnižší frekvenci a nejdelší vlnovou délku, naopak fialová má nejvyšší frekvenci a nejkratší vlnovou délku.



Obr. 1 Barevné spektrum [1]

Osvětlení se rozděluje do tří [2] základních skupin:

- a) **denní** osvětlení – využití přírodních zdrojů, především kosmické tělesa – Slunce, kde využíváme sluneční energii
- b) **umělé** osvětlení – světlo vzniká transformací jiného, umělého, tedy člověkem vytvořeného druhu energie
- c) **sdrúžené** osvětlení – kombinace denního a umělého osvětlení, doplnění denního světla umělým

2 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ

Člověk tráví v krytých prostorách stále více času, proto umělé osvětlení nabývá na stále větším významu, naštěstí s rostoucími požadavky roste též technický pokrok. Moderní technologie a nové materiály umožňují výrobu kvalitnějších a efektivnějších světelných zdrojů.

Vnitřní prostředí bývá osvětleno světlem denním, umělým nebo sdruženým, tedy oběma současně. Umělé osvětlení slouží k vytvoření požadovaného osvětlení v případě, kdy denní osvětlení není dostatečné. Tyto případy nastávají při práci v noci, nebo v prostorech s nedostatkem oken. Umělým osvětlením získáme stálé hodnoty osvětlenosti. Osvětlení umělými zdroji světla musí respektovat kvalitativní a kvantitativní parametry dle příslušných norem a vytvořit podmínky pro zrakovou pohodu, která ve značné míře ovlivňuje pracovní výkon.

Dostatečné světlo, osvětlení, má řadu příznivých vlivů a motivuje člověka k činnosti, k práci, povzbuzuje náladu a vytváří příjemnou atmosféru. Nedostatek světla naopak utlumuje, snižuje pracovní výkonnost a bezpečnost, zvyšuje riziko chyb a úrazů.

Způsoby osvětlení:

- a) přímé osvětlení – světlo je přímo směřováno na určitou plochu
- b) nepřímé osvětlení – svazek světelných paprsků je směřován proti stropu nebo zdi, od nichž se světlo odráží. Odražené světlo je tím intenzivnější, čím je barva stropu nebo zdi světlejší.
- c) lokální osvětlení – doplněk hlavního osvětlení. Toto osvětlení se používá na zvýraznění předmětů, vytváří se tím světelné efekty a dává vyniknout sledovaným tvarům.
- d) smíšené osvětlení

Osvětlení prostoru může být celkové nebo odstupňované, pokud to vyžadují místa na nichž se provádí určitý typ práce. Pro každý druh práce je dle ČSN EN 12464-1 stanovena minimální, neboli udržovaná osvětlenost. Je to hodnota průměrné osvětlenosti, pod kterou nesmí osvětlenost poklesnout. Je to průměrná osvětlenost v okamžiku kdy má být provedena údržba. Např. ve výše uvedené normě v odstavci 2.13.10 - výroba nářadí

a řezných nástrojů je uvedena $\bar{E}_m = 750 \text{ lx}$. Požadované hodnoty \bar{E}_m musí být stanoveny dle řady - $1 \times 10^n \text{ lx}$; $1,5 \times 10^n \text{ lx}$; $2 \times 10^n \text{ lx}$; $3 \times 10^n \text{ lx}$; $5 \times 10^n \text{ lx}$; $7,5 \times 10^n \text{ lx}$, kde „n“ je celé číslo. Celkové osvětlení může být případně doplněno místním osvětlením, v případě strojní výroby dle ČSN EN 1837 – Integrované osvětlení strojů.

Přesto že je stanovena normou pouze minimální osvětlenost, nelze stanovit hodnoty příliš vysoké. Se zvyšující se hodnotou osvětlenosti stoupá schopnost rozlišování, ovšem při dosažení vysokých hodnot se zrak unaví a rychlost rozlišování začne klesat [3].

Pro návrh osvětlení je vhodné respektovat následující **kriteria**:

- a) dostatečná úroveň osvětlení
- b) přiměřené rozložení jasů ploch v zorném poli
- c) výhodný převažující směr osvětlení a stínivost, omezení oslnění
- d) vhodné spektrální složení světla a přiměřené podání barev

Mezi **faktory**, kterým je třeba se věnovat při návrhu osvětlovací soustavy, neboť ovlivňující hospodárnost umělého osvětlení, můžeme zařadit:

- a) způsob osvětlení (přímé, nepřímé, smíšené)
- b) vlastnosti osvětlovací soustavy
- c) volba svítidla a jejich vlastnosti (účinnost)
- d) druhy světelných zdrojů a jejich vlastnosti (měrný výkon, životnost)
- e) údržba osvětlovací soustavy a ostatních prvků

2.1 Světelné zdroje

2.1.1 Druhy světelných zdrojů

Z hlediska původu se dělí světelné zdroje na:

- a) přírodní zdroj - vznikl bez zásahu člověka (slunce, měsíc)
 - b) umělé zdroj - určený na přeměnu zdrojové energie, především elektrické, ve světelnou
- Pro aplikaci v této práci mají význam zdroje umělé.

Zdroje světla, které jsou dnes k dispozici, se rozlišují jednak podle toho, k jakému účelu jsou vytvořeny a jednak podle vlastností. Důležitým parametrem výběru světelného zdroje je měrný výkon, který vyjadřuje účinnost přeměny elektřiny ve světlo. Mezi hlavní parametry u umělých světelných zdrojů patří životnost světelného zdroje, udávaná v hodinách. Dále hodnota světelného toku a jeho spektrální složení, svítivost a její prostorové rozložení, jas, teplota chromatičnosti a index podání barev. U umělých světelných zdrojů, jejichž činnost závisí na elektrické energii, pak také příkon, napětí, proud a především měrný výkon.

Významným hlediskem je **rozdělení zdrojů dle vzniku světla**, tedy optického záření, na:

- a) zdroje teplotní – též nazývané inkandescenční. Optické záření vzniká při zahřátí látky na vysokou teplotu
- b) zdroje výbojové - optické záření vzniká vybuzením atomů plynů nebo par kovů v elektrickém výboji
- c) luminiscenční - též nazývané chemické. Optické záření vzniká luminiscencí pevných látek
- d) kvantové generátory – lasery

Mezi teplotní světelné zdroje patří žárovky, kde svítí rozžhavené wolframové vlákno. Mezi tyto zdroje také patří halogenové žárovky a nízkovoltové halogenové žárovky. Světlo u teplotních zdrojů vzniká zahřáním pevné látky na vysokou teplotu. Vlastností teplotních zdrojů je velmi nízká účinnost, velký podíl energie vyzářené v podobě tepla, spojitě rozlo-

žení světla ve spektru podle fyzikální křivky teplotního zářiče, subjektivně příjemné vnímání světla lidským okem, závislost barvy světla a účinnosti zdroje na teplotě zářiče[4].

Mezi výbojové světelné zdroje nízkotlaké patří zářivky (kompaktní zářivky), svítící trubice a nízkotlaké sodíkové výbojky. K vysokotlakým patří výbojky rtuťové, sodíkové směšové a xenonové. Světlo u výbojových zdrojů vzniká vybuzením atomů plynů nebo par při elektrickém výboji, který probíhá za nízkého nebo vysokého tlaku [4]. Zářivky jsou nízkotlaké svítící trubice plněné rtuťovými parami, v nichž se ultrafialové záření výboje mění vrstvou luminoforu ve světlo. Hlavní náplní je rtuť, k usnadnění zapálení se přidává argon. Rtuťové výbojky jsou výbojové zdroje s rtuťovými parami. Vnitřní povrch jejich baňky je pokryt luminoforem, který mění ultrafialové záření na viditelné.

Nyní uvádím charakteristiky některých světelných zdrojů. Pro aplikaci v simulacích pro návrh osvětlení v této práci jsou použity níže uvedené zářivky, a to s elektronickým předřadníkem (EP).

Standardní žárovky a reflektorové žárovky jsou nejznámější, nejrozšířenější a nejméně hospodárné zdroje, mají měrný výkon $(8 - 18) \text{ lm.W}^{-1}$. Na světlo se přemění jen 3 až 5% spotřebované energie, zbytek je většinou ztrátové teplo. Poměr mezi spotřebou elektřiny pro stejnou úroveň osvětlení je u žárovek přibližně 4x vyšší než u zářivek. To jsou také důvody, proč jsou v současné době vytlačovány kompaktními zářivkami.

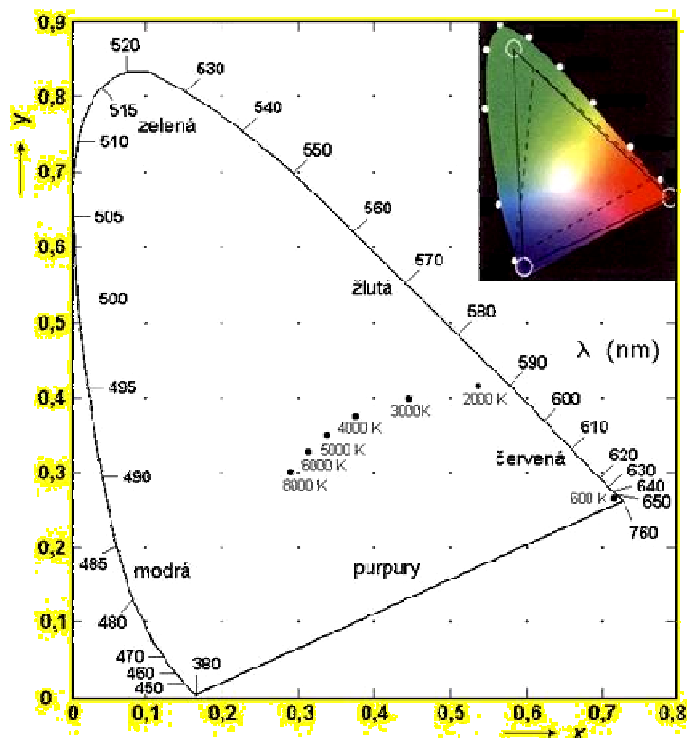
Ve srovnání se standardní žárovkou vykazují standardní trubicové halogenové žárovky v průměru dvojnásobnou životnost. Mají také vyšší měrný výkon, $(14 - 20) \text{ lm.W}^{-1}$. Osvětlovací systémy s halogenovými žárovkami jsou navrhovány jako doplňkové osvětlení. Nejsou vhodné pro plošné osvětlení.

Výhodou zářivky je vysoká účinnost, tedy poměrně malá spotřeba energie při značném výkonu. Mají měrný výkon $(40 - 106) \text{ lm.W}^{-1}$. Jsou vhodné pro osvětlení všech druhů vnitřních prostorů. Důležité je spektrální složení zářivek. Světlo pak může být v závislosti na použitém zdroji vnímáno jako studené a nelze v něm dobře rozlišovat barevné odstíny. Zářivkové trubice se zahřívají až na teplotu 80°C , což má také vliv na barevnost vyzařovaného světla. Blikání zářivky při kmitočtu 50Hz způsobuje nežádoucí stroboskopický jev. Tento jev může způsobit změnu při vnímání pohybu strojů s točivým nebo vratným pohy-

bem, a proto se musí osvětlovací soustavy navrhovat dle ČSN EN 12464-2 tak, aby tento jev nevznikal. Pro zamezení jevu se používá druh svítidel s elektronickým předřadníkem. Použití elektronického předřadníku také znamená úsporu 20 % oproti tlumivce. Start je bezproblémový bez blikání i za extrémně nízkých teplot, tichý chod, vyšší světelný výkon a také prodloužení životnosti trubic až o 50 %.

2.1.2 Podání barev a barva světla

Jedním z parametrů udávaným u svítidel je **teplota chromatičnosti** (Obr.2). Jednotkou je Kelvin [K]. Teplota chromatičnosti je rovna teplotě černého zářiče, jehož záření má tutéž chromatičnost jako záření uvažovaného světelného zdroje. Znárodnuje se v „Planckově křivce“. Jestliže se zvýší teplota „černého tělesa“, zvětší se ve spektru podíl modré složky a podíl červené složky se zmenší. Žárovka s teplým bílým světlem má např. teplotu chromatičnosti 2 700 K, zářivka se světlem podobným dennímu 6 000 K [5].

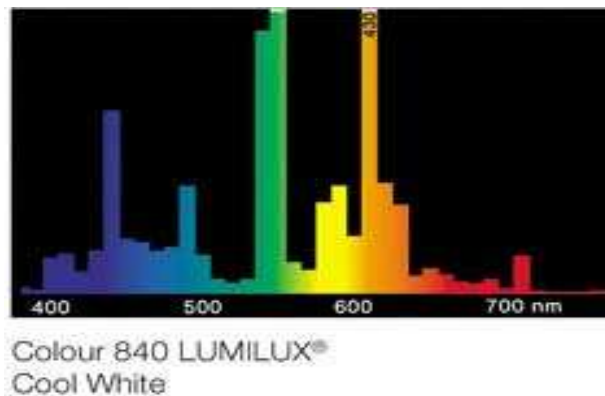


Obr. 2 Diagram chromatičnosti [6]

Barva světla je teplotou chromatičnosti velice dobře popsána. Přitom lze rozlišit tři hlavní skupiny. Jsou to teplé bílá do 3 300 K, chladně bílá v rozsahu 3 300 K až 5 000 K, denní bílá větší než 5 000 K. Navzdory stejné barvě světla mohou mít světelné zdroje v důsledku

spektrálního složení svého světla velmi rozdílné vlastnosti podání barev [3]. Je doporučeno ČSN EN 12464-1, aby pro osvětlenost 300 lx až 1500 lx byla teplota 3300 K až 5300 K, a zároveň od 500 lx teplota nad 5300 K.

Výrobce pak rozděluje zdroje číselně nebo slovně dle teploty chromatičnosti. Jako příklad uvádím světelné zdroje s teplotou Cool White - chladně bílá (Obr.3) od výrobce Osram. Tyto zdroje se používají pro osvětlení výrobních prostor, skladů, kanceláří, míst s vyšším pohybem lidí s požadavkem na ekonomické svícení a pořizovací náklady světelných zdrojů. Je použita i k současnému osvětlení řešeného prostoru v praktické části.



Obr. 3 Spektrální charakteristika [5]

Vliv spektrálního složení světla světelných zdrojů na vjem barvy osvětlených předmětů charakterizuje **index podání barev**. Vjem barvy se srovnává s jejích vzhledem ve světle smluvního či obvyklého zdroje světla. Při takto pojatém hodnocení barev v souladu s doporučením Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) se neuvažují estetické, ani psychologické vlivy. Index podání barev popisuje věrnost vnímání barev při osvětlení daným světelným zdrojem. Hodnoty se nachází v rozmezí 0 - 100. Pro výpočet indexu podání barev se používá referenčních vzorků a zdrojů světla. Hodnota je udávána v ČSN EN 12464-1 jako minimální index podání barev pod symbolem R_a [-]. Například pro kategorii Průmyslové činnosti a prostory, montážní práce jemné je $R_a = 80$ [-]. Orientační hodnoty jsou $R_a = 95$ pro žárovku a $R_a = 80$ pro zářivku.

Vjem barvy určitého předmětu je podmíněn jednak uvedeným spektrálním složením záření zdroje osvětlujícího předmět a jednak spektrálním činitelem odrazu ρ (příloha PI) či velikostí prostupu pozorovaného předmětu.

2.2 Svítidla

Světelné zdroje většinou samy o sobě nevyhovují použití v osvětlovacích systémech, neboť mají nevhodné rozložení světelného toku do prostoru. Proto se světelné zdroje umisťují do svítidel.

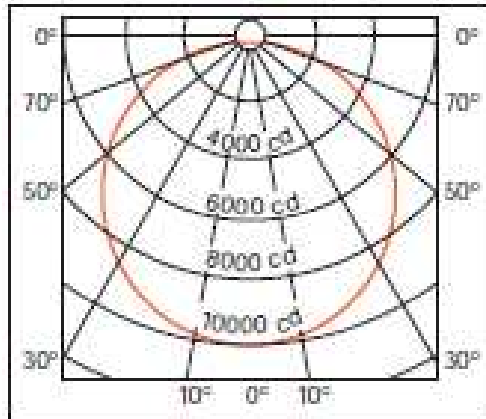
ČSN EN 60598 definuje svítidlo jako zařízení, které rozděluje, filtruje nebo mění světlo vyzařované jedním nebo několika světelnými zdroji. Kromě vlastních světelných zdrojů obsahuje všechny díly nutné pro provoz. Norma uvádí všeobecné požadavky na svítidla a 69 definic, vztahujících se k svítidlům se světelnými zdroji pro napájecí napětí do 1000V. Požadavky a příslušné zkoušky dle této normy zahrnují třídění, značení, mechanickou a elektrickou konstrukci svítidel.

Dále jsou v normě obsažena všechna hlediska bezpečnosti. Svítidla se třídí dle ČSN EN 60598, která nahrazuje normu ČSN 36 0600, podle druhu ochrany před úrazem elektrickým proudem, podle stupně ochrany proti vniknutí prachu a vody. Tento stupeň ochrany proti vnějším vlivům se značí IP a dvojčíslí, kde první číslice hodnoty 0 až 6 udává krytí proti vnikání cizích předmětů a prachu, druhá číslice hodnoty 0 až 8 udává krytí proti vniknutí vody.

Od uvedení do provozu dochází ke **stárnutí svítidel**. Dochází tím k úbytku světelného toku a snížení osvětlenosti. Podílejí se na tom činitelé, které označujeme jako **nevratné**, např. stárnutí materiálu a **vratné**, např. stárnutí světelných zdrojů a znečištění prachem. K jejich odstranění je potřeba provádět pravidelnou údržbu, jinak dochází ke snížení účinnosti osvětlovací soustavy. Pro dílny je kategorie čistoty N-normální a má kontrolní interval 2 roky.

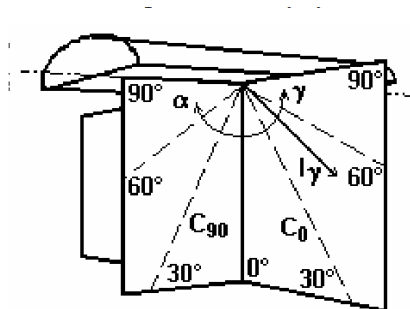
2.2.1 Parametry svítidel

Výrobci světelných zdrojů a svítidel uvádějí v katalogích svých výrobků **křivky svítivosti** zdrojů, příklad na Obr.4. Tyto křivky vycházejí ze svítivosti světelných zdrojů, kterou znázorníme orientovanými úsečkami. Vyjadřují velikost a směr svítivosti I. Při zobrazování je počátek úseček ve středu zdroje.



Obr. 4 Křivka svítivosti [5]

Křivky svítivosti se udávají v určitých polorovinách. Nejčastěji se používá rovin C- γ (Obr.5), jehož osa je kolmá k vyzařovací ploše svítidla. Aby udávané křivky svítivosti byly nezávislé na světelném toku použitého zdroje svítidla, přepočítají se diagramy na světelný tok 1000 lm.



Obr. 5 Soustava fotometrických polorovin C- γ [7]

Technické údaje uvedené na svítidle a jeho obalu:

1. Maximální příkon světelného zdroje.
2. Označení patice pro montáž příslušného světelného zdroje (E 27, G 23).
3. Počet světelných zdrojů ve svítidle.
4. Úroveň krytí proti vlhkosti a předmětům (IP).
5. Klasifikace jištění proti zkratu dle tříd:
 - I. Bez jištění.
 - II. Ochrana základní izolací, uzemňovací vodič připojen k vodivým částem.
 - III. Ochrana založena na základní izolaci a dvojité izolovanosti.
 - IV. Všechny části jsou napájeny napětím nižším než 50 V.

2.3 Základní veličiny pro popis umělého osvětlení

Při vnímání jevů jako je světlo, se uplatňují i fyziologické a psychologické okolnosti, které nelze obvykle popsat objektivními fyzikálními veličinami. Ve světelné technice se používají fotometrické veličiny, které jsou psychofyziologickou obdobou příslušných fyzikálních veličin. Fotometrie je část optiky, která se zabývá světlem z hlediska jeho působení na lidský zrak [8].

Pro charakteristiky světla se používají tři základní **jednotky**:

a) Kandela [cd]

Je jednotka svítivosti, je jednou ze sedmi základních jednotek soustavy SI. Je to svítivost světelného zdroje, který v daném směru vyzařuje monochromatické záření o frekvenci 540×10^{12} Hz, které je blízko světlu zelené barvy o vlnové délce 555 nm a jehož zářivost v tomto směru činí 1 / 683 wattů na jeden steradián.

b) Lumen [lm]

Jednotka světelného toku. Lumen je jednou z vedlejších jednotek soustavy SI. Je definován jako světelný tok vyzařovaný do prostorového úhlu 1 steradiánu bodovým zdrojem, jehož svítivost je ve všech směrech 1 kandela.

c) Lux [lx]

Je jednotkou osvětlenosti. Je to osvětlení způsobené světelným tokem 1 lm dopadajícím na plochu 1 m^2 .

Přepočítání zářivých veličin na fotometrické veličiny: $1 \text{ lm} = 147.10^{-5} \text{ W}$; $1 \text{ W} = 680 \text{ lm}$

Pro výpočty charakteristik osvětlení se používají vztahy[8]:

1) **Vlnová délka**

Charakterizuje různé druhy elektromagnetického záření.

$$\lambda = \frac{c}{f} [m] \quad (1)$$

Kde: vlnová délka λ [m, nm] ; kmitočet f [Hz] ; $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

2) Zářivý tok

Množství zářivé energie, přenesené tokem fotonů za jednotku času. Neboli také výkon přenášený elektromagnetickým zářením .

$$\Phi_B = \frac{dQ_E}{dt} [W] \quad (2)$$

Kde: zářivá energie Q_E [Ws] ; čas t [s]

3) Světelný tok

Fotometrická obdoba zářivého toku, výkonu, zdroje. Vyjadřuje schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem. Neboli také výkon zařízení určitého zdroje, zhodnocený lidským zrakem . Např. žárovka 220 V/40 W má světelný tok 1 880 lm.

$$\Phi = K_m \int_{-\infty}^{+\infty} V(\lambda) P(\lambda) [lm] \quad (3)$$

Kde: světelná účinnost $V(\lambda)$ [-] ; koncentrace výkonu $P(\lambda)$ [W.s⁻¹] ; $K_m = 683$ [lm.W⁻¹]

4) Světlení

Je to podíl světelného toku vyzařovaného určitou plochou a velikosti této plochy.

$$M = \frac{d\Phi}{dS} [lm.m^{-2}] \quad (4)$$

Kde: světelný tok Φ [lm] ; velikost plochy S [m²]

5) Svítivost

Popisuje rozložení světelného toku do různých směrů v prostoru. Je dána podílem světelného toku, který zdroj vyzařuje ve směru osy elementárního prostorového úhlu a velikosti tohoto prostorového úhlu. Svítivost zdroje nemusí být stejná v každém směru. Zobrazuje se křivkou svítivosti, která znázorňuje rozložení svítivosti v prostoru .

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} [cd] \quad (5)$$

Kde: světelný tok Φ [lm] ; prostorový úhel Ω [sr]:

6) Prostorový úhel

Měří se podle plochy, kterou kužel omezující prostorový úhel vytíná z kulové plochy.

$$\Omega = \frac{S_r}{r^2} [sr] \quad (6)$$

Kde: velikost plochy S_r [m^2]; poloměr koule r [m]

7) Jas

Charakterizuje plošné zdroje světla. Je dán intenzitou světla odrážejícího se od okolních povrchů.

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \alpha} [cd \cdot m^{-2}] \quad (7)$$

Kde: plocha průmětu plošky dS [m]; svítivost plošky I [cd];
úhel naklonění od kolmice α

8) Osvětlenost

Vyjadřuje intenzitu osvětlení v daném místě plochy. Podíl části světelného toku, která dopadá na plošku povrchu tělesa, a této plošky. Osvětlení jednoho luxu je vyvoláno světelným tokem jednoho lumenu rovnoměrně rozprostřeného na ploše $1 m^2$.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} [lx] \quad (8)$$

Kde: světelný tok Φ [lm]; velikosti plochy S [m^2]

V případě, že paprsky dopadají na osvětlovanou plochu pod úhlem α [°], platí Kosinový zákon (Lambertův):

$$E_A = E \cdot \cos \alpha = \frac{I \cdot \cos \alpha}{l^2} [lx] \quad (9)$$

Kde: svítivost I [cd]; vzdálenost od zdroje l [m]; osvětlení E [lx];

9) Měrný výkon

Jeden z důležitých ukazatelů jakosti světelného zdroje, který charakterizuje účinnost přeměny energie elektrické na světelnou.

$$\eta_v = \frac{\Phi}{P} [lm \cdot W^{-1}] \quad (10)$$

Kde: světelný tok Φ [lm]; příkonu světelného zdroje P [W]

10) Oslnění

Oslnění, neboli index rušivého oslnění. Pokud mluvíme o vnitřních prostorech s umělým osvětlením, značí se UGR . UGR je číslo, které kvantifikuje subjektivní pocit nepohody nebo snížené schopnosti vidět podrobnosti, tedy oslnění. Její maximální hodnota je udána v ČSN EN 12464-1. Oslnění je nepříznivý stav zraku, který narušuje zrakovou pohodu a zhoršuje nebo znemožňuje vidění. Je způsobeno nevhodným rozložením jasů nebo jejich velikostí.

$$UGR = 8 \log \left| \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot A_i^2} \right| [-] \quad (11)$$

Kde: jas oslňujícího zdroje L_{zi} [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]; prostorový zorný úhel Ω [sr];

činitel charakterizující vliv polohy oslňujícího zdroje A [-]; jas pozadí L_p [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]

Některé doporučené hodnoty UGR pro vybraná pracoviště jsou v Tab.1.

Tab. 1. Hodnoty UGR

Druh pracoviště		UGR
Pracoviště s počítači		16
Kanceláře		19
Průmyslová pracoviště	Jemná výroba	22
	Běžná výroba	25
	Hrubá výroba	28
	Kontrola, broušení	19
	Montáž jemná	22
	Montáž velmi jemná, leštění	19

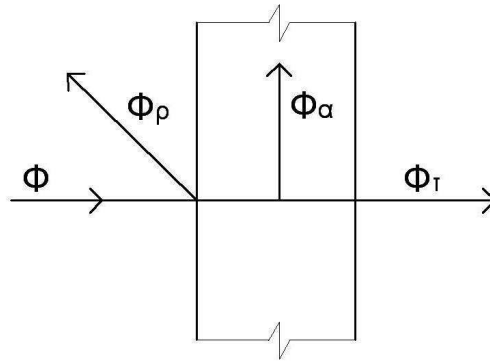
Příčiny vzniku oslnění:

- Přímé, způsobené nadměrným jasnem svítidel.
- Odrazem od předmětů v okolí.
- Přechodové, při změně prostředí z tmavšího do světlejšího.
- Závojevé, když je vyšší jas před pozorovaným předmětem.
- Kontrastem a příliš velkým jasnem, než na jaký je oko adaptováno.

Dále můžeme oslnění rozdělit na psychologické, kdy rušení vzniká aniž by si pracovník uvědomoval že se jedná o oslnění. A fyziologické oslnění, které je objektivně zjiřitelné.

11) **Odraz, prostup, pohlcení**

Dopadající světelný tok Φ je dán součtem dílčích světelných toků (Obr. 6), dělí se na základě energetické bilance (Obr.6), a to na Φ_ρ - světelný tok, který se odrazí, Φ_τ - světelný tok, který prostoupí přes látku a Φ_α - světelný tok, který látka pohltí.



Obr. 6 Energetická bilance

Tyto světelně technické vlastnosti látek jsou charakterizovány třemi činiteli.

$$\text{Činiteli odrazu: } \rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} \quad [-] \quad (12)$$

$$\text{Činiteli prostupu: } \tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} \quad [-] \quad (13)$$

$$\text{Činiteli pohltivosti: } \alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} \quad [-] \quad (14)$$

Kde: světelný tok Φ [lm] ; odražený světelný tok Φ_ρ [lm] ;

prostoupený světelný tok Φ_τ [lm] ; pohlcený světelný tok Φ_α [lm]

V závislosti na činiteli odrazu je část dopadajícího světla odražena zpět do prostoru a odrážející povrch se stává sekundárním zdrojem světla. Pokud odražené světlo zasáhne další povrch, dochází k dalším odrazům, mluvíme pak o mnohonásobném odrazu. Pak nabývá na významu počítačová simulace. V praxi se vyskytují povrchy s převážně difuzním charakterem odrazu, méně pak zrcadlové povrchy.

2.4 Metody světelně technických výpočtů

Světelně technické výpočty se provádějí k určení výkonu, počtu světelných zdrojů a svítidel, zjištění ukazatelů osvětlení a zda hodnoty odpovídají normám a předpisům. Používá se několik způsobů výpočtu. Každý má nejen předpoklady správného použití, ale má i svá určitá omezení. V následujících podkapitolách jsou jednotlivé metody představeny s důrazem na metodu tokovou, jež je použita při simulacích v praktické části.

2.4.1 Metoda toková

Používá se na přesné určení počtu a rozmístění svítidel v konkrétní místnosti. Počítá s celkovým světelným tokem zdrojů a účinností, respektuje vliv mnohonásobných odrazů. Lze do ní zahrnout znečištění svítidel, odraz stěn a stropů, opotřebení zdroje světla i rozmístění předmětů v místnosti. Vychází se ze základního vztahu pro výpočet hodnoty celkového světelného toku Φ_c :

$$\Phi_c = \frac{E_{PK} \cdot S}{\eta \cdot z} [lm] \quad (15)$$

Kde: η [-] ... Činitel využití osvětlovací soustavy.

z [-] ... Udržovací činitel, vystihuje zmenšení výkonu soustavy v průběhu funkce.

E_{PK} [lx] ... Intenzita osvětlení.

S [m²] ... Plocha.

Při návrhu osvětlovací soustavy s pomocí tokové metody použijeme následující postup:

- 1) Určíme velikost kontrolované plochy S [m²] a polohu srovnávací roviny.
- 2) Určíme intenzitu osvětlení pro konkrétní zřakový úkol.
- 3) Zvolíme druh světelného zdroje a svítidla.
- 4) Určíme světelný tok jednoho svítidla Φ_{zs} .

$$\Phi_{zs} = n_z \cdot \Phi_z [lm] \quad (16)$$

Kde: n_z [-] ... Počet zdrojů ve svítidle.

Φ_z [lm] ... Světelný tok jednoho zdroje.

- 5) Jelikož část světelného toku se pohltí ve svítidle a při odrazu na stropu a stěnách, určíme činitele využití η [-] . Může se určit z katalogového listu svítidla. Účinnost osvětlení, neboli činitele využití η , respektuje ztráty ve svítidle, ve stěnách a ve stropu.

6) Je nutné počítat s tím, že část toku se pohltí provozním znečištěním svítidla, proto také údržba ovlivňuje hospodárnost provozu. S časem pak poklesne světelný tok zdrojů, mění se ostatní kvalitativní a kvantitativní parametry, proto se určuje udržovací činitel z [-], jenž charakterizuje míru stárnutí, znečištění a poruchovosti osvětlovacího zařízení.

$$z = z_s + z_z + z_{fz} \quad [-] \quad (17)$$

Kde: z_s [-] ... Činitel stárnutí světelných zdrojů. Dle údajů výrobce, jinak pro zářivky a výbojky $z_s = 0,7$. U moderních žárovek $z_s \geq 0,8$.

z_z [-] ... Činitel znečištění svítidel. Stanoví se v závislosti na době používání svítidla a na míře znečištění osvětlovaného prostoru.

z_{fz} [-] ... Činitel funkční spolehlivosti zdrojů. Je udán výrobcem nebo se stanoví na základě doby používání.

7) Vypočítáme hodnotu světelného toku Φ_c dle (15).

8) Určíme nejmenší počet svítidel n_s

$$n_s = \frac{\Phi_c}{\Phi_{zs}} \quad [-] \quad (18)$$

Kde: Φ_c [lm] ... Hodnota celkového světelného toku.

Φ_{zs} [lm] ... Světelný tok jednoho svítidla.

9) Můžeme určit další veličiny. Vycházíme z předchozích výpočtů a určíme výslednou minimální osvětlenost E'_{PK} a počáteční maximální osvětlenost E_{PO} .

$$E'_{PK} = \frac{\Phi_c \cdot \eta \cdot z}{S} \quad [lx] \quad (19)$$

$$E_{PO} = \frac{E'_{PK}}{z} \quad [lx] \quad (20)$$

Kde: Φ_c [lm] ... Hodnota celkového světelného toku.

η [-] ... Činitel využití

z [-] ... Udržovací činitel.

S [m²] ... Plocha.

10) Pro navrženou osvětlovací soustavu určíme hodnotu poměrného příkonu P a celkového příkonu P_c .

$$P = \frac{P_c}{S} \quad [W.m^{-2}] \quad (21)$$

Kde: P_C [W] ... Celkový příkon osvětlovací soustavy.
 S [m²] ... Plocha.

$$P_C = n \cdot P_S [W] \quad (22)$$

Kde: n [-] ... Počet svítidel.
 P_S [W] ... Příkon jednoho svítidla.

2.4.2 Metoda bodová

Uplatňuje se pro výpočet osvětlení komunikací, chodníků, parkovišť, mostů a sportovišť. Bodová metoda se používá pro bodový zdroj světla. V daném kontrolním bodě kontroluje osvětlenost, popř. jasy. Tato kontrola se provádí v bodech vodorovných, svislých i obecně nakloněných rovin.

Nevýhodou metody je, že v získaných výsledcích nejsou zahrnuty odražené světelné toky. Skutečný zdroj světla má však určité rozměry, což způsobuje chyby výpočtu [9]. Aby se tato chyba zmenšila, rozdělují se zdroje podle poměru jejich rozměrů ke vzdálenosti od kontrolního místa. Rozdělení je na zdroje bodové, přímkové a plošné. Z nichž každý má svůj způsob výpočtu.

Zdroj uvažujeme za bodový tehdy, když největší rozměr je menší než 1/3 vzdálenosti svítidla od nejbližšího kontrolního místa. Jsou dvě možnosti řešení. První (Obr. 7) řeší osvětlenost v bodě, který je součástí obecné roviny.

Pak platí vztah:

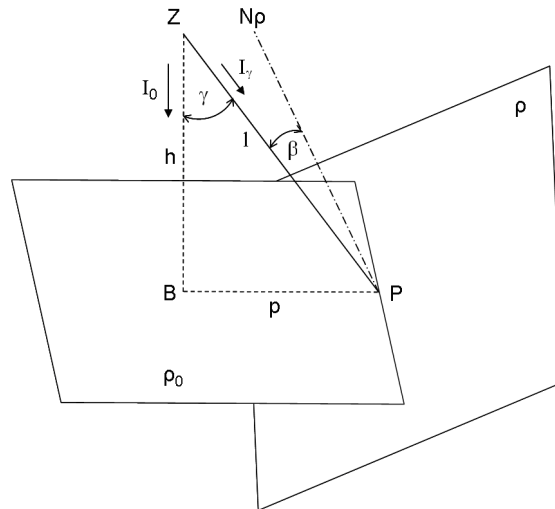
$$E_{P\rho} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{l^2} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{h^2 + p^2} [lx] \quad (23)$$

Kde: $E_{P\rho}$ [lx] ... Osvětlenost v bodě P roviny ρ , zdrojem Z.

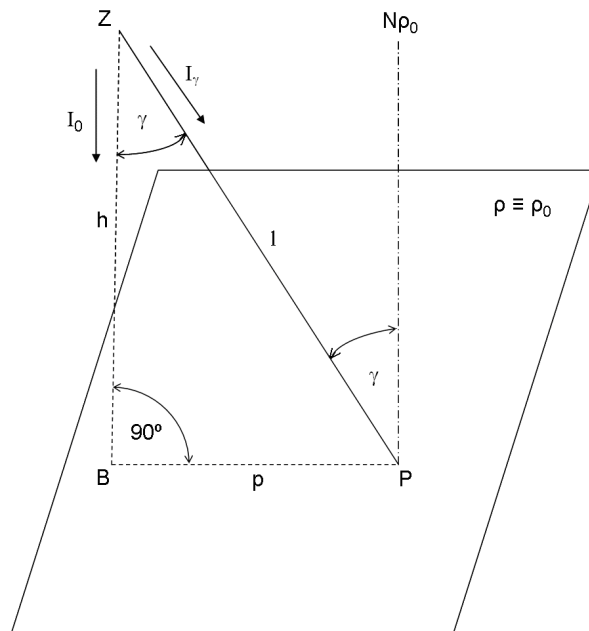
I_γ [cd] ... Svítivost zdroje při úhlu γ určená z křivky svítivosti světelného zdroje.

β [°] ... Úhel dopadu světla na kontrolní rovinu ρ .

h, p, l [m] ... Vzdálenosti.



Obr. 7 Bodová metoda v bodě obecné roviny ρ [9]



Obr. 8 Bodová metoda v bodě obecné roviny ρ_0 ,

kolmé ke směru I_0 . [9]

Druhá možnost (Obr. 8) řeší osvětlenost v bodě, který je součástí roviny ρ_0 , která je kolmá ke směru svítivosti I_0 . Pak platí vztah:

$$E_{p\rho_0} = \frac{I_\gamma}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma = I_\gamma \frac{h}{\left(\sqrt{(h^2 + p^2)}\right)^3} [lx] \quad (24)$$

Kde: $E_{p\rho_0}$ [lx] ... Osvětlenost v bodě P roviny ρ_0 , která je kolmá ke směru svítivosti I_0 .

2.4.3 Metoda poměrných příkonů

Používá se pro výpočet potřebného příkonu světelných zdrojů a pro stanovení počtu svítidel dle spočteného příkonu. Základem metody je tabulka s poměrnými příkony různých zdrojů osvětlení, v závislosti na jasů stěn a směru či typu osvětlení. Udává poměrné příkony potřebné k dosažení průměrného osvětlení 1 lx na ploše 1 m².

Při výpočtu osvětlení se v tabulce vyhledá pro požadovaný druh osvětlení velikost poměrného příkonu, ten se násobí plochou podlahy a žádanou průměrnou intenzitou osvětlení. Tím zjistíme potřebný příkon zdrojů, dělíme-li jej počtem světelných zdrojů získáme příkon jednoho zdroje.

Vzorec k výpočtu celkového příkonu pro místnost:

$$P = k \cdot S \cdot E \text{ [W]} \quad (25)$$

Kde: k [W.lx⁻¹.m⁻²] ... Poměrný příkon.

S [m²] ... Plocha místnosti

E [lx] ... Požadovaná osvětlenost.

2.5 Činitel odrazu

Všechny předměty a stěny rozeznáváme jen tehdy, když odrážejí světlo. Přitom různé plochy odrážejí světlo různě, v závislosti na barevnosti a textuře povrchu. Hladké plochy odrážejí světlo více než strukturované, světlejší plochy odrážejí více než plochy tmavé.

Činitel odrazu popisuje schopnost povrchu odrážet světlo. Pokud by se všechen dopadající světelný tok odrazil, měla by odrazivost hodnotu 1. V praxi má však vždy hodnotu menší než 1, protože každý reálný povrch část světla pohltí. Je to část světelného toku, činitel odrazu se spočte dle vzorce (12).

Míra odraženého světla má vliv na osvětlenost daného prostředí. Pomocí hodnoty činitele odrazu se tento vliv zahrne do výpočtu a simulací. Hodnoty činitele odrazu vybraných povrchů jsou příloze PI. Může být uveden výrobcem, přesným laboratorním měřením nebo v případě měření vnitřního prostoru některým z následujících způsobů.

a) Měření pomocí luxmetru.

Luxmetrem se změří osvětlenost povrchu, a to tak že čidlo je rovnoběžně s povrchem. Následně se změří osvětlenost v poloze s čidlem obráceným proti povrchu. Obě měření provedeme pro stejný bod povrchu. Při měření se vyloučí stínění a světlo z jiných zdrojů. Hodnota činitele odrazu se spočítá jako podíl obou měření.

$$\rho = \frac{E_z}{E} \quad [-] \quad (26)$$

Kde: E_z [lx] ... Osvětlenost povrchu. Čidlo směrem proti povrchu.

E [lx] ... Osvětlenost povrchu. Čidlo umístěno na povrchu.

b) Měření pomocí luxmetru a jasoměru.

Luxmetrem se změří osvětlenost povrchu s čidlem umístěným na povrchu. Jasoměrem změříme jas povrchu. Hodnota činitele odrazu se spočítá dle vzorce:

$$\rho = \pi \frac{L}{E} \quad [-] \quad (27)$$

Kde: L [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] ... Jas povrchu.

E [lx] ... Osvětlenost povrchu. Čidlo na povrchu.

c) Měření pomocí luxmetru nebo jasoměru a normálu povrchu.

Změříme jas povrchu a následně na stejném místě jas normálu povrchu, se známou hodnotou činitele odrazu světla. Případně můžeme měřit osvětlenosti luxmetrem dle způsobu uvedeného pod bodem a), poté počítat ve vzorci s jejich poměrem. Činitel odrazu se spočítá jako poměr jasů dle vzorce:

$$\rho = \rho_A \frac{L}{L_A} \quad [-] \quad (28)$$

Kde: L [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] ... Jas povrchu.

L_A [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] ... Jas povrchu normálu.

ρ_A [-] ... Činiteli odrazu normálu.

d) Pomocí srovnávacích tabulek.

Přibližnou hodnotu můžeme určit pomocí reflexních tabulek se vzorky o známých činitelích odrazu, z nichž vybereme nejbližší k posuzovanému povrchu.

Další možností je tabulka se slovní charakteristikou povrchu a odpovídajícím činitelem odrazu.

3 POČÍTAČOVÁ SIMULACE - WILS 6.3

Výhodou umělého osvětlení je, že jej můžeme různě modifikovat a využívat podle potřeby daného prostoru. K řešení dané problematiky může přispět počítačový program Wils, jenž je určen pro návrh a výpočet umělého osvětlení. Je produktem společnosti ASTRA 92, a.s., Zlín. Pro simulace v této práci byla využita jeho demoverze [10]. Slouží k výpočtům umělého osvětlení dle normy ČSN EN 12464-1, ČSN EN 12464-1/Z1, ČSN EN 12193, ČSN EN 13201, ČSN EN 1838.

3.1 Možné metody výpočtu

- bodovou metodu výpočtu přímé složky osvětlenosti a metodu mnohonásobných odrazů
- numerická integrace
- tokovou metodu rychlého návrhu počtu svítidel v prostoru
- výpočet udržovacího činitele podle ČSN EN 12464-1/Z1
- výpočet činitele oslnění *UGR* (vnitřní prostory) podle EN 12464-1
- výpočet činitele oslnění *GR* (venkovní prostory) podle CIE
- výpočet jasů a oslnění vozovek podle EN 13201

3.1.1 Další možnosti programu

Možnost definování místností libovolného tvaru. Svítidla je možno v definované místnosti rozmístit manuálně myší, zadáním souřadnic x , y , z , automaticky dle počtu nebo roztečí svítidel. Pro výběr a prohlížení typů a parametrů svítidel, včetně křivek svítivosti, slouží v programu databáze svítidel. Tato databáze je rozsáhlá a umožňuje další import svítidel i světelných zdrojů. Svítidla je možno v prostoru umisťovat i pod libovolnými úhly naklonění, natočení, otočení. Programem lze řešit i osvětlovací soustavu s překážkami.

Dále umožňuje vyplnění ploch, popis ploch, popis v kontrolních bodech, izolinie v bodech zrakového úkolu a plastické zobrazení osvětlenosti v prostoru. Program umožňuje přímou oboustrannou komunikaci s programy AutoCAD.

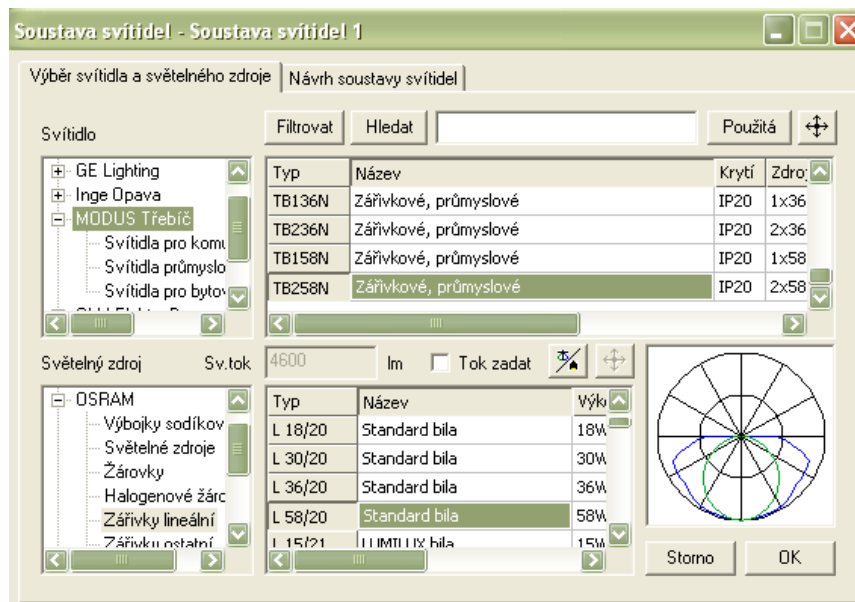
3.2 Výstup programu

Výsledy výpočtu osvětlenosti, jasu, činitele oslnění lze zobrazit formou tabulky nebo izo diagramu. Čáry, které na dané rovině spojují místa se stejnou osvětleností, se nazývají izoluxy. Grafický výstup je možno nastavit na pohledy od jednotlivých stěn, stropu a podlahy. Umožňuje využívat zobrazení ve 2D (plošné) a 3D (prostorové). Prostorové zobrazení je možné v drátovém modelu nebo v modelu s vybarvením ploch. V zobrazovaném výstupu je schéma místnosti se svítidly, překážkami a vypočtenými hodnotami. Při zobrazení výpočtu horizontální osvětlenosti je v horním popisu výstupu minimální hodnota osvětlenosti v místnosti E_{min} [lx], střední, průměrná hodnota osvětlenosti v místnosti E_m [lx], maximální hodnota osvětlenosti v místnosti E_{max} [lx], rovnoměrnost R [-] a udržovací činitel z [-].

3.3 Postup práce v programu

1. Spustíme program Wils.
2. Pravým tlačítkem myši zvolíme položku Místnost ve stromu (příloha PV) pracovní oblasti. Zobrazí se menu, ze kterého levým tlačítkem vyberme možnost Vlastnosti.
3. Upravíme dialogový panel Vlastnosti místnosti. Jedná se o panel se čtyřmi záložkami, jednotlivé záložky umožňují zadání vlastností místnosti.
4. Zadáme všechny rozměry místnosti v záložce Základní rozměry. Rozměry se zadávají v milimetrech.
5. Přepneme se do záložky Odraznosti povrchů a nastavíme odrazné vlastnosti základních povrchů místnosti.
6. Dále zvolíme záložku Údržba, zde zadáme vlastnosti údržby místnosti. Dialogový panel ukončíme tlačítkem OK.

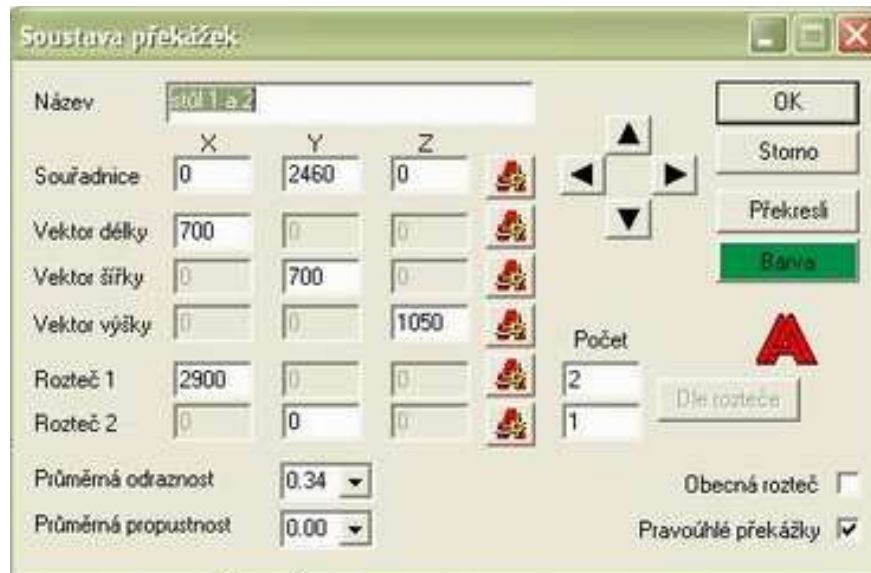
7. Pravým tlačítkem myši klikneme na položku Soustava svítidel ve stromu v pracovní oblasti, v menu vyberme opět možnost Vlastnosti.



Obr. 9 Soustava svítidel

8. Tím se dostaneme do dialogového panelu Soustava svítidel (Obr.9). Vybereme požadované svítidlo v záložce Výběr svítidla a světelného zdroje.
9. Přejdeme do záložky Návrh soustavy svítidel. V editačním poli Osvětlenost E_m [lx] zadáme požadovanou hodnotu, rovněž tak lze obráceně změnou počtu svítidel spočítat průměrnou osvětlenost.
10. Ve stejném menu rozmístíme svítidla zadáním souřadnic jejich polohy. První základní rozmístění pravidelné soustavy můžeme provést tlačítkem Rozmístit. Tato funkce rozmístí svítidla v místnosti do pravidelné sítě, při této operaci často dojde ke změně počtu svítidel a tedy i osvětlenosti dle zadaných hodnot E_m . V případě, že nám dané rozmístění nevyhovuje a když je třeba počet svítidel rozdělit do směru x, y , použijeme tlačítka Dle počtu nebo Dle roztečí. Návrh soustavy ukončíme tlačítkem OK.
11. Přejdeme na položku Místo zřakového úkolu 1 ve stromu opět přejdeme do Vlastností. Zobrazí se dialogový panel Místo zřakového úkolu. Zadáme hodnoty pro rozmístění sítě bodů, návrh ukončíme tlačítkem OK

12. Přes pravé tlačítko myši v hlavním stromu zvolíme položku Nová soustava překážek. V jejích vlastnostech zadáme rozměry a polohu. Tímto způsobem zadáme všechny překážky. Při zadávání hodnot můžeme využít tlačítko u příslušné hodnoty, které vytvoří propojení do aplikace AutoCad, kde výběrem bodů na modelu získáme potřebnou hodnotu.



Obr. 10 Soustava překážek

13. Zkontrolujeme a nastavíme parametry výpočtu v možnosti Nastavení bodového výpočtu z menu Výpočet. Zahájíme výpočet volbou Zahájit bodový výpočet z menu Výpočet. Průběh výpočtu bude zobrazován v informační oblasti i grafickým průběhem v informační liště.
14. Výsledky výpočtu se zobrazí graficky a číselně. Vlastnosti zobrazení a tisku lze nastavit pomocí nastavovacího dialogu, který vyvoláme možností Vlastnosti zobrazení z menu Zobrazení. Volíme hodnotu E_m a činitel oslnění pro který provádíme výpočet, jejich mezní hodnoty. Dále také barvy izolinií pro odlišení hodnot, zda odpovídají nastavené hodnotě, či jsou vyšší nebo nižší.

4 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je shromáždit teorii k problematice umělého vnitřního osvětlení a vše aplikovat při počítačové simulaci. Tato simulace bude provedena pomocí počítačového programu Wils 6.3. Bude aplikována pro prostor výrobní dílny v oblasti strojírenství. K zjištění výchozího stavu je nutno naměřit osvětlenosti ve vybraných kontrolních místech na této dílně a porovnat je s normovanými hodnotami. Následně budou za pomoci programu Wils 6.3 vytvořeny nové návrhy osvětlení s navrženou soustavu svítidel. Pro nové návrhy proběhne, pomocí programu, simulace osvětleností a oslnění. Tyto návrhy budou vyhodnoceny.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 MĚŘENÝ PROSTOR

Měření osvětlenosti probíhalo v prostorech firmy KASKO-Formy spol, s.r.o. Konkrétně na jedné dílně pro výroby forem.



Obr. 11 Budova firmy

Firma Kasko-formy byla založena v roce 2005, jako samostatný provoz nástrojárny. Hlavním podnikatelským záměrem je konstrukce, výroba forem a nástrojů. Konstrukce a následná výroba zabezpečuje kompletní zpracování 3D a 2D technické dokumentace plastových dílů, vstřikovacích forem a jiných nástrojů jako jsou technologické, kontrolní a dochlazovací přípravky. Při modelování forem se využívá software CatiaV5 a CimatronE9 při modelování elektrod a CAM zpracování.

Důvod zvolení této dílny k řešení je nepřetržitý provoz výroby a uvažované rozšíření prostorů, které by zhoršilo přístup denního světla.

Na dílně jsou umístěny obráběcí stroje, prostor pro práce zámečnické a montáž. Uvedená dílna je přiblížena na fotografiích v Příloze PII. Pro vytvoření počítačového modelu dílny byla využita aplikace CimatronE9. Model dílny v 3D zobrazení v Příloze PIII umožňuje reálnější představu o daném prostoru a rozložení pracovišť. Tento model byl následně využit při simulaci v aplikaci Wils 6.3.

6 MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI NA KONTROLNÍCH MÍSTECH

6.1 Luxmetr

Luxmetr je přístroj k měření osvětlenosti. K měření osvětlenosti byl pro potřeby této práce použit Digitální luxmetr LX-101 (Obr.12). Skládá se z fotometrické hlavičky obsahující senzor, jímž je selenové čidlo. Pomocí něj se převádí viditelná část spektra na elektrický signál. A z druhé části, hlavní jednotky, kde se měřené hodnoty osvětlenosti zobrazují na displeji.

Luxmetr LX-101 měří osvětlenost od 0 lx do 50000 lx ve třech rozsazích:

- <0, 1999> lx s rozlišením 1 lx
- <2000, 19990> lx s rozlišením 10 lx
- <20000, 50000> lx s rozlišením 100 lx

Ve spodní části luxmetru (Obr. 12) se nachází přepínač rozsahu měření osvětlenosti a vypínač přístroje.



Obr. 12 Luxmetr LX-101

Další parametry přístroje:

- Napájení 4x AAA baterie.
- Zobrazení 3 1/2 LCD.
- Rozměry: základní přístroj 97mm x 53mm x 17mm.
- Hmotnost 174 g. Pracovní teplota 0°C - 50°C.

- Přesnost $\pm 5\%$.

Dle [11] je přesnost $\pm 5\%$ hodnocena jako přesné měření. V této práci je měření provozní, které požaduje přesnost přístroje $\pm 10\%$. Za provozní měření se považuje měření za účelem ověření správnosti podmínek osvětlení a pro porovnání různých řešení osvětlovacích soustav. Přístroj není kalibrován proto má měření pouze orientační hodnotu.

6.2 Kontrolní místa

Zvolené kontrolní místa zrakových činností a k nim přiřazené číslování jsou uvedeny v Tab.2. Dále je používán odkaz na uvedené místa prostřednictvím přiřazeného čísla. Místa měření je možno identifikovat dle obrázku v příloze PVI.

Tab. 2 Číslování míst

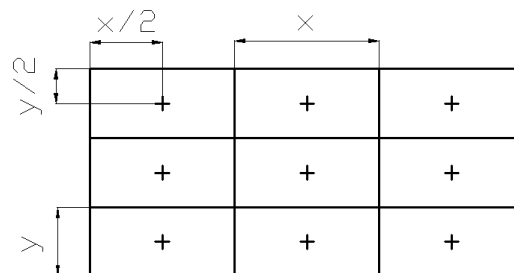
číslo kontrolního místa	popis místa
1	soustruh - SUI 32 / 750
2	pracovní stůl - soustruh
3	frézka nástrojařská - FN 20
4	frézka – FN32
5	pracovní stůl - frézky
6	bruska na plocho - BPH 20
7	pracovní stůl - bruska
8	bruska na kulato - BKU 28
9	pracovní stůl - zámečnick 1
10	pracovní stůl - zámečnick 2
11	pracovní stůl - montáž

Místa zrakových činností, v nichž probíhalo měření, byly rozmístněny v pracovním prostoru jednotlivých strojů, na pracovním stole u těchto strojů a stolech pro práce zámečnické a montáž. Stůl označený jako kontrolní místo č.7 slouží rovněž pro měření na průměrné desce. Místo č.11 leží v prostoru mezi místy č.9 a č.10 Tento prostor je využíván celý pro montážní práce, což bude vzato v úvahu při vyhodnocování izolux v následujících návrzích.

6.3 Naměřené hodnoty osvětleností

Měření bylo provedeno ve 23:00 hodin, aby byl vyloučen vliv denního osvětlení. Osvětlovací soustava byla uvedena do stavu běžného při daném způsobu užívání. Měření bylo prováděno bez přítomnosti cizích osob.

Oblast v níž bylo prováděno měření na příslušném kontrolním místě byla rozdělena v souladu s ČSN 36 0011-1 do oblastí jednotlivých dílčích ploch měření dle principu na Obr. 13.



Obr. 13. Rozložení kontrolních bodů

Jednotlivé hodnoty byly naměřeny ve vodorovné rovině v zobrazeném (Obr. 13) rozložení kontrolních bodů. Tyto body měření leží ve středu dílčích ploch. Do příslušných bodů byl postupně pokládán luxmetr, s nímž bylo prováděno měření. Měření na všech kontrolních místech bylo provedeno v jedné srovnávací rovině, a to ve výšce $v = 1050$ mm od podlahy.

Při rozmístování bodů byl použit metr svinovací a kalkulačtor, jiné pomocné vybavení pro polohu luxmetru nebylo třeba, neboť luxmetr byl pokládán na vodorovné pracovní plochy strojů a stolů. Příklady rozložení naměřených hodnot na určitém kontrolním místě jsou uvedeny na Obr. 14 a Obr. 15.

+ 170	+ 207	+ 240	+ 255	+ 270	+ 249	+ 261	+ 307
+ 240	+ 380	+ 330	+ 330	+ 328	+ 310	+ 364	+ 433
+ 430	+ 330	+ 348	+ 355	+ 370	+ 430	+ 408	+ 432

Obr. 14 Rozmístění naměřených hodnot místo č.1

+ 555	+ 544	+ 527	+ 441	+ 350	+ 351	+ 367	+ 550
+ 548	+ 552	+ 561	+ 517	+ 414	+ 407	+ 418	+ 548
+ 560	+ 572	+ 784	+ 509	+ 531	+ 410	+ 434	+ 514

Obr. 15 Rozmístění naměřených hodnot místo č.6

Naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech na kontrolních místech jsou uvedeny v Tab. 3 a Tab. 4. Číslo měření udává pořadí měření v příslušné ploše. Dále jsou zde uvedeny hodnoty průměrné osvětlenosti \bar{E} [lx], výběrová směrodatná odchylka s [lx], směrodatná odchylka aritmetického průměru \bar{s} [lx] a krajní chyba $\kappa_{\alpha,n}$. Tyto hodnoty jsou spočteny na základě studentova [14] rozdělení a vzorců [15] dle následujícího postupu:

1) Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{\sum E_i}{n} \quad (29)$$

2) Výběrová směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{(n-1)}} \quad (30)$$

3) Směrodatná odchylka aritmetického průměru:

$$\bar{s} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{n(n-1)}} \quad (31)$$

4) Výpočet krajní chyby dle vzorce:

$$\kappa_{\alpha,n} = t_{\alpha,n} \frac{s}{\sqrt{n}} = t_{\alpha,n} \bar{s} \quad (32)$$

5) Vypočtené hodnoty lze vyjádřit pomocí konfidenčního intervalu:

$$\left(\bar{x} - t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{x} + t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad (33)$$

6) Zápis výsledku měření ve tvaru:

$$x = \bar{x} \pm \kappa_{\alpha,n} \quad (34)$$

Tab. 3 Naměřené hodnoty 1.část

číslo měření	hodnoty osvětlenosti [lx]					
	kontrolní místa					
	1	2	3	4	5	6
1	170	356	488	580	533	555
2	240	350	485	570	491	548
3	430	369	470	589	497	560
4	207	359	450	549	428	544
5	380	336	503	544	522	552
6	330	362	467	533	518	572
7	240	367	374	521	477	527
8	330	347	523	534	386	561
9	348	345	500	479	514	784
10	255	362	344	519	503	441
11	330	350	522	540	496	517
12	355	336	490	520	441	509
13	270	368	299	516	470	350
14	328	364	520	548	481	414
15	370	338	488	541	495	531
16	249	316	383	520	455	351
17	310	345	467	559	444	407
18	430	354	460	544	465	410
19	261	333	404	569	495	367
20	364	254	414	557	474	418
21	408	331	415	550	360	434
22	307	345	476	574	440	550
23	433	260	456	580	502	548
24	432	248	457	566	540	514
\bar{E} [lx]	324,04	337,29	452,29	545,92	476,13	498,50
s [lx]	75,43	34,80	57,89	25,75	43,69	95,83
\bar{s} [lx]	15,4	7,1	11,82	5,26	8,92	19,56
$\kappa_{\alpha,n}$ [lx]	31,87	14,71	24,46	10,88	18,46	40,46

Tab. 4 Naměřené hodnoty 2.část

číslo měření	hodnoty osvětlenosti [lx]				
	kontrolní místa				
	7	8	9	10	11
1	421	350	321	330	363
2	360	343	333	335	377
3	335	376	310	378	382
4	420	333	342	342	452
5	377	340	335	353	405
6	356	371	327	381	392
7	339	310	350	356	431
8	357	339	338	365	352
9	422	368	345	398	390
10	416	260	405	404	448
11	391	272	410	432	385
12	321	369	441	456	494
13	439	221	419	414	502
14	447	236	448	453	482
15	364	374	470	460	450
16	348	205	417	391	480
17	438	262	422	369	520
18	456	286	425	378	530
19	411	193	406	360	551
20	387	264	419	352	552
21	444	291	432	372	491
22	442	293	401	343	530
23	451	291	422	344	501
24	452	306	449	377	490
\bar{E} [lx]	399,75	302,21	391,13	380,96	456,25
s [lx]	43,42	55,40	48,59	38,40	62,74
\bar{s} [lx]	8,86	11,31	9,92	7,84	12,81
$\kappa_{\alpha,n}$ [lx]	18,35	23,41	20,53	16,23	26,51

6.3.1 Příklad výpočtu

Níže uvedený příklad výpočtu je proveden pro kontrolní místo číslo 6 – bruska na plochu BPH 20. V Tab. 5 jsou uvedeny hodnoty pro následující postup výpočtu, pro výběrovou směrodatnou odchylku a směrodatnou odchylku aritmetického průměru. Odchylky jsou počítány pro studentovo rozdělení.

Tab. 5 Příklad výpočtu

kontrolní místo č.6 - bruska na plocho BPH 20			
číslo měření	E_i [lx]	$E_i - \bar{E}$ [lx]	$(E_i - \bar{E})^2$ [lx ²]
1	555	56,50	3192,25
2	548	49,50	2450,25
3	560	61,50	3782,25
4	544	45,50	2070,25
5	552	53,50	2862,25
6	572	73,50	5402,25
7	527	28,50	812,25
8	561	62,50	3906,25
9	784	285,50	81510,25
10	441	-57,50	3306,25
11	517	18,50	342,25
12	509	10,50	110,25
13	350	-148,50	22052,25
14	414	-84,50	7140,25
15	531	32,50	1056,25
16	351	-147,50	21756,25
17	407	-91,50	8372,25
18	410	-88,50	7832,25
19	367	-131,50	17292,25
20	418	-80,50	6480,25
21	434	-64,50	4160,25
22	550	51,50	2652,25
23	548	49,50	2450,25
24	514	15,50	240,25
\bar{E} [lx]	498,50		
$\sum(E_i - \bar{E})$ [lx]		0,00	
$\sum(E_i - \bar{E})^2$ [lx ²]			211232,00

Průměrná osvětlenost \bar{E} je spočtena jako aritmetický průměr (29) naměřených hodnot na kontrolním místě. Počet měření $n = 24$.

$$\bar{E} = \frac{\sum E_i}{n} = \frac{555 + 548 + \dots + 514}{24} = 498,50 \text{ lx}$$

Výběrová směrodatná odchylka (30):

$$s = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{211232,00}{(24-1)}} = 95,83 \text{ lx}$$

Směrodatná odchylka aritmetického průměru dle (31):

$$\bar{s} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{211232,00}{24(24-1)}} = 19,56 \text{ lx}$$

Výpočet krajní chyby:

Pro výpočet je použita hodnota studentova součinitele [14] pro konfidenční úroveň 95%

(tzn. riziko 5%): $t_{\alpha\%,n} = t_{5\%,24} = 2,07$

$$K_{\alpha,n} = t_{\alpha,n} \frac{s}{\sqrt{n}} = t_{\alpha,n} \bar{s} = 2,07 \cdot 19,56 = 40,49 \text{ lx}$$

Vyjádření pomocí konfidenčního intervalu (33):

$$\left(498,5 - 2,07 \frac{95,83}{\sqrt{24}}, 498,5 + 2,07 \frac{95,83}{\sqrt{24}} \right) = \underline{\underline{(459 ; 539)}} \text{ lx}$$

Zápis výsledku měření (34):

\bar{x} aritmetický průměr - průměrná osvětlenost \bar{E} [lx]: $\bar{x} = 498,50 \text{ lx}$

$K_{\alpha,n}$... krajní chyba: $K_{\alpha,n} = 40,49 \text{ lx}$

Výsledek měření na místě č.6: $\underline{\underline{E = (499 \pm 40) \text{ lx}}}$

6.4 Porovnání s normativními hodnotami

Normativní hodnoty \bar{E}_m jsou stanoveny v souladu s ČSN EN 12464-1 a s účelem využití jednotlivých pracovišť. Tyto hodnoty jsou porovnány v Tab. 6 pomocí uvedeného konfidenčního intervalu. Princip porovnání zda vyhovuje, či nikoliv je v tom, že hodnota \bar{E}_m nesmí poklesnout pod dolní hranici intervalu. Návrh nových osvětlovacích soustav bude proveden tak aby všechny místa bylo možno posoudit jako vyhovující. Na pracovišti č.9 není podmínkou dosažení 750 lx pro operaci leštění, naopak na č.11 bude vhodné v části prostoru této hodnoty dosáhnout, z důvodu práce na větších kompletech.

Tab. 6 Porovnání hodnot

číslo kontrolního místa	výsledek měření	konfidenční interval [lx]	\bar{E}_m [lx]	vyhodnocení
1	$\bar{E}_1 = (324 \pm 32)$ lx	(292 ; 356)	500	nevyhovuje
2	$\bar{E}_2 = (337 \pm 15)$ lx	(322 ; 352)	300	vyhovuje
3	$\bar{E}_3 = (452 \pm 24)$ lx	(428 ; 476)	500	nevyhovuje
4	$\bar{E}_4 = (546 \pm 11)$ lx	(535 ; 557)	500	vyhovuje
5	$\bar{E}_5 = (476 \pm 18)$ lx	(458 ; 494)	300	vyhovuje
6	$\bar{E}_6 = (499 \pm 40)$ lx	(459 ; 539)	750	nevyhovuje
7	$\bar{E}_7 = (400 \pm 18)$ lx	(382 ; 418)	750	nevyhovuje
8	$\bar{E}_8 = (302 \pm 23)$ lx	(279 ; 325)	750	nevyhovuje
9	$\bar{E}_9 = (391 \pm 21)$ lx	(370 ; 412)	500 (750)	nevyhovuje
10	$\bar{E}_{10} = (381 \pm 16)$ lx	(365 ; 397)	750	nevyhovuje
11	$\bar{E}_{11} = (456 \pm 27)$ lx	(429 ; 483)	500 (750)	nevyhovuje

7 MĚŘENÍ ČINITELE ODRAZU

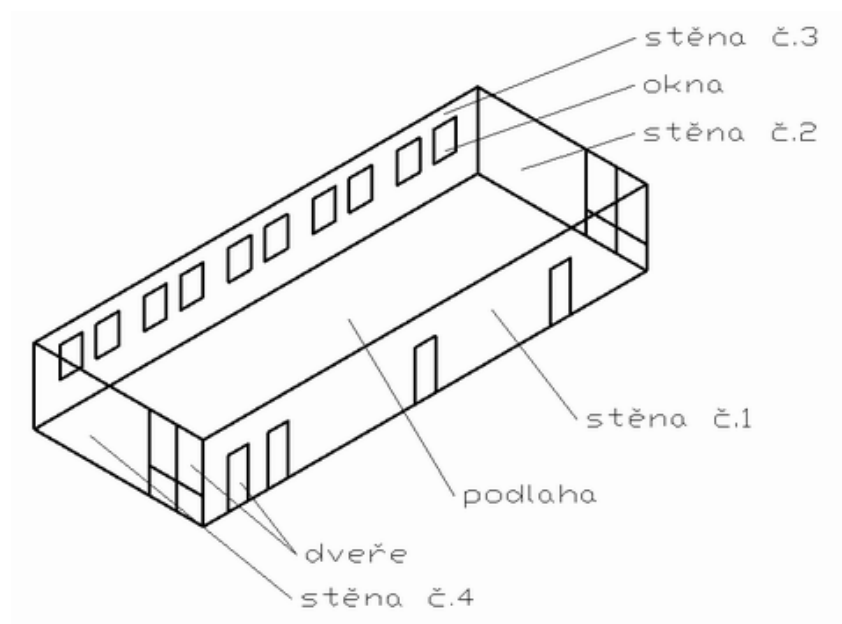
Hodnotu činitele odrazu je třeba znát pro její zadávání při počítačové simulaci. Z důvodu přesnějšího zadání než je volba dle tabulek, bylo provedeno měření a následně výpočet činitele odrazu. Měření bylo provedeno způsobem uvedeným v kap.2.5, a to způsobem za pomoci luxmetru.

7.1 Místa měření

Měření bylo provedeno 3.4.2010 v 16:00 hodin, za optimálních světelných podmínek s vyloučením rušivého osvětlení a světelných odrazů. K měření byl použit Digitální luxmetr LX-101. V Tab. 7 je uveden přehled povrchů na nichž bylo provedeno měření.

Tab. 7 Přehled povrchů

číslo místa měření	popis místa měření
1	stěna č.1
2	stěna č.2
3	stěna č.3
4	stěna č.4
5	strop
6	podlaha
7	stroje, skříně, stoly
8	stůl - zámečnick



Obr. 16 Číslování stěn v místnosti

Poloha jednotlivých stěn je patrná z Obr. 16, polohy ostatních předmětů ze zobrazeného uspořádání v Příloze PIII a PVI.

7.2 Naměřená hodnoty a výpočet

Tab. 8 Naměřené hodnoty

číslo, bod měření	hodnoty osvětlenosti [lx]							
	místa měření							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	144	79	30	67	59	20	24	13
	285	92	60	101	91	98	90	48
2	271	73	39	75	55	20	28	11
	498	99	55	101	102	104	64	58
3	142	62	59	80	52	15	35	15
	239	83	88	105	92	83	107	59
4	277	62	47	62	53	14	30	19
	452	105	92	117	90	69	88	65
5	133	72	39	66	62	22	26	12
	256	119	86	111	95	105	99	55
6	195	69	51	70	57	16	28	18
	350	105	77	105	92	92	95	55
7	264	83	55	80	62	13	27	15
	421	117	81	113	99	69	85	60
8	192	77	50	66	62	21	32	20
	340	96	80	95	87	106	92	62
9	161	81	28	81	48	18	31	19
	260	102	45	104	88	71	75	65
10	283	70	44	60	53	12	31	21
	402	95	77	85	90	95	84	68

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8. Na každém povrchu označeném jako místo měření bylo provedeno deset měření. Každé měření se skládá ze dvou měřených hodnot. Hodnota na prvním řádku je osvětlenost v poloze s čidlem obráceným proti povrchu. Na druhém řádku je měřena osvětlenost povrchu s čidlem luxmetrem rovnoběžně s povrchem. Obě měření byla provedena pro stejný bod povrchu. Čidlo ve směru proti povrchu bylo umístěno v níže uvedené vzdálenosti.

Je doporučeno aby vzdálenost byla minimálně pětinasobek průměru čidla, zvolen byl šestinasobek.

Průměr čidla luxmetru ... 45 mm

Vzdálenost čidla od povrchu ... 45 mm x 6 = 270 mm

Z naměřených dat v jednotlivých bodech byl vypočítán činitel odrazu dle (26), jako podíl uvedených hodnot. Pro každý povrch, místo, byla dále spočtena dle (29) hodnota průměrného činitele odrazu $\bar{\rho}$ [-], dle (30) výběrová směrodatná odchylka s [-], dle (31) směrodatná odchylka aritmetického průměru \bar{s} [-] a dle (32) krajní chyba $\kappa_{\alpha,n}$ [-]. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 9.

Tab. 9 Hodnoty činitele odrazu

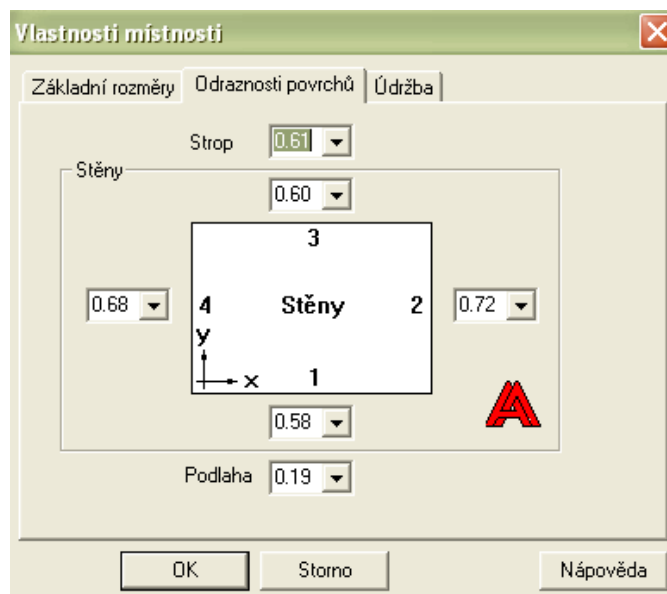
číslo, bod měření	hodnoty činitele odrazu ρ [-]							
	místa měření							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,51	0,86	0,50	0,66	0,65	0,20	0,27	0,27
2	0,54	0,74	0,71	0,74	0,54	0,19	0,44	0,19
3	0,59	0,75	0,67	0,76	0,57	0,18	0,33	0,25
4	0,61	0,59	0,51	0,53	0,59	0,20	0,34	0,29
5	0,52	0,61	0,45	0,59	0,65	0,21	0,26	0,22
6	0,56	0,66	0,66	0,67	0,62	0,17	0,29	0,33
7	0,63	0,71	0,68	0,71	0,63	0,19	0,32	0,25
8	0,56	0,80	0,63	0,69	0,71	0,20	0,35	0,32
9	0,62	0,79	0,62	0,78	0,55	0,25	0,41	0,29
10	0,70	0,74	0,57	0,71	0,59	0,13	0,37	0,31
$\bar{\rho}$ [-]	0,58	0,72	0,60	0,68	0,61	0,19	0,34	0,27
s [-]	0,06	0,09	0,09	0,08	0,05	0,03	0,06	0,05
\bar{s} [-]	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
$\kappa_{\alpha,n}$ [-]	0,04	0,06	0,06	0,05	0,04	0,02	0,04	0,03

V Tab. 10 jsou konečné výsledky měření, zapsané dle (34), pro jednotlivé povrchy a v následující kapitole je uveden příklad postupu výpočtu.

Tab. 10 Výsledky měření

místo měření	výsledek měření
1	$\rho_1 = (0,58 \pm 0,04)$
2	$\rho_2 = (0,72 \pm 0,06)$
3	$\rho_3 = (0,60 \pm 0,06)$
4	$\rho_4 = (0,68 \pm 0,05)$
5	$\rho_5 = (0,61 \pm 0,04)$
6	$\rho_6 = (0,19 \pm 0,02)$
7	$\rho_7 = (0,34 \pm 0,04)$
8	$\rho_8 = (0,27 \pm 0,03)$

Vypočtené hodnoty odraznosti povrchů byly zadány při simulaci do příslušných polí (Obr. 17) v programu Wils 6.3. Odraznosti ostatních povrchů neuvedených v Tab. 10 byly stanoveny dle tabulky v příloze PI. Mezi tímto způsobem zvolené hodnoty patří povrchy dveří, barvy tmavě zelené $\rho = 0,2$ a béžová $\rho = 0,7$, dále tmavě modré odsávání s $\rho = 0,2$.



Obr. 17 Zadání činitele odrazu

7.2.1 Příklad výpočtu

Níže uvedený příklad výpočtu je proveden pro místo měření číslo 6 – podlaha. V Tab. 11 jsou uvedeny hodnoty potřebné pro následující postup výpočtu, pro výběrovou směrodatnou odchylku a směrodatnou odchylku aritmetického průměru.

Tab. 11 Příklad výpočtu

místo měření - povrch č. 6 – podlaha			
číslo měření	$\rho_i[-]$	$\rho_i - \bar{\rho} [-]$	$(\rho_i - \bar{\rho})^2 [-]$
1	0,20	0,01	0,0001
2	0,19	0,00	0,0000
3	0,18	-0,01	0,0002
4	0,20	0,01	0,0001
5	0,21	0,02	0,0003
6	0,17	-0,02	0,0004
7	0,19	0,00	0,0000
8	0,20	0,01	0,0000
9	0,25	0,06	0,0037
10	0,13	-0,07	0,0044
$\bar{\rho} [-]$	0,19		
$\sum(\rho_i - \bar{\rho})$		0,00	
$\sum(\rho_i - \bar{\rho})^2$			0,0092

Průměrný činitel odrazu je spočten jako aritmetický průměr (29) naměřených hodnot na měřeném povrchu. Počet měření $n = 10$.

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_i}{n} = \frac{0,20 + 0,19 + \dots + 0,13}{10} = 0,19$$

Výběrová směrodatná odchylka (30):

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\rho_i - \bar{\rho})^2}{(n - 1)}} = \sqrt{\frac{0,0092}{(10 - 1)}} = 0,03$$

Směrodatná odchylka aritmetického průměru (31):

$$\bar{s} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,0092}{10(10-1)}} = 0,01$$

Výpočet krajní chyby (32):

Pro výpočet je použita hodnota studentova součinitele [14] pro konfidenční úroveň 95%

(tzn. riziko 5%): $t_{\alpha\%,n} = t_{5\%,10} = 2,26$

$$\kappa_{\alpha,n} = t_{\alpha,n} \frac{s}{\sqrt{n}} = t_{\alpha,n} \bar{s} = 2,26 \cdot 0,01 = 0,02$$

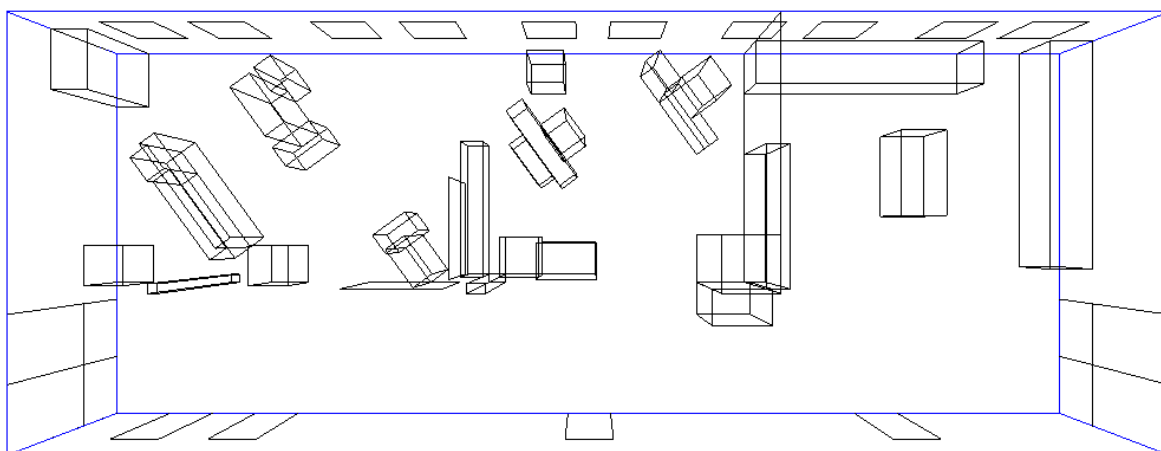
Výsledek měření na místě č.6: $\rho = 0,19 \pm 0,02$

8 POČÍTAČOVÁ SIMULACE

Pro zpracování návrhu byl použit počítačový program **Wils 6.3** [10]. Tento software využívá řada výrobců svítidel, např. VYTRYCH, a.s., a MODUS, s.r.o. Tito výrobci nabízejí též své firemní verze programu. Do databáze svítidel je zařazeno již v demoverzi 73 výrobců. Program využívají společnosti zabývající se problematikou osvětlení. O využití svědčí reference uvedené výrobcem programu [10]. Z uvedeného se dá říci že software je standardem pro danou činnost.

Pro výpočty hodnot osvětlení byla použita toková metoda (kap. 2.4.1). Vzhledem k členitosti prostoru a tím i složitosti výpočtu je výhodou počítačová simulace.

Pro simulaci v aplikaci Wils bylo třeba nejprve **definovat prostor**. Prostorem je dílna o rozměrech 6750 mm x 17720 mm. Uspořádání dílny je patrné z 3D modelu v Příloze PIII. Při definování bylo využito drátového modelu v Příloze PIV, čímž se usnadnilo definování překážek, neboť program umožňuje propojení na tento model pomocí aplikace AutoCad. Překážkami jsou v programu nazývány všechny předměty v prostoru, v tomto případě i jednotlivé části strojů, na které byl každý stroj kvůli své členitosti rozložen. Dále byly nadefinovány obvodové stěny (Obr. 16). Důležitou částí definování je také soustava svítidel. Soustavy budou navrhovány pro jednotlivé varianty. Každá varianta se může skládat taktéž z více soustav svítidel, z důvodu lepší modifikace intenzity osvětlení, neboť ta nemusí být v celém prostoru stejná. V programu se dále definují místa zrkového úkolu, tím se vytvoří síť bodů pro něž probíhá výpočet. Výsledek definice místnosti lze zobrazit v různých pohledech, např. na Obr. 18.



Obr. 18 Zobrazení nadefinované místnosti

8.1 Současný stav

V místnosti jsou použita svítidla výrobce VM elektro, s.r.o. Jedná se o průmyslové zářivkové svítidlo VM 5258 EP IP65 F 2 x 58 W (Obr. 19), rozměry 1578mm x 181mm x 108mm. Počet použitých svítidel je 21 kusů.



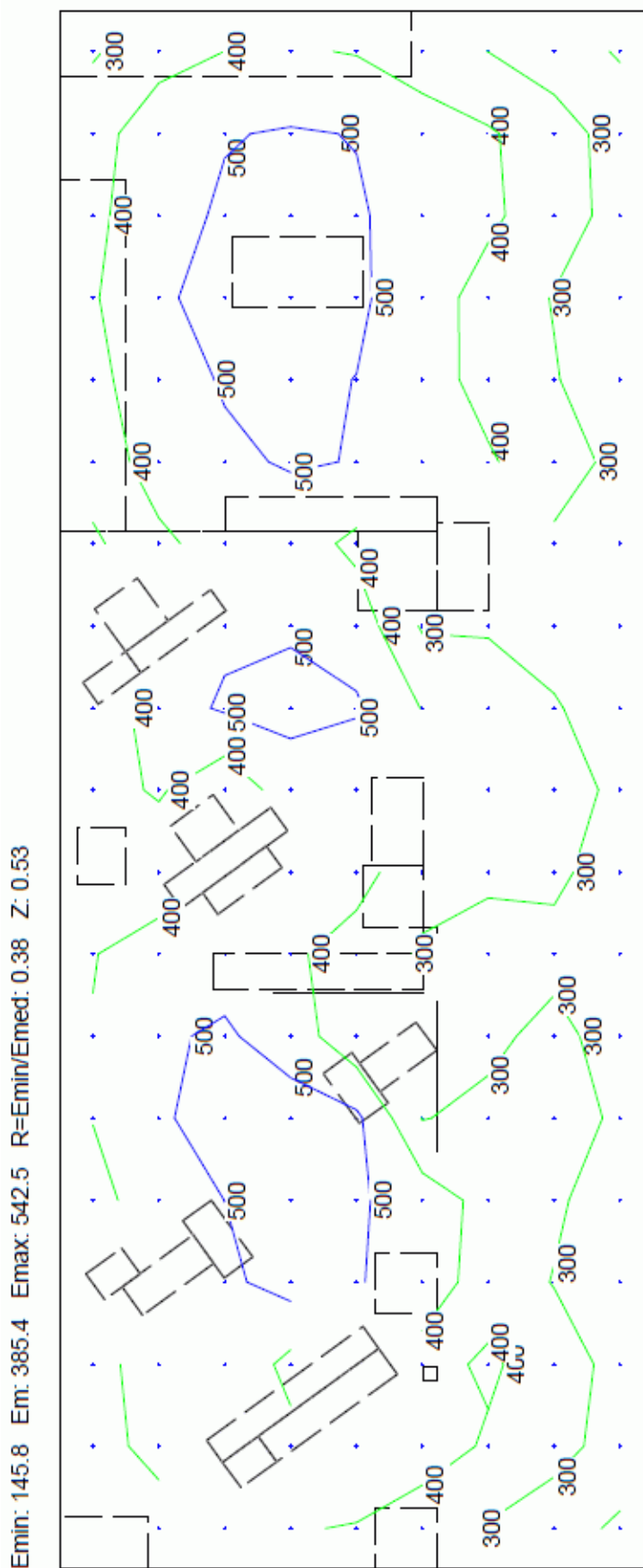
Obr. 19 Svítidlo VM 5258 [21]

Ve svítidlech jsou použity světelné zdroje výrobce OSRAM, název LUMILUX L58/840 Cool White recyclable, 5200 lm, 16 mm. Pro světlo barvy studená bílá výrobce udává hodnotu indexu podání barev $R_a = 80$ až 89 a hodnotu teploty chromatičnosti 4000 K, což vyhovuje požadavkům na příslušný typ prostorů.

Hodnoty osvětlenosti jsou uvedeny na Obr. 20. Je z něj patrné, že hodnoty vypočtené pomocí počítačové simulace a hodnoty naměřené odpovídají. Např. pracoviště, místo č.3 - frézka nástrojařská s $\bar{E}_3 = (452 \pm 24)$ lx leží těsně za hranicí izoluxy s hodnotou 500 lx. Hodnoty oslnění jsou uvedeny na Obr. 21 a Obr. 22. Při první simulaci oslnění byl zadán úhel 0° (Obr. 21), tzn. kolmo na vertikálu. Při druhé simulaci úhel -10° (Obr. 22), tzn. hodnota úhlu směrem k podlaze vůči předchozím směru s úhlem 0° . Hodnota indexu oslnění UGR požadovaná pro jednotlivé místa je uvedena v Tab. 12. Při první simulaci jsou hodnoty místně překročeny, při druhé odpovídají požadavkům. Uvážíme-li, že pohled pracovníka směřuje převážně níže než zadaných -10° , považují hodnoty za vyhovující.

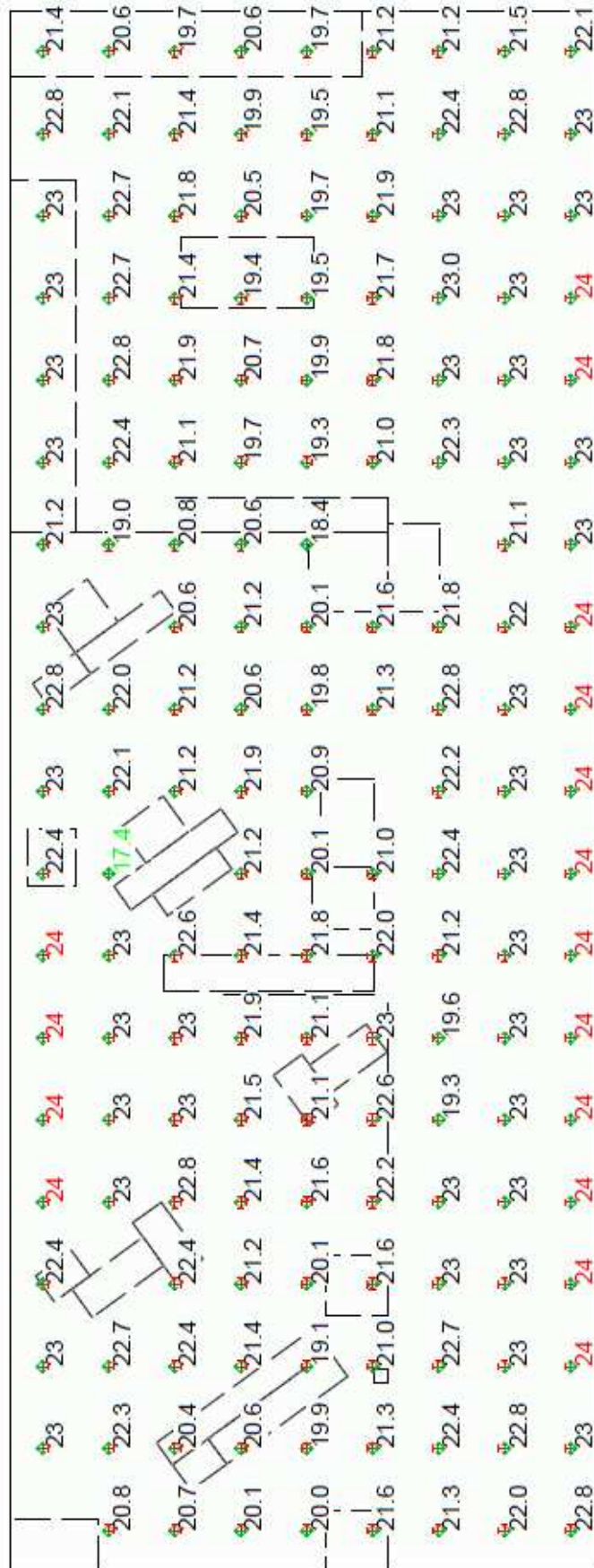
Tab. 12 Požadované UGR

UGR	Čísla míst
19	6, 7, 8, 9, 10, 11
22	1, 2, 3, 4, 5



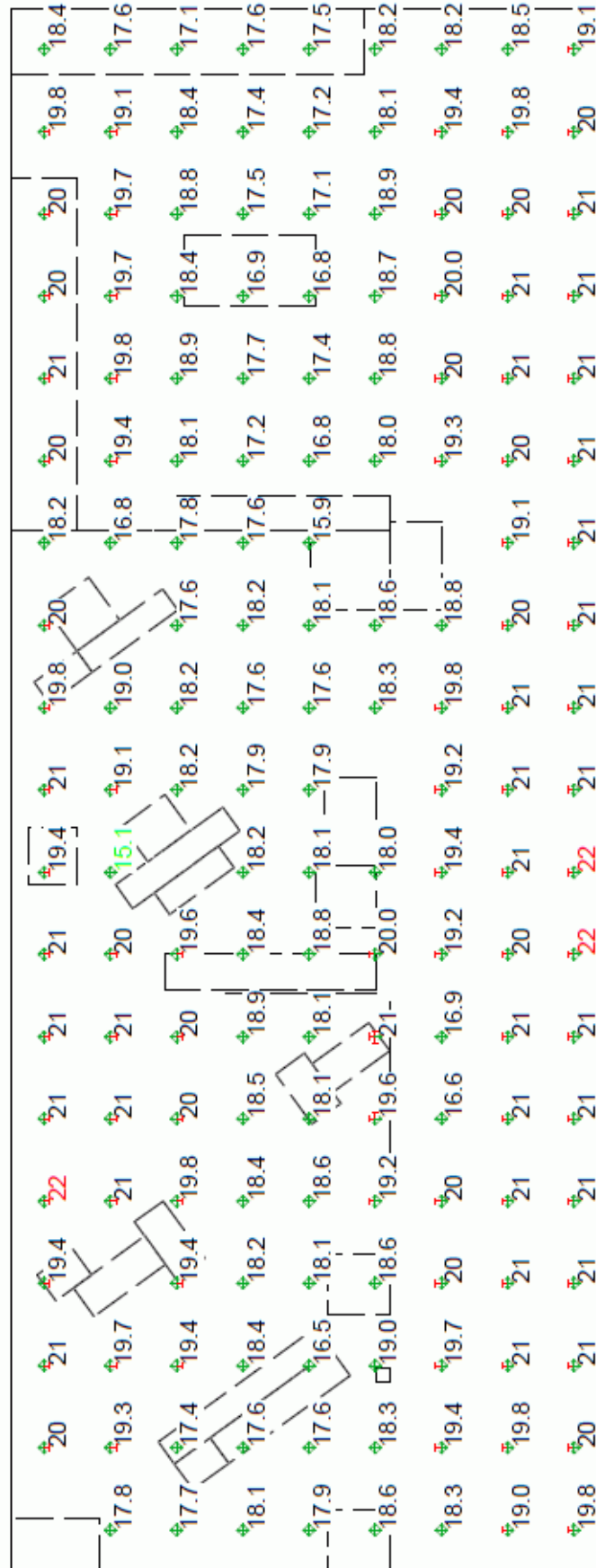
Obr. 20 Současný stav osvětlení

UGRL: 19: UGRmin: 17.4 UGRmed: 21.7 UGRmax: 24.1



Obr. 21 Současný stav oslnění č.1

UGRL: 19: UGRmin: 15.1 UGRmed: 19.2 UGRmax: 21.7

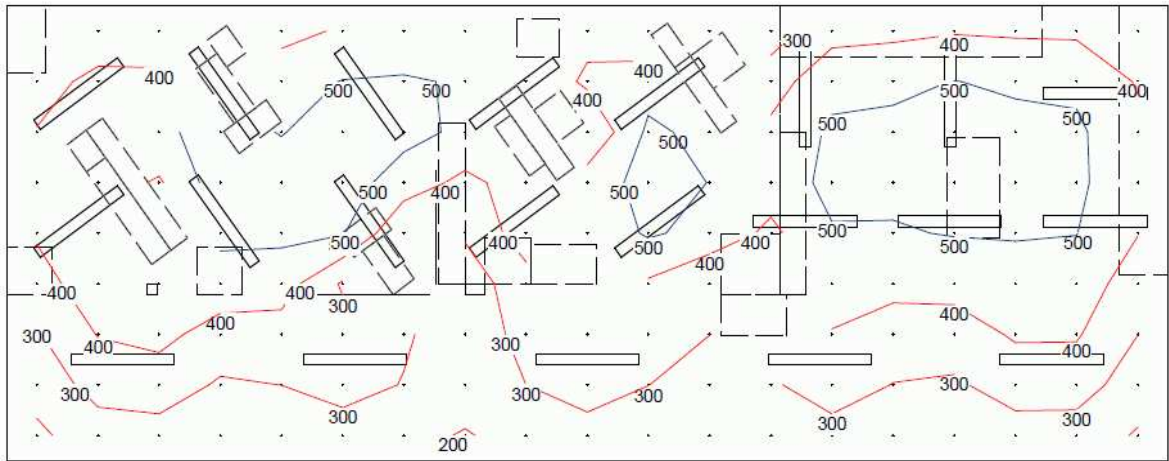


Obr. 22 Současný stav oslnění č.2

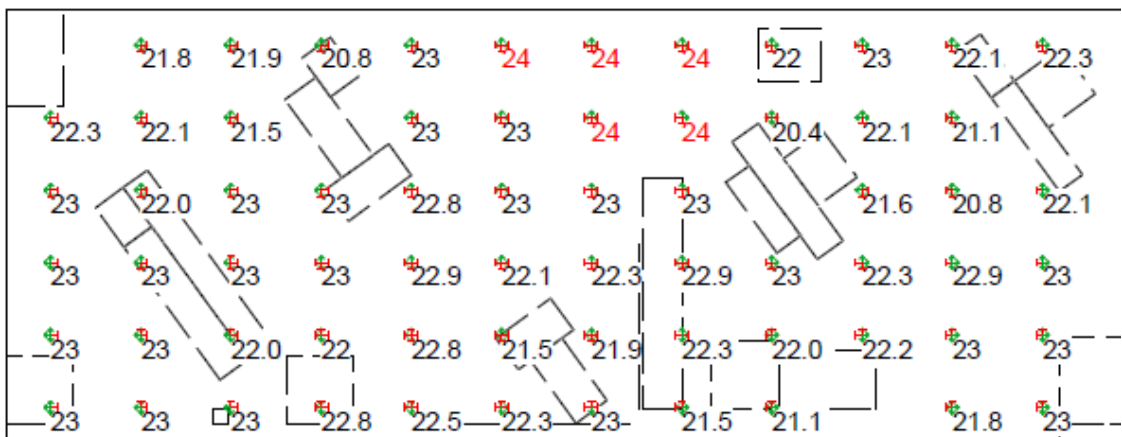
8.2 Návrh první

Předpoklad prvního návrhu je natočení současných svítidel kolem jejich středu, při zachování roztečí. Natočení bylo provedeno tak, aby podélná osa svítidla směřovala stejným směrem, jako pohled pracovníka.

Ke zlepšení osvětlenosti (Obr. 23) došlo pouze na místě č.4 a částečně na č.9 a č.10. Oslnění, tedy nepříznivý stav zraku se zhoršil i při pohledu ve směru úhlu -10° (Obr. 24). Oproti původnímu stavu nastalo tedy zhoršení situace. Změna polohy svítidel v současné soustavě se nejvíce jeví jako vhodná, bude proto výhodnější navrhnout soustavu svítidel novou.



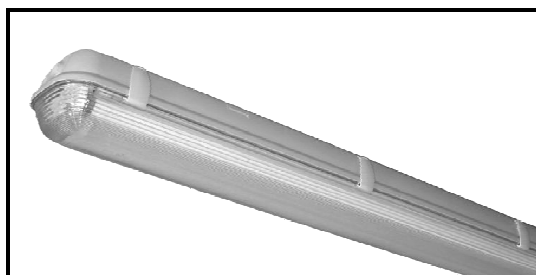
Obr. 23 Osvětlenost – návrh č.1



Obr. 24 Oslnění – návrh č.1

8.3 Návrh druhý

Bylo použito 5 svítidel výrobce MODUS Třebíč, typu MODUS P 258 PC. Jedná se o svítidlo zářivkové průmyslové, s krytem PC, 1x58W, krytí IP65. Rozměry jsou 1575 mm x 135 mm x 100 mm. Použit zdroj OSRAM - L 58W/840 G13, LUMILUX T8 Cool White 26 mm, 58W, 5200lm, $R_a = 80$.



Obr. 25 Svítidlo MODUS P 258 [22]

Dále bylo použito 10 svítidel výrobce Vyrtych Březno, typu PITBUL, 3x58W, krytí: IP65. Rozměry jsou 1611 mm x 302 mm x 130 mm. Se zdrojem OSRAM L 58 W/840 G13, LUMILUX T8 Cool White 26 mm, 58W, 5200lm, $R_a = 80$.

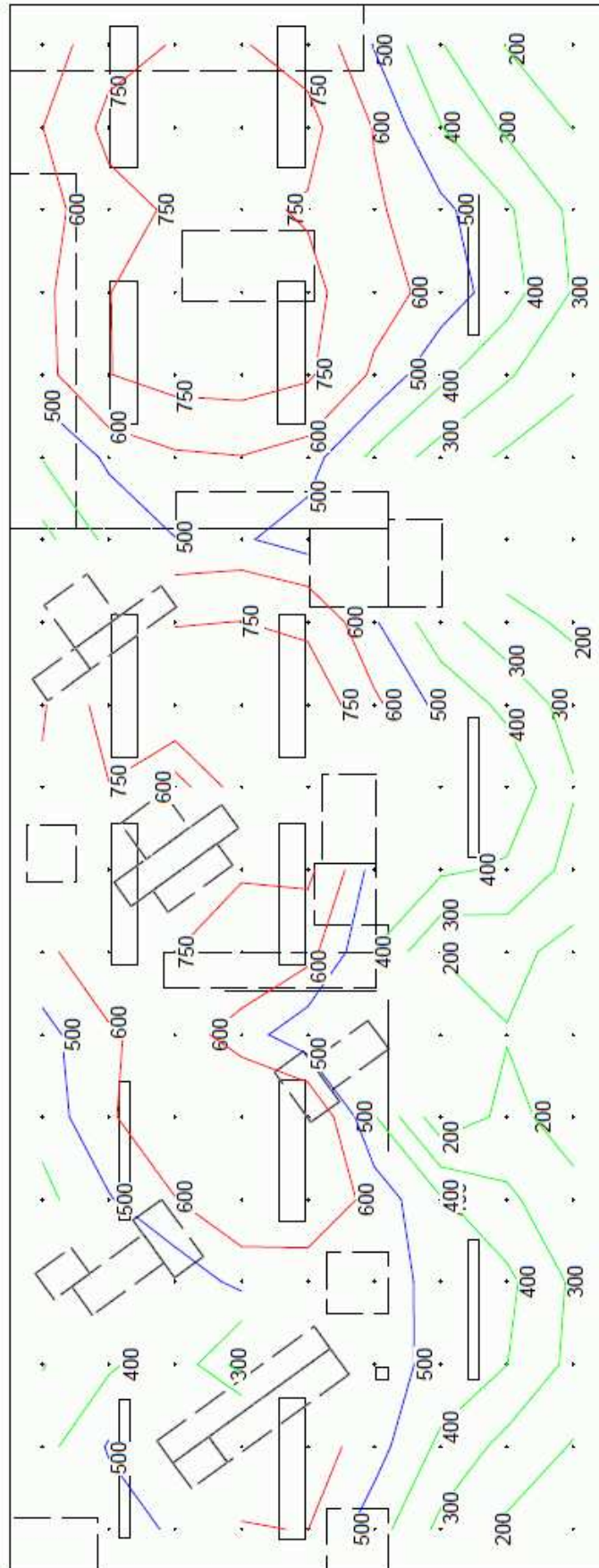


Obr. 26 Svítidlo PITBUL [10]

Zdroje byly rozmístěny v osách původních svítidel. Jejich umístění v aplikaci Wils bylo řešeno pomocí pěti samostatných osvětlovacích soustav a tímto je rozteč svítidel nepravidelná. Pro případnou montáž lze jejich polohy exportovat z aplikace Wils.

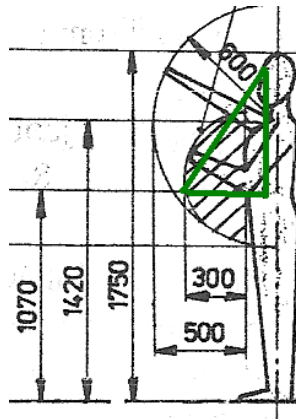
Z Obr. 27 lze hodnotit rozložení osvětlenosti jako vyhovující, a to ve všech kontrolních místech. Ovšem s tím, že pro leštění bude doporučeno místo č.10: pracovní stůl – zámečník 2.

Ermin: 128.9 Em: 498.4 Emax: 938.6 R=Ermin/Emed: 0.26 Z: 0.55



Obr. 27 Osvětlenost – návrh č.2

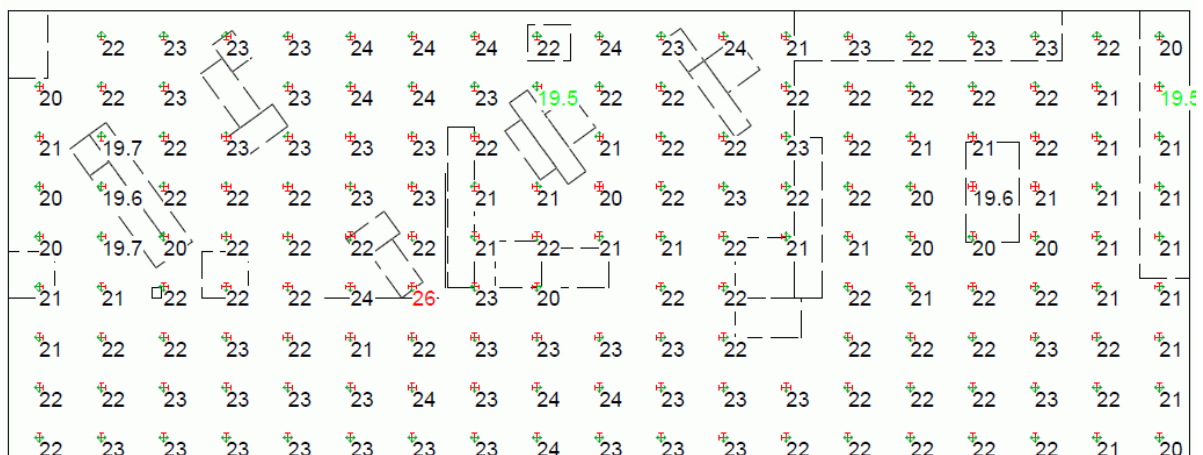
Vezmeme-li v úvahu, že úhel zřetelného vidění je 10° [24] a výšku pracovního stolu např. frézky, bude pracovník naklánět zrak směrem k podlaze. Budeme uvažovat polohu očí ve výšce 1600 mm, optimální pracovní prostor rukou 300 mm od těla ve výšce 1070 mm [24]. Z uvedeného získáme trojúhelník, doplněný do Obr. 28, s úhlem $29,5^\circ$. Naklonění zraku bude tedy v uvedeném příkladě $-60,5^\circ$ a hodnotu -45° zadanou při simulaci lze považovat za dostatečnou, neboť zrak se nakloní ještě níže.



Obr. 28 Pracovní prostor [24]

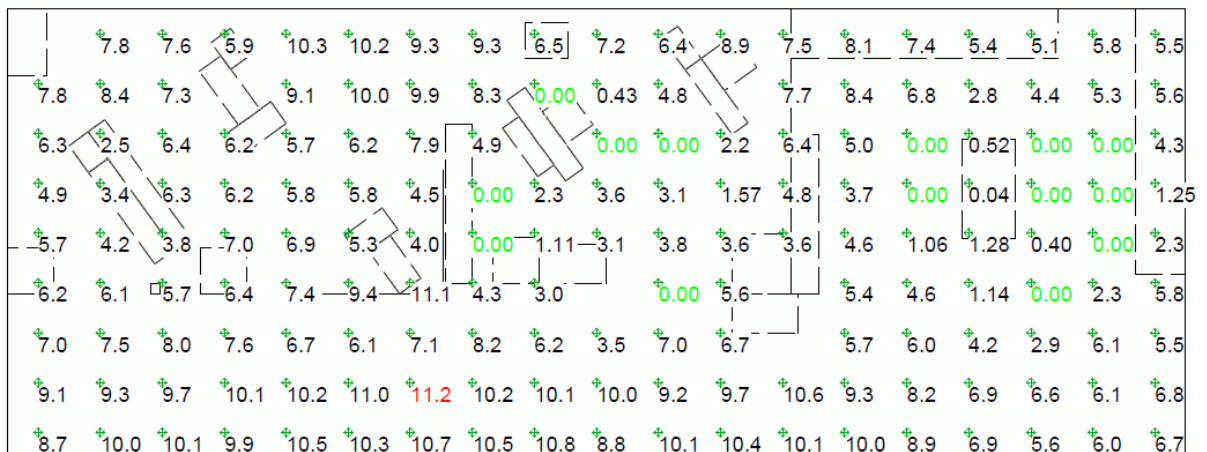
Oslnění v oblasti kde je požadováno $UGR=19$ je při úhlu -10° mírně překročena, má hodnotu 21 (Obr. 29). Ale při úhlu -45° (Obr. 30) je již zcela vyhovující.

UGRL: 19: UGRmin: 19.5 UGRmed: 22.0 UGRmax: 25.6



Obr. 29 Oslnění – návrh č.2 při úhlu -10°

UGRL: 19: UGRmin: 0.0 UGRmed: 5.9 UGRmax: 11.2

Obr. 30 Oslnění – návrh č.2 při úhlu -45°

8.4 Návrh třetí

Pro třetí návrh byly použity svítidla výrobce TREVOS, a.s., typ: PER 258 E PAR 1.2 - 2x58W, T8, EVG, průmyslové, parabolický reflektor, krytí IP65. Svítidlo obsahuje zdroj: OSRAM L 58W/865 G13, LUMILUX T8 Daylight 26 mm, 58W, 5000lm, $R_a = 80$. Rozměry svítidla jsou 1585 mm x 175 mm x 130 mm.

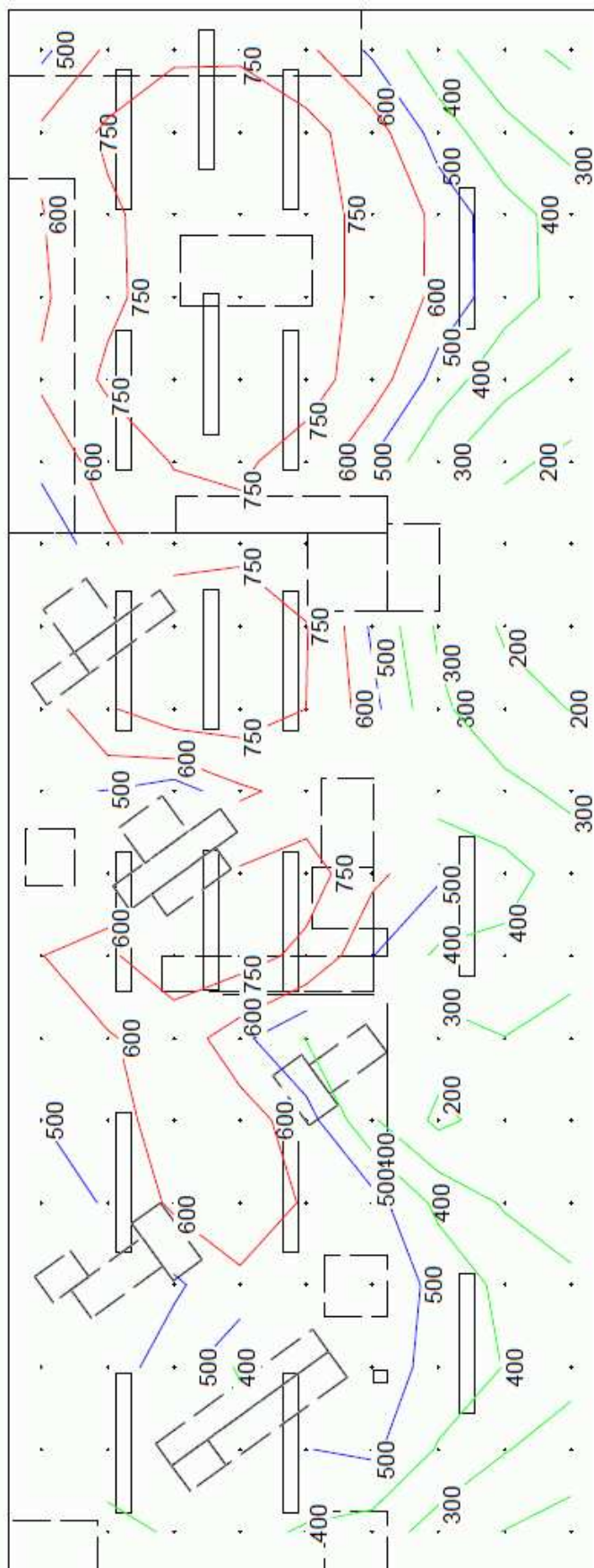
Bylo použito 19 stejných svítidel.



Obr. 31 Svítidlo TREVOS

Hodnoty osvětlenosti na Obr. 32 jsou i v tomto případě vyhovující. Výhodou tohoto návrhu je použití pouze jednoho druhu svítidel. Další výhodou je použití zdroje s teplotou chromatičnosti 6500 K, což je blíže k dennímu světlu. Poznámka: Firma Zdravé Světlo nabízí výhradně zářivky s uvedenou teplotou chromatičnosti, a to dokonce i ke zdravotní terapii.

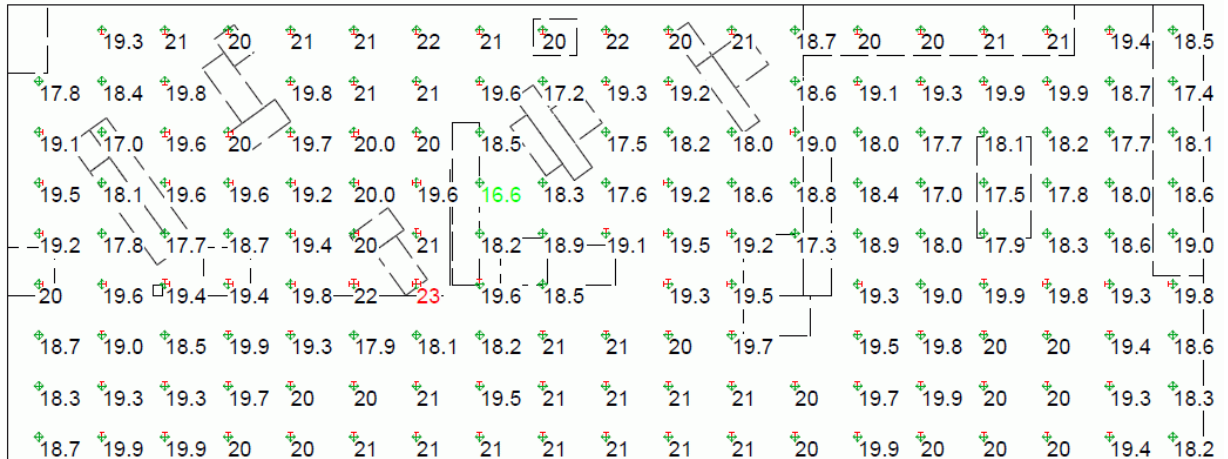
Emin: 138.3 Em: 511.9 Emax: 914.7 R=Emin/Emed: 0.27 Z: 0.55



Obr. 32 Osvětlenost – návrh č.3

Rovněž hodnoty indexu oslnění jsou vyhovující, neboť na celé ploše dosahují již při úhlu -10° střední hodnoty $UGR = 19,4$. Rozložení hodnot je na Obr. 33.

UGRL: 19: UGRmin: 16.6 UGRmed: 19.4 UGRmax: 23.5



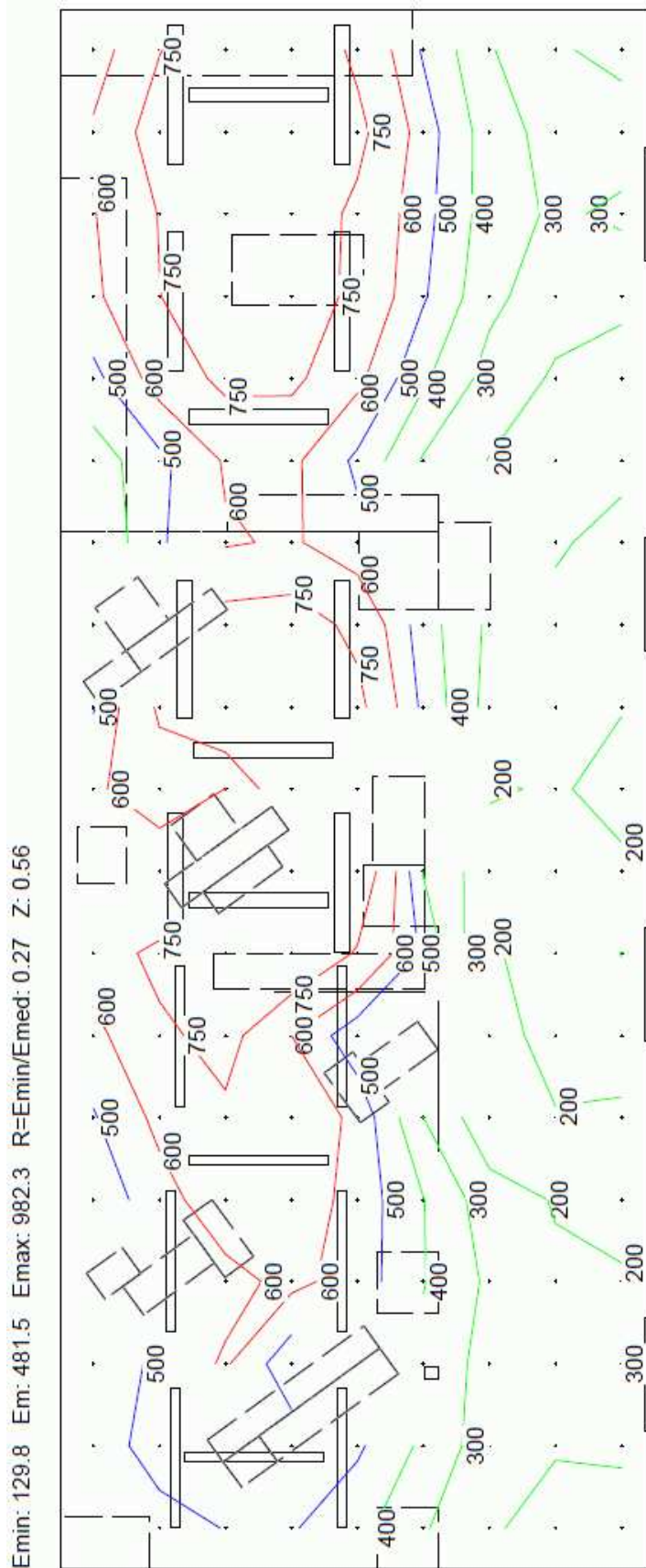
Obr. 33 Oslnění – návrh č.3 při úhlu -10°

8.5 Návrh čtvrtý

Pro čtvrtý návrh byla použita svítidla výrobce Olli elektro CZ, s. r.o. v počtu 8 a 12 svítidel, dále 4 svítidla výrobce Vyrtych Březno. Od fy. Olli byl použit typ 04/180-FA-EPC - svítidlo zářivkové, průmyslové, 1x80W, IP 54, kryt PC, T5, se zdrojem FQ 80W/830 G5, LUMILUX T5 HO Warm White 16 mm, 80W, 6150lm, $R_a = 80$. Druhý typ má označení 04/249-FA-EPC, svítidlo zářivkové, průmyslové, 2x49W, IP 54, kryt PC, T5, se zdrojem FQ 49 W/840 G5, T5 HO Cool White 16 mm, 49W, 4300lm, $R_a = 80$. Od firmy Vyrtych typ VIPET-I, 1x36W, zářivkové průmyslové, zavřená, krytí: IP66, použitý zdroj L 36W/840 G13, LUMILUX T8 Cool White 26 mm, 36W, 3350lm, $R_a = 80$.



Obr. 34 Svítidlo VIPET [23]

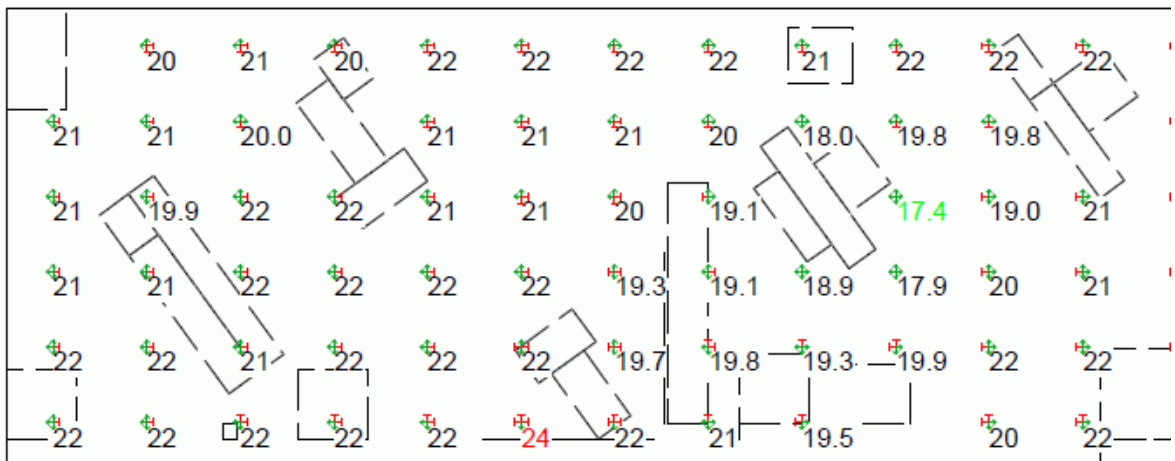


Obr. 35 Osvětlenost – návrh č.4

Taktěž v návrhu č.4 se podařilo s vybranými svítidly po několika verzích jejich rozmístění docílit požadovaných hodnot osvětleností (Obr. 35). Na pracovním místě č.4 – frézka je částečně překročena osvětlenost, což je vyhovující. Na pracovišti č.9 by opět nebylo doporučeno leštění, ale pouze montáž a operace leštění může být prováděna na pracovišti č.10.

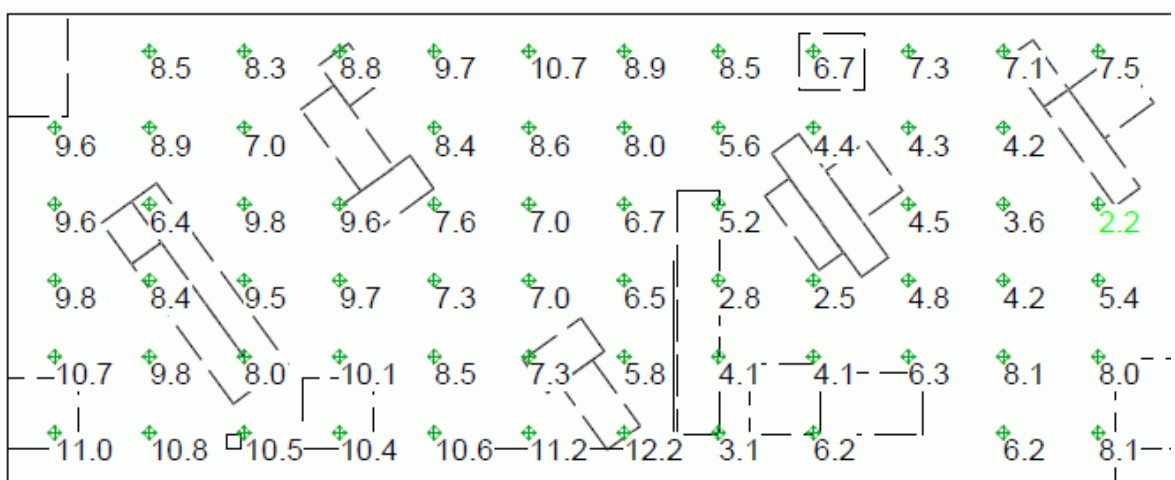
Hodnoty indexu oslnění při úhlu -10° (část místnosti na Obr. 36) místně přesahují stanovenou mez, při simulaci s větší hodnotou úhlu jsou vyhovující (Obr. 37).

UGRL: 19: UGRmin: 17.4 UGRmed: 21.1 UGRmax: 24.0



Obr. 36 Oslnění – návrh č.4 při úhlu -10°

UGRL: 19: UGRmin: 2.2 UGRmed: 8.3 UGRmax: 13.9



Obr. 37 Oslnění – návrh č.4 při úhlu -45°

8.6 Porovnání návrhů

8.6.1 Hodnotící kritéria

Porovnání dle poměrného příkonu.

Pro jednotlivé návrhy osvětlovacích soustav určíme dle (21) hodnotu poměrného příkonu na základě celkového příkonu (22).

1) návrh č.1

$$P_C = n \cdot P_s = 21 \cdot (2 \cdot 58) = 2436 \text{ W}$$

$$P = \frac{P_C}{S} = \frac{2436}{6,75 \cdot 17,72} = \frac{2436}{119,61} = 20,37 \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

2) návrh č.2

$$P_C = n \cdot P_s = (5 \cdot (1 \cdot 58)) + (10 \cdot (3 \cdot 58)) = 2030 \text{ W}$$

$$P = \frac{P_C}{S} = \frac{2030}{119,61} = 16,97 \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

3) návrh č.3

$$P_C = n \cdot P_s = 19 \cdot (2 \cdot 58) = 2204 \text{ W}$$

$$P = \frac{P_C}{S} = \frac{2204}{119,61} = 18,43 \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

4) návrh č.4

$$P_C = n \cdot P_s = (8 \cdot (1 \cdot 80)) + (12 \cdot (2 \cdot 49)) + (4 \cdot (1 \cdot 36)) = 1960 \text{ W}$$

$$P = \frac{P_C}{S} = \frac{1960}{119,61} = 16,38 \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

Zhodnotíme-li osvětlovací soustavy dle poměrného příkonu je nejvýhodnější návrh č.4.

Porovnání dle ceny svítidel.

Aktuální ceny byly získány z cenových návrhů (PVII) a firemních materiálů [21] [22] [23] [25].

Tab. 13 Porovnání - ceny

číslo návrhu	typ svítidla	cena za 1ks	počet kusů	cena svítidel	cena všech svítidel
1	VM 5258, EP, 2x58 W, PMMA	1 070 Kč	21	22 470 Kč	22 470 Kč
2	MODUS P 258 EP, 1x58W, PC	1 590 Kč	5	7 950 Kč	
	PITBUL, 3x58W	6 536 Kč	10	65 360 Kč	73 310 Kč
3	PER 258 E PAR 1.2, 2x58W	928 Kč	19	17 632 Kč	17 632 Kč
4	Olli 04/180-FA-EPC, 1x80W	890 Kč	8	7 120 Kč	
	Olli 04/249-FA-EPC, 2x49W	915 Kč	12	10 980 Kč	
	VIPET-I, EP, 1x36W, PC	965 Kč	4	3 860 Kč	21 960 Kč

V Tab. 13 jsou porovnány ceny svítidel za jednotlivé návrhy. Ve sloupci „cena všech svítidel“ je celková cena daného návrhu bez DPH. Z hlediska pořizovací ceny vychází nejlépe návrh č.3.

Údržba zdrojů

Není důležitá jen otázka pořizovací ceny, ale též náklady na údržbu. Hodnocení je provedeno v Tab. 14, na základě ceny výměny všech zdrojů.

Tab. 14 Ceny zdrojů

číslo návrhu	typ svítidla	počet svítidel	cena bez DPH	cena za typ zdroje	cena celkem
1	L58/840, 58W, 16mm	21	54,70 Kč	1 148,70 Kč	1 148,70 Kč
2	L58/840, 58W, 26mm	5	54,70 Kč	273,50 Kč	820,50 Kč
	L58/840, 58W, 26mm	10	54,70 Kč	547,00 Kč	
3	L58/865, 58W, 26mm	19	54,70 Kč	1 039,30 Kč	1 039,30 Kč
4	L80/830, 80W, 16mm	8	108,30 Kč	866,40 Kč	2 344,00 Kč (1953,30Kč)
	L49/840, 49W, 16mm	12	108,30 Kč	1 299,60 Kč	
	L36/840, 36W, 16mm	4	44,50 Kč	178,00 Kč	

Životnost zdrojů použitých v návrhu č.1 až č.3 je 20 000 hodin [5]. V návrhu č.4 je použit zdroj typu FQ s životností 24 000 hodin, proto je uveden v závorce přepočet na 20 000 hodin. Nejnižší náklady na obnovu zdrojů jsou u návrhu č.2.

Údržbu provádí externí firma, proto není třeba brát v úvahu logistickou náročnost návrhů s více typy svítidel. Výměna zdrojů je prováděna individuálně.

Porovnání dle energetické bilance.

Energetická bilance v Tab. 15 je jedním nejvhodnějších parametrů vyhodnocení. Porovnání je provedeno na základě celkového příkonu svítidla P_c a předpokládané průměrné ceny 2,40Kč za 1kWh pro průmysl. Jelikož se na řešené dílně nevyužívá přes den pouze denní světlo, budeme předpokládat použití 24 hodin a 253 pracovních dnů v roce.

Tab. 15 Porovnání - energetická bilance

číslo návrhu	celkový příkon P_c [W]	cena energie za rok provozu	úspora vůči původnímu svítidlům	cena svítidel	návratnost [rok]
1	2436	35 499 Kč	0 Kč		
2	2030	29 583 Kč	5 916 Kč	73 310 Kč	12
3	2204	32 118 Kč	3 381 Kč	17 632 Kč	5
4	1960	28 563 Kč	6 936 Kč	21 960 Kč	3

Za výše uvedených předpokladů je nejvhodnější návrh č.4, jelikož u něj dojde k nejrychlejší návratnosti vložených prostředků.

Porovnání dle měrného výkonu.

Další možností je porovnání dle měrného výkonu (10), který charakterizuje účinnost přeměny elektrické energie na světelnou. Pro výpočet je třeba celkový světelný tok Φ [lm] (Tab. 16) a příkon, tj. výše spočtený celkového příkonu svítidla P_c v oddíle Porovnání dle poměrného příkonu.

Tab. 16 Porovnání - světelný tok

číslo návrhu	typ zdroje	světelný tok zdroje [lm]	počet zdrojů ve svítidle	počet svítidel	celkový světelný tok dle typu zdroje [lm]	celkový světelný tok [lm]
1	L58/840, 58W, 16mm	5200	2	21	218400	218400
2	L58/840, 58W, 26mm	5200	1	5	26000	182000
	L58/840, 58W, 26mm	5200	3	10	156000	
3	L58/865, 58W, 26mm	5000	2	19	190000	190000
4	L80/830, 80W, 16mm	6150	1	8	49200	165800
	L49/840, 49W, 16mm	4300	2	12	103200	
	L36/840, 36W, 16mm	3350	1	4	13400	

Tab. 17 Porovnání - měrný výkon

číslo návrhu	příkon P_c [W]	světelný tok Φ [lm]	měrný výkon η_v [$lm \cdot W^{-1}$]
1	2436	218400	90
2	2030	182000	90
3	2204	190000	86
4	1960	165800	85

Nejlepší účinnost při hodnocení (Tab. 17) dle měrného výkonu dosahuje návrh č.2, který je stejný jako u původních svítidel v návrhu č.1.

Porovnání dle výsledků simulací.

Porovnání bylo provedeno na základě vizuálního posouzení výsledků simulací z programu Wils, které jsou na obrázcích v kapitolách s návrhy (kap. 8.1 až 8.5).

Tab. 18 Pořadí dle UGR

Dosažené pořadí	Číslo návrhu	Důvody pro zvolené pořadí
1	3	Při -10° jsou hodnoty vyhovující.
2	4	Při -10° jsou hodnoty mírně překročeny.
3	2	Při -10° jsou hodnoty mírně překročeny, ovšem více než v návrhu č.4. Při -45° jsou hodnoty vyhovující.
4	1	Při -10° je nevyhovující.

Výše, v Tab. 18 je sestaveno pořadí na základě vyhodnocených hodnot činitele oslnění *UGR*, počínaje nejlépe dosaženými hodnotami.

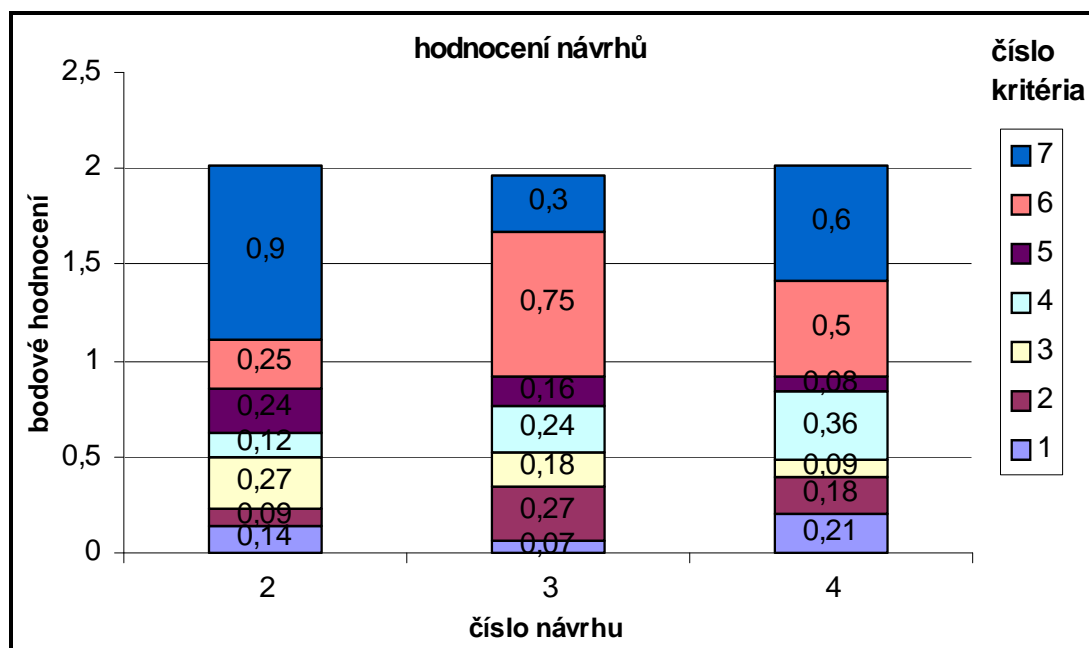
Pokud srovnáme výsledky rozložení osvětlení, jeví se nejlépe u návrhu č.2, následují návrhy č.4, č.3, č.1. Návrh č.1 z tohoto zásadního hlediska nevyhovuje, proto bude z konečného vyhodnocení vynechán. Vzhledem k tomu, že u návrhu č.1 byly použity tytéž svítidla jako v současném stavu, je uveden v předchozích výpočtech pro porovnání.

8.6.2 Vyhodnocení dle kritérií.

V následující Tab. 19 jsou uvedena hodnotící kritéria z předchozí kapitoly a je jim přiřazena váha, která hodnotí význam daného kritéria. Součet všech vah je 100%.

Tab. 19 Váha kritérií

Číslo kritéria	Hodnotící kritérium	Váha kritéria
1	poměrný příkon	7 %
2	ceny svítidel	9 %
3	údržba zdrojů	9 %
4	energetická náročnost	12 %
5	měrný výkon	8 %
6	činitel oslnění	25 %
7	rozložení osvětlení	30 %



Obr. 38 Graf hodnocení

Graf (Obr. 38) ukazuje výsledky hodnocení. Vychází z hodnot v Tab. 20, v níž je konečné vyhodnocení návrhů nových soustav svítidel. A to na základě výsledků jednotlivých kritérií a jejich vah.

Tab. 20 Váhové hodnocení

Číslo kritéria	Pořadí návrhů	Bodové hodnocení	Váhové hodnocení	hodnocení návrhu		
				2	3	4
1	4	3	0,21			0,21
	2	2	0,14	0,14		
	3	1	0,07		0,07	
2	3	3	0,27		0,27	
	4	2	0,18			0,18
	2	1	0,09	0,09		
3	2	3	0,27	0,27		
	3	2	0,18		0,18	
	4	1	0,09			0,09
4	4	3	0,36			0,36
	3	2	0,24		0,24	
	2	1	0,12	0,12		
5	2	3	0,24	0,24		
	3	2	0,16		0,16	
	4	1	0,08			0,08
6	3	3	0,75		0,75	
	4	2	0,50			0,50
	2	1	0,25	0,25		
7	2	3	0,90	0,90		
	4	2	0,60			0,60
	3	1	0,30		0,30	
			celkem	2,01	1,97	2,02

Nejvíce bodového hodnocení bylo dosaženo pro návrh č.4. Návrh č.4 se tedy jeví jako nejvhodnější pro doporučení při inovaci osvětlení na řešené dílně.

ZÁVĚR

Denní osvětlení pocházející ze Slunce je pro člověka nenahraditelné. Nastávají ovšem situace, kdy se denního světla člověku nedostává např. práce v noci. Při takových situacích je denní světlo nahrazováno umělým. Pak je důležité, aby takový druh osvětlení splňoval požadavky dané normami a doporučeními.

V této práci byla řešena problematika umělého osvětlení na konkrétním pracovišti, na dílně v provozu výroby forem.

Nejprve bylo nutné zjistit současný stav osvětlení. V prostoru dílny se provedlo měření osvětlenosti na vybraných kontrolních místech. Získaná data byla zpracována a porovnána s požadavky pro konkrétní druh pracoviště.

V následných simulacích je třeba zadat činitele odrazu. Aby simulace odpovídali skutečnosti byla provedena měření za účelem stanovení činitele odrazu jednotlivých ploch.

Postupně byly vytvořeny nové návrhy osvětlovacích soustav. Při navrhování se zohledňovali požadavky na osvětlenost a oslnění. Pro vytvoření těchto návrhů byl použit program Wils 6.3. Pro definici místnosti se využil vytvořený prostorový model dílny. U objektů zahrnutých do simulace se zadal zjištěný činitel odrazu. Pro jednotlivé návrhy nových osvětlovacích soustav byly voleny svítidla českých výrobců z databáze programu. Jejich vhodným rozmístěním v potřebném počtu se dosáhlo normativních požadavků na osvětlenost.

Výstupem simulací z programu Wils 6.3 byly hodnoty osvětlenosti v grafické podobě zobrazením izolux a hodnoty činitele oslnění *UGR* v jednotlivých kontrolních bodech v celém prostoru dílny. Tyto výstupy spolu s dalšími parametry byly na závěr vyhodnoceny.

Jako nejvhodnější varianta na novou osvětlovací soustavu byl zvolen návrh č.4.

Uvedené návrhy budou předány zástupci firmy Kasko-Formy spol. s r.o., jako možnosti rekonstrukce soustavy osvětlení. S rozšiřující se výrobou a přístavbou nových prostor nabude řešení umělého osvětlení na významu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PROMOLUX: firemní webové stránky. [online]. Shawnigan Lake, Canada: PROMOLUX, 2010. Dostupné na WWW: <<http://www.promolux.com>>.
- [2] Úvod do osvětlení, rozdělení osvětlení. UTB Zlín, Ústav fyziky a materiálového inženýrství. [online]. Dostupné na WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_07.pdf>.
- [3] ČÁNSKÁ, M., Několik poznámek k osvětlení pracovišť. České pracovní lékařství, 2006, roč.7. č.1, 4 s.
- [4] ZÖLZER, F., Fyzikální optika. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2007. 18 s. Dostupné na WWW: <http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/ochrana-obyvatelstva-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/fyzikalni-optika.doc>.
- [5] Osram: firemní webové stránky. [online]. Bruntál: OSRAM Česká republika s.r.o., 2010. Dostupné na WWW: <http://www.osram.cz/osram_cz/index.html>.
- [6] Libra, M. Aktuální otázky obnovitelných zdrojů energie. Praha: ČZÚ v Praze, 71 s. Dostupné na WWW: <<http://vipor.czu.cz>>.
- [7] Měření křivek svítivosti parabolického svítidla. VUT v Brně. [online]. Dostupné na WWW: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-aboratory/files/sylabus/12_Mereni_krivek_svitivosti_parabolickeho_svitidla.pdf>.
- [8] WEIGLOVÁ, J., KAŇKA, J. Stavební fyzika 10. Praha: ČVUT, 2002, 172 s. ISBN 80-01-01913-6.
- [9] Umělé osvětlení. UTB Zlín, Ústav fyziky a materiálového inženýrství. [online]. Dostupné na WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf>.
- [10] Astra 92, a.s., Wils 6.3. [online]. Zlín, 2006. Dostupné na WWW: <<http://www.astra92.cz/Software/Produkty/Wils/tabid/100/Default.aspx>>.
- [11] ČSN 36 0011-1. Měření osvětlení vnitřních prostorů. Praha: ČNI, 2006. 16 s.
- [12] ČSN EN 12 464-1. Osvětlení pracovních prostorů – Vnitřní pracovní prostory. Praha: ČNI, 2004.

- [13] ČSN EN 12 665. Světlo a osvětlení. Praha: ČNI, 2003.
- [14] MAZÁK, M., Experimentálne metódy II. 1 vyd. Bratislava: Edičné stredisko STU, 1993. 189 s. ISBN 80-227-0547-0.
- [15] Mádr, V., Knejzlík, J., Kopečný, J., Novotný, I.: Fyzikální měření. SNTL Praha, 1991, 304 s.
- [16] BYSTRICKÝ, V., KAŇKA, J. Osvětlení. Praha: ČVUT, 1999, 76 s.
ISBN 80-01-00832-1.
- [17] HORŇÁK, P., Umelé osvetlenie. Bratislava: ALFA, 1999.
- [18] NETUŠIL, J., Světlo v teorii a praxi. Praha: Práce, 1960.
- [19] FOJTEK, A., FOUKAL, J., Tabulky vybraných fyzikálních a technických veličin. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1992.
- [20] BAXANT, P., Elektrické teplo a světlo. Brno: VUT v Brně, 2004.
- [21] VM ELEKTRO: firemní webové stránky. [online]. Zlín - Tečovice: VM elektro, s.r.o., 2008. Dostupné na WWW: <<http://www.vmelektro.cz/cz/kategorie/kontakt.aspx>>.
- [22] MODUS: firemní webové stránky. [online]. Česká Lípa: MODUS, s.r.o., 2010. Dostupné na WWW: <<http://www.modus.cz/cze/katalog-svitidel/prumyslova-zarivkova-svitidla/modus-p/>>.
- [23] VYRTYCH: firemní webové stránky. [online]. Březno - Židněves: VYRTYCH, a.s., 2008. Dostupné na WWW: < <http://www.vyrtych.cz/Home/V%C3%BDroky/tabid/149/language/cs-CZ/Default.aspx> >.
- [24] HLAVENKA, B. Projektování výrobních systémů – Technologické projekty 1. 3 vyd. Brno: VUT v Brně, 1999, 197 s. ISBN 80-214-1472-3.
- [25] TREVOS: firemní webové stránky. [online]. Turnov - Mašov: TREVOS, a.s., 2008. Dostupné na WWW: < <http://www.trevos.cz/produktovy-katalog/prumyslova-zarivkova-svitidla-plastova-profi-per.htm> >.
- [26] OLLI: firemní webové stránky. [online]. Brno: Olli elektro CZ, spol. s r.o., 2010. Dostupné na WWW: < <http://www.oli.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

\bar{E}_m	Průměrná minimální osvětlenost
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování
R_a	Index podání barev
ρ	Činitel odrazu
IP	Stupeň ochrany
SI	Système International d'Unités - soustava jednotek
λ	Vlnová délka
f	Kmitočet
c	Rychlost elektromagnetického záření ve vakuu
Φ_B	Zářivý tok
Q_E	Zářivá energie
t	Čas
Φ	Světelný tok
V	Světelná účinnost
$P(\lambda)$	Koncentrace výkonu
K_m	Světelná účinnost monochromatického světla základní vlnové délky
M	Světlení
S, S_r	Plocha
I	Svítilivost
Ω	Prostorový úhel
r	Poloměr koule
L	Jas
α, β, γ	Úhel
E, E_{PK}	Osvětlenost

l, h, p, v	Vzdálenost
P	Příkon světelného zdroje
UGR, GR	Oslnění - index rušivého oslnění
A	Činitel charakterizující vliv polohy oslňujícího zdroje
L_{zi}	Jas oslňujícího zdroje
L_p	Jas pozadí
τ	Činiteli prostupu
α	Činiteli pohltivosti
$\Phi\rho$	Odražený světelný tok
$\Phi\tau$	Prostoupený světelný tok
$\Phi\alpha$	Pohlčený světelný tok
η	Činitel využití osvětlovací soustavy
z	Udržovací činitel
n_z	Počet zdrojů ve svítidle
Φ_{zs}	Světelný tok jednoho svítidla
Φ_z	Světelný tok jednoho zdroje
z_s	Činitel stárnutí světelných zdrojů
z_z	Činitel znečištění svítidel
z_{fz}	Činitel funkční spolehlivosti zdrojů
Φ_c	Celkový světelný tok
E'_{PK}	Výsledná minimální osvětlenost
E_{PO}	Počáteční maximální osvětlenost
P_C	Celkový příkon osvětlovací soustavy
P_S	Příkon jednoho svítidla
$E_{P\rho}$	Osvětlenost v bodě P

I_γ	Svítivost zdroje při úhlu γ
ρ_o	Rovina
k	Poměrný příkon
E_z	Osvětlenost - čidlo směrem proti povrchu
π	Ludolfovo číslo
L_A	Jas povrchu normálu
ρ_A	Činiteli odrazu normálu
E_{min}	Minimální hodnota osvětlenosti v místnosti
E_{max}	Maximální hodnota osvětlenosti v místnosti
x, y, z	Souřadnice
CAM	Computer Aided Manufacturing - Počítačová podpora obrábění
\bar{E}	Průměrná osvětlenost
s	Výběrová směrodatná odchylka
\bar{s}	Směrodatná odchylka aritmetického průměru
$K_{\alpha,n}$	Krajní chyba
\bar{X}	Aritmetický průměr
$t_{\alpha\%,n}$	Studentův součinitel

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Barevné spektrum [1]	12
Obr. 2 Diagram chromatičnosti [6]	17
Obr. 3 Spektrální charakteristika [5]	18
Obr. 4 Křivka svítivosti [5]	20
Obr. 5 Soustava fotometrických polorovin C- γ [7]	20
Obr. 6 Energetická bilance	25
Obr. 7 Bodová metoda v bodě obecné roviny ρ [9]	29
Obr. 8 Bodová metoda v bodě obecné roviny ρ_o ,	29
Obr. 9 Soustava svítidel	35
Obr. 10 Soustava překážek	36
Obr. 11 Budova firmy	39
Obr. 12 Luxmetr LX-101	40
Obr. 13. Rozložení kontrolních bodů	42
Obr. 14 Rozmístění naměřených hodnot místo č.1	42
Obr. 15 Rozmístění naměřených hodnot místo č.6	43
Obr. 16 Číslování stěn v místnosti	49
Obr. 17 Zadání činitele odrazu	52
Obr. 18 Zobrazení nadefinované místnosti	55
Obr. 19 Svítidlo VM 5258 [21]	56
Obr. 20 Současný stav osvětlení	57
Obr. 21 Současný stav oslnění č.1	58
Obr. 22 Současný stav oslnění č.2	59
Obr. 23 Osvětlenost – návrh č.1	60
Obr. 24 Oslnění – návrh č.1	60
Obr. 25 Svítidlo MODUS P 258 [22]	61
Obr. 26 Svítidlo PITBUL [10]	61
Obr. 27 Osvětlenost – návrh č.2	62
Obr. 28 Pracovní prostor [24]	63
Obr. 29 Oslnění – návrh č.2 při úhlu -10°	63
Obr. 30 Oslnění – návrh č.2 při úhlu -45°	64
Obr. 31 Svítidlo TREVOS	64

Obr. 32 Osvětlenost – návrh č.3.....	65
Obr. 33 Oslnění – návrh č.3 při úhlu -10°	66
Obr. 34 Svítidlo VIPET [23].....	66
Obr. 35 Osvětlenost – návrh č.4.....	67
Obr. 36 Oslnění – návrh č.4 při úhlu -10°	68
Obr. 37 Oslnění – návrh č.4 při úhlu -45°	68
Obr. 38 Graf hodnocení	73

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Hodnoty UGR	24
Tab. 2 Číslování míst	41
Tab. 3 Naměřené hodnoty 1.část.....	44
Tab. 4 Naměřené hodnoty 2.část.....	45
Tab. 5 Příklad výpočtu	46
Tab. 6 Porovnání hodnot.....	48
Tab. 7 Přehled povrchů	49
Tab. 8 Naměřené hodnoty	50
Tab. 9 Hodnoty činitele odrazu.....	51
Tab. 10 Výsledky měření	52
Tab. 11 Příklad výpočtu	53
Tab. 12 Požadované UGR	56
Tab. 13 Porovnání - ceny	70
Tab. 14 Ceny zdrojů.....	70
Tab. 15 Porovnání - energetická bilance.....	71
Tab. 16 Porovnání - světelný tok	72
Tab. 17 Porovnání - měrný výkon.....	72
Tab. 18 Pořadí dle UGR	72
Tab. 19 Váha kritérií	73
Tab. 20 Váhové hodnocení	74

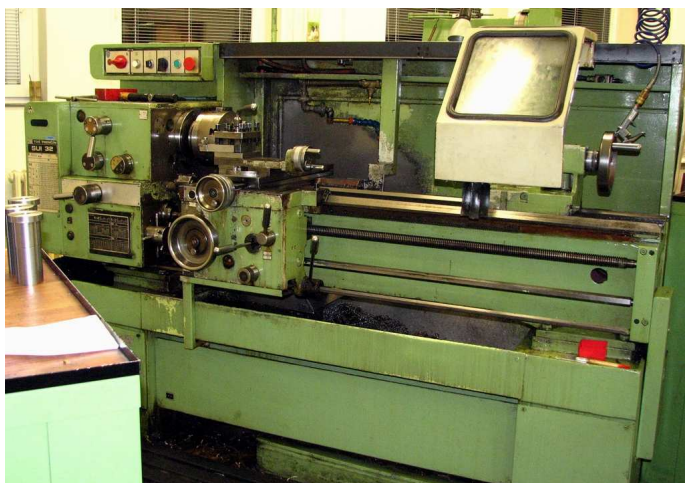
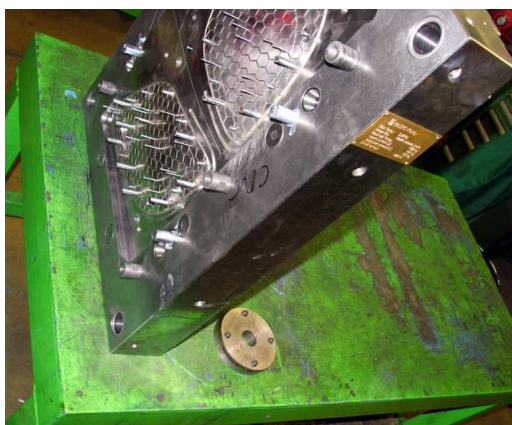
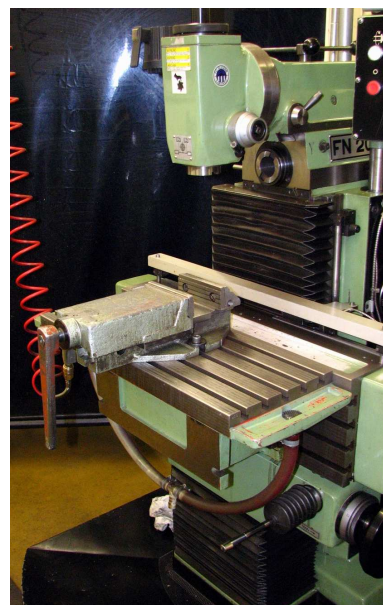
SEZNAM PŘÍLOH

- P I ODRAZNOSTI VYBRANÝCH POVRCHŮ
- P II FOTOGRAFIE PROSTORU DÍLNY
- P III 3D MODEL DÍLNY
- P IV DRÁTOVÝ MODEL DÍLNY
- P V STRUKTURA PŘEKÁŽEK V PROGRAMU WILS 6.3
- P VI ČÍSLOVÁNÍ KONTROLNÍCH MÍST
- P VII CENOVÁ NABÍDKA
- P VIII 3D ZOBRAZENÍ NÁVRHU Č.4 V PROGRAMU WILS 6.3
- P IX 3D ZOBRAZENÍ NÁVRHU Č.2 V PROGRAMU WILS 6.3
- P X HODNOTY OSLNĚNÍ NÁVRHU Č.4 PŘI ÚHLU -10° , CELKOVÝ POHLED

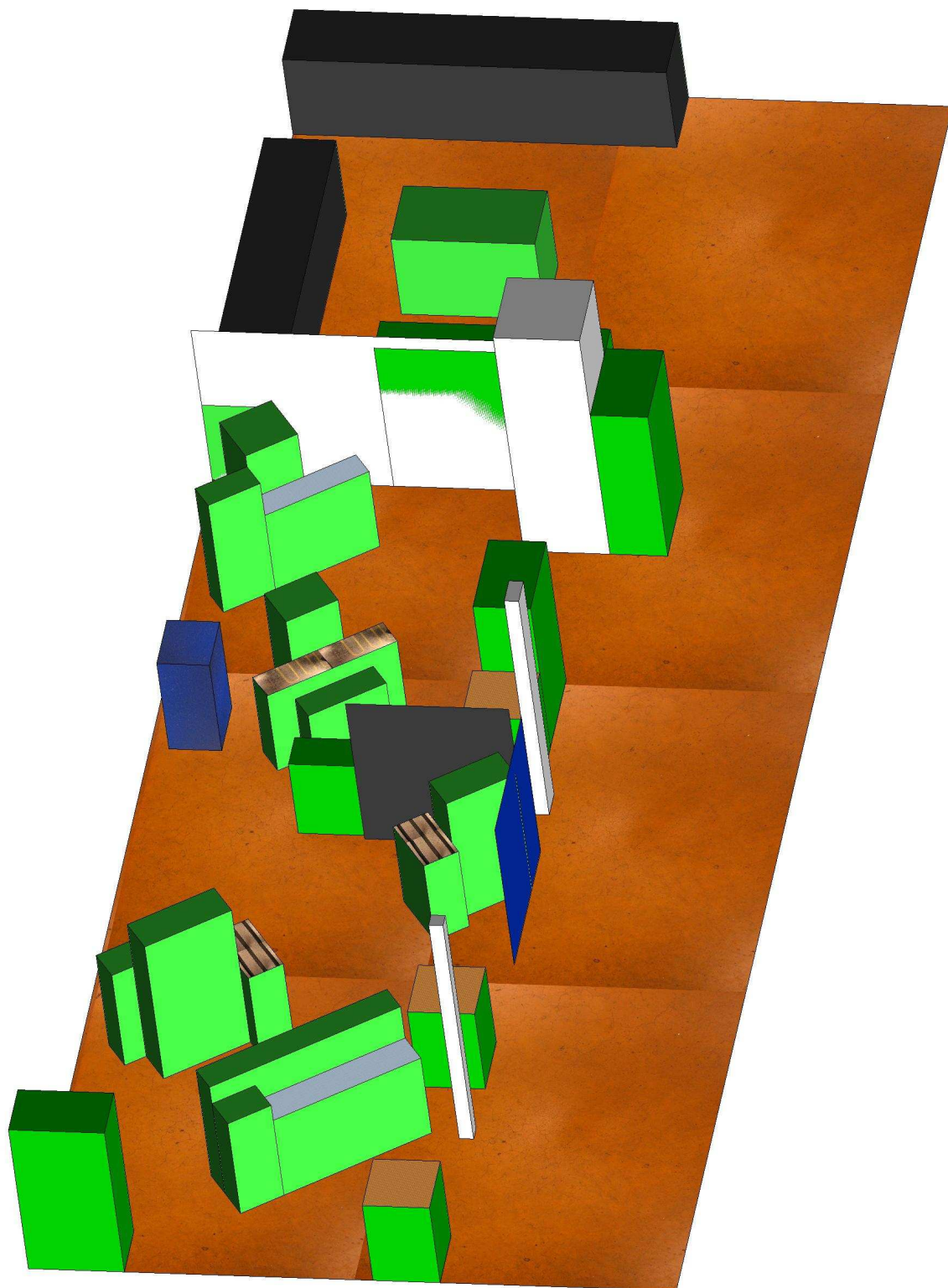
PŘÍLOHA P I: ODRAZNOSTI VYBRANÝCH POVRCHŮ

Odraznosti $\rho[-]$ vybraných povrchů			
barva		rozsah	
		od	do
Betonová	dlažba	0,30	
Běžový		0,60	0,70
Bílý		0,75	0,80
Cihla		0,25	
Černý		0,01	0,03
Dřevo	světlé	0,30	0,50
Dřevo	tmavé	0,10	0,25
Hliník		0,75	0,85
Hnědý		0,12	0,25
Mramor	bílý	0,55	0,80
Ocel		0,28	
Okno		0,10	
Sádra	bílá	0,80	0,92
Světle	žlutý	0,60	0,70
Světle	červený	0,40	0,50
Světle	zelený	0,45	0,65
Světle	modrý	0,40	0,60
Světle	šedý	0,40	0,60
Tmavě	žlutý	0,50	0,60
Tmavě	červený	0,15	0,30
Tmavě	zelený	0,05	0,20
Tmavě	modrý	0,05	0,20
Tmavě	šedý	0,15	0,20
Zrcadlo		0,80	0,90
Žula		0,40	0,50

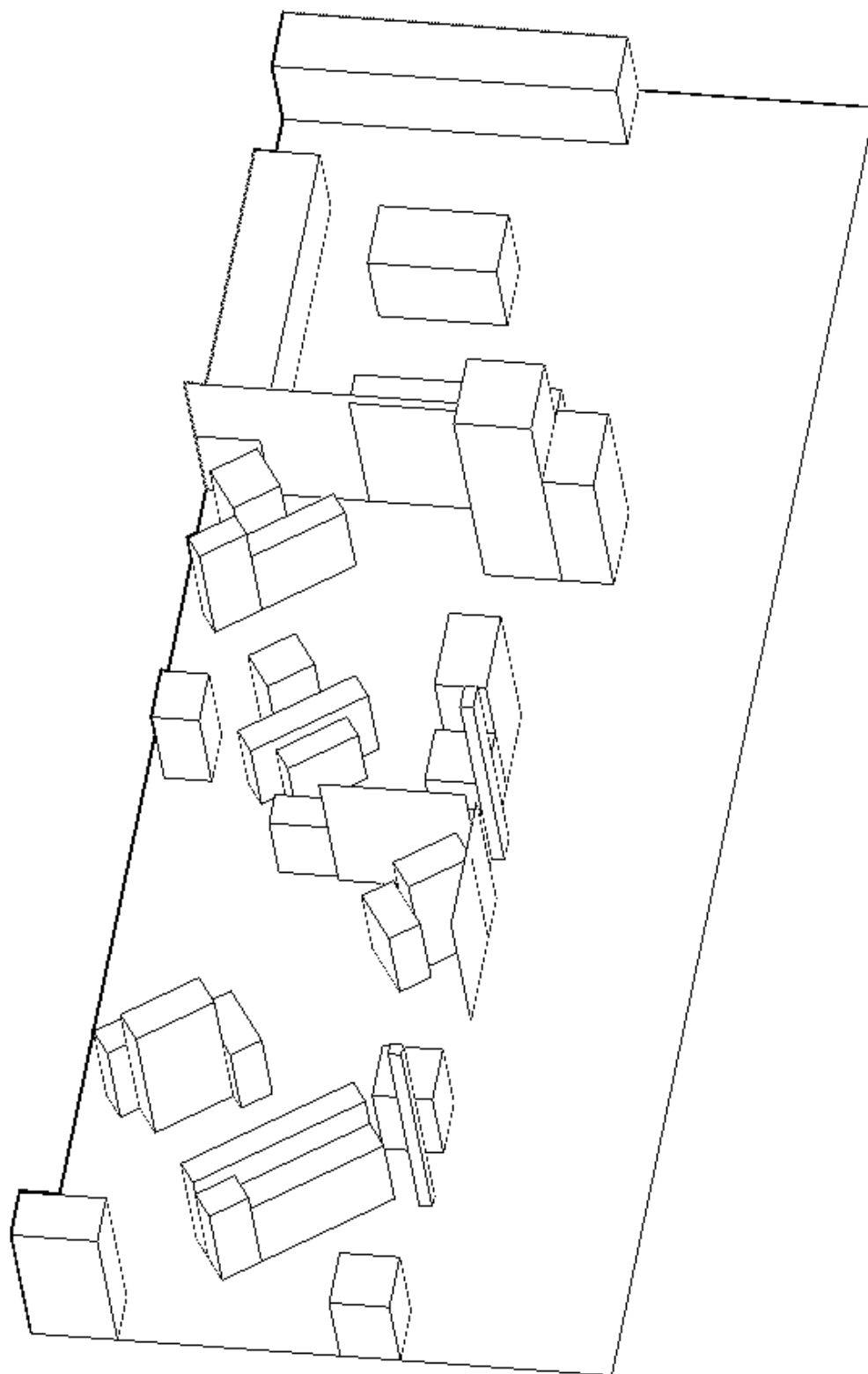
PŘÍLOHA P II: FOTOGRAFIE PROSTORU DÍLNY



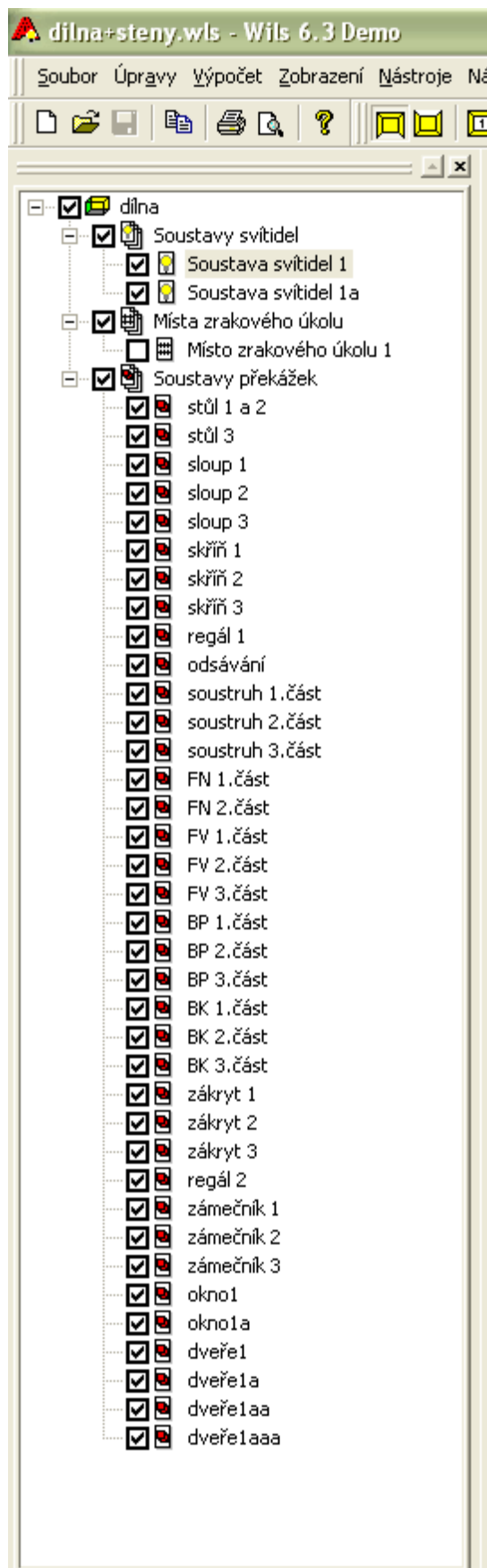
PŘÍLOHA P III: 3D MODEL DÍLNY



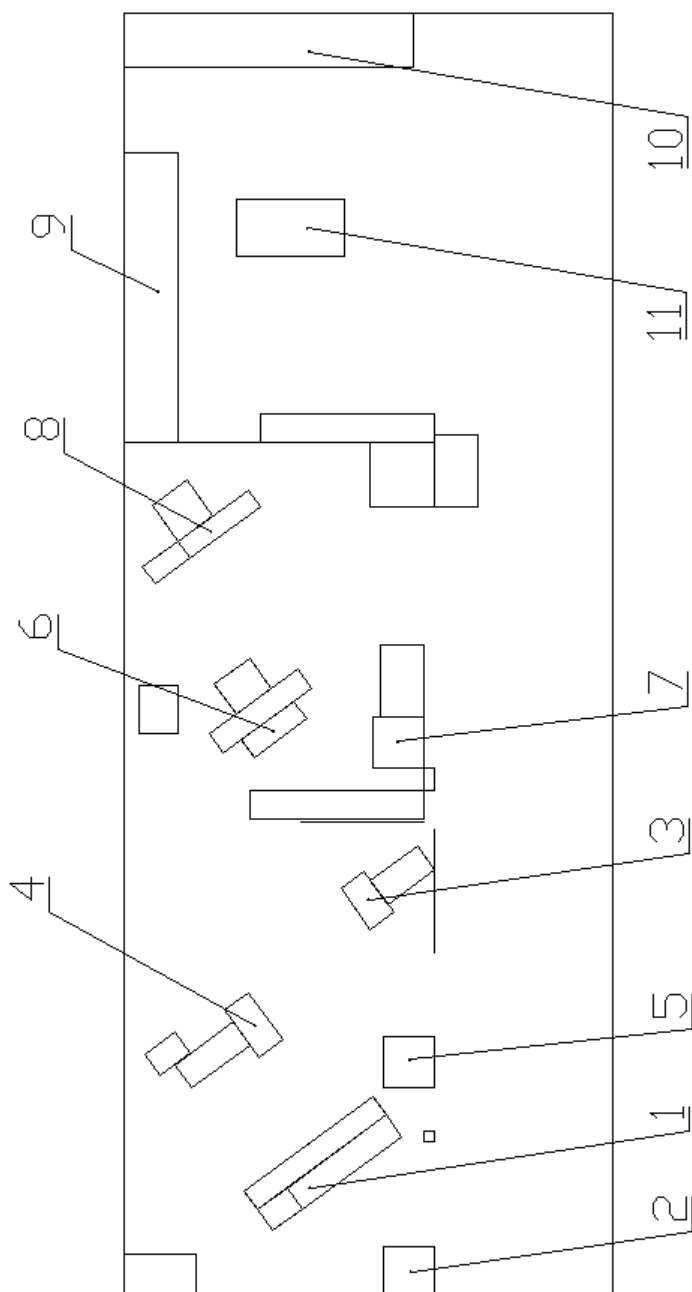
PŘÍLOHA P IV: DRÁTOVÝ MODEL DÍLNY



PŘÍLOHA P V: STRUKTURA PŘEKÁŽEK V PROGRAMU WILS6.3



PŘÍLOHA P VI: ČÍSLOVÁNÍ KONTROLNÍCH MÍST



PŘÍLOHA P VII: CENOVÁ NABÍDKA



Nabídka
NA/2010/206

Strana: 1/1

Dodavatel:	OLLI elektro CZ, spol. s r.o.	Odběratel	NABÍDKA
CZ - 614 00	Valchařská 24/36 Brno	CZ -	
IČ : 60914432	DIČ : CZ60914432	IČ : 00000000	DIČ :
Dodací a platební podmínky		Příjemce	NABÍDKA
Datum vystavení:	20.4.2010	CZ -	
Způsob platby:	Bankovním převodem / 0 dnů	IČ : 00000000	DIČ :
Dodací podmínky:	EXW		
Zakázku podal:	Michal Ondrášek		
Číslo objednávky:	Poptávka ze dne 19.4.2010		
Popis:	OE04		
Termín dodání:	21dnů od závazné objednávky		

Vážená paní, na základě Vaší poptávky, Vám zasílám cenovou nabídku
svítidel OLLI elektro CZ, spol. s r.o.

Platnost cenové nabídky 3 měsíce od data vystavení.
V případě Vašeho zájmu o nabízená svítidla, Vás žádám o zaslání závazné písemné objednávky.

Kód	Kód Z	Množství	Cena/MJ	Základ daně	DPH
Název zboží		Kód odběratele			
OE04/180-FA-EPC OE04 1xL80Wprůmysl.sv., kryt PC, IP65, EP	04-180L-3315-EN-300	1,00 ks	889,85	889,85	177,97
OE04/249-FA-EPC OE04 2xL49Wprůmysl.sv., kryt PC, IP65, EP	04-249L-3315-EN-300	1,00 ks	915,20	915,20	183,04
REC-S Recyklační poplatek-svítidla	REC-S	2,00 ks	8,40	16,80	3,36

	Daň %	Netto	DPH	Brutto
Základní sazba	20	1 821,80	364,40	2 186,20Kč
Celkem		1 821,80	364,40	2 186,20Kč
Celkem brutto				2 186,20Kč

Pro případ, že nebude z Vaší strany zajištěna doprava zboží, bude doprava zajištěna ze strany OLLI-elektro CZ a cena za dopravu bude do fakturována. Nebude-li předem, písemně dohodnuto jinak budou Vám fakturovány palety a následně při vrácení, budou tyto dobropisovány.

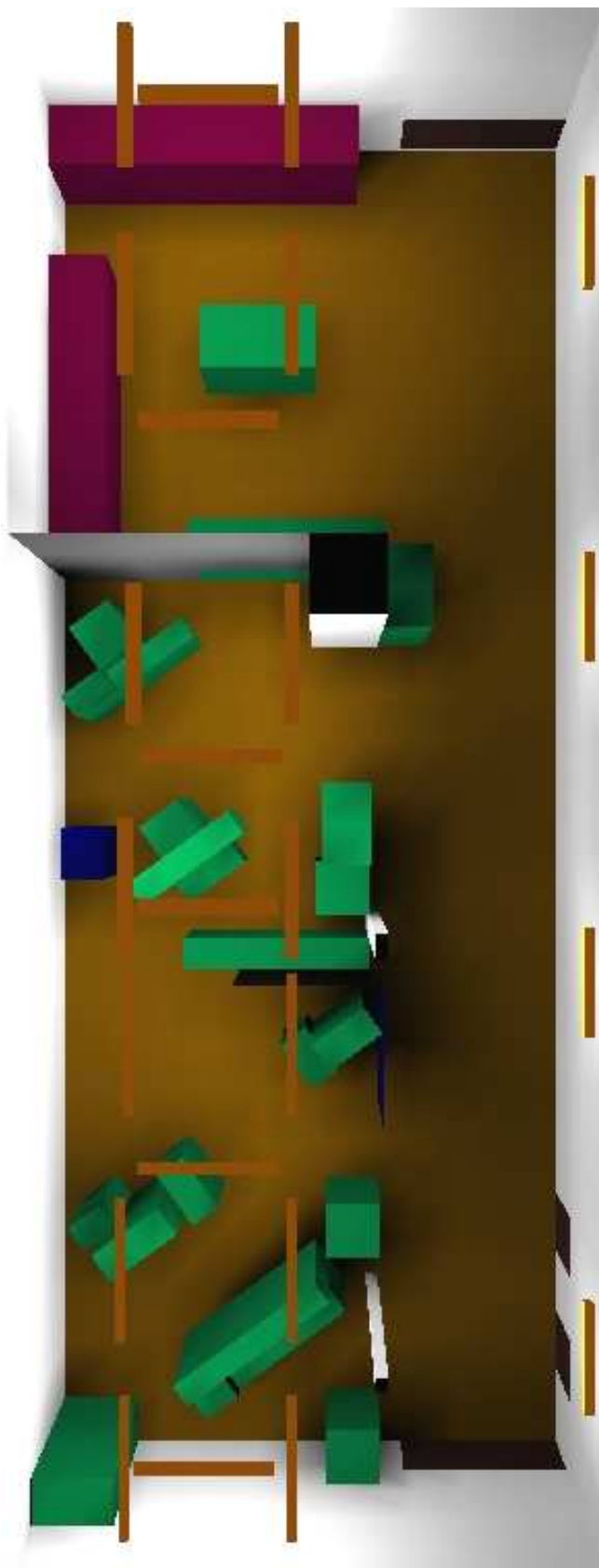
Není-li v cenové nabídce uvedeno jinak, jsou svítidla dodávána bez zdrojů. Tyto je možné dodat na základě objednávky.
V případě, že je na zboží ze zákona uplatňován recyklační poplatek, bude Vám tento automaticky doučtován, není-li uvedeno v nabídce jinak.

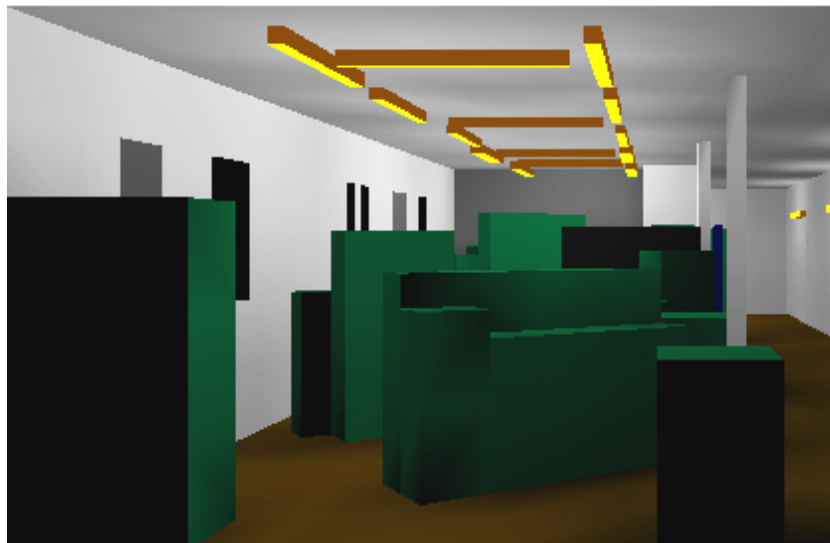
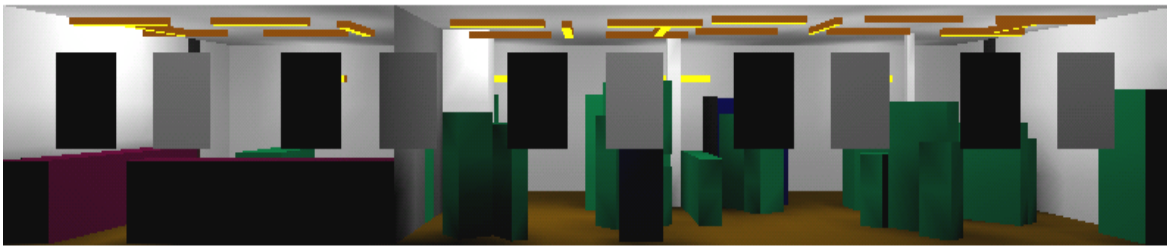
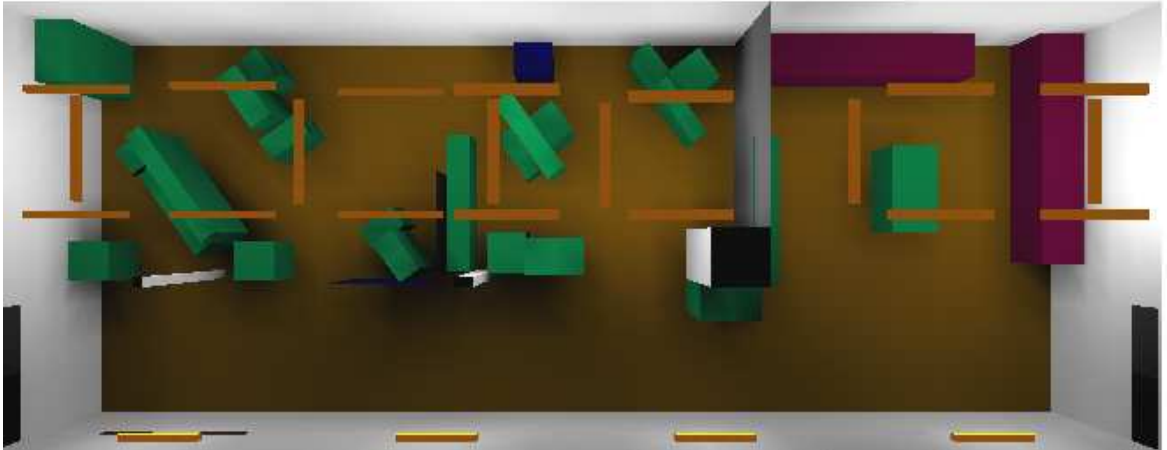
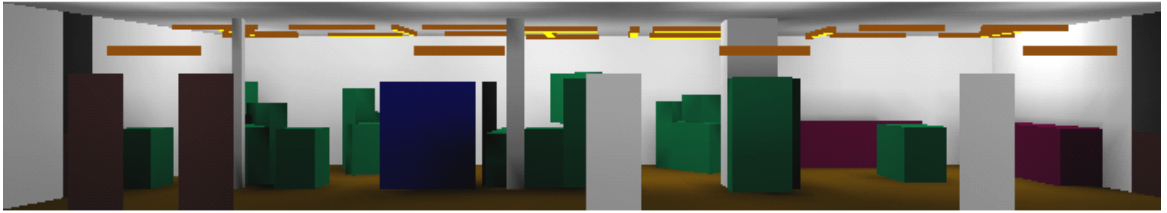
KONTAKT:
Kamil Štoll
mob: +420 725 539 937
e-mail: kstoll@olli-elektro.cz
Tel: +420 545 321 246

Datum: 20.4.2010
Vystavil: Kamil Štoll

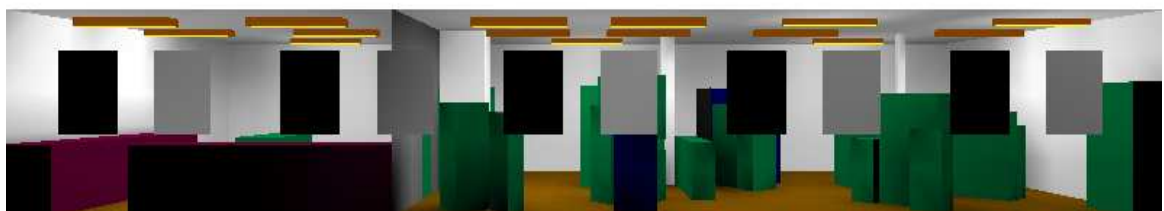
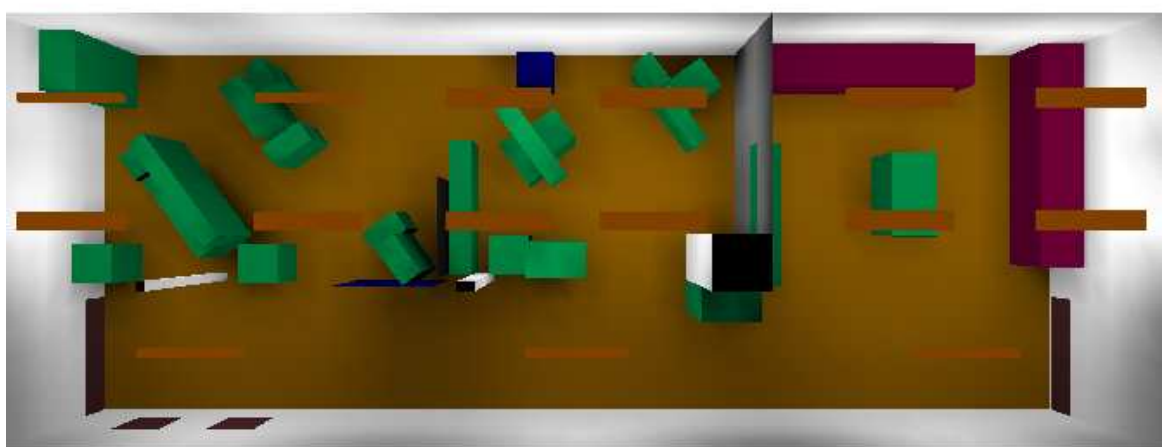
Společnost je zapsána v Obchodním rejstříku vedeném Krajským obchodním soudem v Brně dne 26. května 1994, oddíl C, vložka 51001

**PŘÍLOHA P VIII: 3D ZOBRAZENÍ NÁVRHU Č.4 V PROGRAMU
WILS 6.3**





PŘÍLOHA P IX: 3D ZOBRAZENÍ NÁVRHU Č.2 V PROGRAMU WILS



**PŘÍLOHA P X: HODNOTY OSLNĚNÍ NÁVRHU Č.4 PŘI ÚHLU -10°,
CELKOVÝ POHLED**

