



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra konstrukcí pozemních staveb**

**Stanovení denního osvětlení v základní škole pomocí různých metod
Determination of daylight in a primary school using different methods**

Diplomová práce

Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Budovy a prostředí

Vedoucí práce: Ing. Bc. Jaroslav VYCHYTIL, Ph.D.

Bc. Veronika Hermanová

Praha rok 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Hermanová</u>	Jméno: <u>Veronika</u>	Osobní číslo: <u>395597</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb (K124)</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor: <u>Budovy a prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Stanovení denního osvětlení v základní škole pomocí různých metod


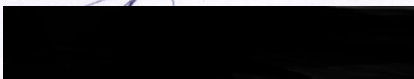
Název diplomové práce anglicky: Determination of daylight in a primary school using different methods

Pokyny pro vypracování:
Požadavky kladené na denní osvětlení v prostorách základních škol. Popis měření denního osvětlení. Výběr vhodných učeben v konkrétní základní škole. Určení vybraných vstupních světelně technických parametrů na základě normových hodnot a na základě vlastního měření, případně i dle vzorníků. Výpočet denního osvětlení v těchto učebnách pomocí různých odborných softwarů. Jejich porovnání z různých hledisek.

Seznam doporučené literatury:
ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení prostorů – Část 1: Základní ustanovení. Praha : ÚNMZ, 2014, 16 s.
ČSN 36 0011-2 Měření osvětlení prostorů – Část 2: Měření denního osvětlení. Praha : ÚNMZ, 2014, 12 s.
ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky, ČNI Praha, červen 2007.
ČSN 73 0580-3 Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol, ČNI Praha, červen 2007.
RYBÁR, Peter. Denní osvětlení a oslunění budov. Brno: ERA, 2002. ISBN 80-86517-33-0.
VYCHYTIL, Jaroslav. Stavební světelná technika - cvičení. Praha : Nakladatelství ČVUT v Praze, 156 s. 2015. ISBN 978-80-01-05858-9.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Bc. Jaroslav Vychytil, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 4. 10. 2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8. 1. 2017

	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>4.10.2016</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

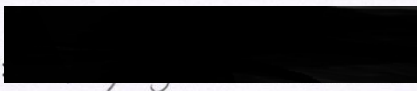
Jméno diplomanta: Bc. Veronika Hermanová

Název diplomové práce: Stanovení denního osvětlení v základní škole pomocí různých metod

Základní část: Konstrukce pozemních staveb podíl: 100 %

Formulace úkolů: Požadavky kladené na denní osvětlení v prostorách základních škol.

Popis měření denního osvětlení. Výběr vhodných učeben v konkrétní základní škole. Určení vybraných vstupních světelně technických parametrů na základě normových hodnot, měření a dle vzorníků. Výpočet denního osvětlení v těchto učebnách pomocí různých odborných softwarů. Jejich porovnání z hlediska užívání, využití v praxi a relevantnosti výsledků.

Podpis vedoucího DP: 

Datum: 4.10.2016

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: Datum:

Poznámka: Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci (vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V dne

.....

podpis

Poděkování

Ráda bych věnovala poděkování panu Ing. Bc. Jaroslavu Vychytilovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za podporu, odborné vedení a především cenné rady, jež mi tuto práci pomohly zpracovat. Dále chci věnovat poděkování panu Mgr. Jaroslavu Přeučilovi, řediteli ZŠ Kostomlaty nad Labem, za vstřícnost a umožnění měření na zmíněné základní škole.

Stanovení denního osvětlení v základní škole pomocí různých metod

Anotace

Předkládaná diplomová práce se zabývá vyhodnocením stavu stávající budovy základní školy z hlediska denního osvětlení. K řešení byly vybrány učebny vhodné pro dané účely, tedy učebny kmenové. Hodnocení bude založeno na základě měření a digitálního modelu. Vzhledem k přísným podmínkám nutným k měření denního osvětlení jsou měřeny pouze světelně technické parametry. K tomuto účelu byly použity luxmetry a jasoměry. Hodnoty vybraných parametrů jsou stanoveny za pomoci odborných vzorníků. Dalším vytýčeným úkolem je vytvoření digitálního modelu světelně technických podmínek ve více softwarech k tomu určených. Těmi jsou Velux Daylight visualizer [1], Světlo+ [2], Wdls 5.0 [3], Dial+ [4], Revit Autodesk [5] a WAL 1.1 [6]. Pomocí těchto nástrojů jsou stanoveny parametry denního osvětlení. V obecné části jsou pak shrnuty teoretické základy světelné techniky, základy měření, výpočtů a požadavků na denní osvětlení. Cílem práce je tedy kromě zjištění úrovně denního osvětlení i vzájemné vyhodnocení naměřených hodnot a hodnot normovaných. Dále je předmětem diplomové práce posouzení výstupů ze zmiňovaných programů i s porovnáním samotných programů z hlediska uživatelského rozhraní, relevantnosti výsledků a dalších podstatných parametrů pro správný výběr počítačového nástroje k vyhodnocení osvětlenosti prostorů.

Klíčová slova

Denní osvětlení, základní škola, kmenová učebna, měření, jas, osvětlenost

Determination of daylight in a primary school using different methods

Anotation

Presented thesis deals with condition assessment of the existing elementary school building in terms of daylight. For assessment were selected classrooms fit for particular purposes classrooms. Assessment will be based on measurement and digital model. Only photometric parameters are measured due to the strict conditions necessary for daylight. For this purpose were used lux meters and luminance meters. The values of the selected parameters are specified with the help of professional samplers. Another assigned task is creating a digital model of photometrical conditions in various software used for this purpose. These are Velux Daylight visualizer [1], Světlo+ [2], Wdls 5.0 [3], Dial+ [4], Revit Autodesk [5] and WAL 1.1 [6]. With these tools are established parameters of daylight. In the general part are summarized theoretical basics of lighting technology, measurement basics, calculations and requirements for daylighting. The aim of thesis is to find the level of daylighting and mutual evaluation of the measured values and standardized values. The subject of this thesis is also assessing the outcomes of the above mentioned software and comparing themselves with software in terms of user interface, the relevance of the results and other essential parameters for proper selection of computer tools to assess illuminance areas.

Key words

Daylighting, primary school, purpos classroom, measurement, luminance, illuminance

ÚVOD

Slunce hraje v lidském životě zásadní roli po celou dobu naší existence. Když zanedbáme stále se zvyšující význam využití solárních energetických zisků, pak je pro nás Slunce především zdrojem denního světla. Nedostatečné množství přirozeného světla nebo nesprávně vytvořené světelné prostředí vede k mnoha zdravotním problémům a celkovému snížení komfortu. Spektrální složení denního světla je totiž natolik jedinečné, že neexistuje umělý zdroj, který by ho dokázal nahradit. Z toho důvodu je zohlednění světelných podmínek v prostoru budov i v současnosti neopomenutelným parametrem při jejich návrhu.

Vědci v poměrně nedávné době potvrdili duální funkci oka [28], stejně jako ucho je centrum slyšení a zároveň je centrem stability, oko má kromě primární funkce zraku i nevizuální funkci. Speciální buňky v oku reagují na množství světla a umožňují tak správnou stabilizaci vnitřního biologického rytmu člověka podle vnějšího času. Přísun přirozeného světla stimuluje produkci serotoninu a dopaminu v lidském těle. Tyto biologické látky mají mimo jiné příznivý vliv na schopnost soustředění, celkovou motivaci a zvyšují klid. Proto je přiměřené množství světla přímo úměrné potřebě soustředění. Naopak jejich nedostatek vyvolává únavu, stres, deprese a migrény, tyto projevy jsou nejvíc patrné v zimních měsících, kdy se lidem vlivem nižší intenzity světla snižuje množství serotoninu a dopaminu v těle a zvyšuje hladina spánkového hormonu melatoninu.

Toto by byly samy o sobě dostatečné důvody k zohledňování světelných podmínek již v architektonických studiích. Denní světlo má však logicky vliv i na spotřebu elektrické energie, kdy jeho využíváním a správným návrhem lze omezit potřebu umělého osvětlení a tím i elektrické energie.

Zvoleným tématem diplomové práce je, jak vyplývá z textu, denní osvětlení budov, kterému jsem se věnovala i v bakalářské práci. Práce si vytyčuje za úkol zjištění kvality prostředí z hlediska vidění za pomoci měření vybraných světelně technických parametrů. Měření činitele denní osvětlenosti nebylo provedeno z důvodu neopomenutelných normou stanovených podmínek pro možné uskutečnění průkazného měření, které jsou jen velmi nesnadno dosažitelné. Obzvláště rovnoměrně zatažená obloha v zimě, která se dá považovat za plošný zdroj světla, nastává jen několik dní v roce, podrobněji budou podmínky vysvětleny v dalších kapitolách. Kvalitu vnitřního

osvětlení ovlivňují okenní otvory, jejich velikost, orientace a neopomenutelné jsou i samotné vlastnosti výplně otvoru. Denní světlo v budovách se skládá z několika složek a to kromě přímého a rozptýleného i světla odraženého od povrchů. Právě řešení vnitřních povrchů je důležitým aspektem hodnocení, ať už jde o jejich barevnost, lesklost apod.

S rozvojem naší společnosti po elektrotechnické stránce jde ruku v ruce i širší nabídka softwarů soustřeďujících se v různém rozsahu na tuto problematiku. Vývoji těchto programů nahrává i zmiňovaná obtížnost měření, která zvyšuje potřebu vytvářet umělé modely. Proto je značná část textu věnována popisu vybraných programů, práci s nimi a následně vyhodnocení nejen výstupů ze simulací, ale i jejich vlastností podstatných pro uživatele.

Abych se při zvolených tématech měření světelných podmínek a vyhodnocení vybraných softwarů nepohybovala jen v rovině teorie, budou zvolené postupy aplikovány na stávající budovu. Na rozdíl od předcházející bakalářské práce, kde jsem se věnovala bytovému domu, se nyní zaměřím na školní instituci, jež bude podrobněji popsána v následujících kapitolách.

Tato práce by měla, kromě primárně stanovených cílů, do určité míry upozorňovat na význam denního světla ve vnitřním prostředí. Vyzdvihnout, že vnitřní klima budov, do jehož kvality světlo velkou měrou přispívá, je na stejné úrovni důležitosti jako energetická efektivnost. Rozhodně by se tedy kvalita světelného prostředí neměla podřizovat úsporným řešením.

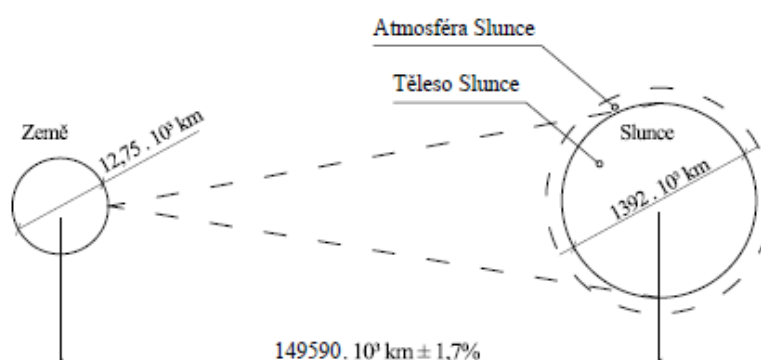
1 OBECNÉ PRINCIPY SVĚTELNÉ TECHNIKY

1.1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Světlo je elektromagnetické záření, které je viditelné lidským zrakovým systémem. Přesněji řečeno je námi viditelné světlo pouze určité rozmezí z celého spektra elektromagnetického vlnění. Obecně je zdrojem elektromagnetického záření transformace energie v atomech svítícího tělesa a je popisováno vlnovou délkou λ (m) či frekvencí f (Hz), tyto fyzikální parametry jsou závislé na rychlosti světla respektive záření ve vakuu ($c_0 = 2,998 \cdot 10^8$ m.s⁻¹) a platí pro ně vztah:

$$\lambda = c_0 \cdot f^{-1} \quad (m) \quad (1)$$

Ve Slunci, představiteli přírodního zdroje elektromagnetického vlnění, vzniká záření termonukleárními reakcemi. Slunce je zdrojem světla a tepelného záření na Zemi a jen díky němu mohl vzniknout život. Země spolu s dalšími planetami obíhá okolo Slunce. Vrchní vrstva naší hvězdy je tvořena vrstvou chromosféry a koróny, v chromosféře vznikají chromosférické erupce vnikající velkou rychlostí do koróny. Námi vnímaným povrchem je vrstva neprůhledného plynu v plazmatickém stavu, nazývaná se fotosféra. V dalších dvou oblastech probíhá přenos energie prouděním a zářením a pod těmito vrstvami se nachází jádro Slunce, ve kterém probíhají termonukleární reakce. Teplota fotosféry je určena hodnotou 5710 K, což se blíží teplotě absolutně černého tělesa. Toto těleso dokonale pohlcuje záření, ale zároveň je dokonalým zářičem. Při nízkých teplotách se nám takové těleso jeví jako černé.



Obr. 1 – Rozměrové charakteristiky Slunce a Země

V jeho jádru se přeměňují atomy vodíku (H) v atom hélia (He). Při této transformaci odeberou jaderné síly protonu část jeho váhy a ta je přeměněna na záření putující jako foton k povrchu Slunce a dále do vesmíru. Hmotnost výsledného hélia je tudíž menší než hmotnost vodíku vstupujícího do reakce. Tuto přeměnu hmotnosti na energii popsal

Einstein v jeho teorii relativity o přeměně hmoty na energii popsané vztahem, kde m_i je hmotnost daného prvku (kg), W je vlastní energie daného prvku (J), která závisí na čtverci rychlosti světla ve vakuu c_0 :

$$W = m_i \cdot c_0^2 \quad (J) \quad (2)$$

Cesta fotonu k povrchu je velice složitý proces trvající velice dlouhou dobu. V jádru Slunce je uvolněná energie ve formě tvrdého rentgenového záření, při cestě k povrchu slunce je foton rozdroben a výsledně je vyzářena energie v širokém spektru vlnění. Vesmírem se tedy záření přenáší jako proud fotonů, tyto částice elektromagnetického vlnění kmitají, s rychlejším kmitáním mají menší vlnovou délku a zvyšuje se jejich energie. Nejenergičtější je gamma záření následováno rentgenovým zářením, ty jsou odkloněny od dopadu na Zemský povrch jeho magnetickým polem. V rozmezí vlnových délek od 100 nm do přibližně 1400 nm se pohybuje optické záření. Vlnění s pomalejší frekvencí se nazývá rádiové vlny, toto záření je pohlcováno oxidem uhličitým a vodní párou a je tedy spjato s globálními změnami teplot.

Optické záření se dělí na ultrafialové (UV) v rozmezí $\lambda = 100$ nm do 400 nm. Oblast ultrafialového záření se dělí na 3 oblasti: A ($\lambda = 315 - 380$ nm), B ($\lambda = 280 - 315$ nm) a C ($\lambda = 100 - 315$ nm). Toto optické záření má tedy vlnové délky kratší, než jsou vlnové délky námi viditelného světla. Zároveň je toto záření zdravotně nebezpečné lidským očím a kůži, proto je pro lidstvo štěstím, že je z velké části zachycované ionosférou a ozonem. Ultrafialové záření je sice vnímáno jako škodlivé, ale má i svou kladnou stránku, právě toto záření likviduje choroboplodné zárodky a světlo je tudíž možné vnímat jako baktericidní.

Námi viditelné spektrum optického záření (světlo) zaujímá pouze úzkou oblast z celé škály záření a to $\lambda = 380$ nm – 780 nm. Zmíněné rozmezí je smluvně stanoveno CIE (International Commission on Illumination – Mezinárodní komise pro osvětlování) jako meze citlivosti zraku tzv. *standardního fotometrického pozorovatele*. Škála citlivosti byla standardizována, protože každá osoba má jinou citlivost a navíc závisí na zářivém toku dopadajícím na oko. Záření v tomto spektru způsobuje zrakový vjem, a to i jeho barevnost. Každé monofrekvenční záření, tedy záření o stejném kmitočtu, vyvolává určitý barevný počitek, z toho důvodu se toto záření nazývá monochromatické. Na základě monochromatického záření lze viditelné spektrum záření rozdělit na oblasti reprezentující určitou barvu. Toto snadno demonstruje rozklad světla optickým hranolem, jev popsany

již Newtonem, kdy je bílé světlo procházející hranolem rozloženo na barevné spektrum a druhý hranol ho opět skládá na světlo bílé. Lidské oko reaguje na každé barevné spektrum s jinou citlivostí, kdy nejcitlivější je na světlo žluté. Bílé světlo se skládá z následujících barev o uvedených vlnových délkách:

fialová (380 – 436),	žlutá (566 – 589),
modrá (436 – 495),	oranžová (589 – 627),
zelená (495 – 566),	červená (627 – 780).

Nejdelší vlnovou délku optického záření má infračervené záření (IR), které pro nás není viditelné, ale vnímáme ho jako působení tepla. Stejně jako UV záření je IR děleno na tři pásma A ($\lambda = 780 - 1400$ nm), B ($\lambda = 1,4 - 3$ μm) a C ($\lambda = 3 - 1\,000$ μm).



Obr. 2 – Schéma rozdělení elektromagnetického spektra [25]

1.2 ZRAKOVÝ SYSTÉM

Vzhledem k tomu, že se věnuji hodnocení denní osvětlenosti na základní škole, je vhodné znát funkce oka, které se během dospívání vyvíjí. Zároveň je znalost funkcí oka v závislosti na denním světle dobré znát, protože naznačují význam světla pro člověka.

1.2.1 Oko

Primární funkcí zrakového systému je vidění, přesněji definováno jako interpretace světelných podnětů, tedy jejich příjem, přenos a zpracování. Pomocí vidění nejsnadněji dostáváme informace o prostředí, ve kterém se nacházíme. Cílem vidění je poznávání kontrastu, barevnosti a tvarů. Celý systém se skládá z oka (fotoreceptorů), zrakových nervů a podkorové a korové části mozku.

Vnější orgánem zraku je oko, které je uloženo v dutině očnice a chrání ho oční víčka. Vnitřní prostor oční koule, vyplněný komorovou vodou a sklivcem, je ohraničen stěnou oka tvořenou třemi obaly bělimou, cévnatkou a sítnicí. Vnější obal bělima dává oku charakteristickou bílou barvu, jelikož se jedná o bílou tkáň, na kterou v přední části navazuje rohovka. Na další obal z krevních cév navazuje pod rohovkou duhovka a tělísko, na kterém je ukotvena čočka. Sítnice je tvořena několika buněčnými vrstvami, nejdůležitější vrstvu tvoří tyčinky a čípky. Na výstupu zrakového nervu se nachází slepá skvrna, slepá protože tam nejsou fotoreceptory. Schéma stavby oka je na obrázku 3.

Obecně je oko smyslový orgán převádějící světelné vjemy do nervových impulsů přenášených do mozku. Oko nejen že zajišťuje vnímání světla, ale i jeho kvalitu, tvar prostoru, pohyb a prostorové rozložení předmětů.



Obr. 3 – optický systém oka [23]

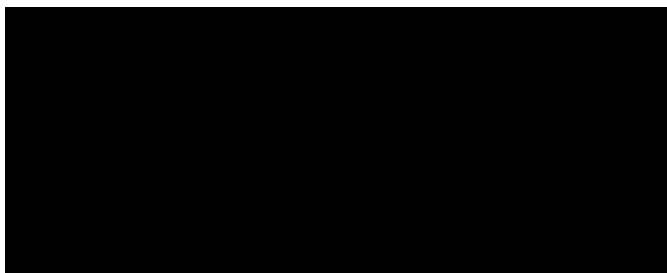
Vlastní proces vidění probíhá ve chvíli, kdy světlo z pozorovaného předmětu dopadne na oko, jeho část se odrazí a část projede rohovkou a zalomí se. Protože se oko skládá z více opticky odlišných prostředí (rohovka, sklivec a čočka), světlo se zalomí vícekrát a pomocí těchto lomů dopadne na sítnici, podstatný lom je na rozhraní vzduchu a rohovky. Sledovaný podnět promítnutý na plochu sítnice, kde jej zachytí světločivné buňky. Chemickým procesem se světlo dopadající na fotoreceptory (tyčinky, čípky) přemění na elektrické nervové impulsy. Obraz na sítnici je převráceným a zmenšeným

obrazem skutečnosti. Z obou očí vedou dva zrakové nervy z vnitřní a z vnější poloviny sítnice, ty se pak dále kříží a vedou k opačným mozkovým hemisférám. Konečným procesem si mozek obraz spojí a převede do skutečného zobrazení. Křížením těchto nervů, respektive díky dvěma obrazům z levého a pravého oka, máme schopnost prostorového vnímání.

1.2.1.1 Vizualní funkce oka

Světločivné buňky v sítnici oka (tyčinky, čípky) umožňují vidění při různých intenzitách jasu. Jedná se o duplicitní vidění, kdy během dne když je dostatečné množství světla pracují čípky – fotopické vidění a za šera se zapojuje druhý systém skotopické vidění – tyčinky. Vidění mezi skotopickým a fotopickým viděním ve chvíli přechodu jasu mezi nimi, se nazývá mezopické vidění.

Se změnou intenzity světla se mění i schopnost rozlišovat barvy. Křivky na obrázku 4 znázorňují citlivost oka na světelné spektrum při fotopickém (při adaptaci na světlo) a skotopickém (při adaptaci na tmou) vidění. Skotopické vidění tedy pokrývá téměř celé viditelné spektrum, kdežto tyčinky prakticky nereagují na červenou barvu. Vidění barev tedy zajišťují čípky, jsou tři typy čípků S, M a L. Tyto čípky mají odlišnou spektrální citlivost: S – modrá, M – zelená, L – červená. Tyto křivky $V(\lambda)$ a $V'(\lambda)$ popisují již zmíněného standardního fotometrického pozorovatele a jsou mezinárodně respektovány.

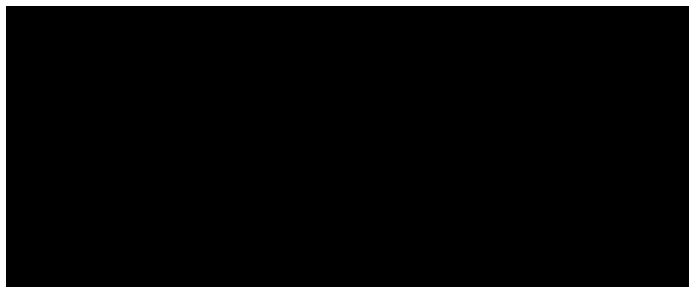


Obr. 4 – Spektrální citlivost oka, plná čára – fotopické vidění, čárkovaná – skotopické vidění [28]

1.2.1.2 Nevizuální funkce oka

Vědci byla v roce 2002 prokázána takzvaná nevizuální funkce oka [28]. Jedná se o předání informace o přítomnosti či absenci světla do mozku bez jakéhokoliv obrazu. Tato informace je detekována světločivnou buňkou v sítnici oka, jedná se tedy o třetí fotoreceptor na sítnici vedle tyčinek a čípků. Když tyto buňky, nazvané ipRGCs (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells), zaznamenají světlo, dojde k chemické reakci. Fotoreceptory ipRGCs mají vlastní nervové spojení se

suprachiasmatickým jádrem (SCN), což je centrum řízení vnitřních hodin člověka. Tyto hodiny zajišťují správné střídání spánku a bdění a dalších fyziologických a behaviorálních procesů v těle. Citlivost ipRGCs se liší pro různé vlnové délky světla a zároveň je odlišná oproti citlivosti čípků, což znázorňují křivky na obrázku pět.



Obr. 5 – Křivka spektrální citlivosti oka, červená čára – fotopické vidění, modrá – předpokládaná citlivost pro nevizuální systém vidění [28]

1.2.1.3 Adaptace

Oko má samozřejmě schopnost přizpůsobit se různým osvětlenostem, tato vlastnost se nazývá adaptace. Rozmezí osvětlenosti, při níž je umožněna viditelnost, je 0,25 až 100 000 lx. Adaptace probíhá změnou průměru zornice, nervovou adaptací na sítnici a fotochemickou adaptací. Zrakový systém se z vyšších osvětleností a jasů přizpůsobuje na tmou zvětšením zornice. V opačném případě, když si oko zvyká na světlo, se zornice zmenšuje. Čas adaptace je závislý na fotochemické adaptaci. Při zvýšení jasu dochází k rozkladu zrakových pigmentů, to probíhá během 1 minuty. Na přechod ze světla do šera se adaptujeme delší dobu až 40 minut, tvorba sítnicových pigmentů je delší proces. Jas a vlnová délka světla, na které se oko musí adaptovat, je spolu s parametry světla dříve navyklé oku hlediskem ovlivňujícím rychlost adaptace oka. Pigmenty reagují různě na jednotlivé typy monochromatického záření, pokud je zapotřebí rychlého navyknutí na šero je vhodné použít osvětlení červeného spektra světla apod. Oko je schopno i adaptace na barvy, která probíhá při změně spektrálního složení světla.

1.2.1.4 Akomodace

Zaostřování na různě vzdálené předměty je označováno jako akomodace. Zaostřování probíhá změnou mohutnosti oka, která je měřená v dioptriích (D). Schopnost akomodace s věkem klesá. Nejmenší vzdálenost, na kterou jsme schopni zaostřit, je přibližně 9 cm, takový bod se nazývá blízký bod. Jeho protipólem je vzdálený bod, tedy nejvzdálenější bod, na který je oko schopno zaostřit. Rozsah akomodace je počítán jako rozdíl převrácených hodnot vzdálenosti blízkého r_1 (m) a vzdáleného bodu r_2 (m).

$$\text{Rozsah akomodace} = 1/r_1 - 1/r_2 \quad (D) \quad (3)$$

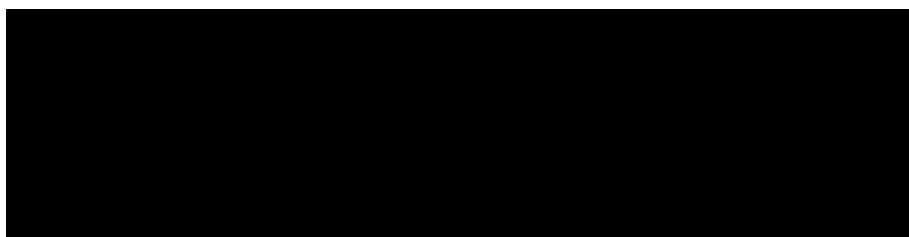
1.3 DENNÍ OSVĚTLENÍ A JEHO VLIV NA LIDSKÉ ZDRAVÍ

Lidský vývoj probíhal po miliony let pouze za přístupu přírodního slunečního světla, jemuž se člověk podřizoval. Náš organismus se tedy dokonale přizpůsobil slunečním výkyvům, a to jak denním, tak i ročním. Průběh života byl podřízen střídání dne a noci, během dne byl člověk aktivní a usínal se setměním. Touto oscilací dne a noci se vytvořila určitá rytmizace našeho organismu, která je synchronizována s vnějším prostředím v přibližně 24 - hodinovém cyklu. Délka tohoto tzv. cirkadiánního rytmu se u jednotlivců různí, ale v průměru činí 24,2 hod. Cirkadiánní rytmus je ovlivňován koncentrací melatoninu v těle produkovaný epifýzou. Sluneční svit zachycený okem (viz nevizuální funkce oka - ipRGCs) dá signál epifýze a tvorba melatoninu klesá a opačně. Cirkadiánní biorytmus nesouvisí pouze se střídáním bdění a spánku, ovlivňuje i další tělesné procesy jako tvorbu hormonů v těle, tělesné teploty, tlaku atd. Typů biorytmů je více a dělí se dle rytmizace, například biorytmus o roční periodě se nazývá cirkanuální. Citlivost lidského oka je rovněž uzpůsobena nejlépe spektrálnímu složení slunečního světla.

Dalo by se namítat, že oheň člověk ovládá již po sta tisíce let a po stejnou dobu již logicky lidé nejsou závislí na denním světle. Ovšem světlo ohně vytváří jen slabé osvětlení, navíc byla dřívější populace více spjata s přírodou a byla nucena trávit většinu času mimo obydlí především kvůli obstarání potravy.

Se zpřístupněním olejových lamp do domácností se situace změnila. Aktivní část dne se prodloužila. S průmyslovým rozvojem vznikaly další umělé zdroje světla a s nimi se den neprodlužoval jen v domácnostech, ale především i v průmyslu, kde se zavedl vícesměnný provoz. Velká část populace se během průmyslové revoluce v období od 18. do 19. století přesunula z venkovního prosluněného prostředí do umělých prostředí budov. Mezinárodní zdravotnická organizace (WHO) uváděla již před 30 lety, že statisticky lidé tráví 90% času v umělém prostředí budov či dopravních prostředcích [25].

Tím vším se narušuje cirkadiánní rytmus. Poruchy tohoto rytmu úzce souvisejí s poruchami spánku a řadou psychických nemocí.



Obr. 6 – Průběh koncentrace hormonů, aktivity a tělesné teploty ve dvou dnech [28]

1.4 VELIČINY VE SVĚTELNÉ TECHNICE

V následujícím textu jsou popsány pouze vybrané veličiny světelné techniky, které jsou relevantní pro obsah předkládané práce.

Osvětlenost

Tato fyzikální veličina je nejvíce používaným kritériem při hodnocení světelně-technických podmínek. Hodnotu světelného toku $d\Phi$ dopadajícího na jednotkovou plochu o velikosti 1 m^2 popisuje osvětlenost E . Ta je udávána v luxech (lx), které představují světelný tok o velikosti 1 lumenu rozloženém na ploše 1 čtvereční metru a je definována vztahem, kde $d\Phi$ je osvětlenost dopadající na plochu dS :

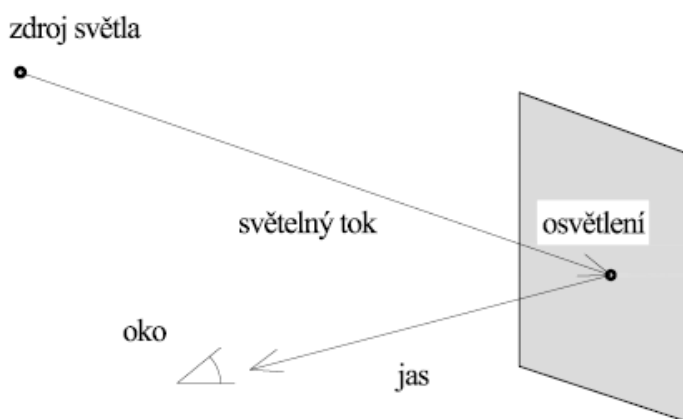
$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (\text{lx}) \quad (4)$$

Ve světelné technice je důležitá horizontální exteriérová osvětlenost E_H (lx). Tato veličina představuje oblohovou osvětlenost dopadající na vodorovnou rovinu, která není zastíněná.

Jas

V případě, že světlo je emitováno plochým zdrojem světla nebo je odraženo difúzní plochou v určitém směru, jedná se o jas. Z toho vyplývá, že pro jas není podstatné, jestli je světlo vyzářeno přímo ze zdroje nebo je odraženo, závisí však na směru pozorování. Tato fotometrická veličina v nás vyvolává zrakový počitek, oko reaguje na kontrast jasu. Jas L (cd/m^2) je důležitou charakteristikou plošných zdrojů a je formulován jako poměr světelného toku $d\Phi$ (lm) dopadajícího na plochu dS (m^2) pod úhlem θ ($^\circ$) v prostorovém úhlu $d\Omega$ (srad).

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot \cos\theta \cdot dS} \quad (\text{cd}/\text{m}^2) \quad (5)$$



Obr. 7 – Popis jasu

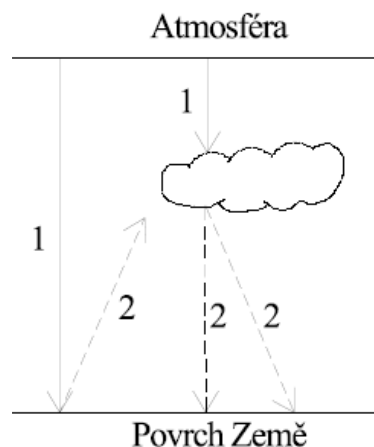
Odraz a prostup světla

Odraz neboli reflexe se projevuje odrazem záření od povrchu, na nějž světlo dopadá. V případě, že je paprsek odražen podle známého zákona, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu, jedná se o zrcadlový odraz. Pokud je odražené světlo rozptýleno do více směrů, hovoříme o difuzním odrazu buď rovnoměrně rozptylném, nebo směrově rozptylném, kdy v jednom směru je odraženo větší množství světla. Existuje i kombinace zrcadlového a rozptylného odrazu tzv. smíšený odraz. Část záření je i hmotou pohlceno a přeměněno na tepelnou energii. Při tomto odrazu se mění složky monochromatického záření a barva odraženého záření se mění. Z toho plyne, že pro popis reflexe jsou podstatné vlastnosti odrazné plochy.

Prostup je fyzikální jev, během něhož nedochází při prostupu prostředím ke změně frekvence záření. Projde-li záření bez rozptylu, jde o přímý prostup a v opačném případě o rozptylný prostup a to rovnoměrný nebo směrově rozptylný. Přímý a rovnoměrný rozptylný prostup jsou v podstatě jen teoretické situace, jelikož při přímém prostupu je vždy nějaká jeho složka rozptýlena. Proto se drobné odchylky zanedbávají. Při prostupu světla dochází i k jeho částečné absorpci.

1.5 DENNÍ SVĚTLO

Prostupem mimozemského záření zemskou atmosférou dojde k jeho přeměně, lidským okem viditelná část optického spektra záření se rozdělí na přímé sluneční paprsky a difuzní složku světla. Atmosféra je složena z několika vrstev, pro světelnou techniku je podstatné, že molekuly vzduchu a především aerosoly (popel, prach, vodní pára atd.) v ní obsažené oslabují sluneční světlo. V závislosti na zakalení atmosféry a nehomogenosti oblaků se mění velikosti složek denního světla.



Obr. 8 – Přehled rozkladu denního světla

1-přímé světlo pohlcené atmosférou, 2-difuzní světlo různě odražené či rozptýlené

Přímé sluneční světlo se tedy dostává jako svazek paralelních slunečních paprsků na zemský povrch, aniž by prošlo změnou směru. Difuzní složka světla vzniká odrazem od povrchů a oslabením zakalenou oblohou či oblaky. Přímé sluneční paprsky spolu s rozptýleným světlem vytváří na Zemi denní osvětlenost někdy nazývanou globální osvětlenost E_g (lx). Z toho vyplývá, že její hodnota je dána součtem osvětlenosti přímým slunečním světlem E_s (lx) a osvětlenosti od oblohového difuzního světla E_{ob} (lx).

$$E_g = E_s + E_{ob} \text{ (lx)} \quad (6)$$

1.5.1 Typy standardizovaných obloh dle CIE

Množství a kvalita přírodního světla dopadajícího na zemský povrch je silně ovlivněna aktuálním počasím, zakaleností atmosféry a na hodině a datu. Tento stav je tedy velice proměnlivý v závislosti na typu oblačnosti, se kterou se mění parametry pro výpočet osvětlenosti. Například při přechodu oblačnosti je dynamika změn nehomogenity mraků poměrně rychlá a s takovými změnami se nedá počítat. Bylo tedy nutné zavést modelovou situaci, na jejímž základě je možné provádět výpočty. Obloha může být jasná, polojasná, oblačná a tak dále, je zřejmé, že jeden model by nemohl vystihnout všechny charakteristické stavy oblohy. Počítá se tedy s oblohami dle CIE, jedná se o konvenčně určený stav oblohy. V poslední době se prováděl výzkum, který vedl k vytvoření 15 modelů obloh, zatím však není pevně ukotven v normách.

1.5.1.1 *Rovnoměrně zatažená obloha při tmavém terénu*

Pro hodnocení množství denního osvětlení se pracuje s modelem zatažené oblohy v zimě. Model vychází z nejnepříznivějších podmínek denní oblohy, je tudíž jasné, že v případě kladného vyhodnocení budou vyhovovat i všechny ostatní modely. Zatažená obloha při tmavém terénu vylučuje přístup přímých slunečních paprsků a je tudíž nezávislá na poloze Slunce. Model počítá pouze s rozptýleným světlem vícenásobně odraženým mezi povrchem Země a oblaky. Homogenita oblaků vytváří dojem mléčné oblohy, kterou je tak možné uvažovat jako plošný zdroj světla, který je ovlivňován vlastnostmi terénu. Významným parametrem je zde činitel odrazu popisovaný jako poměr světelného toku odraženého a dopadajícího. Tmavý terén je definován činitelem odrazu v rozmezí $\rho_t = 0 - 0,3$ (-). Souvislost mezi jasnem oblohy $L_{(\varepsilon)}$ (cd/m^2) ve směru úhlu nad horizontem $\varepsilon_{(0)}$ a průměrnému jasem celé oblohy L_m (cd/m^2) je definována vztahem (7).

$$L_{(\varepsilon)} = L_m \cdot q \quad (7)$$

Tento vztah platí při tmavém i zasněženém terénu. Činitel gradovaného jasu q (-) je obecně definován jako poměr jasu oblohy ve směru úhlu ε ku průměrnému jasu celé oblohy L_m (cd/m²):

$$q = \frac{L(\varepsilon)}{L_m} \quad (8)$$

Při tmavém terénu se uvažuje s gradací jasu 1:3, kde je poměr jasů v horizontu k zenitu 1:3. Pro tento model tmavého terénu je činitel gradovaného jasu stanoven dle vztahu:

$$q = \frac{3}{7}(1+2\sin\varepsilon) \quad (9)$$

1.5.1.2 Rovnoměrně zatažená obloha při zasněženém terénu

V oblastech s nadmořskou výškou nad 600 m. n. m. s pravidelně zasněženým terénem je pro výpočet či měření denního osvětlení užíváno modelu s rovnoměrně zataženou oblohou při zasněženém terénu, označovanou jako obloha s gradací jasu $L_h : L_z = 1 : 2$. Rozdílem mezi tímto a předcházejícím modelem je v hodnotě činitele odrazu, který při zasněženém terénu činí $\rho_t = 0,5 - 0,85$. Jas oblohy $L(\varepsilon)$ je popsán vztahem (7). A v závislosti na činiteli odrazu je upraven vzorec pro činitel gradovaného jasu:

$$q = \frac{3}{5}(1+\sin\varepsilon) \quad (10)$$

Ve skutečnosti tyto podmínky, ze kterých standardizovaný model zatažené oblohy vychází, nastávají jen několikrát do roka. Na základě dlouhodobého měření horizontální osvětlenosti E_h bylo stanoveno, že v období od listopadu do března je těchto dnů v průměru 40.

1.5.1.3 Jasná obloha

Další typ oblohy, který se zdá být nasnadě, je jasná obloha. Parametry tohoto typu oblohy, však nejsou pevně ukotveny v rámci norem. Zavedení této typizované oblohy by bylo možné využívat při hodnocení kvality denního osvětlení. Jasná obloha je závislá na poloze Slunce nad horizontem. Nejedná se již o zataženou oblohu vytvářející rovnoměrně rozložený jas, ale naopak má jas svá minima a maxima. Aerosoly obsažené v atmosféře zvyšují její jas, naopak suchá atmosféra snižuje jas.

2 PRINCIPY A PARAMETRY DENNÍHO OSVĚTLENÍ

Současná populace se v interiérech budov zdržuje po většinu svého života, a přestože vývoj umělého osvětlení postupuje mílovými kroky, je zapotřebí zajistit v obytných místnostech dostatečný přísun přírodního světla. Důvodů proč toto kritérium dodržovat je hned několik. Jedním z nich je hygienické, tedy z hlediska lidského zdraví, s tím souvisí zajištění správných podmínek pro možnou funkčnost, který daný prostor má. Z finančního hlediska jde o využití sluneční energie jakožto přírodního zdroje energie, který nás nic nestojí.

Pokud mluvíme o denním osvětlení, pak se jedná o dostatečné množství či kvality rozptýleného oblohového světla v interiérech. Na rozdíl od proslunění se neuvažuje přímé sluneční světlo a pracuje se zde s modely rovnoměrně zatažené oblohy, představující plošný zdroj světla. Výsledný stav osvětlenosti v prostorách budov ovlivňuje nejen stav oblohy, ale i okolní zástavba, celková dispozice posuzované místnosti atd.

Pro posuzování jsou relevantní školní učebny s trvalým pobytem lidí, ve světelné technice je definice trvalého pobytu stanovena jako pobyt probíhající více než jeden den v týdnu po dobu trvající více než 4 hodiny denně. Jmenovitě jsou stanoveny prostory, ve kterých denní osvětlení musí být zajištěno a to v obytných místnostech bytů, hotelové pokoje, denní místnosti mateřských škol, vyšetřovny a lůžkové prostory nemocnic, denní místnosti a jídelny pro uživatele vnitřních prostor bez přístupu denního světla a kmenové učebny škol. Obecně by se denní osvětlení mělo být snaha zajišťovat světlo tam, kde je prospěšné pro obyvatele. Limity denního osvětlení jsou stanoveny normou ČSN 73 0580 Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky [7] a ČSN 73 0580 – 3 Denní osvětlení budov Část 3: Denní osvětlení škol [8].

Lze hodnotit jak množství, tak i kvalitu světla. Světelný tok prochází osvětlovacími otvory a je odražen od povrchů v interiéru budov, čímž je zesílen výsledný světelný tok, chápáný jako množství denního světla. Kvantita světla se vyhodnocuje na základě splnění normou daných limitů při gradaci jasu CIE 1:3 (resp. CIE 1:2). V rámci kvality osvětlení je sledována rovnoměrnost osvětlení, rozložení světla a jasu v prostoru a sleduje se i možnost vzniku oslnění. Posuzování kvality je problematičtější, protože je narušována výkyvy v oblačnosti nebo při jasné obloze vlivem přímých slunečních paprsků často dochází k oslnění, které při zatažené obloze nenasává. Navíc není jeho hodnocení jasně stanoveno normou.

2.1 ČINITEL DENNÍ OSVĚTLENOSTI

Jako kritérium pro hodnocení kvantity denního osvětlení je užíván činitel denní osvětlenosti D (%). Jedná se o poměr osvětlenosti E (lx) v interiéru a současné exteriérové osvětlenosti E_h (lx) na nezastíněné vodorovné rovině. Obecně se uvažuje možnost využívat denní světlo do hodnoty $E_h = 5000$ lx. Vzorec (11) je používán v případě, že jsou jednotlivé osvětlenosti stanoveny měřením, podrobněji o měření osvětlenosti viz kap. 3 Měření denního osvětlení.

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad (\%) \quad (11)$$

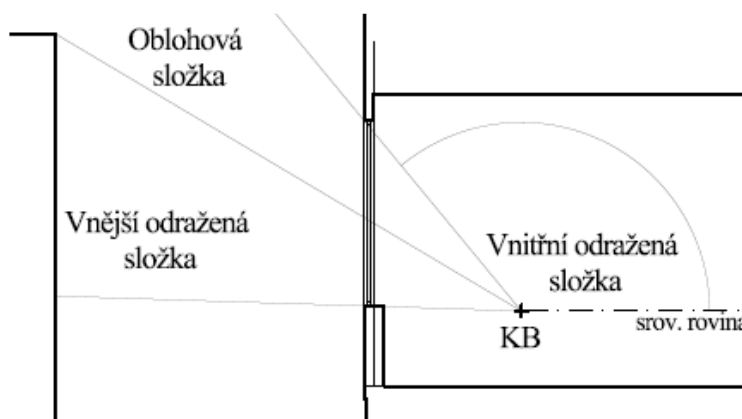
Limitní hodnoty činitele vycházejí z hygienických kritérií a z náročnosti zrakového úkonu, případně i věku uživatelů prostoru. Obtížnost zrakového úkonu se stanovuje na základě poměrné pozorovací vzdálenosti, vyjádřena poměrem vzdálenosti P (m) pozorovaného detailu a jeho velikosti d (m).

Některé místnosti je možné dle účelu rozdělit na funkční části s různou třídou zrakové náročnosti. Tím vzniká možnost odstupňovat osvětlení a posuzovat dané části dle různých limitů. Nejvýhodněji se toto užívá pro boční osvětlovací systémy.

Hodnota činitele denního osvětlení je možné stanovit pomocí měření za podmínek uměle vytvořené oblohy či skutečné rovnoměrně zatažené oblohy dle CIE, na modelu nebo reálné místnosti. Nebo se přistupuje k výpočtu za podmínek rovnoměrně zatažené oblohy. Nastolení těchto podmínek je problematické, proto se často přistupuje k výpočtu, kde se uplatňuje vztah:

$$D = D_s + D_e + D_i \quad (\%), \quad (12)$$

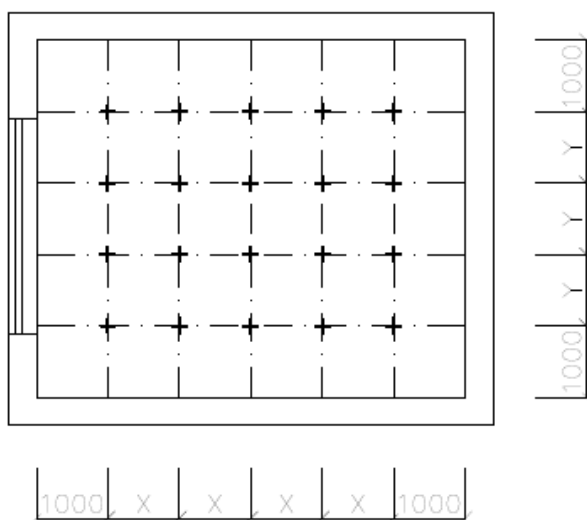
kde D_s (%) je oblohová složka, D_e (%) je vnější odražená složka a posledním členem je vnitřní odražená složka D_i (%).



Obr. 9 – Složky činitele denního osvětlení

Vztah vychází ze skutečnosti, že na posuzovanou rovinu může dopadat světlo oblohové, ale i světlo odražené od vnějších překážek nebo od ploch v rámci posuzovaného prostoru, které dohromady vytváří osvětlenost pracovní plochy. Složky činitele denního osvětlení jsou zobrazeny na obrázku 9.

Hodnocení místností z hlediska kvantity denního osvětlení je založeno na vyhodnocení minimální možné hodnoty činitele denního osvětlení. Jeho hodnoty se porovnávají v normou daných kontrolních bodech. Rozmístění těchto bodů je různé podle účelu užívání místnosti. Výškově jsou kontrolní body ukotveny v závislosti na výšce pracovní plochy, v kancelářích a učebnách je to pracovní stůl, ve sportovních halách je srovnávací rovinou podlaha atd. Zpravidla se volí výška srovnávací roviny 850 mm, případně 450 mm pro předškolní prostory apod. Pro prostory kromě obytných místností, které nejsou předmětem této práce, je nutné vytvořit síť kontrolních bodů. Pro všechny neobytné místnosti je stejná základní síť, kde od každé stěny se rovnoběžně s ní vynesou osa ve vzdálenosti 1 m a vnitřní síť se vynáší v rozteči vhodné pro daný prostor (jiná bude pro kancelář a jiná pro průmyslovou halu). V místě, kde se jednotlivé osy sítě protínají, se určuje hodnota činitele denní osvětlenosti. Minimální hodnoty činitele jsou pak určeny v závislosti na třídě zrakové činnosti, pro kmenové učebny viz Tab. 1. Vnitřní síť kontrolních bodů nemusí mít vzdálenosti x a y totožné.



Obr. 10 – Umístění kontrolních bodů v místnosti

Při výpočtu činitele denní osvětlenosti se musí zahrnout i vliv vlastností osvětlovacího otvoru, vnitřního prostoru a stínících překážek. Proto se do výpočtu zavádějí další parametry zohledňující tyto vlastnosti. Okna jsou charakterizována činitelem prostupu světla τ_s (-), činitelem znečištění τ_z (-) a činitelem ztrát světla

konstrukcí okna τ_k (-). Pro vnitřní odraženou složku je důležitým parametrem činitel odrazu světla ρ_i (-).

Pro určení činitele denní osvětlenosti pomocí výpočtu se užívá více metod. Pro určení oblohové složky D_s (%) a vnější odražené složky D_e (%) je možné užít Bodovou metodu, Daniljukovy úhlové sítě nebo Waldramův diagram. Pro stanovení vnitřní odražené složky D_i (%) se užívá Arndtův vztah nebo BRS nomogramy, kde je mimo jiné nutné znát hodnotu průměrného činitele odrazu ρ_m (-), který se stanoví na základě ploch jednotlivých měřených povrchů S_i (m²) a jejich činiteli odrazu ρ_i (-), dle vztahu:

$$\rho_m = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot \rho_i)}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (-) \quad (13)$$

2.2 POŽADAVKY NA DENNÍ OSVĚTLENÍ ŠKOL

Legislativní požadavky pro návrh a posouzení denního osvětlení určuje norma ČSN 73 0580 - 1 *Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky* [7] a ČSN 73 0580 - 3 *Denní osvětlení budov Část 3: Denní osvětlení škol* [8]. Druhá část normy je věnována obytným budovám a část číslo čtyři se věnuje požadavkům na osvětlení průmyslových budov, ty ale nejsou předmětem předkládané práce. Dodržováním daných předpisů se docílí kvalita denního osvětlení, která má přímý vliv na soustředěnost žáků, jejich celkový výkon a snižuje možnost poškození dětského zraku.

V kmenových učebnách, respektive v učebnách, jejichž užívání má charakter trvalého pobytu musí být závazně ve smyslu změny Z2 normy ČSN 73 0580 - 3 *Denní osvětlení budov Část 3: Denní osvětlení škol* [8] dostatečně osvětleny přirozeným světlem, s volbou srovnávací roviny ve výšce 0,85 m nad podlahou (pro MŠ 0,45m a sportovní prostory na podlaze). V tabulce 1 jsou uvedeny závazné hodnoty činitele denní osvětlenosti pro kmenovou učebnu v návaznosti na zrakovou činnost a vnitřní prostor, dále tabulka uvádí hodnoty rovnoměrnosti bočního denního osvětlení. Rovnoměrnost osvětlení charakterizuje kvalitu osvětlení a jedná se o podíl minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti D_{min} (%) ku maximální hodnotě činitele denní osvětlenosti D_{max} (%) v posuzovaném prostoru:

$$U = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (-) \quad (14)$$

Dále by se měla z bezpečnostních důvodů udržovat minimální osvětlenost ($D_{min} = 0,1\%$) i na vnitřních únikových cestách. Tabulka rovněž uvádí průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti, ta se pro boční osvětlovací systém neposuzuje.

Tab. 1 – Třída zrakové činnosti pro kmenové učebny a činitel denní osvětlenosti

Sdružené osvětlení je možné navrhnout pouze pro vybrané výukové hodiny, parametry pro návrh tohoto typu osvětlení jsou popsány v ČSN 36 0020-1 [9]. Norma závazně ve smyslu změny Z2 ČSN 73 0580 – 3 *Denní osvětlení budov Část 3: Denní osvětlení škol* [8] povoluje použití odstupňovaného osvětlení jen ve výjimečných případech, kdy prováděná činnost je pevně svázána s dispozicí místnosti apod.

Vnitřní povrchové úpravy mají být s rozptýlnou úpravou, s chladnějším barevným řešením pro místnosti s náročnějšími pracovními úkony a pro mladší generace žáků se doporučuje naopak teplejší barevnost povrchů. Pracovní plochy se řeší vždy s rozptýlnou úpravou s odrazem světla v rozmezí 0,3 až 0,45. Povrchy tabulí se uvažují s hodnotou činitele odrazu 0,1, rovněž s rozptýlnou úpravou. Co se týče venkovního řešení, je nutné zachovat dostatečné odstupové vzdálenosti stínících prvků a hodnoty odraznosti venkovních povrchů by se měly pohybovat v rozmezí 0,3-0,6.

Okenní otvory se navrhují nejlépe jako kombinované či vícestranné boční osvětlení, obzvláště se k tomuto typu přistupuje u zrakově náročnějších činnostech. Lze-li dispozičně zvolit pouze jednostranné boční osvětlení, je nutné volit okenní otvory tak, aby se dosáhlo rovnoměrného a dostatečného osvětlení, například průběžnými otvory. Vlastnosti skel oken bočního osvětlování se volí čiré, bezbarvé a nezkreslující. Závazně jsou stanoveny limity maximálních výšek okenních parapetů: pro děti do šesti let 0,75 m, věkovou kategorii od šesti do 14 let 1,05 m a starší žáky 1,2 m.

Speciální přístup potřebují učebny s televizemi a monitory, na kterých by neměly vznikat rušivé odrazy, osvětlení nemá narušit viditelnost displeje a oslňovat.

Část textu pro osvětlení školních institucí je i ve vyhlášce č. 410/2005 Sb., *o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu*

a *vzdělávání dětí a mladistvých* [9], které vydalo Ministerstvo zdravotnictví ve spolupráci s Ministerstvem školství a Ministerstvem práce. Obsahem této vyhlášky je vyjma požadavků na osvětlení i přehled hygienických parametrů na prostorové podmínky, provoz, podmínky pro vnitřní mikroklima, vytápění, vybavení, zásobování vodou požadovaných pro školní budovy všech typů a dále stanovuje i požadavky na úklid mateřských škol. Osvětlení, a to jak dennímu, tak i umělému, jsou věnovány články 12-16, které v rámci přirozeného osvětlení v podstatě buď shrnují, nebo se odkazují na ČSN 73 0580 – 3 *Denní osvětlení budov Část 3: Denní osvětlení škol* [8].

3 CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO OBJEKTU

Praktická část diplomové práce je věnována měření denního osvětlení a vytvoření počítačového modelu rovněž z hlediska denního osvětlení.

Jako předmět řešení světelně technických poměrů byla vybrána ZŠ Kostomlaty nad Labem. Tato kapitola je věnována základnímu stavebnímu popisu objektu školy a především popisu tříd vhodných pro měření z hlediska světelné techniky.

3.1 STAVEBNÍ POPIS ZÁKLADNÍ ŠKOLY

Seznam vstupních podkladů: Technická zpráva stavební části, kterou zpracoval Ing. Jan Tupý a výkresy jednotlivých pavilonů dostupných na obecním úřadu Kostomlaty nad Labem, katastr nemovitostí, vlastní zaměření na místě.

3.1.1 Identifikační údaje

Název stavby: ZŠ Kostomlaty nad Labem

Místo stavby: st.p.č. 27/1-10, k.ú. Kostomlaty nad Labem

Adresa: Školní 402, Kostomlaty nad Labem, 289 21

Správce: Obec Kostomlaty nad Labem

Rok výstavby: 1979-83

3.1.2 Popis území stavby

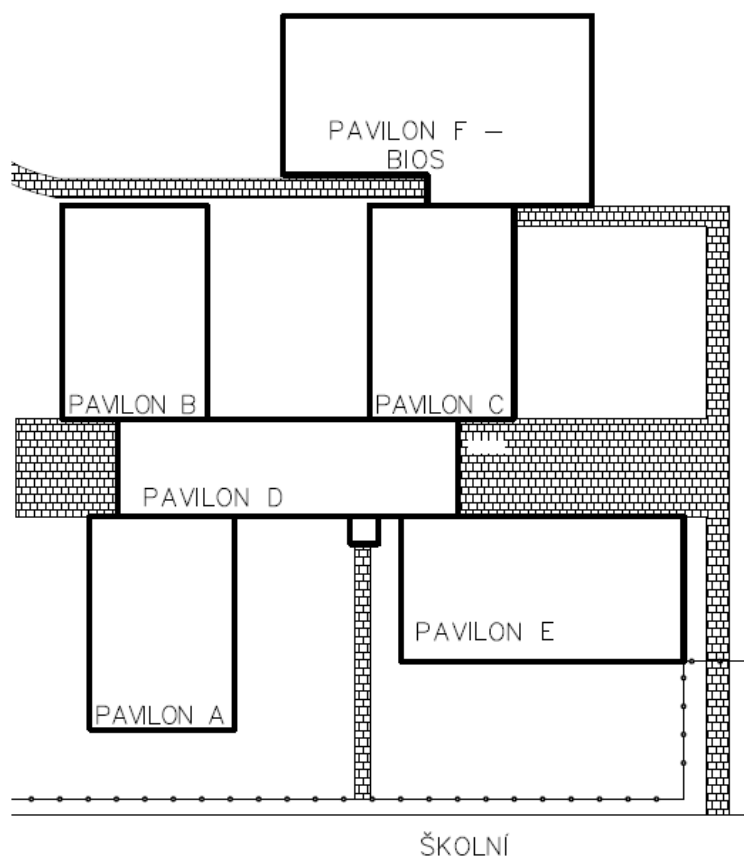
Řešené území, které se nachází v centru obce Kostomlaty nad Labem, je rovinné bez žádných zásadních stínících prvků. Z východní a jižní strany k objektu přiléhá obecní komunikace Školní. Na severní straně se nachází areál mateřské školky a na západě ke komplexu přiléhají rodinné domy. V rámci území patřící k objektu je venkovní sportovní hřiště, skleník a zahrady pro praktickou výuku. Dále je na pozemku školy

situován jednopodlažní objekt, dříve užívaný jako školní knihovna a v současnosti používán jako skladovací prostor.

3.1.3 Účel užívání stavby

Komplex je užíván pro účely základního vzdělávání dětí od věku 6 do 15 let tedy 9 tříd. Areál je složen ze šesti pavilonů vzájemně propojených. Obrázek 11 znázorňuje vzájemné návaznosti jednotlivých pavilonů. Dispozice jednotlivých pavilonů viz výkresová část:

- A – první stupeň, specializované učebny, sborovna, ředitelna, hygienické zázemí,
- B – druhý stupeň, specializované učebny, kabinety, hygienické zázemí,
- C – dílny, mimoškolní výchova (družina), hygienické zázemí pro halu BIOS,
- D – vstup, šatny, byt školníka,
- E – stravování, vstup,
- F – tělocvična – hala BIOS.



Obr. 11 – Skica situace – podrobněji viz výkresová část (A01)

3.1.4 Základní charakteristika domu

3.1.4.1 Stavební řešení

Jedná se o dvoupodlažní pavilony, vyjma haly BIOS, vstupní haly a pavilonu E, které jsou jednopodlažní. Všechny pavilony jsou nepodsklepené, pouze pavilon E má prohloubenou část, ve které je umístěna kotelna. Nosná konstrukce je tvořena ocelovým skeletem (RD Jeseník), který navazuje na zděné štitové zdi a příčky. Konstrukci sportovní haly BIOS (pavilon F) tvoří dřevěný skelet.

3.1.4.2 Základové konstrukce

Založení objektu je řešeno monolitickými železobetonovými pasy. Snížená část v pavilonu E v prostorách kotelny je tvořena železobetonovou vanou kvůli předpokládanému výskytu podzemních vod.

3.1.4.3 Svislé nosné konstrukce

Jak bylo výše zmíněno, nosný systém je tvořen prvky ocelového skeletu. Rozměry modulu v podélném směru u patrových pavilonů (A, B a C) jsou: 7,2 - 3,6 - 7,2 m, v příčném směru pak 3 m. Vazníky jsou na těchto pavilonech osově vzdáleny 1,5 m.

Pavilon určený pro stravování a kotelnu kopíruje modulové rozměry vícepodlažních pavilonů. Část vstupu a šaten má modul 2 x 6 m podélně a příčné dělení je 3,6 m a vazníky jsou ukotveny po 1,2 m. Konstruktivní výšky činí 3,3 m, 3,9 m a 4,2 m.

3.1.4.4 Vodorovné nosné konstrukce

Stropní konstrukce jsou tvořeny profilovanými plechy, které jsou zality betonovou směsí.

3.1.4.5 Zastřešení

Střecha je provedena jako plochá s živičnou krytinou, kdy skladba střešního pláště je složena z vrstev: 3x SKLOBIT, Cem. potěr dilatovaný 2 x 2 m tl. 30 mm, lepenka A500H, perlit beton ve spádu, lepenka A500H, lignopor tl. 50 mm, FOALBIT.

3.1.4.6 Příčky

Materiálem zvoleným pro příčky jsou cihly metrického formátu, ale i cihly starého formátu, a to příčky tl. 150 a 300 mm. Příčky jsou vyzděny jak z cihel plných, tak i dutinových.

Úprava povrchů a výplně otvorů - Podrobněji věnováno v kapitole měření.

3.2 POPIS HODNOCENÉHO PROSTORU

Objektem zájmu je základní škola, kde pro posuzování kvality denního osvětlení byly vybrány kmenové učebny prvního stupně vzdělávání. Vyšší ročníky základní školy se na různé předměty stěhují do specializovaných učeben, tudíž nesplňují podmínky stanovené pro trvalý pobyt. Jednotlivé ročníky nejsou každý rok ve stejné místnosti, tedy není pravidlem, že první třída je každý rok v téže učebně apod. Z toho důvodu není podstatné, který ročník je v aktuálně ve které učebně. Pro hodnocení byly vybrány třídy s různou barevností povrchů a jinými podmínkami zastínění oken. Kmenové učebny jsou zařazeny do 4. třídy zrakové činnosti s poměrnou pozorovací vzdáleností 500 - 1000. Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti je 1,5 %. Fotodokumentace viz příloha č.1.

3.2.1 Učebna 2

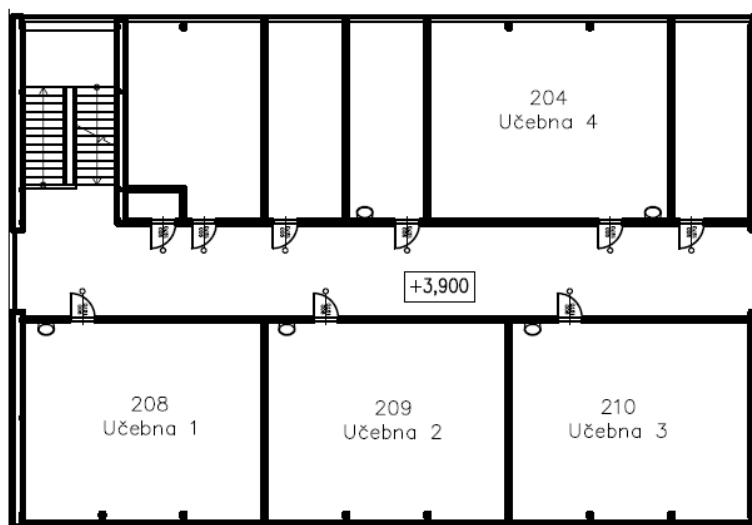
Jako první byla vybrána učebna 2, místnost je dlouhá 8,9 m a hluboká 7,44 m. Světla výška místnosti činí 3,3 m. Třída je orientována na jihovýchod ve druhém nadzemním podlaží pavilonu A (viz obr. 12).

3.2.2 Učebna 3

Pro hodnocení byla vybrána i učebna 3, místnost má rozměry 8,875 x 7,44 m a světla výška je 3,3 m. Třída je orientována na jihovýchod ve 2.NP pavilonu A.

3.2.3 Učebna 4

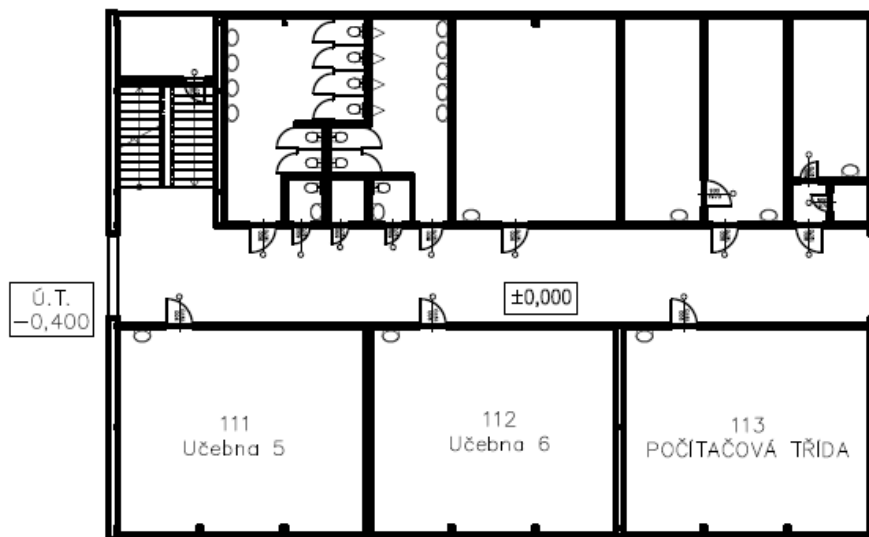
Další vhodná učebna pro měření denního osvětlení je místnost pro 4. ročník, která je rovněž situována v pavilonu A ve druhém podlaží, ale osvětlovací otvory jsou orientovány na severozápadní světovou stranu. Hloubka místnosti je totožná s předcházející třídou tedy 7,44 m, délka místnosti činí 8,9 m se světlu výškou 3,3 m.



Obr. 12 – Schéma 2.NP pavilonu A (podrobněji viz výkresová část - A03)

3.2.4 Učebna 5

Měření proběhlo rovněž v učebně 5. třídy. Místnost je rozměrově totožná s učebnou 3, rovněž je orientovaná na jihovýchod a je v pavilonu A, ale je umístěna v prvním podlaží. Osvětlovacím otvorům stíní jehličnany.



Obr. 13 – Schéma 1.NP pavilonu A (podrobněji viz výkresová část - A02)

3.2.5 Popis povrchů

Barevnost stěn je řešena odstínem růžové v učebně 2, žluté v učebně 3 a 5 a odstíny modré a oranžové v učebně 4. Učebna 4 má stěnu protilehlou k oknům modrou, stěny kolmé na okna oranžové a bílá je zeď okolo oken. Učebny 2 a 3 byly zřejmě dodatečně vymalovány a v některých částech mají světlejší odstín použité barvy.



Obr. 14 – Foto zvolených učeben 2, 3, 4 a 5

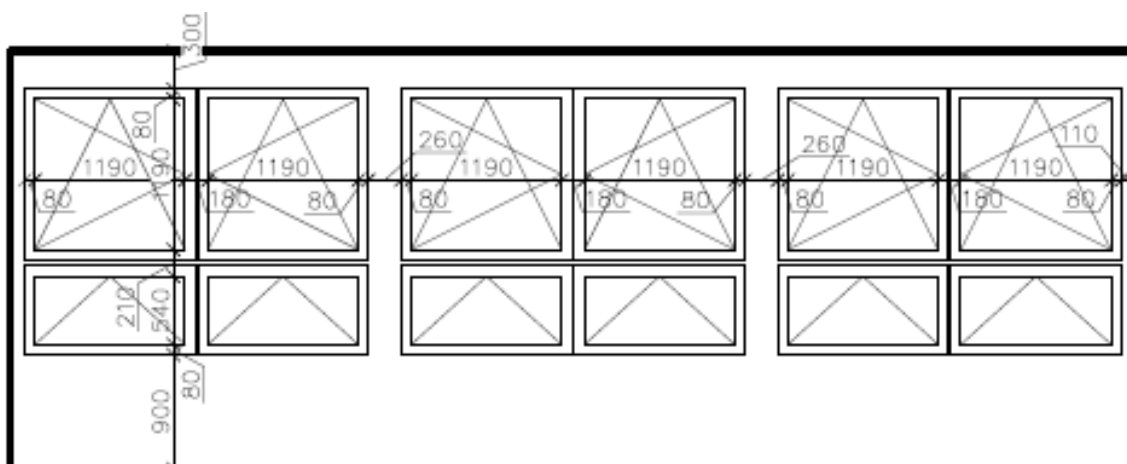
Tabule je výškově posuvná se dvěma deskami, kde jedna je částečně uzpůsobena pro psaní fixem a ostatní plochy natřeny modrou barvou pro psaní křídou. V prostoru umyvadel jsou stěny obloženy dlaždičkami v odstínu světle modré.

Podlahy jsou řešeny linoleem s žíhanou žlutohnědou barvou, která je ve většině učeben podobného odstínu a struktury kromě učebny 5, která je odstínem podobná, ale struktura připomíná korek. Kazetový podhled je řešen v barvě béžové ve všech třídách, jen ve čtvrté učebně jsou desky podhledu perforované. Desky pracovních stolů mají strukturu světlého rostlého dřeva ve všech učebnách. Barva okenních rámu je bílá ve všech učebnách. Fotodokumentace je zařazena v příloze č. 1 a přesné zakreslení jednotlivých povrchů viz výkresová část – B01-B04.

3.2.6 Výplně otvorů

Všechny třídy jsou osvětlovány bočním osvětlovacím systémem a jejich výplně jsou stejné jak po stránce rozměrové tak i typové. Původní výplně osvětlovacích otvorů byly v nedávné době nahrazeny novými okny. Veřejná zakázka byla zadána firmě Baroch-okna. Osazena byla okna plastová s firemním označením Rehau. Z hlediska světelné techniky neudává výrobce žádné parametry. Důležitým faktem je, že se jedná o dvojskla. Rozměry otvoru zůstaly zachovány. Parapet je ve výšce 0,9 m, výška otvoru činí 2,1 m ve všech učebnách.

Co se týče geometrie výplní je otvor členěn na 12 oken v šesti sloupcích o stejné šířce 1,35 m a dvou řadách nad sebou, kdy ve spodní části je šest oken výklopných o výšce 0,7 m a nad nimi okna otvíravá a sklápěcí o výšce 1,35 m. Mezi prvky je sloupek o šíři 260 mm. Šíře rámu je 80 mm. Pro okna o rozměrech 1350 x 1350 mm má tedy čistou plochu zasklení 1,41 m². Druhý typ oken o rozměrech 700 x 1350 mm má čistou plochu zasklení 0,64 m².



Obr. 15 – Schéma výplně otvorů v učebnách M 1:60 (vlastní zaměření)

4 MĚŘENÍ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI

Nabízí se otázka, z jakého důvodu je měření omezeno pouze na měření světelných parametrů potřebných pro stanovení činitele denní osvětlenosti a nepřístupilo se k měření denního osvětlení. Jak již bylo zmiňováno, pro zjišťování hodnot denní osvětlenosti jsou normativně stanoveny okrajové podmínky především pro stav oblohy (viz 1.5.1 Typy standardizovaných obloh dle CIE). Tyto standardizované vhodné podmínky nastávají jen během několika dní v roce a bez jakékoliv pravidelnosti. S přihlédnutím k faktům, že přístroje jsou majetkem Katedry konstrukcí pozemních staveb K124 Fakulty stavební a nebylo možné je zapůjčit do rukou studenta bez účasti odpovědné osoby a ke vzdálenosti zvoleného objektu pro měření od budovy ČVUT konkrétně Fakulty stavební, muselo měření proběhnout v předem určeném datu. Počasí je proměnlivé a tudíž nešlo spoléhat na možnost nastolení vhodných podmínek pro měření denního osvětlení v určeném dnu.

4.1 PRINCIPY APLIKOVANÉHO MĚŘENÍ

Kromě stanovení hodnot pro posouzení denního osvětlení výpočtem, je možné tyto charakteristiky stanovit měřením. Obecně lze měřit za podmínek reálné oblohy, případně pod uměle vytvořenou oblohou. Obě oblohy musí splňovat podmínky standardizované rovnoměrně zatažené oblohy dle CIE (viz 1.5.1). Běžně se měří osvětlení ve skutečných objektech, ale je možné měřit na modelu. Modelu se užívá při měření pod uměle vytvořenou oblohou, jelikož jedna z největších má průměr přibližně 8 m a z logiky vyplývá, že není praktické ji využívat u skutečných budov při měřítku 1:1.

Pokud není možné přímo měřit denní osvětlení (viz 2.1), přistupuje se k výpočtu, do kterého se zavádí celá řada parametrů charakterizujících posuzované prostředí. Právě tyto charakteristiky jsou předmětem řešení a bylo provedeno jejich měření. Patří mezi ně činitel prostupu světla a znečištění, které ovlivňují souhrnný činitel propustnosti světla, vnášející do výpočtu vliv vlastností osvětlovacího otvoru. Dalším parametrem je činitel odrazu povrchu zavádějící vliv interiéru do vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti, jako průměrný činitel odrazu (viz vzorec (13)). Další podrobnosti jsou formulovány v normách určených pro měření osvětlení.

4.1.1 NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA MĚŘENÍ

Požadavky na měření denního osvětlení stanovují normy ČSN 36 0011 - 1 *Základní požadavky* [11] a ČSN 36 0011 - 2 *Měření denního*

osvětlení [12]. V následujícím textu budou shrnuty informace ze zmiňovaných norem podstatné pro účely předkládané práce.

Norma udává doplňující parametry doporučené pro měření za účelem vyhodnocení zrakové pohody, na které je zaměřeno měření v rámci diplomové práce. Zařazuje mezi ně činitel odrazu ploch, jako jsou desky pracovních stolů, stěn, tabulí apod. Dalším doporučeným parametrem je činitel prostupu světla osvětlujících otvorů a jejich činitel znečištění. Jako hlavní parametr je uveden činitel denní osvětlenosti a jasy ploch prostoru, ty ale z výše zmiňovaných důvodů měřeny nebudou.

Stanovuje podmínky pro přístroje užívané pro denní osvětlení (luxmetry a jasoměry). Měření může být přesné, provozní a orientační, v normě je udávána přípustná chyba přístrojů a četnost jejich kalibrace pro jednotlivá měření. Pro přesné měření je průměr fotonky luxmetru maximálně 60 mm, doporučeno je 30 mm. Podmínkou pro užití přístroje je upravení spektrální citlivosti fotonky na základě CIE standartního pozorovatele a fotonka rovněž musí být upravena na kosinovou odchylku. Měřicí přístroje je nutné prověřit z hlediska jejich znečištění a celkové funkčnosti. Dále je nutné provést průzkum měřeného prostoru, především jeho funkci a vykonávané zrakové činnosti, dále je vhodné prověřit množství různých barevností povrchů atd.

4.1.1.1 Měření činitele odrazu ρ

Činitel odrazu světla lze zjistit za pomoci luxmetru měřícího osvětlenost daného povrchu E (lx) a jasoměru stanovujícího jas povrchu L (cd/m²). Změřené hodnoty se pak dosadí do vzorce (15) a spočte se výsledný činitel odrazu ρ (-).

$$\rho = \frac{\pi L}{E} \quad (15)$$

Další možností je měření pomocí dvou luxmetrů v případě, že je k dispozici jasový nástavec. Nástavec je, zjednodušeně popsáno, minimálně 1 m dlouhá trubka s tmavou vnitřní stěnou, která se během měření umístí na čidlo luxmetru nebo je možné přistoupit ke stanovení odraznosti za pomoci reflexních tabulek

Po samotném měření je nutné výsledné hodnoty upravit tak, aby se co nejvíce omezili možné chyby měření. To se provede na základě charakteru prostoru, přístrojů dle jejich parametrů daných výrobcem apod. Hodnoty se mohou uvádět buď ve výkresu i s umístěním v prostoru nebo v tabulce, ze které bude patrné místo měření.

U naměřených hodnot se stanovuje nejistota měření. Pro určení nejistoty je doporučeno provést minimálně 20 měření. Přesnost se tedy určuje na základě rozšířené nejistoty u (%), kterou je stanovena horní i dolní mez možné chyby nastolené při měření. Podrobné vzorce viz ČSN 36 0011 - 1 *Základní požadavky* [11].

4.1.1.2 Měření činitele prostupu světla τ_s

Jako vyhovující stav je chápán případ, kdy se naměřená hodnota i s rozmezím nejistoty nad požadovaným limitem nebo je-li hodnota nad limitem, ale spodní rozmezí nejistoty nikoli. Opačné případy jsou brány jako nevyhovující, toto pravidlo je obecně platné pro všechny veličiny. Dále se vyhotovuje protokol z měření, kde jsou v normě formulovány náležitosti obsažené v této zprávě.

Za pomoci luxmetru se měří činitel prostupu světla, který je měřen na vyčištěném osvětlovacím otvoru. Fotonka luxmetru je namířena ven kolmo na otvor v jednom případě při zavřeném a v druhém případě při otevřeném oknu. Poměrem naměřených osvětleností je určen činitel prostupu difuzního světla.

Činitel prostupu světla ve směru normály se stanovuje pomocí jasoměru. Přístroj je rovněž namířen ven při zavřeném a ihned poté při otevřeném oknu a činitel prostupu světla se spočítá dle vzorce:

$$\tau_{s,nor} = \frac{L_{sklo}}{L_{obloha}} \quad (-), \quad (16)$$

kde L_{sklo} (cd/m^2) je jas procházející sklem a L_{obloha} (cd/m^2) představuje jas, který na sklo dopadá.

4.1.1.3 Měření činitele znečištění τ_z

Posledním měřeným parametrem je činitel znečištění. Protože se činitel znečištění měří pro okno znečištěné z interiéru i exteriéru, pro okno znečištěné jen z vnitřní strany a čisté z obou stran, je nutné okno takto vyčistit v jeho blízkých částech. Na těchto částech je pak bezprostředně za sebou provedeno měření buď pomocí luxmetru, kdy je čidlo přiloženo rovnoběžně na povrch nebo jasoměrem kolmo k povrchu okna. Výpočtem se pak stanoví činitel znečištění vnějšího povrchu $\tau_{z,e}$ (-) jako podíl jasů (osvětleností) oboustranně znečištěného $L_{znečištěné}$ (cd/m^2) a znečištěného na vnitřní straně povrchu $L_{znečištěné,interiér}$ (cd/m^2).

$$\tau_{z,e} = \frac{L_{znečištěné}}{L_{znečištěné,interiér}} \quad (-) \quad (17)$$

Pro vnitřní činitel znečištění $\tau_{z,i}$ (-) je stanoven vztah jako poměr jasů (osvětleností) znečištěného povrchu z interiéru $L_{znečištěné,interiér}$ (cd/m^2) a oboustranně čistého povrchu $L_{čisté}$ (cd/m^2).

$$\tau_{z,i} = \frac{L_{znečištěné,interiér}}{L_{čisté}} \quad (-) \quad (18)$$

Podílem osvětleností jasů (osvětleností) oboustranně znečištěného $L_{znečištěné}$ (cd/m^2) a oboustranně čistého povrchu $L_{čisté}$ (cd/m^2) je dán celkový činitel znečištění τ_z (-).

$$\tau_z = \frac{L_{znečištěné}}{L_{čisté}} \quad (-) \quad (19)$$

4.2 MĚŘENÍ DENNÍ OSVĚTLENOSTI V ZŠ

4.2.1 Činitel odrazu ρ

Měření činitele odrazu jednotlivých povrchů probíhá v první řadě průzkumem interiéru z hlediska jeho barevností a vytipování povrchů vhodných pro posuzování. Barva povrchu má vliv na výslednou odrazivost světla. Následně se kolmo k povrchu postaví, je-li to možné na trojnožku, jasoměr v potřebné vzdálenosti od povrchu, v případě měření vodorovných ploch se jasoměr drží v ruce. Měřič následně zaostří na povrch pomocí okuláru a zmáčkne tlačítko na jasoměru, v tom momentu jasoměr začíná měřit jas a ve chvíli puštění tlačítka se zobrazí naměřená hodnota. Během této činnosti se druhý měřič s luxmetrem postaví k ploše tak, aby nestínil, a fotonku přiloží k ploše. Následně ve stejný okamžik se změří jas plochy jasoměrem puštěním tlačítka přístroje a osvětlenost luxmetrem. Dosazením naměřených hodnot do vzorce (15) se dopočte hodnota činitele odrazu dané plochy. Následně se postup opakuje pro všechny dílčí povrchy.

Pro srovnání bylo provedeno i stanovení hodnot činitele odrazu dle normy ČSN 73 0580-1 [7], kdy se stanoví hodnota činitele odrazu na základě tabulky barevností. Nebo lze použít obdobný postup pomocí vzorníku, např od firmy CEMIX [29], kdy se příkládáním jednotlivých vzorků barev k ploše určí hodnota činitele odrazu. U barev je uvedena hodnota činitele odrazu v procentech.

Oba postupy mají své klady i zápory. Do výsledné hodnoty stanovené měřením se může promítnout chyba měřiče, přístroje. Z tohoto hlediska se zdá být vhodnější použít normové hodnoty stanovené za správných podmínek. Nevýhodou tohoto postupu je však

subjektivnost, jelikož každá osoba má jiné cítění pro barvy apod., což je při měření vyloučeno.

Vzhledem k omezenému času, kdy mohlo měření probíhat, byly povrchy shodné pro všechny měření pouze v jedné učebně a pro následný model byly naměřené hodnoty užity pro všechny učebny. Samotné měření bylo pro každý povrch provedeno dvakrát.

4.2.2 Činitel prostupu světla sklem τ_s

Jako další parametr byl změřen činitel prostupu světla sklem, který zohledňuje světelné ztráty vzniklé při průchodu světla sklem. Obecně se jedná o podíl světelného toku procházejícím materiálem ke světelnému toku, který na materiál dopadá.

Rozlišují se dva činitele prostupu podle materiálu, jímž procházejí. Pokud světelný tok prochází průsvitným materiálem, stanovuje se difuzní činitel propustnosti. Jeho hodnota se stanovuje pomocí luxmetru. Pro průhledné materiály se stanovuje normálový činitel prostupu $\tau_{s,nor}$, který je měřen v závislosti na jasu, měřen je tedy pomocí jasoměru. Postup je obdobný jako u luxmetru, jasoměr se přibližně 1 metr od okna s normálou kolmo na otvor zacílí na sklo a změří se jas, následně se otevře okno a změří se jas oblohy. Výsledný činitel prostupu se spočítá dle vzorce (16). V posuzovaných učebnách jsou okna zasklena průhlednými tabulemi a měření proběhlo pomocí jasoměru ve dvou místech pro přesnější zaměření. Před samotným měřením činitele prostupu světla je nutné tabulové sklo umýt. Pokud by se okno nevyčistilo, naměřená hodnota by byla s vlivem znečištění.

Hodnota činitele prostupu se stanovila i na základě normových hodnot, jelikož výrobce neudává hodnotu činitele prostupu světla, při stanovení se vycházelo z normy udávající hodnotu pro čiré sklo tloušťky 3-4 mm $\tau_{s,nor} = 0,92$. Jelikož se jedná o dvojsklo, postupuje se dle vzorce, kde n je počet skel:

$$\tau_s = (\tau_{s,nor})^n \quad (-) \quad (20)$$

4.2.3 Činitel znečištění τ_z

Propustnost je ovlivněna stavem skel oken. Tato proměnná se do výpočtu zavádí pomocí činitele znečištění. Před samotným měřením je nutné vyčistit okno ve dvou místech těsně u sebe. Jednu plošku vyčistit z exteriéru a jednu z obou stran. Zároveň v blízkosti těchto dvou plošek musí zůstat plocha, která je znečištěna z obou stran. Následně se pomocí jasoměru umístěném přibližně 1 metr od okna zacílí a změří jas

pro jednotlivé plošky a hodnoty se zaznamenají. Výsledné činitele znečištění pro exteriér, interiér a celkový činitel znečištění se stanoví dle vzorců (17), (18) a (19).

Norma stanovuje i výchozí hodnoty pro činitele znečištění, které jsou rovněž pro místnosti stanoveny.

4.2.4 Přístroje

Světelně technické parametry se zjišťovali pomocí přístrojů od výrobce Konica Minolta. Použité přístroje jsou majetkem Katedry konstrukcí pozemních staveb, Fakulty stavební ČVUT. Luxmetr je typu T – 10AM (viz obr 14), tento typ má větší přesnost díky fotonce, která není oproti typu T – 10A umístěna přímo na přístroji. Tím se zmenšuje možnost stínění samotným měřičem. Čidlo je spojeno s luxmetrem kabelem. Průměr fotonky je o velikosti 14 mm, čímž splňuje doporučenou velikost fotonky normou. Měřicí rozsah tohoto typu je od 0,01 až 299 900 lx. Přesnost je výrobcem udávána $\pm 2 \%$. Kosinová odchylka je pro tento typ luxmetru uváděna do 3 %. Spektrální citlivost přístroje je kalibrována dle standartního fotometrického pozorovatele dle CIE.

Použitý jasoměr je označen jako LS 110. Výrobce Konica Minolta uvádí, že zaostřovací vzdálenost od povrchu je od 1014 mm do nekonečna, úhel pohledu je 9° , rozsah měření je od $0,001 \text{ cd/m}^2$ do $399 900 \text{ cd/m}^2$. Minimální průměr plochy pro měření je roven 4,8 mm. Hodnoty naměřených jasů se dají odečítat buď při pohledu do okuláru, nebo z boku na přístroji.



Obr. 16 – Přístroje použité při měření: Luxmetr T – 10 AM (vlevo) a jasoměr LS 110 (vpravo)

4.2.5 Okrajové podmínky

Měření vybraných světelně technických parametrů v základní škole proběhlo 28. 11. 2016. První učebna byla měřena učebna 2 v čase od 12:00 do 13:15. V této učebně byly měřeny činitele odrazu všech stěn, podlahy a dále pak i povrchy tabule, keramického obkladu a dveří, která jsou ze shodných materiálů jako v ostatních učebnách a v ostatních učebnách tyto povrchy již v ostatních učebnách měřeny nebyly z časových důvodů. V učebně číslo 3 se měřil činitel odrazu stěn a podlahy v době od 13:15 do 13:45. V učebně 4 probíhalo měření v čase od 13:45 do 14:45. V této učebně proběhlo kromě měření činitele odrazu stěn a podlahy i měření prostupu světla sklem. A v poslední učebně 5 probíhalo měření od 14:45 do 15:15. Stav oblohy při měření nebyl z hlediska požadavků světlené techniky optimální. Nábytek byl kromě tabule a nástěnek zanedbán. Stropní podhled nebyl měřen, vzhledem k jeho nedostupnosti.

4.2.6 Naměřené hodnoty

4.2.6.1 Učebna 2

Tab. 2 – Činitel odrazu jednotlivých povrchů

Sledovaný Povrch	Popis povrchu	ČSN 73 0580 – 1	CEMIX [29]	Měření			
				L (cd/m ²)	E (lx)	ρ (-)*	Průměr ρ (-)
Stěna bílá	Bílá	0,75-0,8	0,87	4,11	14,71	0,88	0,87
				3,79	13,8	0,86	
Stěna sv. růžová	Světle červená	0,55	0,77	275,2	1149	0,75	0,75
				277,8	1175	0,74	
Stěna tm. růžová	Světle červená	0,55	0,66	71,38	338	0,66	0,68
				80	358	0,7	
Stěna zelená	Světle zelená	0,45-0,6	0,60	37,5	176	0,66	0,66
				37,79	180,6	0,66	
Podlaha	Středně žlutá	0,5-0,6	0,53	20,6	176,7	0,35	0,36
				32,32	290,3	0,37	
Nástěnka	Tm. červená Tm. modrá	0,05-0,2	-**	3,87	258,2	0,047	0,05
				3,79	263,6	0,045	
Keramický obklad	Světle modrá	0,4-0,6	0,59	48,6	252,4	0,6	0,6
				45,4	238,1	0,6	
Dveře	Krémová	0,6-0,7	0,7	2,48	12,73	0,61	0,6
				2,69	13,99	0,6	
Tabule	Tmavě modrá	0,05-0,3	-**	13,39	518	0,081	0,08
				13,37	507	0,082	

*) hodnota stanovena na základě vzorce (15)

***)Vzorník barvu neobsahuje

4.2.7 Učebna 3

Tab. 3 – Činitel odrazu jednotlivých povrchů

Sledovaný Povrch	Popis povrchu	ČSN 73 0580 – 1	CEMIX [29]	Měření			
				L (cd/m ²)	E (lx)	ρ (-)*	Průměr ρ (-)
Stěna bílá	Viz Tab. 2						
Stěna světle žlutá	Světle žlutá	0,6-0,7	0,80	16,77	58,6	0,9	0,9
				63,95	220	0,91	
Stěna tmavě žlutá	Středně žlutá	0,5-0,6	0,77	19,84	76,2	0,818	0,83
				25,84	95,1	0,85	
Podlaha	Středně hnědá	0,25	0,30	7,51	80	0,295	0,3
				20,09	215,7	0,292	
Nástěnka	Viz Tab. 2						
Keramický obklad	Viz Tab. 2						
Dveře	Viz Tab. 2						
Tabule	Viz Tab. 2						

*) hodnota stanovena na základě vzorce (15)

4.2.7.1 Učebna 4

Tab. 4 – Činitel odrazu jednotlivých povrchů

Sledovaný Povrch	Popis povrchu	ČSN 73 0580 – 1	CEMIX [29]	Měření			
				L (cd/m ²)	E (lx)	ρ (-)*	Průměr ρ (-)
Stěna bílá	Viz Tab. 2						
Stěna oranžová	Středně oranžová	0,4-0,5	0,42	48,39	295	0,51	0,52
				49,56	295	0,53	
Stěna modrá	Středně modrá	0,2	0,37	34,478	351	0,31	0,31
				15,46	157,6	0,31	
Podlaha	Stř. hnědá Stř. žlutá	0,6	0,40	6,39	60,9	0,33	0,32
				5,83	60,9	0,31	
Nástěnka	Viz Tab. 2						
Keramický obklad	Viz Tab. 2						
Dveře	Viz Tab. 2						
Tabule	Viz Tab. 2						

*) hodnota stanovena na základě vzorce (15)

Tab. 5 – Činitel prostupu světla sklem

Měření jasu výplně otvoru		
L_{obloha} (cd/m ²)	L_{sklo} (cd/m ²)	$\tau_{s,m}$ (-)*
134,6	106,2	0,79
81,59	63,42	0,78
Odhad dle normy		
$\tau_{s,nor}$ (-)	$\tau_{s,n}$ (-)**	
0,92	0,846	

*) hodnota stanovena na základě vzorce (16)

***) hodnota stanovena na základě vzorce (20)

4.2.7.2 Učebna 5

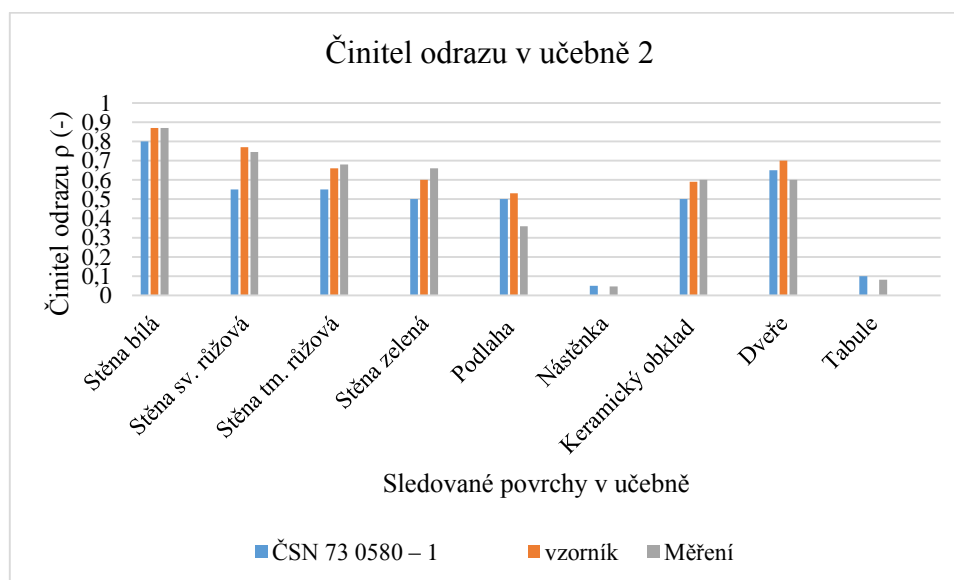
Tab. 6 – Činitel odrazu jednotlivých povrchů

Sledovaný Povrch	Popis povrchu	ČSN 73 0580 – 1	vzorník	Měření			
				L (cd/m ²)	E (lx)	ρ (-)*	Průměr ρ (-)
Stěna bílá	Viz Tab. 2						
Stěna žlutá	Středně žlutá	0,5-0,6	0,68	3,5	14,31	0,77	0,75
				3,03	13,08	0,37	
Nástěnka	Béžová	0,6-0,7	0,53	1,12	9,05	0,39	0,39
				1,13	9,17	0,39	
Podlaha	Stř. hnědá Stř. žlutá	0,6	0,44	36,55	311	0,37	0,38
				16,46	132,6	0,39	
Nástěnka	Viz Tab. 2						
Keramický obklad	Viz Tab. 2						
Dveře	Viz Tab. 2						
Tabule	Viz Tab. 2						

*) hodnota stanovena na základě vzorce (15)

4.2.8 Vyhodnocení měření

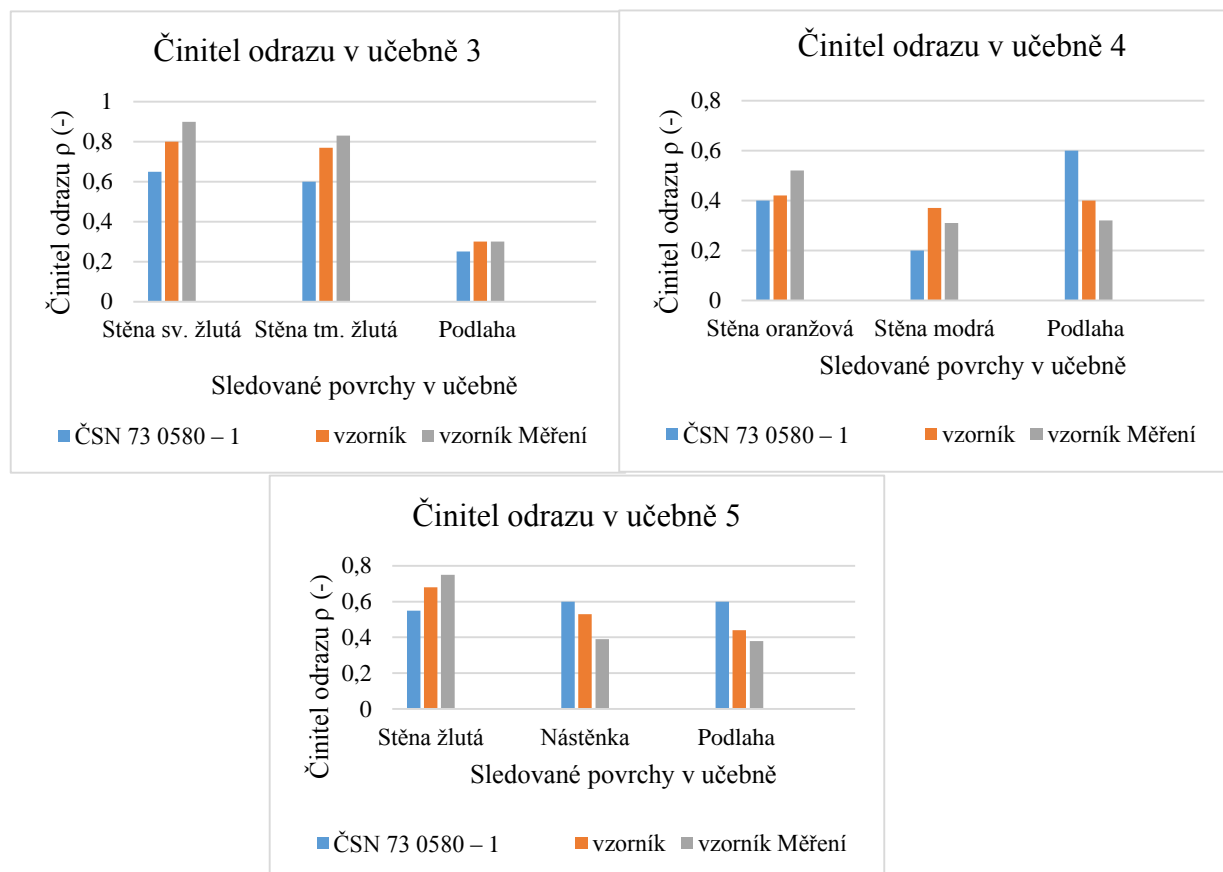
Pro názornější a snadnější orientaci ve stanovených hodnotách, uvedených v tabulkách výše, obsahuje následující text grafy jasně znázorňující rozdíly mezi naměřenými hodnotami a stanovenými hodnotami na základě normy či vzorníku.



Graf 1 – Srovnání přímo měřených hodnot, hodnot dle normy a dle vzorníku v uč. 2

Z jednotlivých grafů jasně vyplývá fakt, že činitel odrazu určený na základě vzorníku a měření se číselně sobě blíží. Oproti tomu hodnoty, stanovené dle normou dané tabulky, mají větší odchylky. To je dáno i poměrně malým rozsahem barev, který tabulka nabízí. Naopak vzorník nepostihuje tmavé odstíny barev a pro školní tabule a nástěnky

nebylo možné pomocí vzorníku určit věrohodnou hodnotu činitele odrazu světla. Jak již bylo zmíněno tento postup, zvláště pak tabulkový postup, je silně ovlivněn barevným cítěním měřiče. Všechny tyto nedostatky měření pokrývá. Při měření dochází k chybě měřiče, špatným světelným podmínkám či chybovému měření kvůli provozu v učebně. Tyto chyby lze kompenzovat vícenásobným měřením stejného povrchu.



Graf 2-4 – Srovnání přímo měřených hodnot, hodnot dle normy a dle vzorníku v uč. 3, 4, 5

Jednotlivé hodnoty činitele odrazu lze hodnotit jako odpovídající danému odstínu. Odchytky mezi jednotlivými způsoby stanovení lze připsat právě subjektivnímu názoru. Jinak lze prohlásit, že hodnoty se z velké části sobě blíží.

Propustnost světla sklem byla z časových důvodů měřena pouze v jedné učebně. Průměrná hodnota propustnosti stanovená na základě dvou měření činí 0,79, což je hodnota nižší než běžně používaná normová hodnota pro dvojskla 0,845. Tento horší stav propustnosti skel byl předpokládán, vzhledem jejich tepelně izolačním schopnostem, kterou jsou v posledních letech na okna kladena.

5 SOFTWARE PRO SIMULACI DENNÍHO OSVĚTLENÍ

V posledních letech se zvyšuje význam denního osvětlení v budovách a jeho posouzení se odráží už v architektonických návrzích. Pokud se jedná o novou navrhovanou budovu, z logiky vyplývá nejsnazší stanovení světelných podmínek pomocí programů. Ani když se jedná o stávající budovu, není příliš časté, jak již bylo vícekrát zmíněno, aby docházelo k přímému měření a měření na modelech pod umělou oblohou by bylo velice nákladné.

Dostupnost počítačů se stále zvyšuje a ruku v ruce s tím jde i vývoj odborných softwarů, které jsou stále více poptávány. Se zvýšenou poptávkou se na trh dostává více programů s různými úrovněmi odbornosti a funkcemi. Z toho důvodu jsou v následujícím textu vybrány světelné programy a jsou vyhodnoceny z hlediska uživatelského rozhraní a jejich odbornosti. Pro výpočty je dostupná celá řada softwarů, pro zhodnocení byly vybrány programy především z hlediska jejich dostupnosti pro autora a celkového uplatnění na trhu. Řadí se mezi ně VELUX DAYLIGHT VISUALIZER [1], SVĚTLO+ [2], WDLS [3], DIAL+[4], AUTODESK Revit [5] a WAL 1.1 [6].

5.1 VELUX DAYLIGHT VISUALIZER

5.1.1 Charakteristika

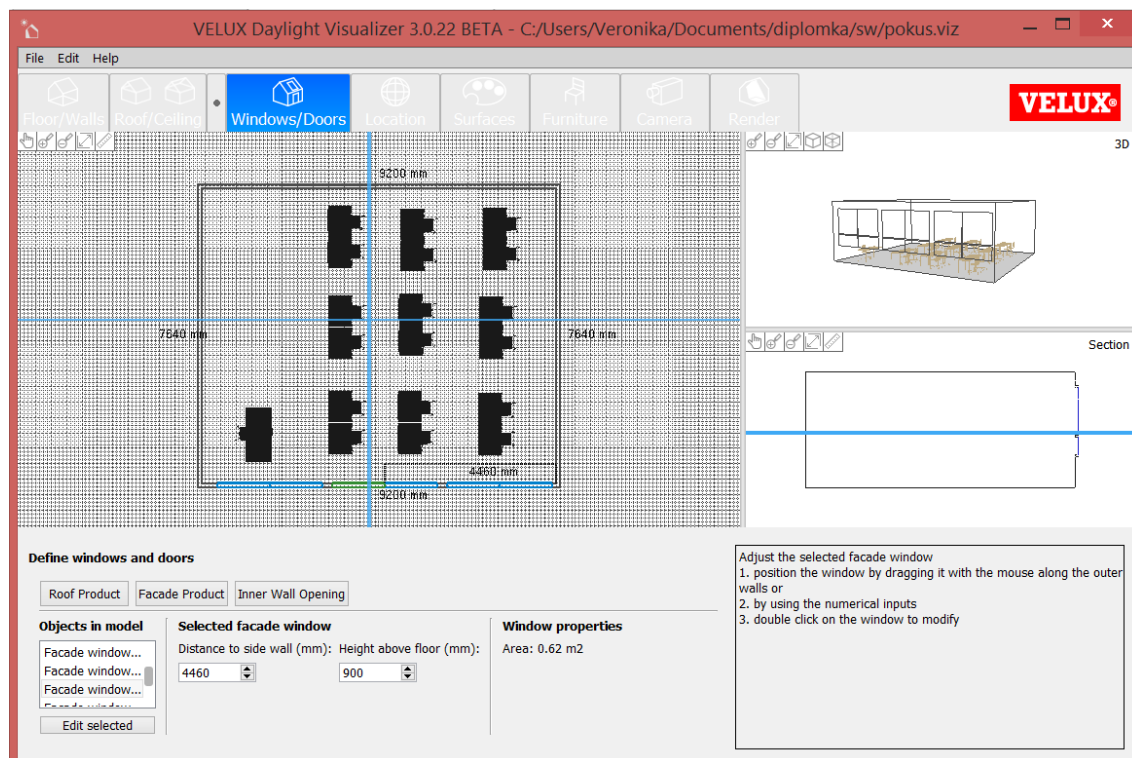
Program je ve vlastnictví společnosti Velux. Byl vytvořen především za účelem vytváření vizualizací pro investory a to i jimi samotnými, z toho důvodu je jeho stažení možné zdarma na stránkách společnosti Velux. Program je vyvíjen firmou Luxion, s níž Velux Group spolupracuje. Společnost Luxion se soustředí mimo jiné na vývoj technologií související s renderováním na základě počítačové simulace. Program je určen pro operační systém Windows a nemá žádné zvláštní systémové nároky.

Funkce softwaru jsou zaměřeny především na analýzu denního osvětlení. Program je schopen nasimulovat úroveň denního osvětlení a vytvořit mapu izofot v půdorysu, tedy zobrazuje hranice hodnot činitele denní osvětlenosti. Dále se program specializuje na hodnocení kvality denního osvětlení v interiérech. Program vykresluje rozložení jasů v místnosti i rovnoměrnost osvětlení. Vytváří 3D modely zobrazující kvalitu ve fotorealistických barvách případně pomocí falešných barev. Každé „falešné“ barvě je přiřazena hodnota v jednotkách odpovídajících jasu v cd/m^2 tedy respektive osvětlenosti v luxech, rozmezí hodnot můžeme odečíst na zobrazené stupnici u vizualizace.

5.1.2 Uživatelské rozhraní

Pokud se bude hodnotit práce s program, pak je velice intuitivní i pro osobu, která program používá poprvé. Člověk se základními znalostmi ovládání počítačových programů nebude potřebovat k jeho užívání ani instruktážní video, které je rovněž možné shlédnout na stránkách společnosti Velux. Tato jednoduchost používání je však na úkor přesnosti. Aby byly výsledné hodnoty modelu spolehlivější, bylo by vhodné vytvořit prostor pro zadávání korekčních činitelů. Zavedením přímého vkládání korekčních činitelů by se však celkové ovládání zkomplikovalo a navíc by byla nutná určitá vzdělanost v oblasti denního osvětlení, kdy pro takto nastavené rozhraní není odbornost příliš potřebná.

Jako vstupní údaje, které je zapotřebí pro vytvoření modelu znát, postačují pouze rozměry dané místnosti, rozměry a umístění osvětlovacích otvorů, orientace budovy ke světovým stranám a lokalita, barevnosti základních povrchů interiéru a pro vytvoření názorné vizualizace představa o rozmístění nábytku. K jednotlivým barvám program definuje odrazivost. Nutnost zadání směru severu je pravděpodobně z důvodu možnosti vyhodnocování kvality denního osvětlení, kdy při hodnocení jasu a osvětlenosti je možné nastavit jasnou oblohu, měnit měsíc a čas, během kterých je denní osvětlení vyhodnocováno.



Obr. 17 – Základní pracovní lišta programu VELUX Daylighting Visualizer [5]

Jak bylo řečeno, program sám uživatele navádí, co má v dalším kroku udělat. Ve chvíli kdy se program spustí, je nutné vytvořit model místnosti. Toto je možné buď přímo v programu nebo je možné 3D model importovat z jiných kompatibilních programů pro modelaci budov, podporující formát DWG, DWF, SKP A OBJ. Po vytvoření místnosti je nutné zadat okna, zde velice chybí přesnější charakterizace parametrů výplně, lze určit pouze geometrii. V dalším bodě se určí směr severu a lokalita, kterou je možné zadat výběrem z předdefinovaných měst případně přesně pomocí souřadnic. Program umožňuje zadání barevnosti povrchu stropu, podlahy a stěna a umožňuje rozmístění nábytku v místnosti. Toto je, co se týče zadávání vstupních informací vše a již se přistupuje k vyhodnocování stavu. V prvním kroku se stanoví část místnosti, která bude vyhodnocována z hlediska jasů a osvětlenosti pomocí kamery. V posledním kroku se specifikují data potřebná k vyrenderování. Lze získat obrázek či animaci. Dále se vybírá mezi činitelem denní osvětlenosti, jasnem či osvětleností. Lze měnit i oblohové podmínky a to zataženou oblohu dle CIE, slunečnou oblohou a nerovnoměrně zataženou. Což pro běžné hodnocení denního osvětlení, tedy jeho kvantitativní hodnoty je irelevantní, ovšem tento program hodnotí i kvalitu denního osvětlení, tudíž ačkoliv v českých normách nejsou jiné oblohy zakotveny, má tento výběr své opodstatnění. Pro hodnocení kvality je možné měnit měsíce, ve kterých bude výpočet proveden. Následně se volí kvalita vyrenderovaných snímků.

5.1.3 Hodnocení programu

Oproti jiným softwarům je funkce simulace osvětlenosti a jasů v interiéru velkou výjimkou. Většina programů se specializuje pouze na množství denního osvětlení a nikoliv na jeho kvalitu, což vyplývá z požadavků norem.

Jako velkou výhodu lze uvažovat možnost vytvoření vizualizací místností, které jsou předmětem zájmu. Tyto výstupy jsou velice názorné především pro neodbornou veřejnost, která si podle tabulek plných hodnot jen s obtížemi představí výsledný stav. Vizualizace jsou velkým potenciálem tohoto programu, který je ale ještě zapotřebí zkvalitnit. Výběr nábytku je omezený a možnost volby více barevných řešení pro jednotlivé stěny není možný.

Jako zápor lze vnímat omezené množství jazykových modulů, mezi kterými čeština chybí. Ale velká část našeho národa již ovládá minimálně základy anglického jazyka, dostupnost různých překladatelských nástrojů je velká a navíc program skutečně není komplikovaný a nedostupnost českého modulu není příliš zásadní vadou.

Zásadním nedostatkem je absence zadávání přesnějších parametrů především výplní otvorů, kde navíc nelze dohledat, s jakými parametry program kalkuluje. Navíc není jasné, v jaké srovnávací výšce program počítá činitele denní osvětlenosti. V případě, že se nevyužije možnosti exportovat 3D model z rýsovacího programu, jsou velice omezené možnosti zavedení přesných podmínek umístění místnosti v rámci objektu a vliv okolní zástavby. Tím je snížena přesnost výpočtů. Avšak společnost Velux uvádí zprávu o hodnocení přesnosti výpočtů programu dle standardů CIE, hlavní zjištění tohoto dokumentu spočívá ve zjištěné chybovosti simulace přirozeného světla s maximální chybou do 5,13 % a průměrnou chybou do 1,29 %. Navíc v případě hodnocení obytných místností nejsou zapotřebí izofoty, ale pouze hodnoty činitele denní osvětlenosti ve dvou kontrolních bodech umístěných dle normativních požadavků, což program neumožňuje, jelikož se neřídí českými normami. Je tedy pouze na projektantovi, zvážit možnosti použití jeho výstupů jakožto průkazných podkladů pro posudek denního osvětlení. Program může sloužit i projektantům, vzhledem k rychlosti vytvoření modelu, ho lze použít pro představu rozložení světla v navrhované či rekonstruované budově.

5.2 SVĚTLO+

5.2.1 Charakteristika

Pro účely hodnocení denního osvětlení a proslunění budov byl vytvořen společností JP Soft ve spolupráci s doc. Kaňkou program Světlo+ [2]. Program lze zakoupit ve dvou modulech, kdy modul Oslunění simuluje proslunění budov a modul Obloha se zaměřuje na denní osvětlení budov. Pro studijní účely je program dostupný na Fakultě stavební ČVUT v Praze z učebny A534, pro soukromé a jiné účely je licence pouze placená. Pro instalaci nemá program žádné zvláštní systémové nároky, je vytvořen pro operační systém Windows.

První byl vytvořen modul Oslunění, který zpracovává proslunění v interiérech budov a oslunění v exteriérech. Výsledky jsou zobrazovány pomocí Pravoúhlého slunečního diagramu a diagramu šíření paprsků. Posudek provádí na základě normativních požadavků pro oslunění.

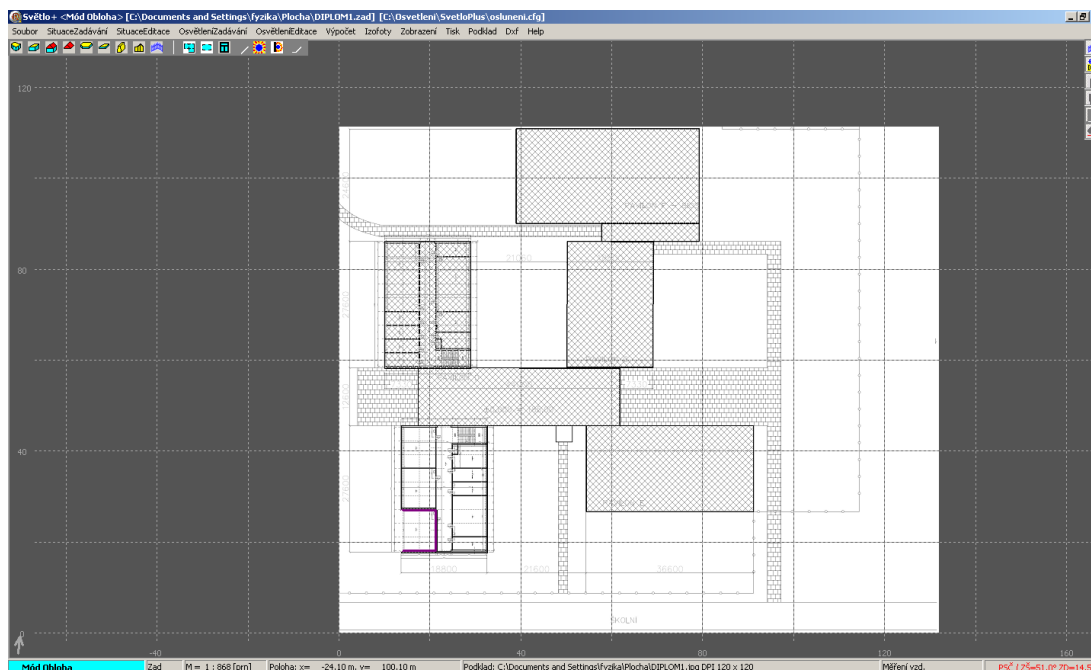
Pro hodnocení základních škol je však podstatnou funkcí programu hodnocení denního osvětlení v rámci modulu Obloha. Stanovuje hodnoty činitele denní osvětlenosti jak v interiéru, tak na fasádě objektu. V místnosti stanoví hodnoty činitele denní osvětlenosti v souladu s normou buď pomocí izofot či sítě kontrolních bodů případně pro obytné místnosti ve dvou kontrolních bodech. Při výpočtu používá bodovou metodu

pro vnější odraženou a oblohovou složku a radiační metodu pro výpočet vnitřní odražené složky činitele denního osvětlení. Program je vytvořen v souladu s českými normami, které stanovují požadavky pouze na úroveň denního osvětlení, a tudíž nesimuluje kvalitativní podmínky v interiéru, ani nerenderuje jejich vizualizace. Do výpočtu je schopen zavádět vliv okolních budov případně dalších stínících prvků v exteriéru a je schopen vytvářet vizualizace všech modulovaných objektů z exteriéru.

5.2.2 Uživatelské rozhraní

Pro práci se Světlem+ [2] je nutné mít alespoň základní znalosti ze světelné techniky a dále je jeho uživatelské rozhraní poměrně složité a bez základní instruktaže by bylo ovládání softwaru náročnější. K programu je však prodáván i manuál případně během simulace se při stisknutí klávesy F1 zobrazuje nápověda.

Pro modelování budov umožňuje program nahrání situace a výkresů ve formátu jpg nebo dxf. Při nahrání jpg souboru jako podkladu pro modelování objektu, je zapotřebí přizpůsobit ho do správného měřítká. Pak je nutné tento podklad obkreslit pomocí funkcí programu a vytvořit tak jednotlivé objekty. Případně lze nahrát podklad jako dxf formát, avšak pracuje se ním stejně jako s jpg. Způsob je poněkud kostrbatý a pro uživatele by bylo praktičtější, mít možnost interaktivní spolupráce programu Světlo+ [2] s nahranými podklady. Dosáhlo by se tak urychlení vytváření modelu a určitého zjednodušení pro uživatele. Pro modul oslunění je možné zadat přesné parametry lokality a směru severu, což pro denní osvětlení není podstatné.



Obr. 18 – Základní pracovní prostor programu Světlo+[2]

Při hodnocení denního osvětlení se vytvoří budova obkreslením podkladu a zadá se její výška a činitel jasu stěny. Aby bylo možné vykreslit místnost, je nutné mít přeprnutý model Obloha. Místnost lze umístit do potřebné výšky nad terénem s téměř libovolnou geometrií a přesném zadání výšky srovnávací roviny. Především navolení parametrů oken je velice podrobné. Kromě samotné geometrie a prostorového osazení v místnosti lze stanovit jas ostění, nadpraží a parapetu, činitel prostupu světla, činitel znečištění okna a rovněž činitel ztrát světla konstrukcí okna. Těmito parametry se podrobně stanoví souhrnný činitel propustnosti světla oknem. Dále lze zadat činitel odrazu jednotlivých vnitřních povrchů. Po vytvoření místnosti se zvolí buď výpočet pomocí sítě bodů, izofot nebo lze stanovit konkrétní umístění kontrolních bodů. Program následně provede výpočet. V případě potřeby vytvoření další místnosti, je nutné předešlou smazat.

5.2.3 **Hodnocení programu**

Jeho počáteční ovladatelnost je poměrně složitější, především vytvoření modelu je zpočátku problematické, pro nutnost odhadovat měřítko podkladu. Nevýhodou při práci s programem je nutnost smazání předešlé místnosti, pokud se posuzuje jiná místnost. Velkou výhodou by byla možnost zachování dat pro všechny posuzované místnosti. Zároveň je nevhodné řešení modelace místnosti, protože program neumí interaktivně spolupracovat s importovanými soubory.

Program je určen pro odborné posudky a nabízí tak vysokou přesnost výpočtů denního osvětlení respektive proslunění. Jeho odbornost při posuzování denního osvětlení je založena na možnosti podrobného zadávání parametrů výplně okenních otvorů a zahrnutí vlivu okolní zástavby. Rovněž je velkou výhodou, že byl program vytvořen v souladu s českými normami.

Světlo+ [2] tedy lze jistě doporučit světelně technickým firmám či projektantům jako nástroj pro hodnocení denního osvětlení.

5.3 **WDLS 5.0**

5.3.1 **Charakteristika**

Jedná se o softwarový nástroj sloužící k posuzování denního osvětlení. Program distribuuje firma Astra MS Software, která vyjma programu WDLS 5.0 [3] nabízí i programy specializované na proslunění a umělé osvětlení.

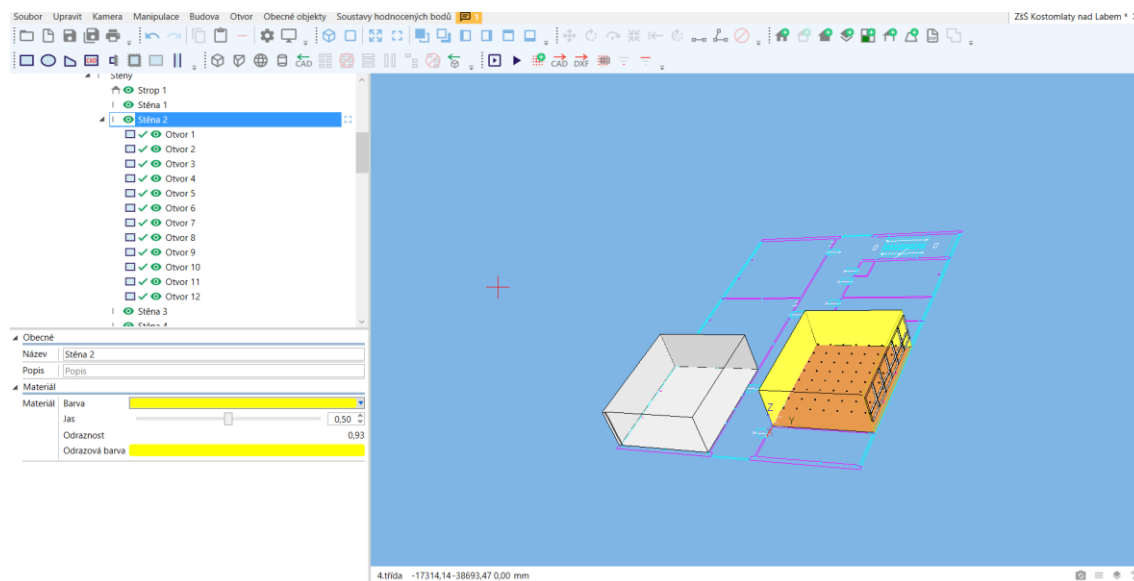
Z hlediska systémových požadavků program nemá zvláštní nároky. Požaduje operační systém Windows Vista, 7, 8, 10. Program má placenou licenci, ale je možné stáhnout si zkušební verzi na dobu 30 dní. Co se týče podpory pro ovládání programu,

firma Astra MS Software na svých stránkách umožňuje volně ke stažení podrobný návod pro užívání. Software umožňuje výpočet činitele denní osvětlenosti a zároveň je možné posoudit i sdružené osvětlení. Program byl podle autorů vytvořen v souladu s ČSN 73 0580-1 [7] a pracuje s rovnoměrně zataženou oblohou při tmavém či zasněženém terénu dle CIE. Výsledky výpočtu je možné zobrazovat pomocí sítě bodů či izofotami. Při tvorbě budovy je možné importovat podklad z CAD systémů.

5.3.2 Uživatelské rozhraní

Pro práci s WDLS 5.0 [3] je vhodné prostudovat manuál, který nabízí společnost volně ke stažení. Pracovní prostor pro uživatele má klasický panel nástrojů a hlavní okno, navíc má dvě okna, zobrazující stromovou strukturu vytvořených objektů a ve druhém okně je možné zpětně upravovat vlastnosti vytvořených objektů. V hlavním okně lze různě přepínat pohledy na budovu a to i 3D pohled.

Při spuštění programu se jako u většiny nejdříve vyplní obecné informace o projektu. Software spolupracuje s CAD systémy. Nahrávat výkresy je však možné pouze ve formátu dxf, program umožňuje interaktivní spolupráci s nahaným výkresem. Po zadání obecných informací a nahaní výkresu, se vytvoří místnosti, u kterých lze definovat barevnost ploch jednotlivých povrchů a to i různé barvy pro jednotlivé stěny. Nabízené barvy mají definovaný činitel odrazu, který lze na základě změny jasu upravit na konkrétní hodnotu. Knihovna barev povrchů je jistě zajímavá inovace i pro její názornost, ale některé hodnoty činitele odrazu jsou nepřesné až nesmyslné.



Obr. 19 – Základní pracovní prostor programu WDLS 5.0 [3]

Následně se vytvoří osvětlovací otvory. Parametry otvorů lze definovat pomocí činitele prostupu světla $\tau_{s,nor}$ pro jedno sklo a zadáním počtu skel, dále pomocí činitele konstrukce okna, lze zavést vliv regulace osvětlení a geometrie budovy pomocí koeficientu, činitel znečištění se stanovuje pomocí nastavení čistoty prostředí a hodnoty si program sám nastaví a nelze ho dále upravovat, je možné, že tento parametr nelze přesněji definovat pouze ve zkušební verzi. Pro okna se dále nastavuje barevnost ostění, kdy je stejně jako pro povrchy nabízena stejná škála barev s definovanou odrazností a jasem.

Lze zahrnout i vliv okolní zástavby vytvořením budov, případně jiných prvků v exteriéru. Zásadní prvky, které by mohly ovlivnit úroveň denního osvětlení, jako jsou příčky a sloupy lze v místnosti vytvořit pomocí funkce obecné objekty. Ve stromové struktuře je celé struktuře nadřazen Prostor, ve kterém lze definovat s jakou oblohou má software počítat. Jelikož je program vytvořen v souladu s normami, je přednastavena venkovní osvětlenost na 5000 lx, ale je možné ji měnit.

Tento počítačový nástroj je schopen vytvořit v objektu více místností najednou a všechny je posoudit a zachovat vypočítaná data. Funkce určená pro vytváření podlaží je, jak je uvedeno v návodu, zatím pouze administrativní a nelze tedy místnosti výškově usadit jinak než do prvního podlaží. Tento nedostatek však bude s největší pravděpodobností odstraněn v novějších verzích programu.

Před samotným výpočtem se definuje soustava hodnocených bodů, kde lze určit rozteče sítě a způsob zobrazování výsledných hodnot. Výpočet lze provést pro více místností a program hodnoty uchová. Výsledky a všechny navolené parametry software shrne do protokolu. V průběhu vytváření modelu lze ukládat pohledy, které budou v protokolu rovněž uvedeny.

5.3.3 Hodnocení programu

WDLS 5.0 [3] lze v současnosti označit jako jeden z vedoucích programů určených pro simulaci denního světla na českém trhu. Jeho vlastnosti od schopnosti interaktivně spolupracovat s CAD systémy a s tím související snadné modelování budov, přes možnost zadávání všech důležitých světelně technických parametrů až po prezentaci výsledků a i pro jeho stálý vývoj, to všechno určuje jeho kvalitu při výpočtu kvantity denního světla.

Přesto nelze program prohlásit za dokonalý nástroj. Program neumožňuje místnost umístit jinak než do prvního podlaží. Tím se komplikuje hodnocení

pro vícepatrové budovy. Samozřejmě vzhledem k okrajovým podmínkám pro denní osvětlení se pro různé výškové umístění místností nic nemění. To platí, pokud budově nestíní okolní zástavba. V programu je pak nutné měnit výšky okolních budov v závislosti na hodnoceném podlaží. Dále nelze stanovit činitel znečištění a knihovna barev s určenými hodnotami činitele odrazu je nepřesná.

5.4 DIAL+

5.4.1 Charakteristika

Jedná se o program vytvořený švýcarským Federálním technologickým institutem v Lausanne. Program má placenou licenci, ale je dostupný na Fakultě stavební ČVUT v Praze v učebně A534. Nebo je možné stáhnout si na stránkách Dialplus [vs] demoverzi zdarma. Demoverze má všechny plnohodnotné funkce, ale nelze projekt ukládat.

Tento nástroj je vytvořen ve dvou základních modulech, které mají propojené intuitivní rozhraní. Jeden je určen pro hodnocení osvětlení a druhý pro hodnocení chlazení místnosti. V modulu chlazení modeluje tepelnou pohodu i s vlivem přirozené ventilace. Světelný modul dále hodnotí denní světlo a umělé osvětlení. V rámci denního světla Dial+ [4] modeluje proslunění a stínící překážky zobrazuje do stereografického diagramu. Podstatný je fakt, že počítá činitel denní osvětlenosti na základě protokolu CIE, tedy za podmínek rovnoměrně zatažené oblohy dle CIE.

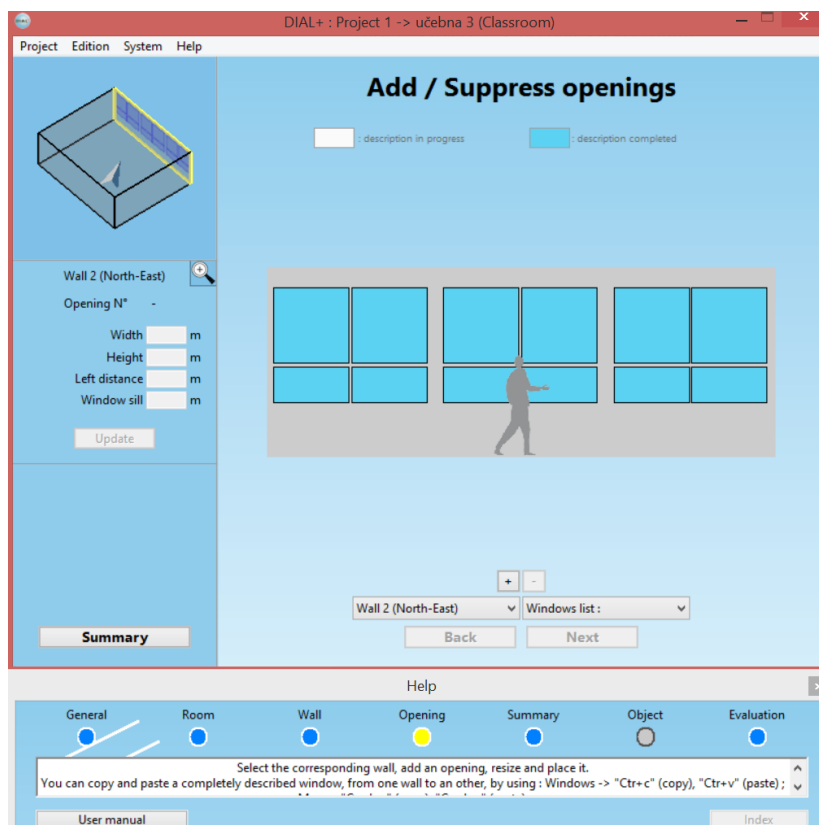
5.4.2 Uživatelské rozhraní

Po spuštění programu se kromě hlavního pracovního okna spustí okno naznačující strukturu práce s programem. Lze díky němu spustit manuál pro práci s programem. Nevýhodou pro české uživatele je fakt, že čeština v nabídce programu nefiguruje.

V prvním kroku se vyplní hlavní parametry projektu, na dalším listu se stanoví počet místností, pojmenují se hodnocené pokoje a určí jejich účel. Dále se modeluje geometrie a orientace místnosti i s tvarem střechy a světlé výšky místnosti. Dial+ [4] umožňuje zavést vliv okolní zástavby, změnit odraznosti okolního terénu a v tomto oknu lze nahrát situaci okolní zástavby ve formátu obrázku a vymodelovat na základě této předlohy okolní stínící objekty.

Na základě takto vytvořených objektů pak vytvoří stereografický diagram pro tuto situaci. Pro zjištění stavu denního osvětlení v místnosti je nutné vytvořit osvětlovací otvory. Při vytváření oken program opět intuitivně navádí při práci. Zadá se geometrie oken na dané fasádě, zapuštění výplně v rámci stěny. Protože mají moduly osvětlení a chlazení společné rozhraní je možné zadávat i parametry podstatné pro tepelnou techniku.

Tudíž je v následujícím kroku vyjma propustnosti okna možné zadat i součinitel prostupu tepla skla a dále i součinitel prostupu tepla rámu a jeho materiál, ale i jeho procentuální velikost v rámci celé výplně otvoru. Dále je možné zadat stínění oken od žaluzií po markýzy.



Obr. 20 – Základní pracovní prostor programu DIAL+[4]

Po specifikaci oken se uživatel dostane do menu nabízející denní osvětlení, umělé osvětlení či teplotní posudek. Pro dokončení posudku je nutné určit parametry interiéru, které jsou zadány pomocí činitele odrazu povrchu podlahy, střechy a jednotlivých stěn. Činitel odrazu se zadává přímým číselným vstupem. Před samotnou simulací lze určit počet kontrolních bodů, ale protože program nevychází z českých norem, nelze určit přesné rozteče sítě. Je však možné přesně stanovit výšku srovnávací roviny.

V poslední fázi program spočítá činitel denní osvětlenosti pro danou místnost. Výsledná data jsou zobrazena pomocí barevné sítě představující určité rozmezí hodnot.

5.4.3 Hodnocení programu

Program je koncipován pro co možná nejsnazší práci a při simulaci uživateli program nabízí další krok. Tím se snižuje možnost opomenutí některého faktoru pro posudek a usnadňuje seznámení s programem pro začátečníky. Ačkoliv má program společné zadávací rozhraní pro oba moduly, není nutné vyplnit faktory, které nejsou

z hlediska osvětlení nutné. Protože je program vytvořen ve Švýcarsku, není v nabídce jazykových modulů čeština, což lze pokládat za určitou nevýhodu na našem trhu.

Nevýhodou nebo spíše nepraktickou stránkou při modelování je nemožnost kopírování oken. Při modelování oken je nutné každé okno zadat stejným zdlouhavým postupem „proklikáváním“ více zadávacích oken.

Z hlediska hodnocení světelné techniky lze do výpočtu zahrnut většinu podstatných faktorů, kterými jsou zastínění okolní zástavbou, geometrie okna i s velikostí rámu a světelnou propustností skla. Přímým číselným vstupem se charakterizuje činitel odrazu povrchů v interiéru, ale neumožňuje již zadání činitele znečištění. Tím se zvyšuje nepřesnost světelných výpočtů. Program však neumožňuje zobrazit výsledky pomocí sítě bodů, izofot ani dvou bodů pro obytné místnosti, ale pomocí barevné škály čtverců v rámci půdorysu místnosti.

5.5 AUTODESK REVIT ARCHITECTURE

5.5.1 Charakteristika

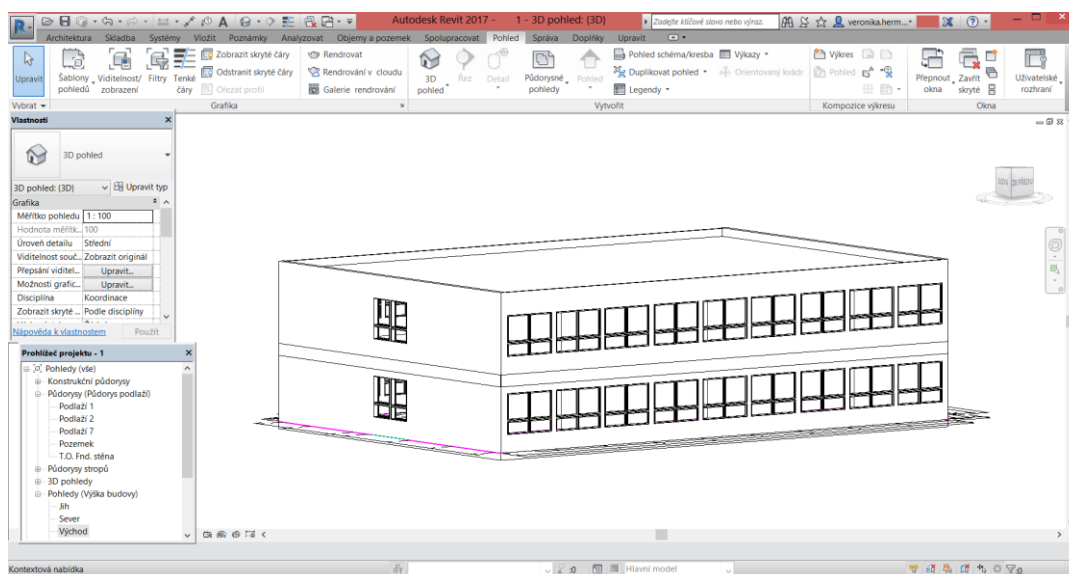
Revit byl vytvořen firmou Autodesk především pro účely BIM (Building Information Modelling) modelování. Což je systém, který má cíl, aby všechny profese nutné pro projektování budov pracovali na jednom modelu. Revit je součástí více programů, které spolu komunikují. Program má vytvářet stavebně-konstrukční části projektování, tedy vytvoření modelu objektu a na něj navazují další profese. Konkrétní výčet všech funkcí Revitu by byl dlouhý, pro diplomovou práci je však podstatný fakt, že Autodesk v posledních letech zařadil i funkci pro hodnocení denního osvětlení. Co se týče licence, je placená, ale Autodesk podporuje studium, a proto je k dispozici studentská verze případně, 30 denní zkušební verze zdarma.

5.5.2 Uživatelské rozhraní

Software patří do „rodiny“ firmy Autodesk, proto je jeho pracovní plocha velmi obdobná jako v programu Autocad. Protože je program primárně určen pro vytváření výkresové dokumentace, která bude sloužit jako základ pro další stavební profese, je jeho ovládání oproti předešlým programům podstatně složitější a naučit se plně ovládat alespoň základní funkce je časově náročné. Výhodou programu je velká online podpora pro ovládání programu jako jsou různá CAD fóra, videa apod. Pro posouzení denního osvětlení je nutné vytvořit model budovy, který se vytvoří pomocí funkcí na liště architektura. Protože je program vytvořen pro účely BIM modelování, je možné importovat CAD výkresy jako podklad pro tvorbu 3D modelu atd. Zároveň pokud se

CAD výkres připojí, tento podklad v Revitu se bude sám aktualizovat na základě provedených změn v takto připojením souboru.

Po vytvoření modelu objektu je nutné zadat okna, které se rovněž zadají přes lištu architektura. V podokně vlastnosti se specifikuje typ okna, jejich geometrie apod. Není možné přímo zadávat činitele pro posuzování denní osvětlenosti dle českých norem. Program pouze počítá s přednastavenou hodnotu propustnosti skla pro různé typy skel. Po vytvoření modelu je nutné připravit si pomocí funkce 3D pohled výřezy jednotlivých podlaží, které jsou předmětem hodnocení. Během tohoto procesu je nutné nastavit výšku srovnávací roviny. Následně pomocí funkce Renderování ve službě Cloud na liště Pohled se určí parametry výstupu. Před tím je ještě nutné vytvořit účet na službě Autodesk 360, na kterém budou vyrenderované výsledky zobrazeny. V okně Renderování ve Službě Cloud ve volbě kvalita se vybere Intenzita osvětlení, připravený posuzovaný pohled a dále lze stanovit umístění, čas a model oblohy. V modelu oblohy je možné vybrat různé modely oblohy: jasnou, středně jasnou a zataženou oblohu, pro které program vygeneruje výsledky v luxech a zároveň je v nabídce výpočet činitele denní osvětlenosti, tudíž není úplně jasné pro jako oblohu, je činitel definován.



Obr. 21 – Základní pracovní prostor programu Revit [5]

Program není vytvořen v souladu českými normami a výsledky generuje jako barevný obrázek, kdy každému odstínu je přiřazeno rozmezí hodnot.

Obdobně jako program od firmy Velux dokáže Revit modelovat jasové podmínky v interiérech.

5.5.3 Hodnocení programu

Simulace denního osvětlení není primární funkcí programu, tato možnost byla zařazena do programu poměrně nedávno a není vytvářena na základě norem platných v Čechách. Neumožňuje zadávání parametrů pro výpočet činitele denního osvětlení a jeho výsledky budou s velkými odchylkami. Není možné stanovit ani vnitřní světelně technické parametry.

Pro hodnocení stavu budov z hlediska světelně technických podmínek není dostatečně přesný, ale pro zlepšení kvality projektových studií z hlediska zapojení světelně technických posudků je dostačující. Využití softwaru pouze za účelem vytvoření studie denního osvětlení není příliš praktické, protože je jeho ovládání složité.

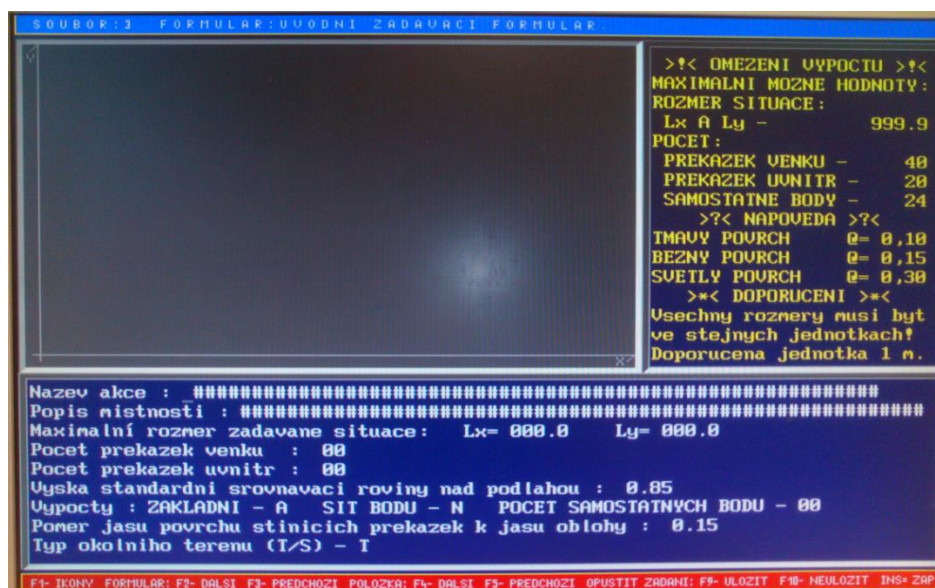
5.6 WAL 1.1

5.6.1 Charakteristika

Program vytvořený ve spolupráci doc. J. Kaňky a Ing. M. Pelecha. Program má velice zastaralé rozhraní DOS, které se ovládá pouze za pomoci klávesnice. Použití takového programu pro posudek by nebylo chybou, protože nabízí velkou přesnost. Ale v nabídce jsou již vhodnější programy pro posudek, především z hlediska modernějšího uživatelského prostoru. Program má pouze placenou licenci, ale je dostupný na fakultě stavební ČVUT v učebně A534.

5.6.2 Uživatelské rozhraní

Software se ovládá pouze pomocí klávesnice. Nejdříve se spustí tvorba nového souboru a následně se v několika krocích vymodeluje místnost s danou specifikací.



Obr. 22 – Základní pracovní prostor programu WAL 1.1 [6]

V první záložce (viz obrázek 22) se specifikují vnější okrajové podmínky a srovnávací rovina. V dalším okně se zadají parametry místností její průměrný činitel odrazu, geometrie a počet oken v jednotlivých stěnách. V posledním okně se pak zadávají okna, která lze specifikovat na základě jejich geometrie, a činitelů: propustnosti světla, ztrát konstrukcí okna a znečištění z exteriéru a interiéru. V posledním kroku se spustí výpočet.

Výstup nelze nijak vyexportovat, jedinou možností jak výstup zachovat je vyfotografovat monitor. WAL 1.1 [6] má více omezení pro výpočet. Patří mezi ně omezení hodnoceného prostoru a místnosti, počet oken a činitel odrazu nelze zadat větší než 0,6. Další omezení je počet překážek v exteriéru a v interiéru a počet hodnocených kontrolních bodů.

5.6.3 **Hodnocení programu**

Ovladatelnost je, přes počáteční řekněme nezvyk na starší pracovní prostor, snadná a model se zadává rychle a snadno. Možnosti zadávání vstupních parametrů jsou dle českých norem, jedinou vadou je chybějící možnost zadávání činitelů odrazu pro jednotlivé povrchy. Tato vlastnost snižuje přesnost výpočtů. Dále jsou nevýhodou výše zmíněná omezení výpočtu. Program nebyl přizpůsoben novým normám, a proto jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti uváděny na dvě desetinná místa.

5.7 **DALŠÍ MOŽNOSTI**

5.7.1 **Ecotect**

Jedná se o program z dílny Autodesk, který již není firmou podporován, jeho funkce byly integrovány do produktové řady Revit. Licenci programu již není možné zakoupit.

5.7.2 **DIALux evo**

Program určený pro hodnocení umělého osvětlení, který obsahuje i zjednodušené hodnocení denního osvětlení. Program je volně ke stažení na stránkách německé firmy DIAL.

5.8 SHRNU TÍ CHARAKTERISTIK PROGRAMŮ

Žádný z posuzovaných programů nelze označit jako perfektní. Pro odborníky se zdá být nejvhodnější využít programu Světlo+ [2] nebo WDLS 5.0 [3]. Zatímco program Světlo+ [2] ztrácí po stránce řekněme IT provedení oproti druhému zmiňovanému, naopak přidává možnosti zavedení přesnějších okrajových podmínek. Možností zadání více parametrů se dosáhne modelu více se blížícího skutečnosti. WDLS 5.0 [3] má moderněji zpracované uživatelské rozhraní, ale oproti předešlému ztrácí na přesnosti.

Tab. 7 – Přehled hodnocených parametrů softwarů

Parametr/ program	VELUX Daylighting Visualizer	SVĚTLO+	WDLS 5.0	DIAL+	AUTODESK REVIT	WAL 1.1
Distribuce	Free	Placená*	Placená**	Placená*	Placená**	Placená*
Složitost ovládání	Lehká	Střední	Střední	Lehká	Velmi Těžká	Lehká
Import z CAD	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne
Odbornost	Nízká	Vysoká	Vysoká	Střední	Nízká	Vysoká
Modelace Proslunění	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne
Modelace Denního osvětlení	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Simulace osvětlenosti, jasu	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
Renderování interiéru	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
Vizualizace exteriéru	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
ČSN 73 0580 -1 [7]	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne	Ano
Vliv zástavby	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Činitel odrazu	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
Činitel prostupu	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
Činitel znečištění	Ne	Ano	Ne***	Ne	Ne	Ano
čeština	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano

*) Dostupné na Fakultě stavební v učebně A534

***) Možná instalace zkušební verze po dobu 30 dní

****) Přednastaven pro čisté okno

Pro rychlé vytvoření představy světelných podmínek v místnosti je vzhledem k jednoduchosti ovládání vhodný program od firmy Velux případně přesnější DIAL+ [4]. Malý záběr zadávání okrajových podmínek těchto programů snižuje jejich přesnost.

Program firmy Autodesk má simulaci denního osvětlení pouze jako dodatkovou funkci, která byla zařazena poměrně nedávno. Navíc Revit [5] není vytvářen primárně pro český trh, a proto není simulace v souladu s českými legislativními požadavky. Přesto je pozitivní fakt, že se při tvorbě BIM systému modelování zahrnuje i vliv denního osvětlení, ačkoliv v méně odborné formě. Pro odborné hodnocení jeho výstupy nejsou příliš vhodné.

Poslední použitý program WAL 1.1 [6] nabízí vysokou přesnost výstupů. Pro jeho zastaralý systém je však již méně vhodný pro hodnocení a jeho největší vadou je nemožnost jakkoliv vyexportovat data a výstupy je nutné fotografovat z monitoru.

6 HODNOCENÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ

V předešlé kapitole byly programy zhodnoceny z hlediska užívání. Po seznámení se s programy je následující text věnován posouzení denní osvětlenosti na základní škole, která byla i předmětem měření korekčních činitelů. Pomocí zvolených počítačových programů byl vytvořen model vybraných tříd a na základě výstupů z programu byl proveden posudek denního osvětlení. Aby bylo možné porovnat výsledky s ostatními programy, je model vytvářen se stejnými nebo alespoň přibližně stejnými vstupními parametry. Tyto parametry byly pro modely stanoveny odhadem. Poslední model byl vytvořen na základě naměřených hodnot jednotlivých činitelů. Vstupní parametry ovlivňující denní osvětlení můžeme rozdělit na parametry exteriéru, osvětlovacího otvoru a interiéru. Posudek zvolené základní školy je proměnlivý na základě parametrů interiéru. Jak vyplývá z popisu jednotlivých učeben, je barevnost stěn různá, tento aspekt je zahrnut v odhadu parametru odrazu stěn.

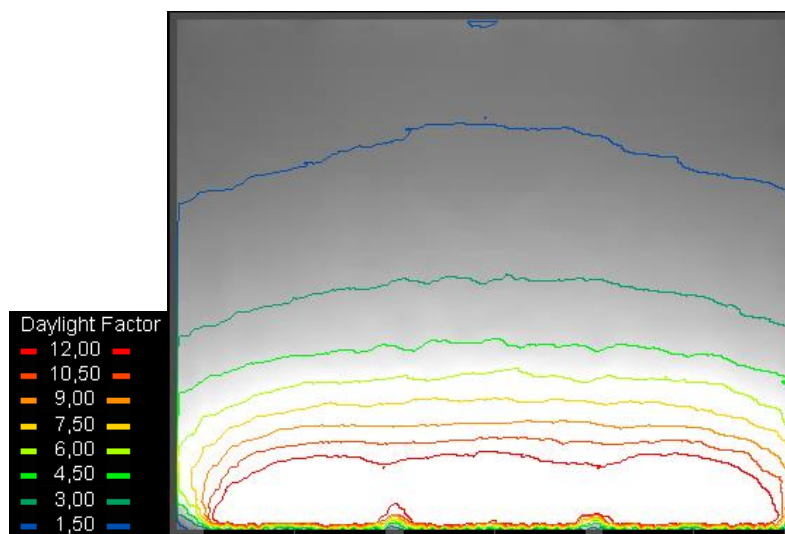
Denní osvětlení se především hodnotí z hlediska úrovně osvětlení, ale lze hodnotit i kvalitu. Zmíněné kvalitativní parametry by měli být zohledňovány při návrhu budov. Jejich udržením ve správných mezích se zajišťuje zraková pohoda v interiéru budov. Zraková pohoda by se měla zajistit jak při nízkém zisku množství světla, tak při jasné obloze či proměnlivé oblačnosti. Další kvalitativní hledisko je rovnoměrné rozložení osvětlenosti, nemělo by docházet k rušivým jasům v zorném poli ani k oslnění. Dosažení stavu, kdy by byly všechny parametry a hlediska uspokojeny, je však náročné.

6.1 VELUX DAYLIGHTING VISUALIZER

Následující simulace podmínek denního osvětlení byly vytvořeny v programu Daylighting Visualizer [1]. Úroveň denního světla je hodnocena na základě hodnot činitele denní osvětlenosti. Výpočty činitele denní osvětlenosti proběhly na základě programem předdefinovanou zataženou oblohou dle CIE. Co se týče kvality denního osvětlení, norma udává pouze minimální rovnoměrnost, která je založena na hodnotách činitele denní osvětlenosti. Kvalitu osvětlení a s ním souvisejícího jasů je vhodné hodnotit právě při podmínkách jasné oblohy, kdy může docházet i k oslňování a jiným extrémním situacím. V textu bude vždy uvedeno pro jaký typ oblohy je daný výstup vyhotoven.

6.1.1 Učebna 2

První učebna má stěny v odstínu lososové, výběrem barvy stěn v programu od firmy Velux byla nastavena odraznost stěn v hodnotě 0,67. Pro podlahu program stanovil na základě výběru barvy hodnotu 0,5 a pro strop 0,8.



Obr. 23 – Činitel denní osvětlenosti v učebně 2

Z výstupu lze odhadnout pravděpodobné minimum v hodnotě $D_{\min} = 1,4\%$, tedy menší než je požadované minimum $D_{\min} = 1,5\%$. Maximum činitele denní osvětlenosti pro tuto učebnu činí $D_{\max} = 12\%$.

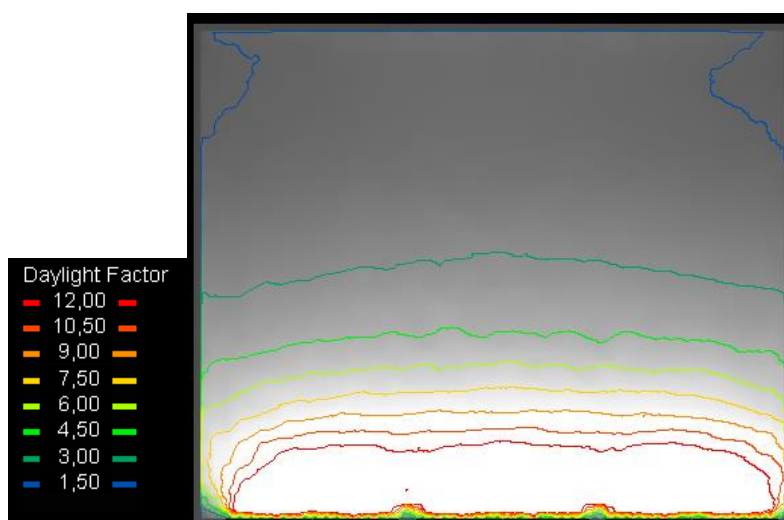
Kvalita denního osvětlení se stanoví dle (14):

$$U = 1,4 / 12 = 0,12 \quad (0,2 > 0,12 \text{ nevyhovuje}).$$

6.1.2 Učebny 3 a 5

Program neumožňuje v případě rýsování objektu přímo v programu od společnosti Velux vymodelovat místnost v jiném než v prvním podlaží. Podle

instruktážního videa je toto možné obejít pomocí 3D rýsovacího programu, z něhož by se model vyexportoval do Daylighting Visualizeru [1]. V tomto případě však postačuje připravit model pro první podlaží, což odpovídá umístění učebny 5. Pokud bude vyhovovat kvantitou osvětlení tato učebna, vyhoví i učebna o patro výše. Dá se předpokládat, že průběh kvality denního osvětlení se pro tyto místnosti nebude nijak zásadně lišit. Ačkoliv mají učebny různě barevné podlahy, program nemá takovou přesnost, aby dokázal vliv zohlednit ve výsledcích. Pro obě učebny vychází totožné schéma výsledků hodnot činitele denní osvětlenosti. Barvy byly vybrány dle průzkumu ve třídách a zvoleným barvám přiřazuje program odrazivosti v hodnotách 0,47 pro podlahu, 0,78 pro strop a 0,7 pro stěny.



Obr. 24 – Činitel denní osvětlenosti v učebně 3 a 5

Model vytvořený pro učebny 3 a 5 vychází z hlediska kvantity denního osvětlení příznivě, jak lze pozorovat na obrázku 16. V každé části místnosti je splněna minimální hranice množství denního světla rovnající se hodnotě $D = 1,5\%$ pro kmenové učebny škol. Hodnoty lze vyčíst na základě stupnice zobrazené na obrázku 24 v kombinaci s izofotami na něm zobrazenými.

Samotné hodnocení kvality osvětlení je problematické, protože při rovnoměrně zatažené obloze obvykle nedochází k narušení zrakové pohody. Ke snížení kvality osvětlení dochází při extrémních podmínkách jako je jasná obloha, kdy přímé paprsky mohou způsobovat oslnění a vzniká tak potřeba používání stínících prvků. Pak může docházet k paradoxu, kdy při příliš jasné obloze se zastíní místnost a začne se využívat umělého rovnoměrného osvětlení.

Dle obrázku 24 je hodnota činitele denní osvětlenosti v nejvzdálenějším místě od okna rovna $D = 1,5\%$ a v blízkosti okna je hodnota rovna minimálně $D = 12\%$.

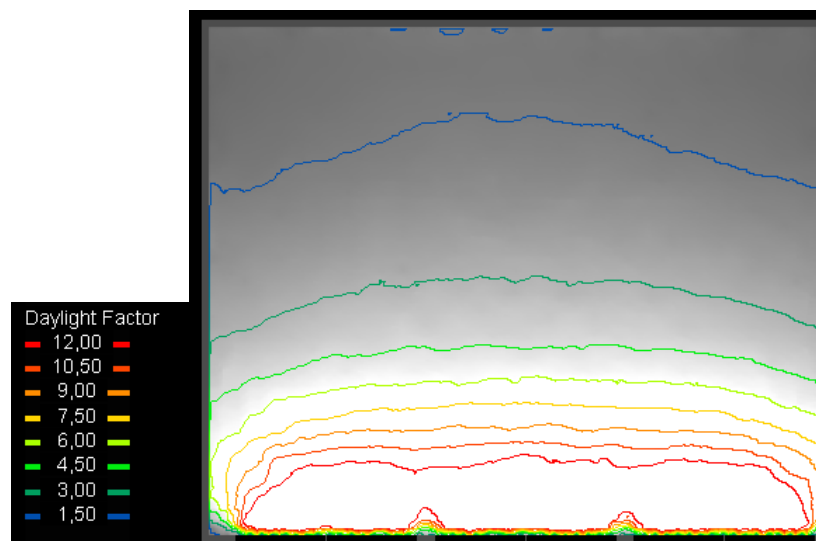
Po té je rovnoměrnost $U (-)$ dle (14) rovna:

$$U = 1,5 / 12 = 0,125 (0,125 < 0,2 \text{ nevyhovuje}).$$

Rovnoměrnost pro kmenové učebny je požadováno minimálně 0,2, učebny tedy nevyhovují.

6.1.3 Učebna 4

Osvětlovací otvory druhé posuzované učebny jsou orientovány na opačnou stranu oproti předcházející místnosti, geometrické řešení třídy je jinak shodné. Software neumožňuje zadávání barev pro jednotlivé stěny, tudíž se do modelu zadala barva s průměrnou hodnotou odrazivosti pro stěny dané učebny rovnou hodnotě 0,47. Vzhledem k tomu, že úroveň denního osvětlení není závislá na poloze Slunce na obloze, neměly by se hodnoty činitele denní osvětlenosti od hodnot učebny 1 a 3 nijak lišit. Tento předpoklad by platil, pokud by se nejednalo o posudek stávající budovy, kde je odlišná barevnost, se kterou program dokáže počítat. Hodnoty činitele denního osvětlení jsou v nejvzdálenější ploše od okna nedostačující.



Obr. 25 – Činitel denní osvětlenosti v učebně 4

Rovnoměrnost rozložení osvětlení závisí na činiteli denní osvětlení, z toho vyplývá, že stejně jako kvantita i kvalita světla bude pravděpodobně nevyhovující, jelikož u oken je světla poměrově mnohem více oproti místům dále od osvětlovacích otvorů.

Rovnoměrnost $U (-)$ je dle (14) pro učebnu 4 rovna:

$$U = 1,4 / 12 = 0,1166 (0,15 < 0,2 \text{ nevyhovuje}).$$

Rovnoměrnost je pro kmenové učebny požadována minimálně 0,2, v tomto případě je tedy rovnoměrnost v učebně nevyhovující.

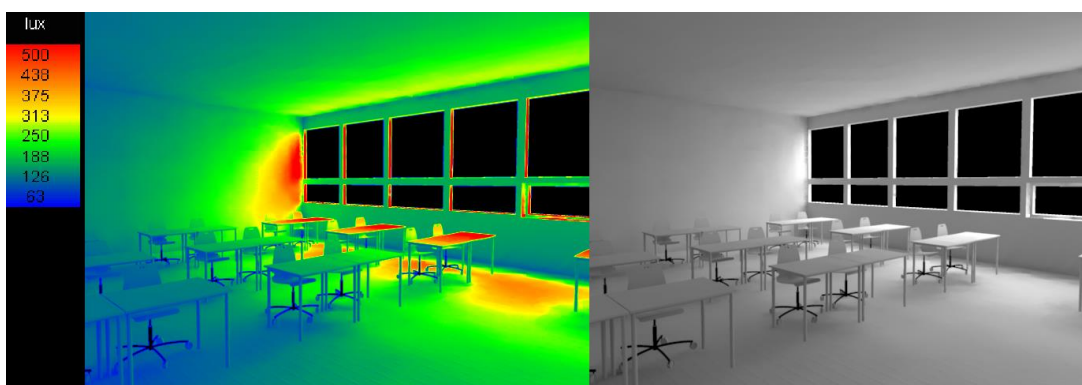
6.1.4 PŘEHLED VÝSLEDKŮ

Tab. 8 – Shrnutí výsledků z programu Daylighting Visualizer [4] a jejich hodnocení

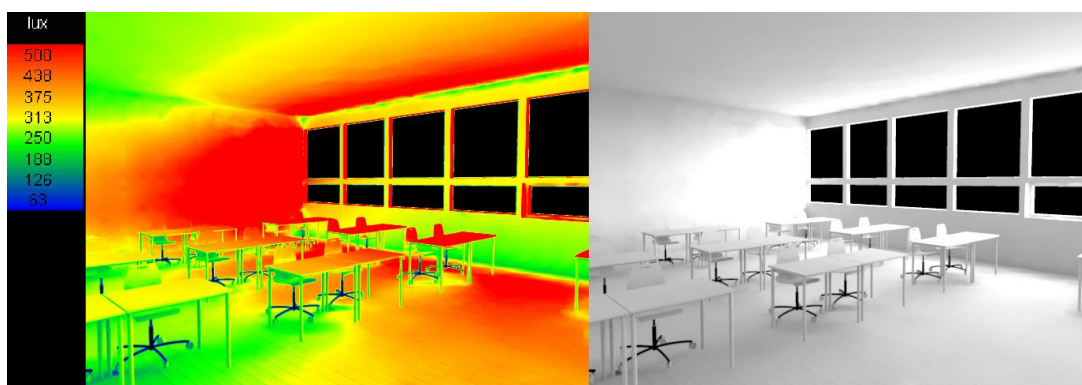
Učebna	Činitel denního osvětlení D (%)				Rovnoměrnost U (-)			
	D _{max}	D _{min}	Norma	Výpočet	Posudek	Norma	Výpočet	Posudek
2	12	1,5	1,5	1,4	nevyhovuje	0,2	0,12	nevyhovuje
3,5	12	1,5	1,5	1,5	vyhovuje	0,2	0,12	nevyhovuje
4	12	1,5	1,5	1,4	nevyhovuje	0,2	0,12	nevyhovuje

6.1.5 ROZLOŽENÍ JASU A OSVĚTLENÍ

Ačkoli se hodnotí kvalita denního osvětlení většinou pouze na základě rovnoměrnosti osvětlení závisící na hodnotách činitele denní osvětlenosti, je v následujícím textu řešena osvětlenost a jas v učebnách. Program umožňuje simulovat situaci při zatažené obloze v zimě, ale modeluje i přibližný stav osvětlenosti v případě jasné oblohy v létě. Tato funkce, kterou program má, je netypická pro programy hodnotící denní osvětlení a z toho důvodů je tento model zahrnut v textu. Navíc jsou jeho výstupy velice názorné. Simulace byly provedeny pro 12:00 hod. buď během zatažené oblohy v zimě či jasné oblohy v létě. Model je vytvořen pro učebnu 3.



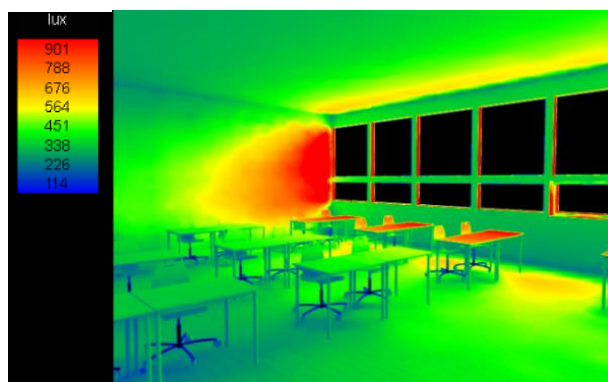
Obr 26 – Rozložení osvětlenosti v místnosti při zatažené obloze v zimě



Obr 27 – Rozložení osvětlenosti v místnosti při jasné obloze v létě

Nerovnoměrně rozložený světelný tok dobře zobrazuje výpočet z hlediska osvětlenosti na obrázku 26, kdy je patrné, že v blízkosti oken je světelný tok veliký, který se vzdáleností od oken klesá. Rozdíl množství světelného toku při těchto dvou extrémních stavech je veliký. Zatímco při zatažené obloze je osvětlenost desky pracovních stolů přibližně 500 lx pouze na nejbližší řadě lavic u oken a osvětlenost dopadající na každou vzdálenější řadu lavic je poloviční a na nejdálčenější lavici dopadá přibližně 100 lx, na pracovní desky stolů během jasné oblohy v létě neklesá osvětlenost pod 300 lx.

Rozdíl je patrný i na fotorealistických snímcích na obrázku 26 a 27. Během zimních měsíců při zatažené obloze vzniká potřeba využívat umělé osvětlení, jelikož pokud klesne osvětlenost pod 300 lx, je zrak zbytečně namáhán. Z toho vyplývá, že ačkoliv rovnoměrnost osvětlení i kvantita je zajištěna, nemusí být dosažena i kvalita osvětlení a s tím související i zraková pohoda, která je pro vyvíjející se zrakové ústrojí žáků zásadním aspektem.

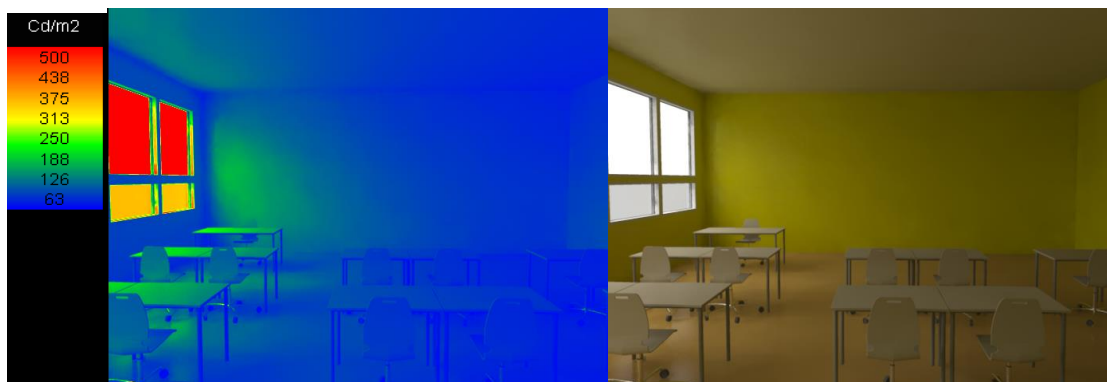


Obr. 28 – Rozložení osvětlenosti v místnosti při jasné obloze v létě

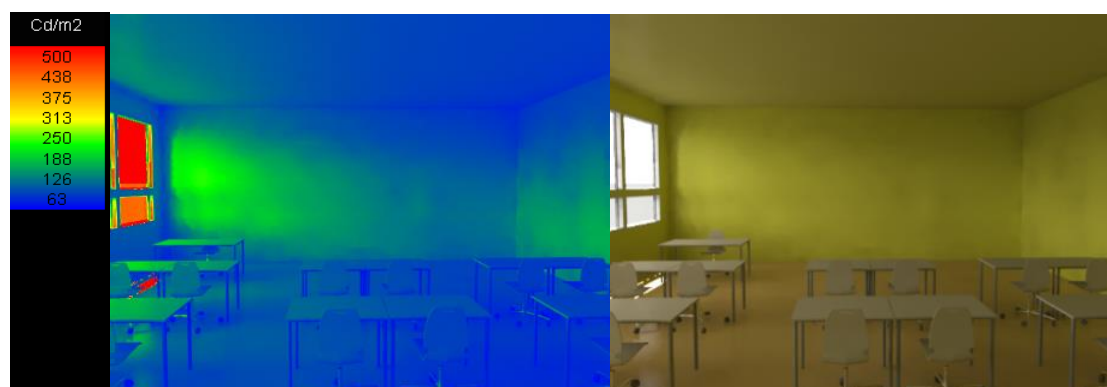
Na obrázcích 26 a 27 je vyobrazena vyjma fotorealistických snímků i osvětlenost ve „falešných barvách“ znázorňujících hodnoty osvětlenosti ve stejném rozmezí hodnot od 63 lx do 500 lx pro jasnější srovnání stavu osvětlenosti při jasné a zatažené obloze. Při změně rozmezí zobrazovaných hodnot při jasné obloze v létě vyplývá, že na pracovních deskách stolů u osvětlovacích otvorů při takto extrémních podmínkách dosahuje osvětlenost pracovních desek až 900 lx (viz obrázek 28). Tím může docházet k potřebě stínění a při jeho špatném návrhu může vznikat tmavý prostor, který je potřeba uměle osvětlit, což by nemělo nastávat. Program má i modul přibližující jas v interiérech, viz obrázky 29 a 30.

Jas přímo souvisí s osvětleností (viz kap. 1.4 Veličiny ve světelné technice) a zároveň jas, respektive jeho kontrast, vyvolává v oku vjem. Při nižším dopadajícím světelném toku na povrchu se snižuje kontrast jasu a tím se zhoršuje i viditelnost a zrak

je více namáhán. K tomuto stavu dochází při zimní zatažené obloze, což vyplývá z obrázku 29.

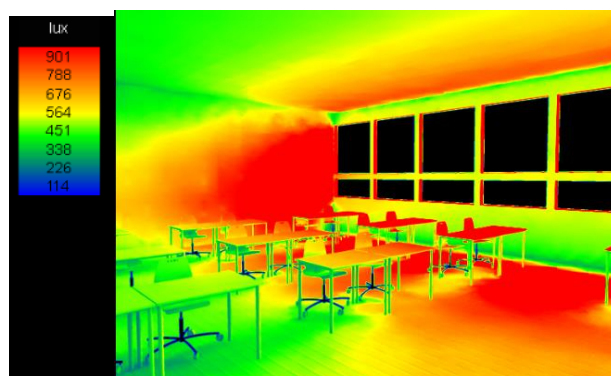


Obr. 29 – Rozložení jasů v místnosti při zatažené obloze v zimě



Obr. 30 – Rozložení jasů v místnosti při jasné obloze v létě

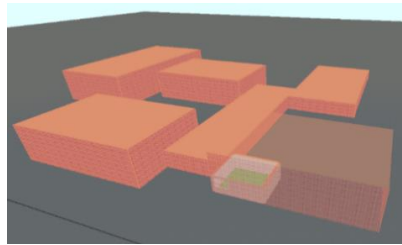
K opačné situaci dochází v letních měsících, kdy může naopak docházet k oslnění. Učebny mají z hlediska zabránění oslnění správný osvětlovací systém, a to boční osvětlující zleva. Rovněž rozdělení osvětlenosti v jednotlivých učebnách bude stejné pro všechny za předpokladu rovnoměrně zatažené oblohy v zimě. Situace se ovšem změní při jasné obloze v létě, kdy se značně zvýší osvětlenost. To dokumentuje obrázek 31, kde je zobrazena osvětlenost ve stejném rozmezí jako na obrázku 28. Posudek je prováděn pro 12-tou hodinu.



Obr. 31 – Osvětlenost při jasné obloze v létě v učebně 3

6.2 SVĚTLO+

Pro výpočet činitele denního osvětlení byl použit i program Světlo+ [2]. Program umožňuje vytvářet vizualizace posuzované zástavby, to je zobrazeno na obrázku 32, ze kterého jasně vyplývá, že posuzované místnosti nestíní okolní zástavba.



Obr 32 – Vizualizace komplexu ZŠ

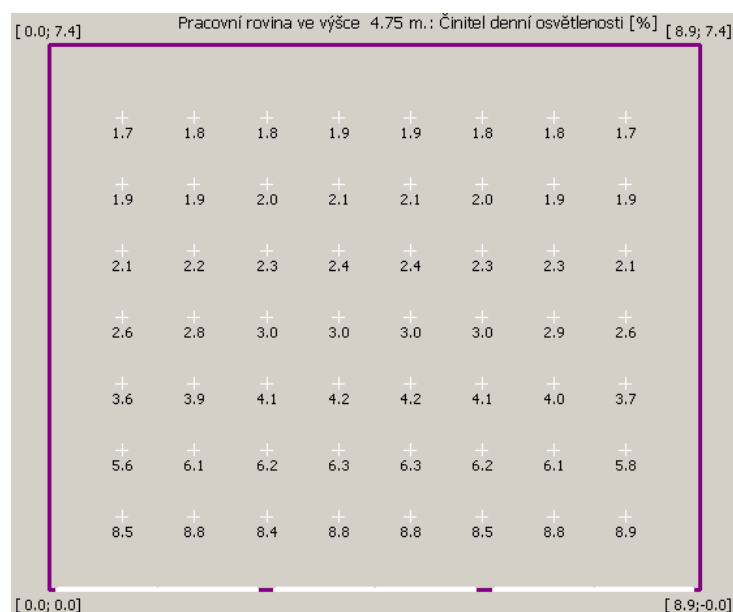
6.2.1 Učebna 2

Program je schopen usadit místnost do výškových úrovní, tudíž srovnávací rovina je ve výšce 4,75 m nad terénem. Pro osvětlovací otvory, byly určeny hodnoty:

- činitel prostupu světla pro 1 čiré sklo: $\tau_{s,nor} = 0,92$ (počet skel: 2)
- činitel ztrát světla konstrukcí okna: $\tau_k = 0,75$ (0,73)
- činitel znečištění okna v interiéru: $\tau_{z,i} = 0,95$
- činitel znečištění okna v exteriéru: $\tau_{z,e} = 0,9$.

Pro jednotlivé stěny byly odhadem stanoveny činitelé odraznosti s hodnotami:

- Strop: $\rho = 0,77$
- Stěny: $\rho = 0,65$, (0,8-bílá)
- Podlaha: $\rho = 0,47$.



Obr 33 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 2

Výsledné hodnoty úrovně denního osvětlení jsou zásadně odlišné oproti výsledkům z předešlého programu. Stav lze podle výsledků vyhodnotit jako vyhovující.

6.2.2 Učebna 3

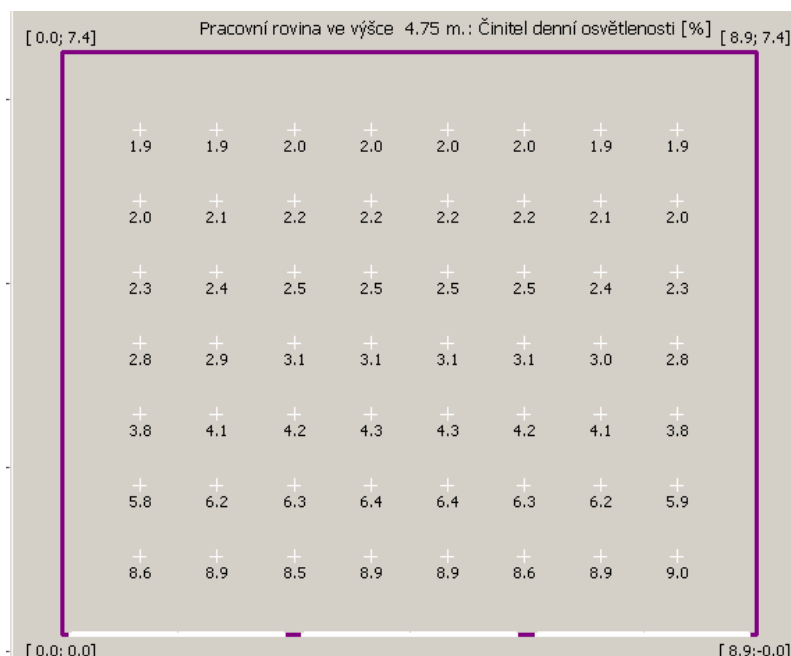
Program pro výpočet vyžaduje zadání celé řady parametrů. Při zadávání parametrů místnosti byly zvoleny činitele odrazu dle barevnosti stěn učebny:

- Strop: $\rho = 0,77$
- Stěny: $\rho = 0,7$ (0,8 – bílá)
- Podlaha: $\rho = 0,47$.

Pro hodnoty jasu ostění oken byly určeny nižší hodnoty, z důvodu časté výzdoby oken a umístění květin na parapetu. Jasy ostění navíc nemají velký vliv na výsledky. Ačkoli jako stavební prvek je jedno okno o velikosti 2,1 x 3 m o čtyřech okenních křídlech, geometrie oken byla zadávána po jednotlivých křídlech oken dle obrázku 13.

Světlo+ [2] vychází z požadavků norem pro denní osvětlení, tudíž umístění kontrolních bodů je v souladu s požadavky. Minimální hodnota činitele denního osvětlení v místnosti je větší než požadovaná nejmenší hodnota $D_{\min} = 1,5 \%$ a dle výpočtu softwaru je úroveň světla v učebně vyhovující. Podíl nejmenší a největší úrovně osvětlení není menší než požadovaná hodnota 0,2 a rovnoměrnost U osvětlení dle (14) je vyhovující:

$$U = 1,9 / 9 = 0,21 \quad (0,21 > 0,2 \text{ vyhovuje}).$$



Obr 34 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 3

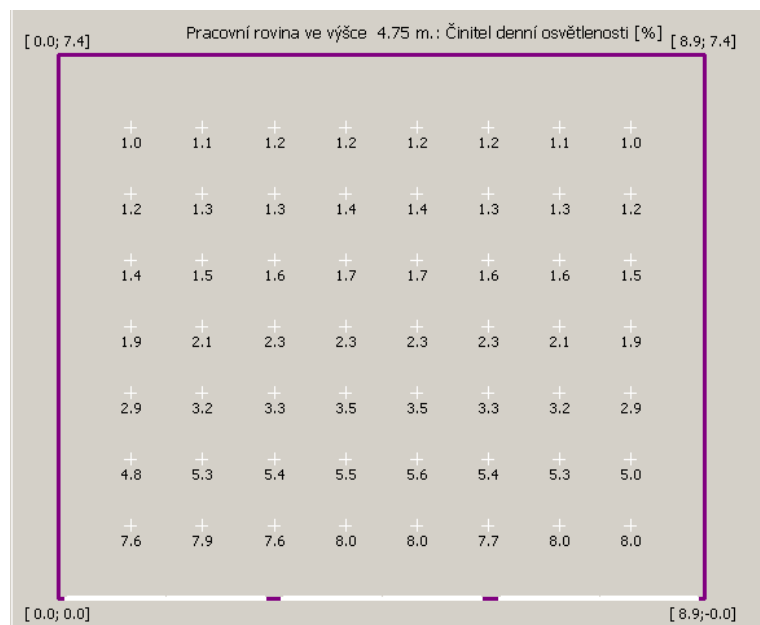
Předešlý výpočet byl stanoven na základě skutečného stavu. Pokud by se učebna hodnotila na základě normou předepsaných odrazností, pak:

- Strop: $\rho = 0,7$
- Stěny: $\rho = 0,5$
- Podlaha: $\rho = 0,3$.

Při zachování ostatních parametrů dle předešlého výpočtu, výsledky výpočtu činitele denní osvětlenosti nejsou ani zdaleka tak příznivé. Na obrázku 35 jsou zobrazeny vypočtené hodnoty pro normované vstupní hodnoty činitele odrazu a prostupu světla. Tímto výpočtem je demonstrován význam odrazností jednotlivých povrchů, kdy světlé barvy respektive vysoká odrazivost materiálů může příznivě ovlivnit kvantitu denního světla. Je důležité tuto vlastnost připisovat pouze matným materiálům, od lesklých povrchů může docházet k oslnění, a tím ke snížení zrakové pohody.

Stav ze změny i pro kvalitu denního osvětlení. Rovnoměrnost rozložení světla v místnosti není vyhovující, to je prokázáno výpočtem dle (14):

$$U = 1,0 / 8,0 = 0,125 \quad (0,2 > 0,125 \text{ nevyhovuje}).$$



Obr 35 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 3 s normovými činiteli odrazu

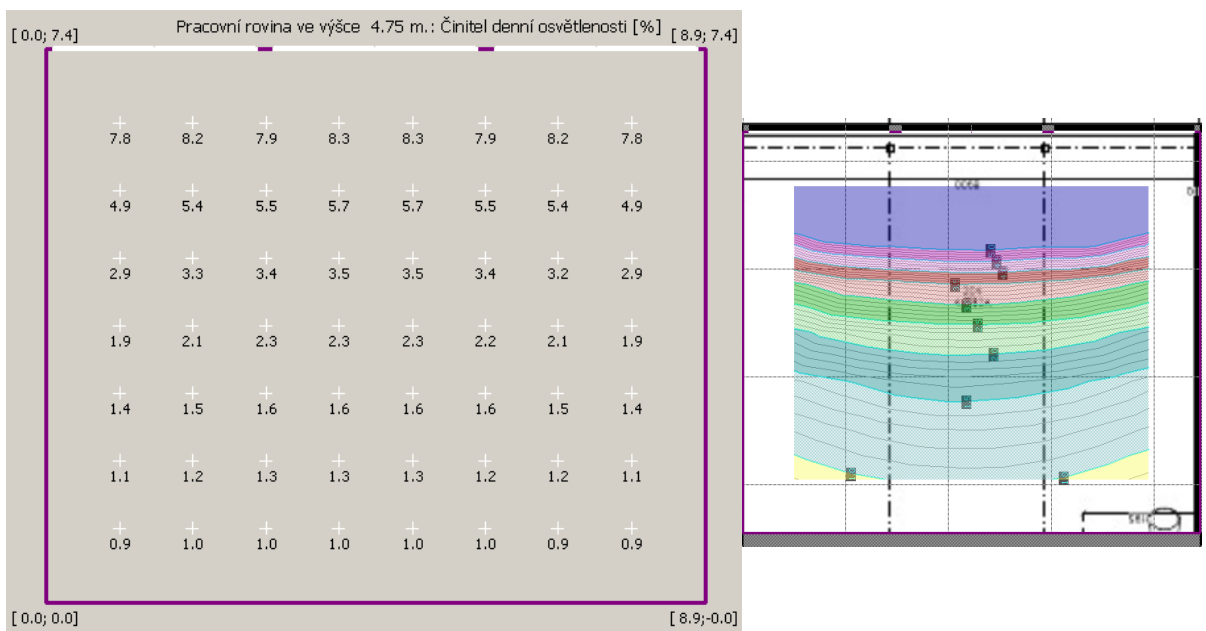
6.2.3 Učebna 4

Vstupní parametry potřebné pro simulaci stavu osvětlení v učebně 4 jsou totožné s učebnou 3. Množství denního osvětlení ovlivňují odstíny stěn a s tím související odraznost povrchů, které jsou od předešlé místnosti odlišné a blíží se víc normovaným

hodnotám. Proto je tu předpokládat nevyhovujícího stavu. Pro jednotlivé povrchy byly stanoveny hodnoty činitele odrazu:

- Strop: $\rho = 0,77$ (-)
- Stěny: $\rho_{1, \text{oranžová}} = 0,48$
 $\rho_{2, \text{modrá}} = 0,3$
 $\rho_{2, \text{bílá}} = 0,8$
- Podlaha: $\rho = 0,47$.

Ačkoliv by se tedy dalo předpokládat, že učebna 4 rovněž vyhoví z hlediska denního osvětlení, při zohlednění barevnosti, která je poměrně tmavá, tomu tak není. Na pracovní desky žáků v nejvzdálenější řadě od oken nedopadá dostatečné množství denního světla. Je to dáno špatným činitelem odrazu stěn, kvůli kterému je sníženo množství vnitřního odraženého světla. Toto jasně prokazuje význam barevného řešení místností, kdy v případě světlých odstínů jsou požadavky splněny, ale při tmavším barevném řešení stěn se stav zhoršuje někdy i zásadním způsobem.



Obr 36 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 4 zobrazených pomocí sítě bodů a izofot

Návrh úpravy pro splnění požadavků je tedy jednoduchý, vymalovat stěny světlejším odstínem. Samozřejmě by se situace dala vyřešit i jinak, například pomocí světlovodů, ale takové řešení je drahé a pracné.

Rozdíly mezi hodnotami dopadajícího světla jsou v ploše velké a tedy ani rovnoměrnost osvětlení není vyhovující.

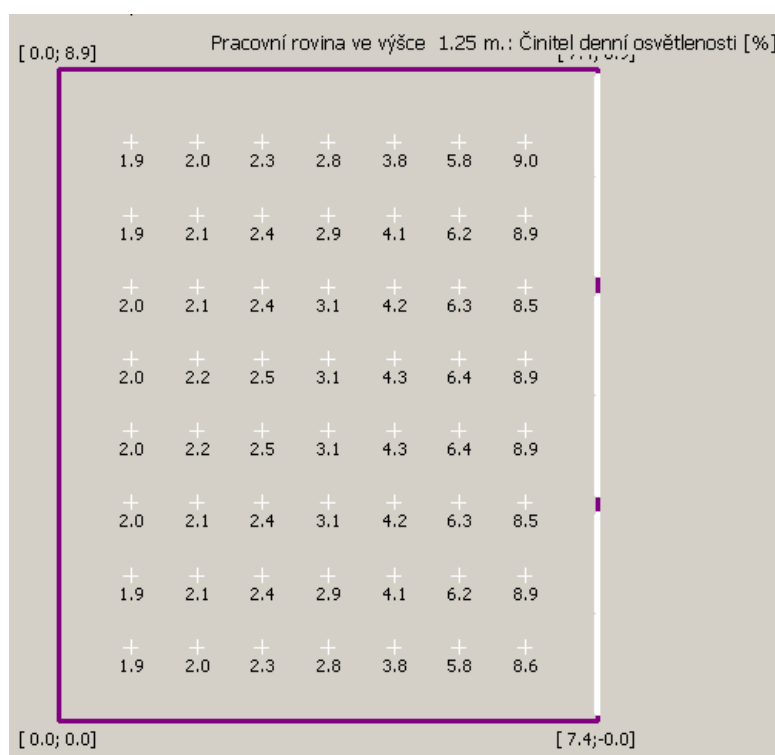
$$U = 0,9 / 8,3 = 0,1 \quad (0,2 > 0,1 \text{ nevyhovuje}).$$

6.2.4 Učebna 5

Při modelování je učebna umístěna o patro níže a tudíž je srovnávací rovina rovna hodnotě 1,25 m na terénu, ale v rámci místnosti hodnota odpovídá požadované hodnotě 0,85 m. Okrajové hodnoty pro výpočet jsou shodné s předešlými místnostmi. Jediným rozdílem je jiná barevnost podlahy. Činitel odrazu byl stanoven odhadem jako: $\rho = 0,3$.

Přestože se hodnoty množství dopadajícího světla snížily, tmavší podlaha nemá takový vliv, aby byla úroveň nevyhovující. Snížením vnitřní odražené složky se nezhoršil ani stav rovnoměrnosti osvětlení. To je prokázáno výpočtem dle (14):

$$U = 1,9 / 9,0 = 0,21 \quad (0,21 > 0,20 \text{ vyhovuje}).$$



Obr 37 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 5

6.2.5 Přehled výsledků

Tab. 9 – Shrnutí výsledků z programu SVĚTLO+ [2] a jejich posouzení

Učebna	Činitel denního osvětlení D (%)				Rovnoměrnost U (-)		
	D _{max}	D _{min} Norma	D _{min} Výpočet	Posudek	Norma	Výpočet	Posudek
2	8,9	1,5	1,7	Vyhovuje	0,2	0,19	nevyhovuje
3 -skutečnost	9	1,5	1,9	vyhovuje	0,2	0,21	vyhovuje
3 - norma	8	1,5	1	nevyhovuje	0,2	0,1	nevyhovuje
4	8,3	1,5	0,9	nevyhovuje	0,2	0,11	nevyhovuje
5	9	1,5	1,9	vyhovuje	0,2	0,21	vyhovuje

6.3 WDLS 5.0

Pro posouzení denního osvětlení bylo užito dále programu WDLS 5.0 [3]. Výstupem z programu je protokol, kde jsou shrnuty všechny navolené parametry pro výpočet. Protokol je uveden v příloze č. 2. Software dokáže zahrnout i vliv jiných prvků v místnosti, jako je tabule či jinak významné prvky v místnosti.

6.3.1 Učebna 2

Jako první byl vytvořen model učebny 2. Hodnota činitele denní osvětlenosti byla stanovena na základě následujících vstupních parametrů. Pro osvětlovací otvory byly nastaveny normativní parametry:

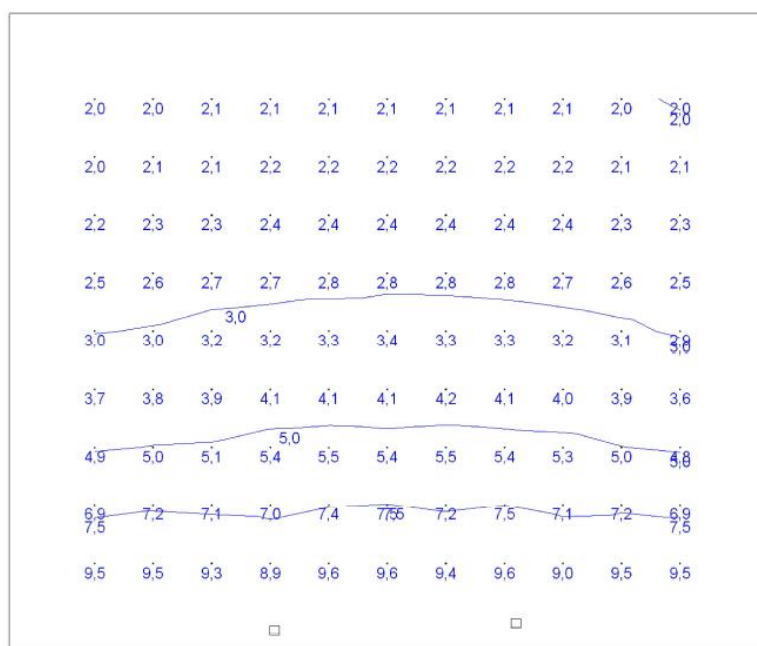
- činitel prostupu světla pro 1 čiré sklo $\tau_{s,nor}=0,92$ (počet skel: 2)
- činitel ztrát světla konstrukcí okna $\tau_k=0,75$

Činitel znečištění τ_z nelze přímo zadat, ale program počítá s hodnotami:

- činitel znečištění okna z interiéru $\tau_{z,i}=0,95$
- činitel znečištění okna z exteriéru $\tau_{z,e}=0,95$

Protože se jedná o posudek stávající místnosti, byly nadefinovány barevnosti odpovídající aktuálnímu stavu. Pro jednotlivé barvy byly zvoleny dle odhadu a jejich odraznosti jim jsou v databázi programu předvoleny:

- Strop: $\rho = 0,77$
- Stěny: $\rho = 0,65$
- Podlaha: $\rho = 0,47$.



Obr 38 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 2

Z výsledků spočítaných pomocí programu WDLS 5.0 [3] znázorněných na obrázku 38 jasně vyplývá, že úroveň denního osvětlení je v učebně vyhovující. Síť kontrolních bodů čítá 99 bodů, jejichž umístění je řízeno normou. Co se týče kvality denního osvětlení, která je hodnocena na základě rovnoměrnosti denního osvětlenosti U dle (14):

$$U = 2 / 9,6 = 0,21 \quad (0,21 > 0,20 \text{ vyhovuje}).$$

Rovnoměrnost vychází pro tuto učebnu příznivě.

6.3.2 Učebna 3

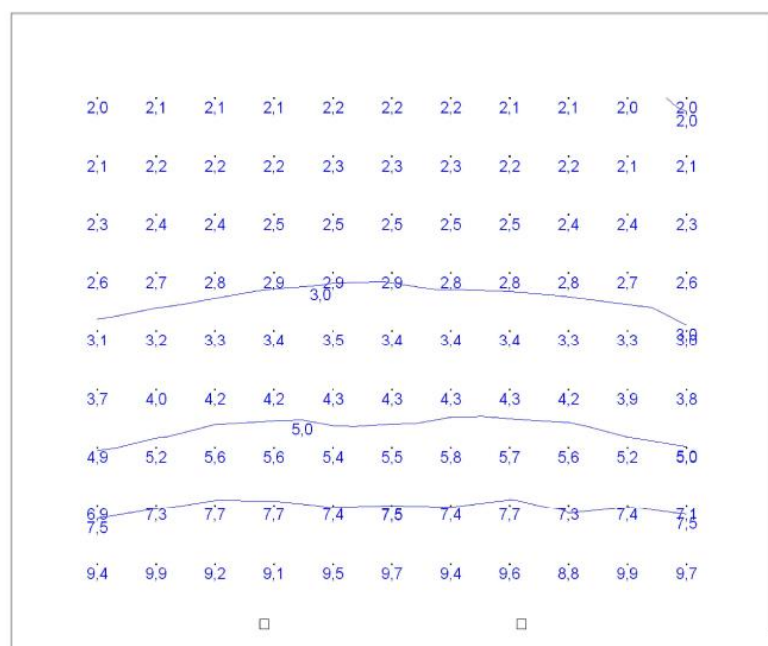
Jednotlivé hodnoty světelných parametrů pro osvětlovací otvory byly stanoveny totožně s učebnou 2.

Rozdílný stav nastává pro činitele odrazu stěn, kdy byly na základě odhadu stanoveny následující hodnoty:

- Strop: $\rho = 0,77$
- Stěny: $\rho = 0,7$ (0,8 - bílá)
- Podlaha: $\rho = 0,47$.

Úroveň denního osvětlení je v učebně 3 vyhodnocena jako dostačující pro takto nastavené parametry. Výpočet rovnoměrnosti U dle (14) je rovněž posouzen jako vyhovující:

$$U = 2,0 / 9,7 = 0,21 \quad (0,21 > 0,2 \text{ vyhovuje})$$



Obr 39 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 3

Stejně jako Světlo+ [2] i WDLS 5.0 [3] umožňuje měnit odraznosti přímým číselným vstupem, proto je úroveň osvětlení vyhodnocena i na základě normovaných hodnot činitele odrazu:

- Strop: $\rho = 0,7$
- Stěny: $\rho = 0,5$
- Podlaha: $\rho = 0,3$.

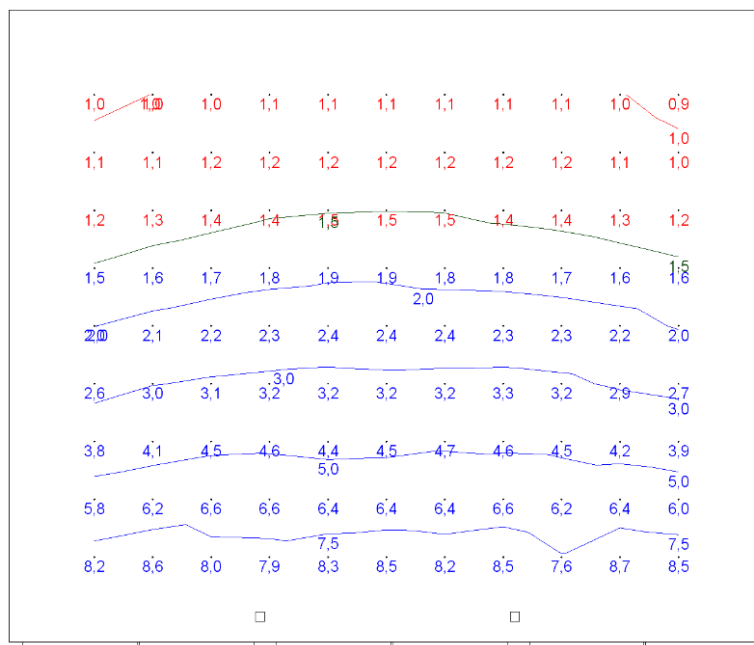
Jednotlivé hodnoty se od výpočtu Světlem+ liší především v blízkosti oken, kde program WDLS 5.0 [3] počítá s příznivějším stavem čistoty skel a dosahuje tak vyšších hodnot. Ale v hloubce místnosti se výsledky téměř shodují a stav je vyhodnocen rovněž jako nevyhovující.

Lze předpokládat i nevyhovující rovnoměrnost, což potvrzuje výpočet dle (14):

$$U = 0,9 / 8,7 = 0,1 \quad (0,1 < 0,2 \text{ nevyhovuje}).$$

Protože je požadovaná minimální hodnota rovnoměrnosti 0,2 větší, předpoklad nevyhovujícího stavu byl splněn.

Při hodnocení dalších učeben na základě legislativních hodnot činitele odrazu, by výsledek byl stejný, jelikož třídy jsou rozdílné v podstatě pouze na základě jejich barevností.



Obr 40 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 3 s normovými činiteli odrazu

6.3.3 Učebna 4

Hodnota činitele denní osvětlenosti byla stanovena na základě následujících obdobných vstupních parametrů jako v předešlé učebně. Pokud by se jednalo o studii

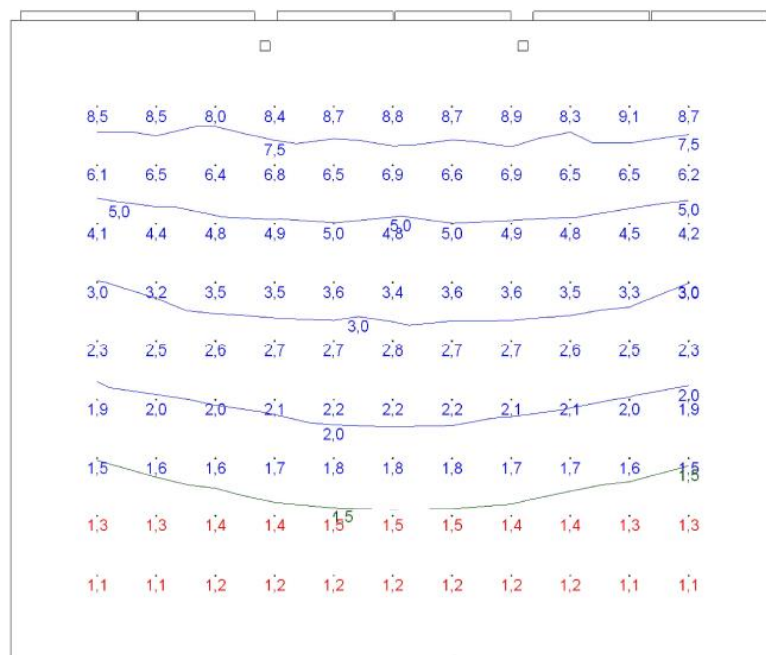
nového objektu, počítalo by se s normovými hodnotami činitelů a vzhledem ke stejné geometrii místnosti a oken by se dal předpokládat stejný průběh osvětlenosti. Ale jelikož se jedná o posudek stávajícího objektu, který má odlišnou barevnost povrchů, o výsledku nejde s jistotou prohlásit, že bude stejný. Pro všechny osvětlovací otvory byly nastaveny parametry totožné s učebnou 3. Pro jednotlivé povrchy byly stanoveny odraznosti shodné pro posudek s navolenými hodnotami pro program Světlo+ [2]:

- Strop: $\rho = 0,77$ (-)
- Stěny: $\rho_{1, \text{oranžová}} = 0,48$
 $\rho_{2, \text{modrá}} = 0,3$
 $\rho_{2, \text{bílá}} = 0,8$
- Podlaha: $\rho = 0,47$

Výsledky jsou rovněž srovnatelné s výpočtem předešlého počítačového programu, který stanovil hodnoty činitele denního osvětlení nižší, než jsou požadovány normou.

Kvalita denního osvětlení dle rovnoměrnost U (-) má hodnotu dle (14):

$U = 1,1 / 9,1 = 0,12$ ($0,12 < 0,2$ nevyhovuje).

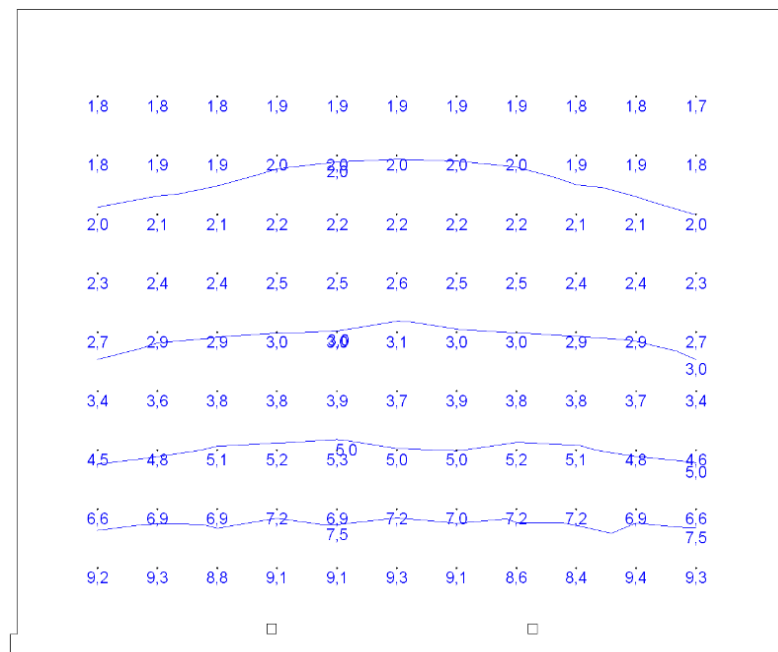


Obr 41 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 4

6.3.4 Učebna 5

Tato místnost je téměř totožná s učebnou 3, má stejné parametry pro výplň osvětlovacích otvorů a obdobné odstíny povrchů, kromě podlahy, která je tmavšího rázu

s činitelem odrazu: $\rho = 0,3$. Tato hodnota byla stanovena na základě subjektivního odhadu, jelikož je povrch žíhaný, byla barva zvolena dle převládajícího odstínu.



Obr 42 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 5

Tmavší podlaha snižuje velikost vnitřní odražené složky, ale nikoliv natolik aby místnost nebyla dostatečně osvětlena a rovnoměrnost U denního osvětlení dle (14) činí:

$$U = 1,7 / 9,4 = 0,18 \quad (0,18 < 0,2 \text{ nevyhovuje}).$$

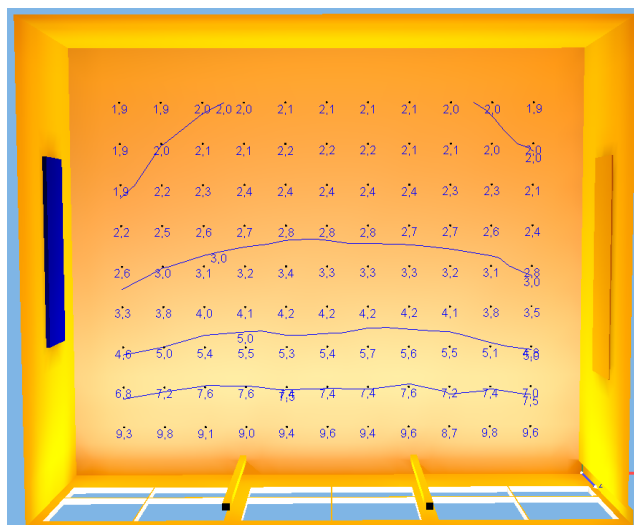
A je tedy posouzena jako nevyhovující dle normových požadavků.

6.3.5 Zahnutí vlivu prvků v učebně

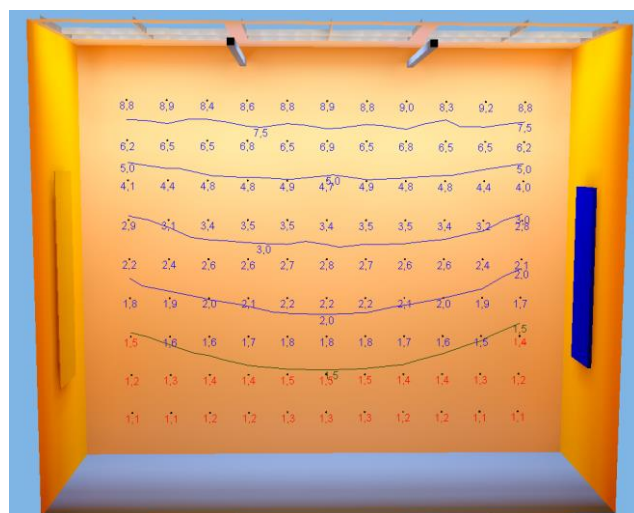
V běžné praxi se posudek denního osvětlení stanovuje během návrhu objektu a není možné vytvářet skutečně přesný model ani barevností natož rozmístění nábytku v prostoru. Protože se však jedná o posudek školní učebny, byl vytvořen stav, který zahrnuje vliv běžných prvků na stěnách pro školy.

Vstupní hodnoty jsou totožné s předešlým výpočtem. Navíc byly vymodelovány tabule shodně veliké. Tabule jsou umístěny ve výšce 0,9 m nad podlahou, široké 3 m a vysoké 1 m. Činitel odrazu tabulí činí $\rho = 0,04$. Nástěnky jsou ve výšce 1,1 m na podlahou s výškou 1,1 m a různých šířkách, v páté učebně je nástěnka široká 6,5 m, v ostatních učebnách shodně 3,3 m. Nástěnka má ve výpočtu hodnotu odraznosti $\rho = 0,4$ pro učebnu 5 a pro učebny 3 a 4 v hodnotě $\rho = 0,2$. Stanovení hodnot činitele odrazu proběhlo na základě odhadu. Protože přidané prvky na stěnách mají nižší hodnoty odraznosti, došlo

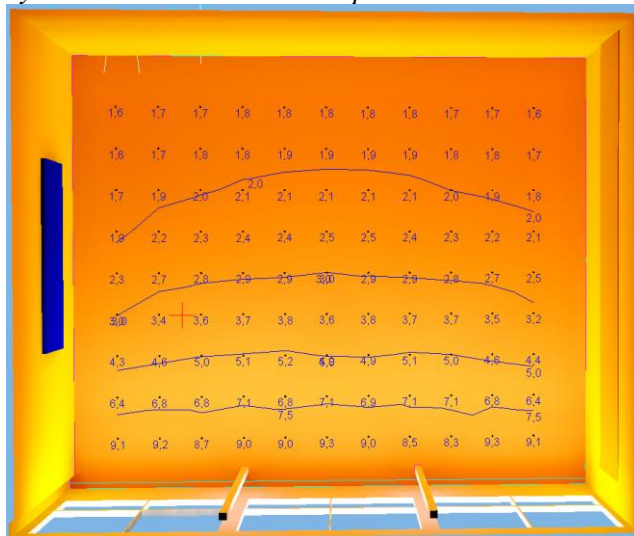
ke snížení množství osvětlení v místnosti. Tabule a nástěnky v učebnách mají za výsledek snížení hodnot činitele denní osvětlenosti řádově o jednu desetinu procent.



Obr 43 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 3 s vlivem tabule a nástěnky



Obr 44 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 4 s vlivem tabule a nástěnky



Obr 45 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 5 s vlivem tabule a nástěnky

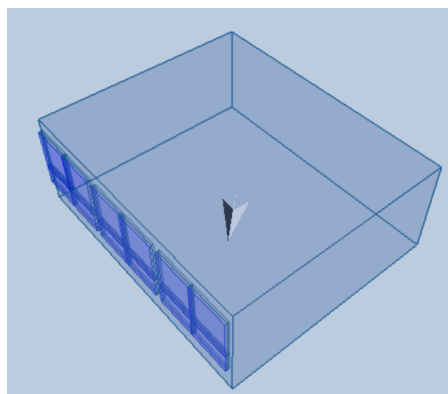
6.3.6 Přehled výsledků

Tab. 10 – Shrnutí výsledků z programu WDLS 5.0 a jejich posouzení

Učebna	Činitel denního osvětlení D (%)				Rovnoměrnost U (-)		
	$D_{m_{ax}}$	D_{min} Norma	D_{min} Výpočet	Posudek	Norma	Výpočet	Posudek
2	9,5	1,5	2	vyhovuje	0,2	0,21	vyhovuje
3 -skutečnost	9,7	1,5	2	vyhovuje	0,2	0,21	vyhovuje
3-s nábytkem	9,8	1,5	1,9	vyhovuje	0,2	0,2	vyhovuje
3 – norma	8,7	1,5	0,9	nevyhovuje	0,2	0,1	nevyhovuje
4	9,1	1,5	1,1	nevyhovuje	0,2	0,12	nevyhovuje
4-s nábytkem	9,2	1,5	1,1	nevyhovuje	0,2	0,12	nevyhovuje
5	9,4	1,5	1,7	vyhovuje	0,2	0,18	nevyhovuje
5-s nábytkem	9,3	1,5	1,6	vyhovuje	0,2	0,17	nevyhovuje

6.4 DIAL+

Simulace denního osvětlení byla vytvořena dále i ve švýcarském programu DIAL+ [4]. Na obrázku 46 je zobrazena vizualizace místnosti z programu DIAL+ [4].



Obr 46 – Schéma učebny 3 dle programu DIAL+[4]

6.4.1 Učebna 2

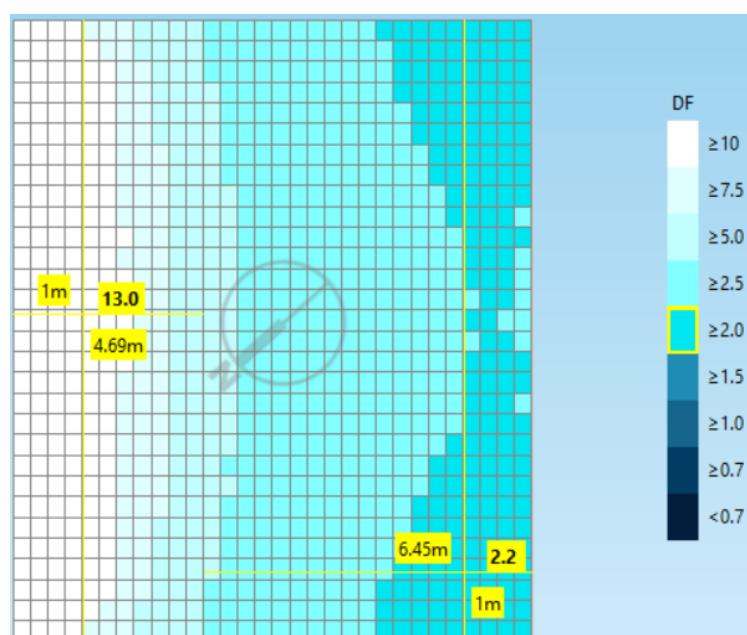
Činitel denní osvětlenosti je v učebně 3 stanoven i podle výpočtu programem DIAL+ [4]. Pro výpočet byly nastaveny vstupní parametry výplní osvětlovacích otvorů dle normových požadavků, a sice činitel prostupu světla pro 2 čirá skla $\tau_s = 0,846$ (-), činitel znečištění nelze v rámci programu stanovit. Rozměry oken byly stanoveny dle obrázku 13. Plocha, kterou zabírají rámy, se do programu zadává procentuálně. Tudíž pro okna 1350 x 1350 mm byla zadána hodnota 25 % a pro okna 1350 x 650 mm byla zadána hodnota 27 %.

Činitel odrazu jednotlivých ploch odpovídá skutečnému stavu místnosti, jednotlivé hodnoty činitele odrazu se do programu zadávají přímým číselným vstupem.

Ty byly, kvůli jasnějšímu srovnání výsledků z programů, převzaty z programu WDLS 5.0 [3] nebo Světlo+ [2]:

- Strop: $\rho = 0,77$
- Stěny: $\rho = 0,65$ (0,8 - bílá)
- Podlaha: $\rho = 0,47$.

Výška srovnávací roviny je v souladu s normou 0,85 m nad podlahou. Program neumožňuje zobrazit síť bodů dle českých norem. Data generuje pro celou plochu místnosti pomocí rozdělení této plochy do více plošek, kterým na základě barevné stupnice přiřazuje jednotlivé hodnoty. Na obrázku 47 je znázorněno minimum a maximum, kterých dosahuje čísel denní osvětlenosti dle programu DIAL+ [4].



Obr 47 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 2

Z výsledků je jasně patrný vyhovující stav úrovně denního osvětlení v učebně 2. Kvalita denního osvětlení není dle (14) vyhovující:

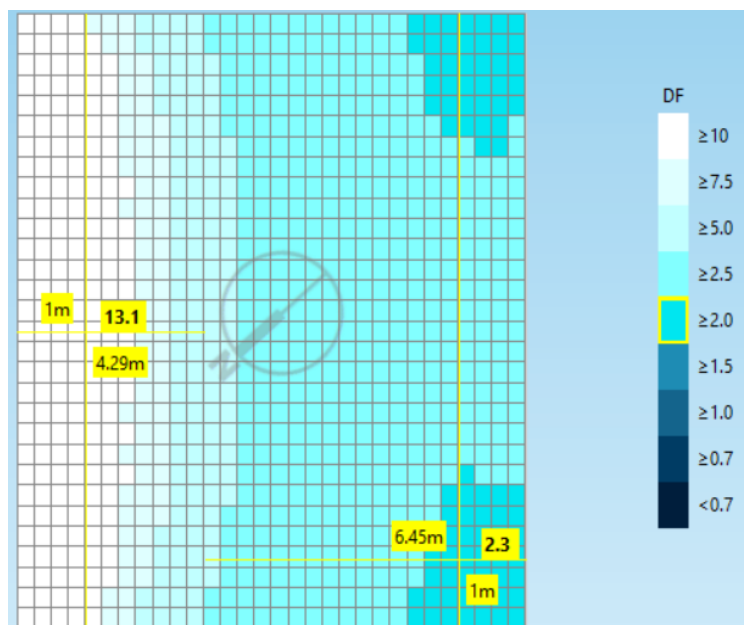
$$U = 2,2 / 13 = 0,18 \quad (0,18 < 0,2 \text{ nevyhovuje}).$$

6.4.2 Učebna 3

Vstupy pro simulaci v místnosti jsou shodně s učebnou 2, zásadním rozdílem je pouze čísel odrazu stěn. Jeho hodnoty byly rovněž stanoveny na základě odhadu a jeho hodnoty činí:

- Strop: $\rho = 0,77$
- Stěny: $\rho = 0,7$ (0,8 - bílá)
- Podlaha: $\rho = 0,47$.

Rovněž dle tohoto výstupu je stav osvětlení v učebně 3 vyhovující. Nejnižší vypočtené hodnoty jsou přibližně totožné, ale hodnota maximální je zásadně vyšší. To je zřejmě zapříčiněno nezahrnutím všech parametrů ovlivňujících propustnost oken, jako je jas ostění a především znečištění oken.



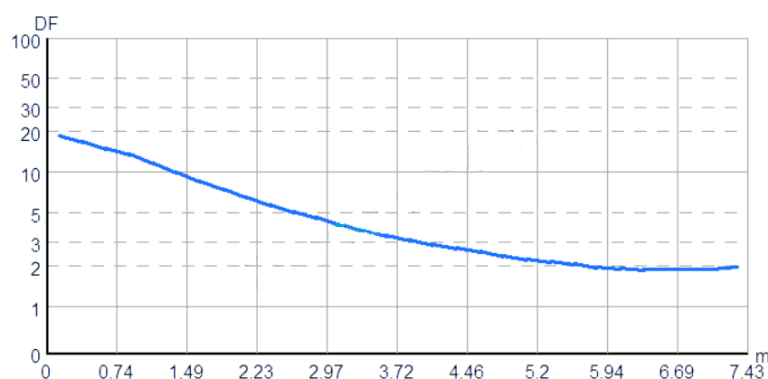
Obr 48 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 3

Vysoké hodnoty v blízkosti oken mají za důsledek nerovnoměrnost osvětlení v místnosti.

Rovnoměrnost U (-) dle (14):

$$U = 2,3 / 13,1 = 0,18 \quad (0,18 < 0,2 \text{ nevyhovuje}).$$

Pro zvolenou řádku či sloupec mřížky činitele denní osvětlenosti program generuje graf průběhu jeho hodnot. Graf tedy zobrazuje závislost velikosti činitele denní osvětlenosti na vzdálenosti pro vybraný řádek v síti.

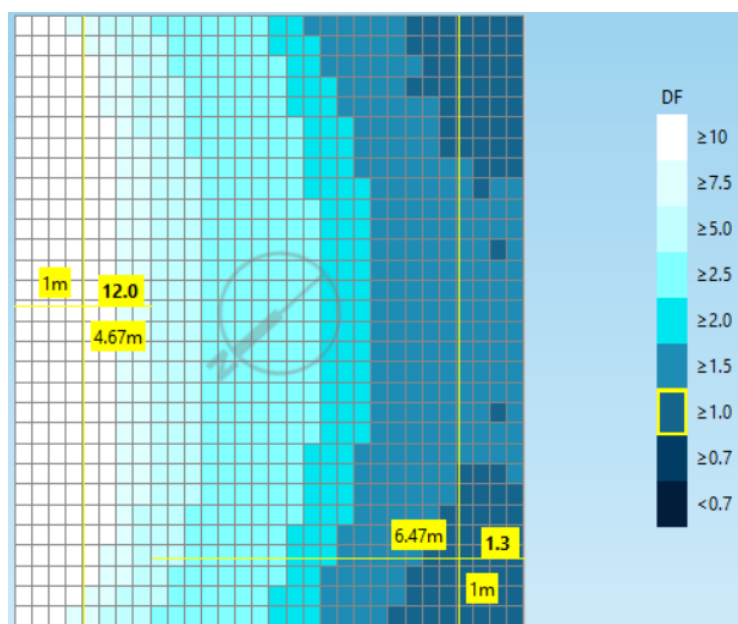


Obr 48 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 3 zobrazení v grafu v závislosti na zvolené části místnosti

Stejně jako při výpočtech v předešlých programem i v tomto byl vytvořen model s normovými hodnotami činitele odrazu:

- Strop: $\rho = 0,77$
- Stěny: $\rho = 0,7$ (0,8 - bílá)
- Podlaha: $\rho = 0,47$.

Úroveň denního osvětlení není dostatečná ani podle simulace DIALU+ [4]. Protože minimální hodnoty nedosahují požadovaného limitu $D_{\min} = 1,5 \%$, což zobrazuje obrázek 49.



Obr 49 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 3 s normovými hodnotami činitele odrazu

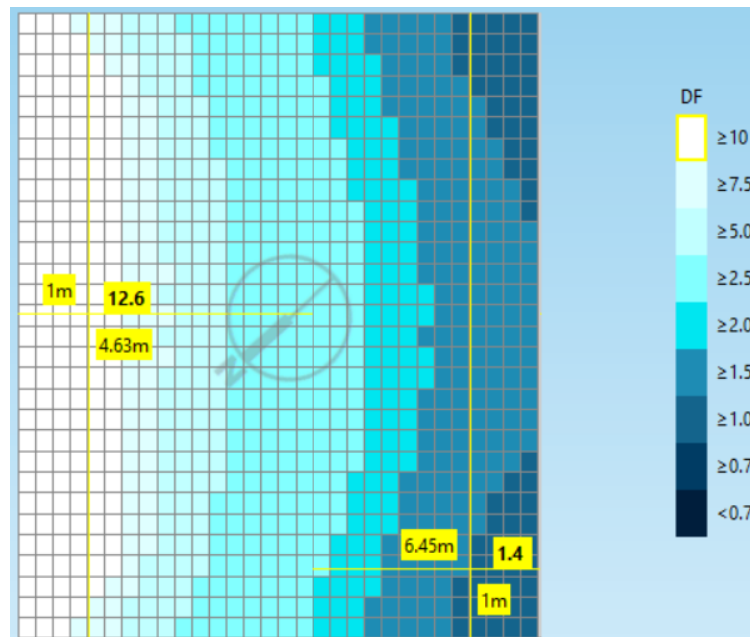
6.4.3 Učebna 4

Nevyhovující stav výrazně vymalované učebny byl prokázán i výpočtem v programu Dial+ [4] s činitelem odrazu vstupujícími do výpočtu na základě hodnot:

- Strop: $\rho = 0,77$ (-)
- Stěny: $\rho_{1, \text{oranžová}} = 0,48$
 $\rho_{2, \text{modrá}} = 0,3$
 $\rho_{2, \text{bílá}} = 0,89$
- Podlaha: $\rho = 0,47$.

Ve srovnání s předešlými výpočty je však stav podstatně příznivější. I to lze připsat nedostatečným možnostem zadávání vstupních parametrů, na jejichž základě se stanovuje souhrnný činitel prostupu světla sklem. Nejvíce je znát rozdíl od ostatních výpočtů v blízkosti oken, kde vyšší propustnost oken, se kterou program zřejmě počítá,

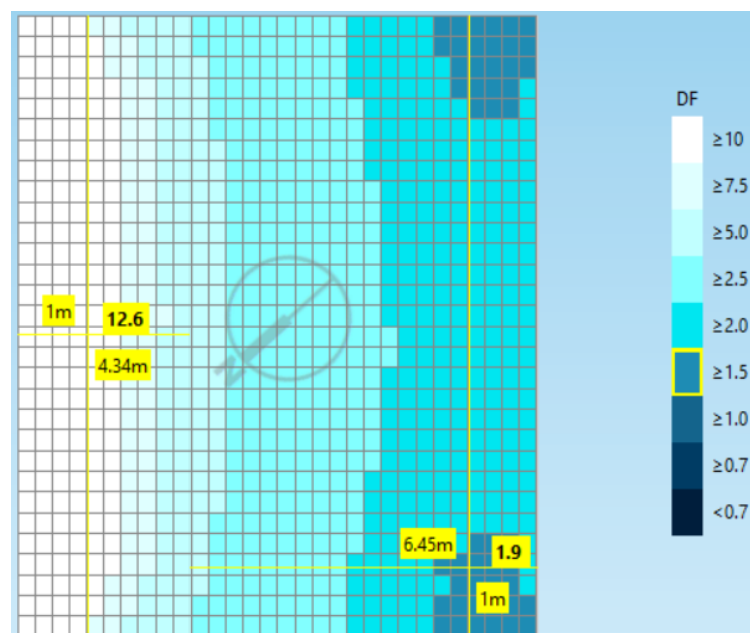
propouští větší část oblohové složky do oken a zvyšuje tak i osvětlení v zadní části místnosti. Rovnoměrnost opět nebude dostatečná.



Obr 50 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 4

6.4.4 Učebna 5

Vliv tmavší podlahy učebny 5 zanesené do výpočtu hodnotou činitele odrazu podlahy: $\rho = 0,3$, způsobuje snížení vnitřní odražené složky činitele denního osvětlení. Okrajové podmínky výpočtu jsou jinak shodné s učebnou 3.



Obr 51 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro Učebnu 4

Ve srovnání s učebnou 3 došlo k poklesu úrovně denního světla v místnosti, ale stav je i tak vyhovující. Kvalita osvětlenosti stanovená na základě tohoto modelu je však opět nevyhovující.

6.4.5 Přehled výsledků

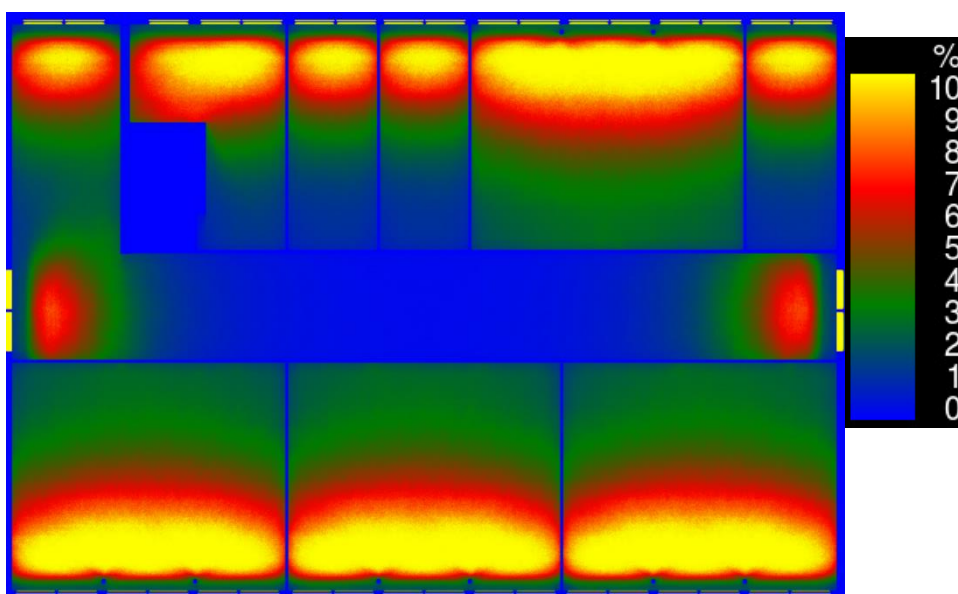
Tab.11 – Shrnutí výsledků z programu DIAL+ [4] a jejich posouzení

Učebna	Činitel denního osvětlení D (%)				Rovnoměrnost U (-)		
	D _{max}	D _{min} Norma	D _{min} Výpočet	Posudek	Norma	Výpočet	Posudek
2	13	1,5	2,2	vyhovuje	0,2	0,18	nevyhovuje
3 - skutečnost	13,1	1,5	2,3	vyhovuje	0,2	0,18	nevyhovuje
3 - norma	12	1,5	1,3	nevyhovuje	0,2	0,11	nevyhovuje
4	12,6	1,5	1,4	nevyhovuje	0,2	0,11	nevyhovuje
5	12,6	1,5	1,9	vyhovuje	0,2	0,15	nevyhovuje

6.5 AUTODESK REVIT

6.5.1 Učebna 2, 3, 4, 5

Pro simulaci v programu Revit [5] bylo možné nastavit jako vstupní parametr činitel prostupu sklem $\tau_s = 0,84$. Ostatní činitele není možné v programu specifikovat. Ačkoliv je možné zvolit barevné řešení jednotlivých povrchů, není jasné, zda simulace denního osvětlení zohledňuje takto navolenou barevnost. Respektive dle výsledků s činitelem odrazu nepočítá.



Obr 52 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro 2.NP

Co se týče geometrie oken, výplně byly zadány dle obrázku 13. Software renderuje celou oblast, přes kterou je vytvořen Pohled. Na následujícím obrázku je proto zobrazeno celé 2.NP pavilonu A. Stupnice přiřazuje k jednotlivým barvám hodnoty činitele osvětlenosti v rozmezí, které lze přímo stanovit před spuštěním simulace.

Dle výstupu z programu lze hodnotit množství denního osvětlení jako vyhovující pro všechny učebny. Hodnoty dosahují přibližně hodnot činitele denní osvětlenosti v maximu $D_{\max} = 10 \%$ a v minimu přibližně $D_{\min} = 1,5 \%$ pro všechny posuzované učebny. Bylo by vhodné, kdyby program naznačil hranici hodnot ze stupnice.

Vzhledem k velkým rozdílům mezi minimem a maximem činitele denní osvětlenosti lze předpokládat nevyhovující rovnoměrnost $U (-)$, která je dle vzorce (14):

$$U = 1,5 / 10 = 0,15 \quad (0,15 < 0,2 \text{ nevyhovuje}).$$

6.5.2 Přehled výsledků

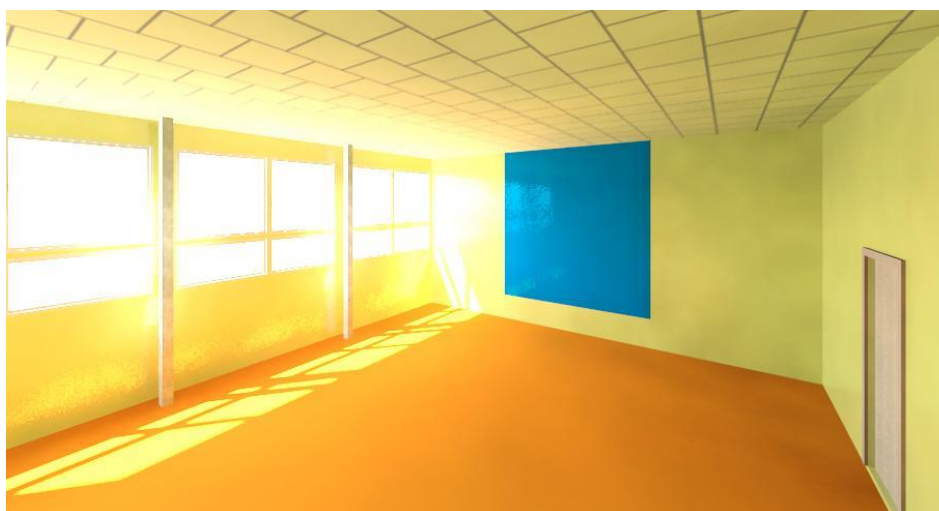
Tab. 12 – Shrnutí výsledků z programu Autodesk Revit [5] a jejich posouzení

Učebna	Činitel denního osvětlení D (%)				Rovnoměrnost U (-)			
	D_{\max}	D_{\min}	Norma	D_{\min} Výpočet	Posudek	Norma	Výpočet	Posudek
2,3,4,5	10	1,5		1,5	vyhovuje	0,2	0,15	nevyhovuje

6.5.3 Vizualizace

Velkou předností programu je renderování poměrně přesných vizualizací znázorňujících i světlo a stíny v průběhu dne. Při nastavení renderování lze určit den a čas, za jakých podmínek oblohy bude výsledná vizualizace provedena.

Na obrázku 53 je ukázka možné vizualizace učebny 3 za jasné oblohy.



Obr 53 – Vizualizace interiéru Učebny 3 pomocí programu Revit [5]

6.6 WAL 1.1

Posledním programem pro model denního osvětlení je software WAL 1.1 [6].

6.6.1 Učebna 3 – normovaný činitel odrazu

Tento nástroj je vytvořen v souladu s českými normami, ale má jistá omezení, která jsou zmíněna v charakteristice programu. Nejzásadnější omezení je možnost zadání pouze průměrného činitele odrazu a navíc jeho omezení maximální hodnotou $\rho = 0,6$. Jedinou podstatnou proměnou pro modelování učeben z hlediska osvětlení je právě různost činitelů odrazu. Jednotlivé hodnoty průměrného činitele odrazu jsou vyšší, než je možné maximum, které lze do programu zadat. Proto byl vytvořen model pouze s průměrnou hodnotou činitele odrazu vypočtenou na základě normativních činitelů odrazu, kterými jsou:

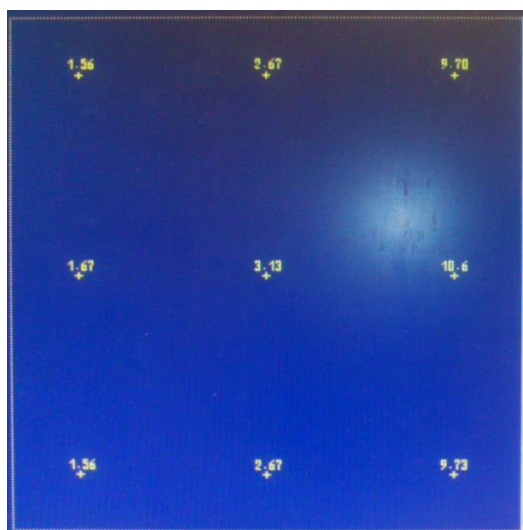
- Strop: $\rho = 0,7$
- Stěny: $\rho = 0,5$
- Podlaha: $\rho = 0,3$.

Hodnota průměrného činitele odrazu je na základě rozměrů učeben dle (13) rovna:

$$\rho_m = \frac{8,9,7,4,0,7+8,9,7,4,0,3+0,5 \cdot (2,3,3,7,4+8,9,3,3+1,2,8,9)}{2,8,9,7,4+2,7,4,3,3+8,9,3,3+1,2,8,9} = 0,58$$

Použité rozměry viz příloha č. 2. Parametry osvětlovacích otvorů byly zadány shodně s předešlými program, a to:

- činitel prostupu světla pro 1 čiré sklo: $\tau_{s,nor} = 0,92$ (počet skel: 2)
- činitel ztrát světla konstrukcí okna: $\tau_k = 0,73$
- činitel znečištění okna v interiéru: $\tau_{z,i} = 0,95$
- činitel znečištění okna v exteriéru: $\tau_{z,e} = 0,9$.



Obr 54 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 3 s normovými činiteli odrazu

Z výsledků zobrazených na obrázku 54 vyplývá, že program vyhodnotil učebnu jako vyhovující z hlediska úrovně osvětlení. Minimální spočtená hodnota činitele denní osvětlenosti $D_{\min} = 1,5 \%$ je větší oproti minimální požadované hodnotě $D_{\min} = 1,5 \%$. Odchylka minimálních hodnot oproti výpočtu programu Světlo+ [2] je v řádech desetin procent. Tato nepřesnost je dána nepřesným zadáním činitele odrazu pro jednotlivé stěny.

Rovnoměrnost osvětlení $U (-)$ je dle (14) rovna:

$$U = 1,5 / 10,6 = 0,15 \quad (0,15 < 0,2 \text{ nevyhovuje}).$$

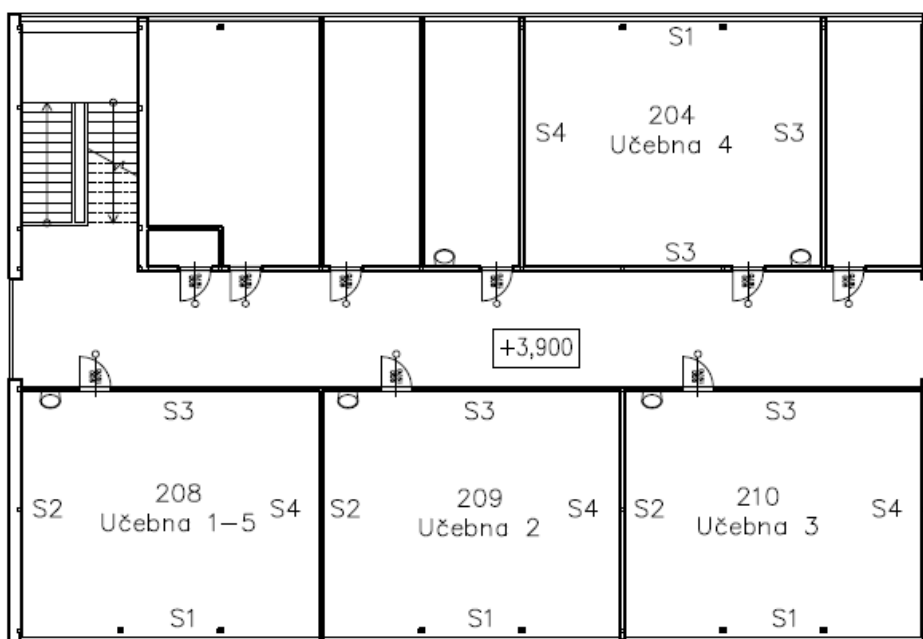
6.6.2 Přehled výsledků

Tab. 13 – Shrnutí výsledků programu WAL 1.1 [6] a jejich posouzení

Učebna	Činitel denního osvětlení D (%)				Rovnoměrnost U (-)		
	D_{\max}	D_{\min} Norma	D_{\min} Výpočet	Posudek	Norma	Výpočet	Posudek
3 - norma	10,6	1,5	1,5	vyhovuje	0,2	0,15	nevyhovuje

6.7 MODEL Y DLE NAMĚŘENÝCH HODNOT

Pro konfrontaci mezi naměřenými hodnotami a hodnotami stanovenými na základě odhadu, které byly užity pro předešlé modely, byla vytvořena simulace se vstupními parametry dle naměřených hodnot. Jak bylo výše zmíněno, jako nejpřesnější software pro výpočet se zdá být Světlo+ [2]. Proto byl model vytvořen právě ve zmíněném programu.



Obr. 55 – Označení stěn v učebnách 2, 3, 4, 5

Světlo+ [2] sice umožňuje stanovit činitel odraznosti pro jednotlivé stěny, podlahu a strop, ale již není schopen zavádět odlišné barevné části pro jednu stěnu. Proto byly spočteny průměrné hodnoty činitele odraznosti pro konkrétní stěny. Strop nebyl měřen a byly užity odhadnuté hodnoty z předchozích modelů. Pro jasné označení pro výpočet průměrného činitele odrazu je na obrázku 55 zobrazeno jejich označení.

Propustnost světla sklem byla z časových důvodů provedena pouze v učebně 4. Okna jsou ve všech místnostech stejná. Zjištěné hodnoty z učebny 4 se zavedly do všech následujících modelů.

Naměřená propustnost světla sklem $\tau_s = 0,78$ je uvedena v Tabulce 5.

Činitel ztrát světla konstrukcí okna jsou shodné s předešlými modely.

Činitel znečištění nebyl měřen, pro výpočet se použily normované hodnoty pro exteriérové a interiérové znečištění.

- činitel znečištění okna z interiéru $\tau_{z,i} = 0,95$
- činitel znečištění okna z exteriéru $\tau_{z,e} = 0,9$.

6.7.1 Učebna 2

Průměrný činitel odraznosti pro jednotlivé stěny byl spočten dle (13), rozměry povrchů viz níže. Naměřené hodnoty činitele odraznosti povrchů viz tabulka 2. Označení jednotlivých stěn viz obrázek 55.

$$\rho_{podlaha} = 0,36$$

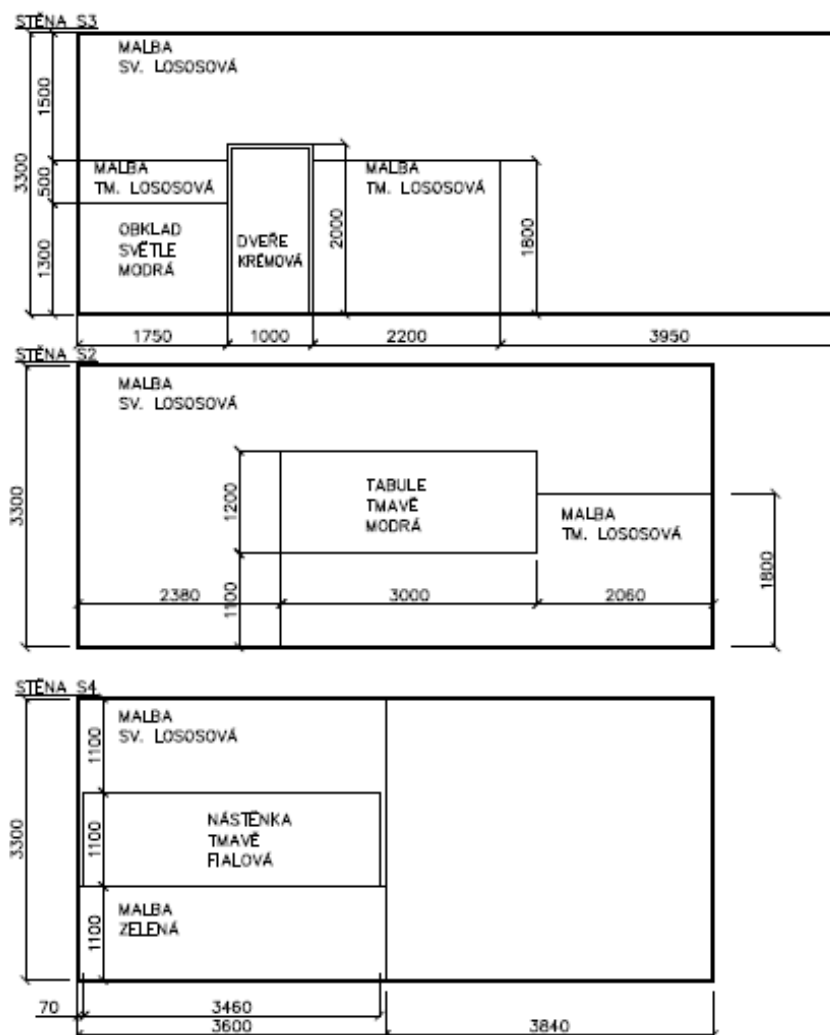
$$\rho_{strop} = 0,77$$

$$\rho_{S1} = 0,87$$

$$\rho_{S2} = \frac{\text{tabule} + \text{tm. lososová} + \text{svlososová}}{\text{suma ploch}} = \frac{3,6 \cdot 0,082 + 5,76 \cdot 0,68 + 15,2 \cdot 0,75}{24,5} = 0,63$$

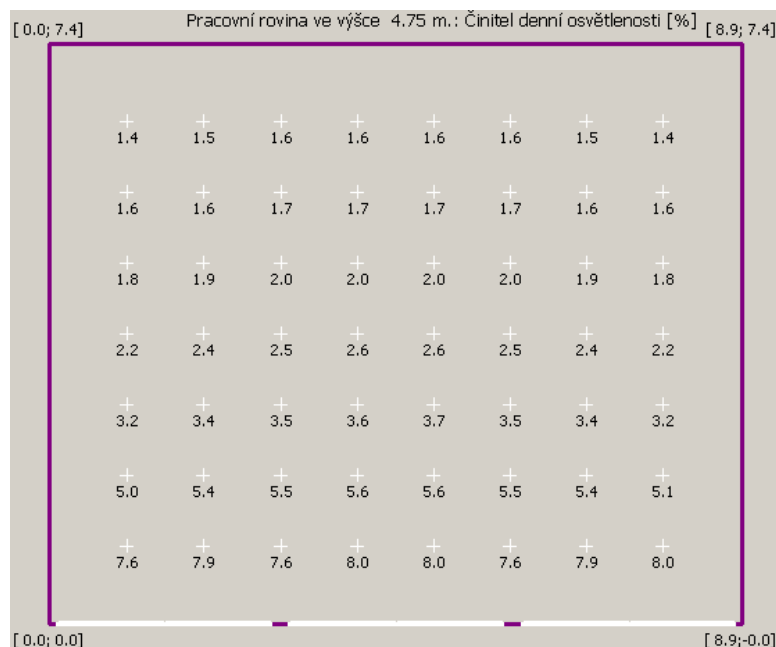
$$\rho_{S3} = \frac{\text{obklad} + \text{tm. lososová} + \text{svlososová} + \text{dveře}}{\text{suma ploch}} = \frac{2,275 \cdot 0,6 + 4,8 \cdot 0,68 + 20,5 \cdot 0,75 + 1,8 \cdot 0,6}{29,37} = 0,72$$

$$\rho_{S4} = \frac{\text{nástěnka} + \text{svlososová} + \text{zelená}}{\text{suma ploch}} = \frac{3,8 \cdot 0,046 + 16,68 \cdot 0,75 + 34 \cdot 0,66}{24,5} = 0,63$$



Obr. 56 – Rozměry jednotlivých ploch v učebně 2

Při zohlednění prvků v učebně není minimální požadavek na činitel denní osvětlenosti splněn viz obrázek 57. Rovněž kvalitativní požadavek na školní prostory není dosažen. Rovnoměrnost U (-) dle (14): $U = 1,4 / 8,0 = 0,18$ ($0,18 < 0,2$ nevyhovuje).



Obr 57 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 2 s naměřenými činiteli odrazu

6.7.2 Učebna 3

Postup stanovení činitele odrazu pro učebnu 3 je shodný s učebnou 2, tedy dle vzorce (13), rozměry povrchů viz níže. Naměřené hodnoty činitele odraznosti povrchů viz tabulka 3. Označení jednotlivých stěn viz obrázek 55.

$$\rho_{podlaha} = 0,3$$

$$\rho_{strop} = 0,77$$

$$\rho_{S1} = 0,87$$

$$\rho_{S2} = \frac{\text{tabule} + tm.\text{žlutá} + sv\text{žlutá}}{\text{suma ploch}} = \frac{3,6 * 0,082 + 13,63 * 0,83 + 7,3 * 0,9}{24,5} = 0,63$$

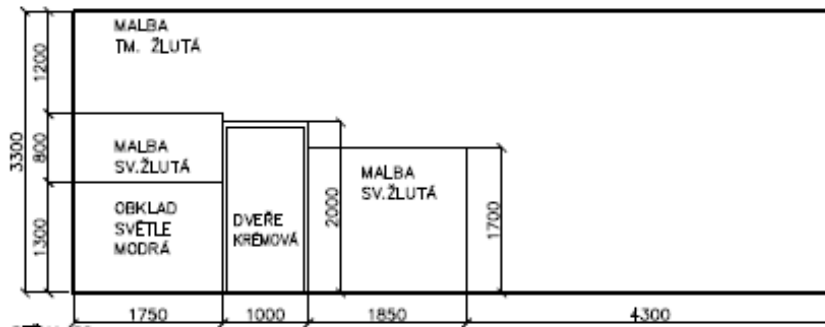
$$\rho_{S3} = \frac{\text{obklad} + tm.\text{žlutá} + \text{žlutá} + \text{dveře}}{\text{suma ploch}} = \frac{2,275 * 0,6 + 20,74 * 0,83 + 4,55 * 0,9 + 1,8 * 0,6}{29,37} = 0,74$$

$$\rho_{S4} = \frac{\text{nástěnka} + tm.\text{žlutá} + sv.\text{žlutá}}{\text{suma ploch}} = \frac{3,63 * 0,046 + 8,184 * 0,83 + 12,74 * 0,9}{24,5} = 0,8$$

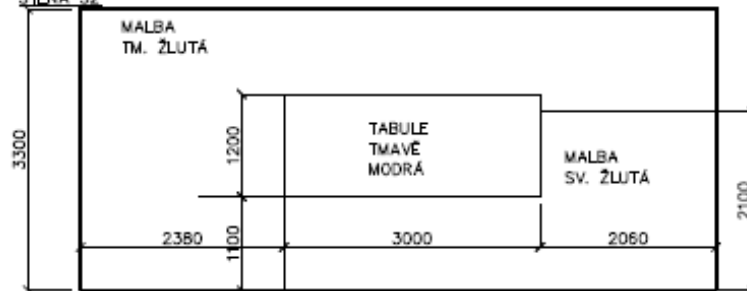
Naměřené hodnoty činitele odrazu stěn jsou dost vysoké, tudíž vykompenzují zahrnutí tmavších povrchů tabule a nástěnky. Výsledná síť činitele denní osvětlenosti zobrazená na obrázku 59 jasně prokazuje dostatečné množství světla v učebně 3.

Rovnoměrnost je rovněž dostačující. $U = 1,7 / 8,1 = 0,2$ ($0,2 < 0,2$ vyhovuje).

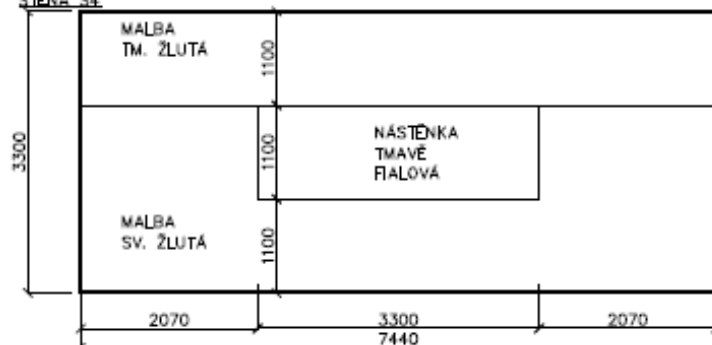
STĚNA S3



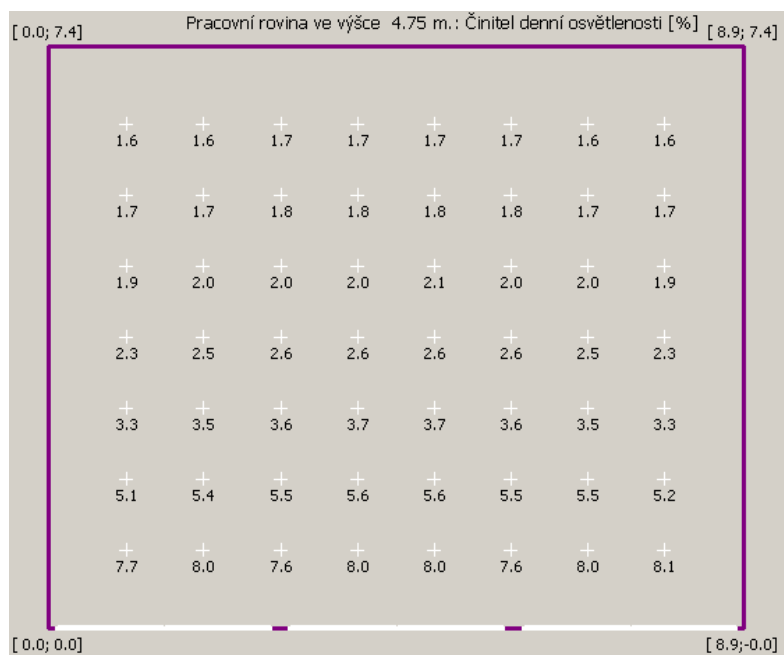
STĚNA S2



STĚNA S4



Obr. 58 – Rozměry jednotlivých ploch v učebně 3



Obr 59 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 3 s naměřenými činiteli odrazu

6.7.3 Učebna 4

Pro vytvoření modelu v programu Světlo+ [2] je nutné spočítat průměrný činitel odrazu dle (13).

$$\rho_{podlaha} = 0,32$$

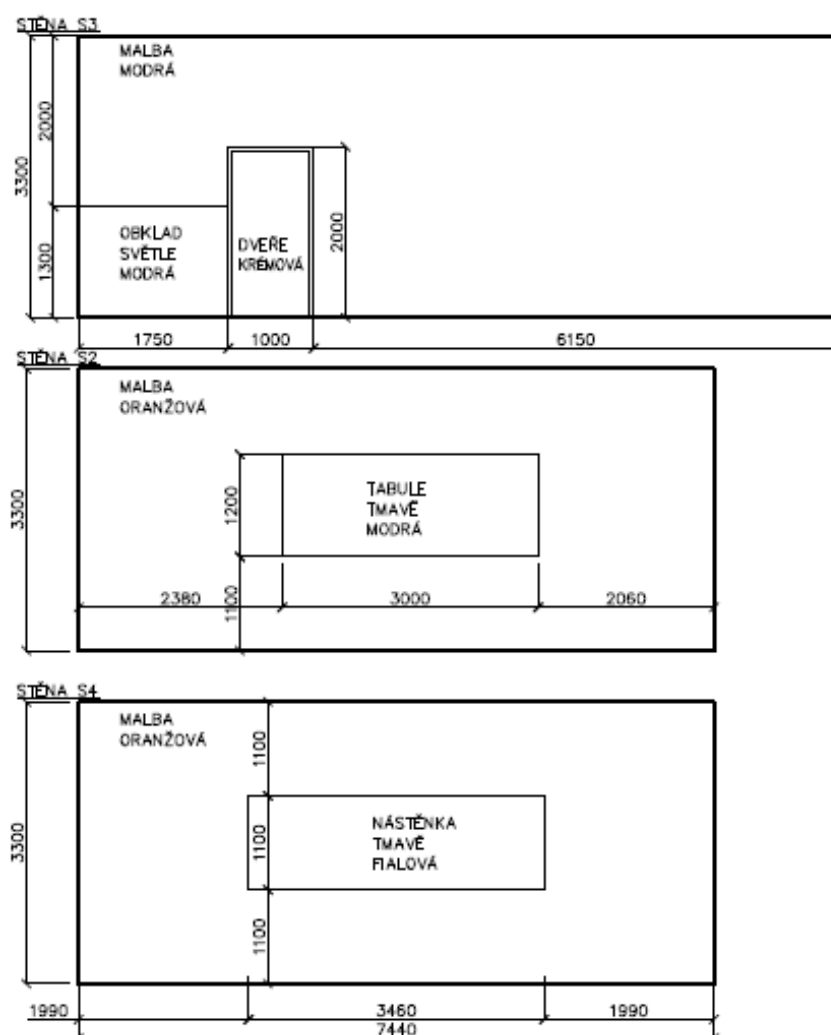
$$\rho_{strop} = 0,77$$

$$\rho_{S1} = 0,87$$

$$\rho_{S2} = \frac{\text{tabule+oranžová}}{\text{suma ploch}} = \frac{3,6*0,082+20,9*0,52}{24,5} = 0,46$$

$$\rho_{S3} = \frac{\text{obklad+modrá+dveře}}{\text{suma ploch}} = \frac{2,275*0,6+25,3*0,31+1,8*0,6}{29,37} = 0,53$$

$$\rho_{S4} = \frac{\text{nástěnka+oranžová}}{\text{suma ploch}} = \frac{3,63*0,046+20,9*0,52}{24,5} = 0,46$$



Obr. 60 – Rozměry jednotlivých ploch v učebně 4

Jak se dalo předpokládat stav úrovně denního osvětlení se zahrnutím vlivu tabule a nástěnky oproti modelu vytvořeném na základě odhadu nijak nezlepšil. Hodnoty činitele

denní osvětlenosti nejsou vyhovující. S nevyhovující úrovní lze předpokládat i nedostatečnou rovnoměrnost denního osvětlení.

Rovnoměrnost U (-) dle (14): $U = 0,9 / 7,6 = 0,12$ ($0,12 < 0,2$ nevyhovuje).



Obr 61 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 4 s naměřenými činiteli odrazu

6.7.4 Učebna 5

Opět bylo nutné stanovit průměrný činitel odrazu dle (13):

$$\rho_{podlaha} = 0,38$$

$$\rho_{strop} = 0,77$$

$$\rho_{S1} = 0,87$$

$$\rho_{S2} = \frac{\text{tabule} + \text{žlutá}}{\text{suma ploch}} = \frac{3,6 * 0,082 + 20,9 * 0,75}{24,5} = 0,65$$

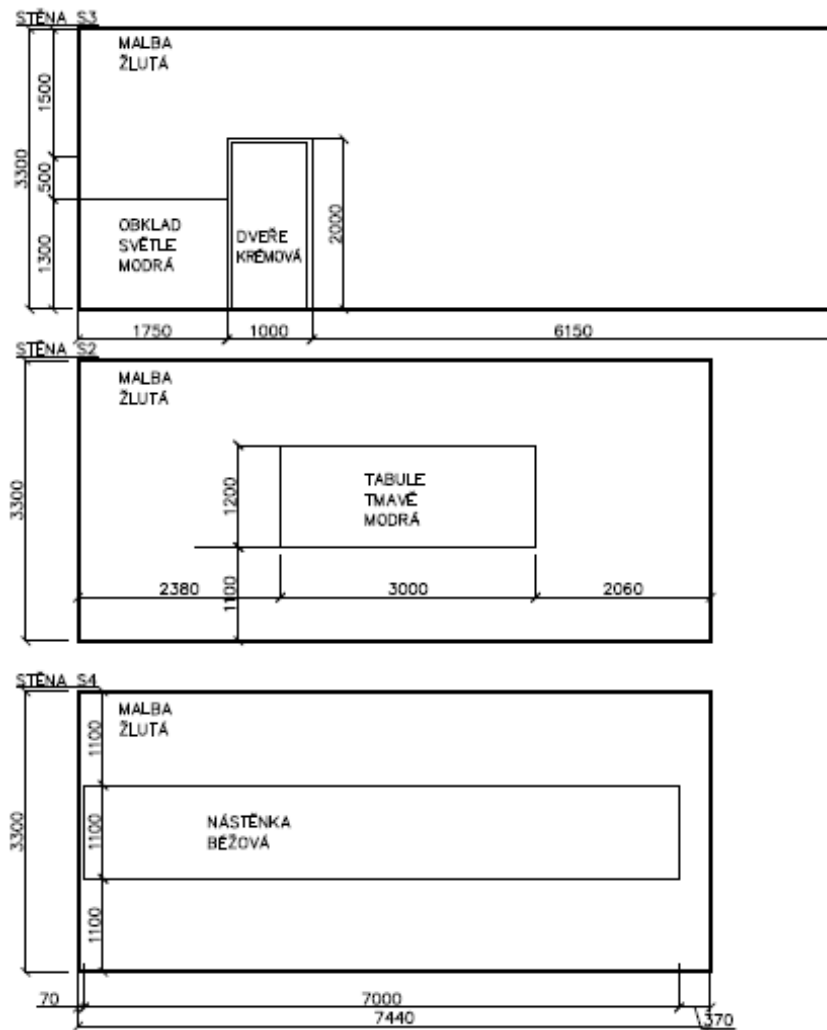
$$\rho_{S3} = \frac{\text{obklad} + \text{žlutá} + \text{dveře}}{\text{suma ploch}} = \frac{2,275 * 0,6 + 25,3 * 0,75 + 1,8 * 0,6}{29,37} = 0,73$$

$$\rho_{S4} = \frac{\text{nástěnka} + \text{žlutá}}{\text{suma ploch}} = \frac{3,63 * 0,39 + 20,9 * 0,75}{24,5} = 0,64$$

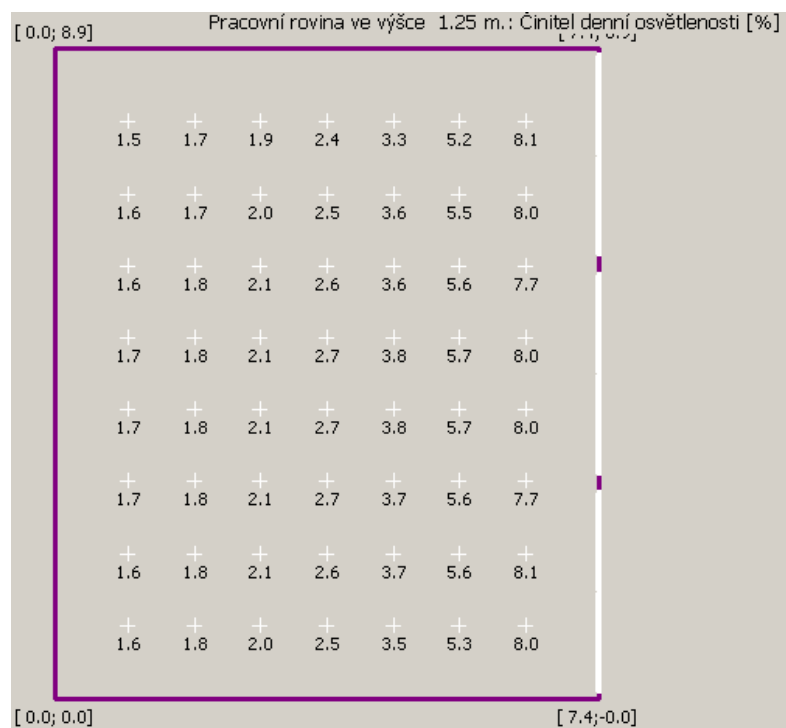
Naměřené hodnoty činitele odrazu stěn jsou dost vysoké, tudíž vykompenzují zahrnutí tmavších povrchů tabule a nástěnky. Výsledná síť činitele denní osvětlenosti zobrazená na obrázku 63 jasně prokazuje dostatečné množství světla v učebně 3. Rovnoměrnost je rovněž dostačující.

Rovnoměrnost U (-) dle (14):

$$U = 1,5 / 8,1 = 0,19$$
 ($0,19 < 0,2$ nevyhovuje).



Obr. 62 – Rozměry jednotlivých ploch v učebně 5



Obr 63 – Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro učebnu 5 s naměřenými činiteli odrazu

6.7.5 Přehled výsledků

Tab.14 – Shrnutí výsledků z programu Světlo+ [2] a jejich posouzení

Učebna	Činitel denního osvětlení D (%)				Rovnoměrnost U (-)		
	D _{max}	D _{min} Norma	D _{min} Výpočet	Posudek	Norma	Výpočet	Posudek
2	8	1,5	1,4	nevyhovuje	0,2	0,18	nevyhovuje
3	8,1	1,5	1,6	vyhovuje	0,2	0,2	vyhovuje
4	7,6	1,5	0,9	nevyhovuje	0,2	0,12	nevyhovuje
5	8,1	1,5	1,5	vyhovuje	0,2	0,19	nevyhovuje

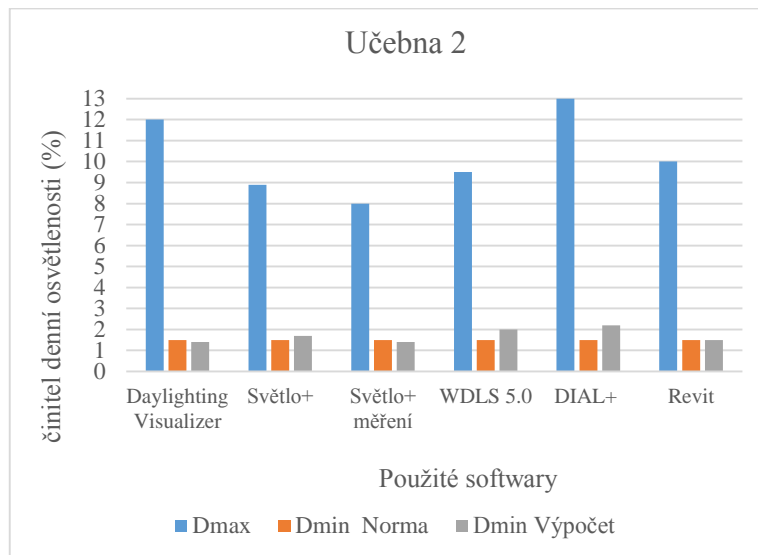
7 PŘEHLED A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Pokud výsledky vyhodnotíme pouze obecně, pak největší odchylky vznikají u výsledků $D_{max.}(\%)$. Nejvíce světla dopadá logicky v blízkosti osvětlovacích otvorů, jejichž vlastnosti ovlivňují množství světla dopadajícího do místnosti. Programy s největšími hodnotami činitele denního osvětlení mají právě nejužší možnosti zadávání světelných parametrů oken. Ve větší hloubce místnosti úroveň osvětlení ovlivňují vlastnosti interiéru, které do většiny programů lze zadávat přímými hodnotami a výsledky D_{min} se sobě více blíží. Posudek jednotlivých simulací z hlediska kvantity denního osvětlení je prakticky vždy totožný pro všechny modely. Před konkrétním vyhodnocením výsledků jednotlivých učeben jsou v následující tabulce shrnuty použité vstupní parametry pro jednotlivé softwary. Označení stěn viz obrázek 55.

Tab. 15 – Shrnutí vstupních parametrů pro modely učeben pro jednotlivé softwary

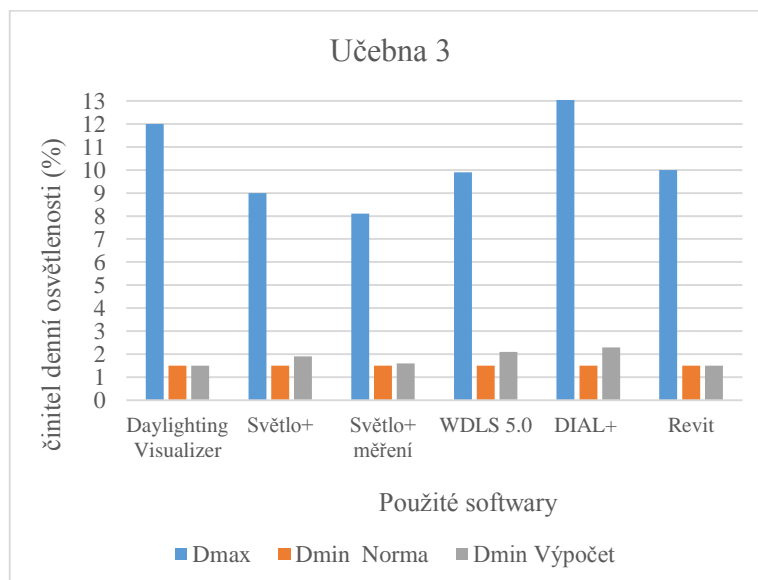
Uč.	Činitel prostupu světla sklem $\tau_{s,nor}(-)$	Činitel znečištění z exteriéru $\tau_{z,e}(-)$	Činitel znečištění z interiéru $\tau_{z,e}(-)$	Činitel ztrát světla konstrukcí $\tau_k(-)$	Činitel odrazu $\rho(-)$					
					Podlaha	Strop	S1 okna	S2 tabul	S3 dveř	S4 nástě
Velux Daylighting Visualizer [1]										
2	-	-	-	-	0,5	0,8	0,67	0,67	0,67	0,67
3	-	-	-	-	0,47	0,78	0,7	0,7	0,7	0,7
4	-	-	-	-	0,47	0,78	0,47	0,47	0,47	0,47
5	-	-	-	-	0,3	0,78	0,7	0,7	0,7	0,7
Světlo+ [2]										
2	0,846	0,9	0,95	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,65	0,65	0,65
3	0,846	0,9	0,95	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
4	0,846	0,9	0,95	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,48	0,3	0,48
5	0,846	0,9	0,95	0,73(0,75)	0,3	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
Světlo+ [2] – naměřené hodnoty										
2	0,78	-	-	0,73(0,75)	0,36	0,7	0,87	0,63	0,72	0,63
3	0,78	-	-	0,73(0,75)	0,3	0,7	0,87	0,74	0,8	0,75
4	0,78	-	-	0,73(0,75)	0,32	0,7	0,87	0,46	0,53	0,46
5	0,78	-	-	0,73(0,75)	0,38	0,7	0,87	0,65	0,73	0,64
WDLS 5.0 [3]										
2	0,846	0,95	0,95	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,65	0,65	0,65
3	0,846	0,95	0,95	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
4	0,846	0,95	0,95	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,48	0,3	0,48
5	0,846	0,95	0,95	0,73(0,75)	0,3	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
DIAL+ [4]										
2	0,846	-	-	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,65	0,65	0,65
3	0,846	-	-	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
4	0,846	-	-	0,73(0,75)	0,47	0,7	0,8	0,48	0,3	0,48
5	0,846	-	-	0,73(0,75)	0,3	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
AUTODESK Revit [5]										
3	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WAL 1.1 [6]										
3	0,846	0,9	0,95	0,7	0,58					

Jako první byla hodnocena učebna 2. Kromě výstupu s programu od firmy Velux byla učebna vyhodnocena jako vyhovující. Při zadání naměřených parametrů pro danou učebnu do výpočtu, výsledný model je méně příznivý.



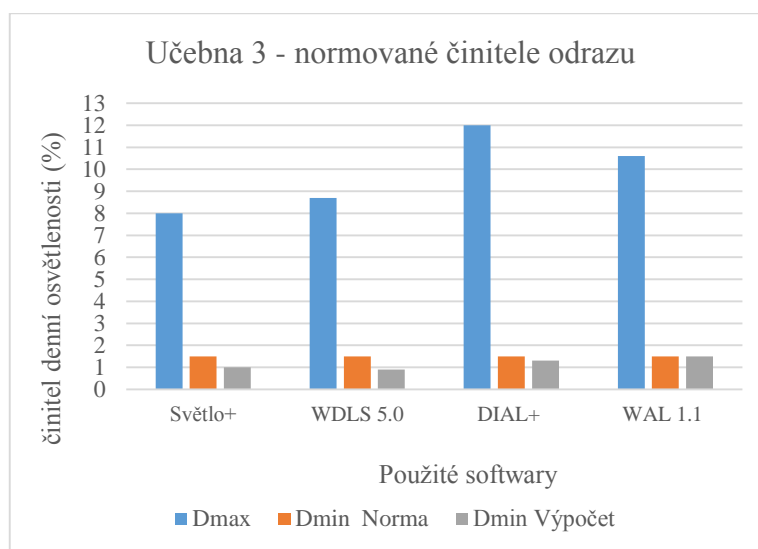
Graf 5 – Srovnání jednotlivých výsledků z programů pro učebny

V učebně 3 je podle výstupů ze všech použitých softwarů vyhovující. Nejhůře vyhodnotil stav první použitý program, což jen potvrzuje nepřesnost programu, do kterého byly zadány nejvyšší hodnoty činitele odrazu. Naopak nejvyšších hodnot činitele denní osvětlenosti dosahují výsledky z programu Dial+ [4].



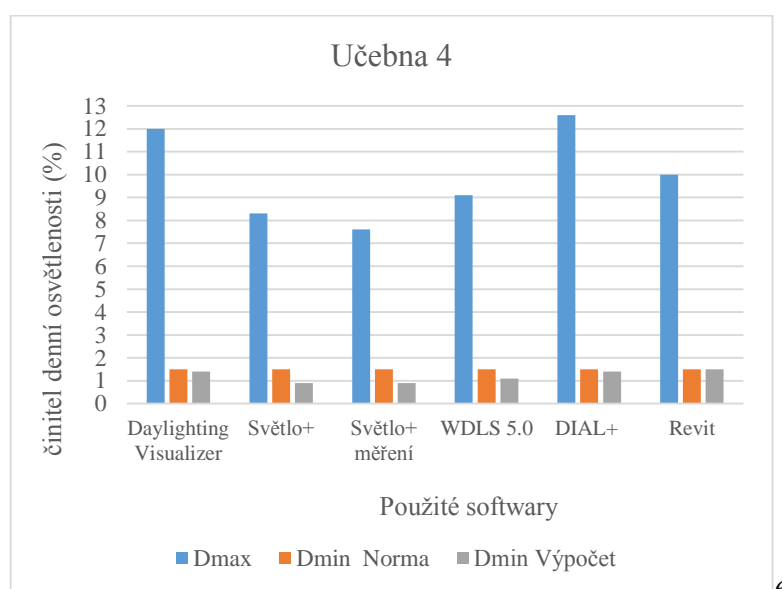
Graf 6 – Srovnání jednotlivých výsledků z programů pro učebny

Model založený na normových hodnotách činitele odrazu naznačil, že pokud by se škola navrhovala v současnosti, posudek denního osvětlení by byl nevyhovující. Jediný WAL 1.1 [6] vypočítal minimální hodnotu v učebně dostatečnou a tedy 1,5%. Programy Daylighting visualizer [1] a Revit [5] neumožňují zadat normované hodnoty činitelů odrazu, propustnosti světla sklem ani znečištění. Proto nebyly provedeny normované modely.



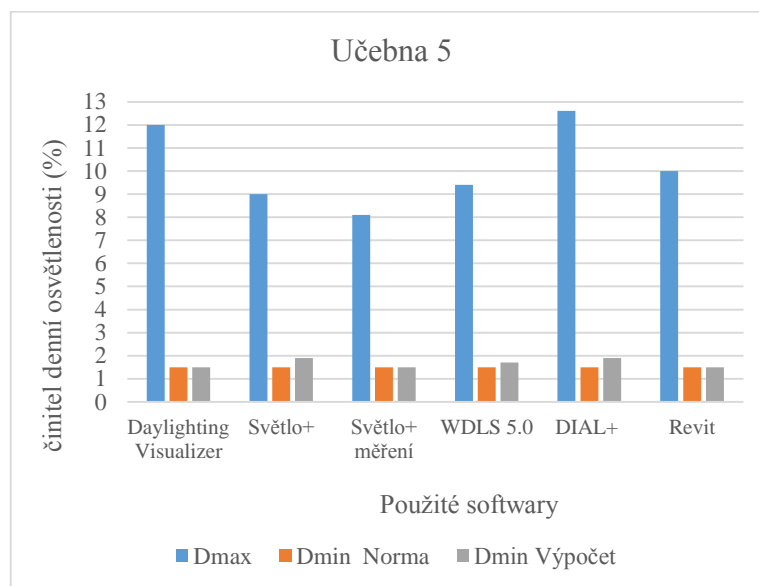
Graf 7 – Srovnání jednotlivých výsledků z programů pro učebny

Odhadnuté i naměřené činitele odrazu v učebně 4 se přibližovali hodnotám normovaným a nedostatečné denní osvětlení v místnosti není tedy překvapující výsledek.



Graf 8 – Srovnání jednotlivých výsledků z programů pro učebny

Poslední učebna i na základě naměřených hodnot je vyhovující. Hodnoty D_{\min} jednotlivých programů jsou přibližně shodné, maximální hodnoty jsou ve všech učebnách s velkými odchylkami.



Graf 9 – Srovnání jednotlivých výsledků z programů pro učebny

Kvalita se hodnotí na základě rovnoměrnosti osvětlení. Obecně je lepší pro rovnoměrnost osvětlení boční osvětlení zleva doprava, což je v této místnosti vyhovující. Ve výsledku pak vzhledem k hloubce místnosti respektive její funkční části, většinou rovnoměrnost nebyla vyhovující.

8 ZÁVĚR

Aby se dosáhlo světelného komfortu, je nutné zapojit světelné vyhodnocení už během architektonického návrhu. Pro posuzování světelně technických podmínek se již běžně užívá různých odborných softwarů. Jejich výhodou oproti ručnímu posudku je především značné urychlení práce a snadná úprava vstupních dat. Naopak, tak jak je to ve všech odvětvích, kde se ruční výpočet nahrazuje programy, je nutné mít i odborný odhad pro relevantnost výsledků, které program poskytne. Právě srovnávání výsledků z jednotlivých použitých programů tuto nevýhodu počítačových programů jen potvrzuje. Jejich odchylky jsou poměrně dost zásadní.

Z vybraných programů, co do možností zadávání parametrů podstatných pro denní osvětlení, by měl být nejpřesnější program Světlo+ [2]. Pokud budeme brát jeho výsledky jako nejpřesnější pak, jak se dalo předpokládat, se jeho výsledky nejvíce shodují s programem WDLS 5.0 [3], který oproti Světlu+ [2] neumožňuje zadávání pouze činitele znečištění, ale počítá s hodnotou pro čisté okno. To pravděpodobně zapříčiňuje mírnější výstupy druhého softwaru.

Naopak jsou překvapivé přesnější výsledky programem Velux Daylighting Visualizerem [1] oproti výsledkům ze softwaru Dial+ [4]. První zmiňovaný nedává prostor pro přímé číselné zadávání světelných parametrů. Pouze činitel odrazu je do určité míry zohledňován pomocí zadávání barevností stěn. Při tomto zadávání je velká možnost odchylky, která v tomto případě měla za důsledek přesnější výsledky při porovnávání. Stejně tak však může mít za důsledek velké nadhodnocení světelných podmínek. Autodesk Revit [5] je program, který není primárně určen pro hodnocení denního osvětlení, přesněji je funkce simulace denního osvětlení pouze doplňková a není příliš přesná ani v souladu s českými normami. Poslední program WAL 1.1 [6] je jedním z prvních simulačních nástrojů pro hodnocení denního osvětlení. Podává poměrně přesné výsledky, jejich přesnost však ovlivňuje především nemožnost zadání konkrétních činitelů odrazu pro jednotlivé povrchy, ale pouze průměrný činitel odrazu pro celý hodnocený prostor.

Ohledně stanovení činitele odrazu se zdá být nejsměrodatnější měření, které eliminuje chybovost způsobenou subjektivním viděním barev jako je tomu u použití vzorníku a především normové tabulky. Hodnoty naměřené a stanovené pomocí vzorníku se sobě blíží, kdežto tabulkové hodnoty mají poměrně velké odchylky. Možné chyby,

kteřé by mohly snížit hodnověrnost naměřených výsledků, je možné omezit vícenásobným měřením či nejlépe pomocí více měřičů.

Jak se předpokládalo, učebna řešená tmavými odstíny není dostatečně osvětlena, naopak světlé odstíny mají příznivý vliv na úroveň denního osvětlení. Pokud by se učebny navrhovaly nově a pro posudek by se použily normované hodnoty činitele odrazu, vzhledem k hloubce místnosti by výsledek nebyl vyhovující, to bylo rovněž prokázáno výpočtem. Model vytvořený na základě naměřených hodnot potvrdil fakt, že barevné řešení místností může oproti normovaným předpokladům příznivě ovlivnit úroveň denního osvětlení, ale špatné barevné řešení může způsobit opak. Lze tedy říci, že normované hodnoty jsou průměrným řešením, který nepostihuje všechny případy a pokud je známo barevné řešení, je nejlepší aplikovat jej do výpočtu. Návrh pak bude nejpřesnější a nebude docházet ke špatným návrhům nebo zbytečným úpravám dispozic.

Měření činitele propustnosti světla sklem z pravidla vždy vychází méně příznivě oproti normovaným hodnotám. Jinak tomu není ani v případě řešené základní školy.

V závěru lze shrnout, že výsledným doporučeným program pro světelně technické posudky je zřejmě nejvhodnější brát v potaz výsledky nejpřesnějších programů a to Světlo+ [2] nebo WDLS 5.0 [3]. Nejen že programy podávají nejvěrohodnější výsledky, navíc jsou vytvářeny v souladu s českými normami. Dále lze konstatovat, že nejpřesnější způsob stanovení stávajících činitelů odrazu je měření, stanovení parametrů pomocí vzorníku je rychlejší a podává srovnatelné výsledky, je však nutné mít i kvalitní vzorník.

Práce podává zprávu o významu barevného řešení ve školách, které může kvantitu osvětlení ovlivňovat jak příznivě, tak i opačně. Při správném návrhu lze dosáhnout kvalitního světelného prostředí pro děti. Toho lze dosáhnout pomocí správně zvolených odborných nástrojů.

9 LITERATURA

PROGRAMY

1. VELUX. *Daylight Visualizer Velux* [software]. 2006
2. JP SOFT S.R.O.. *Světlo+* [software]. Listopad 2012
3. Astra MS SOFTWARE. *WDLS 5.0* [software]. 2016
4. Estia SA. *DIAL+*. [software]. 2015
5. Autodesk. *Revit 2015*. [software]. 2015
6. Ing. J. Kaňka, Ing. M. Pelech. *WAL 1.1* [software]. 1998

NORMY

7. ČSN 73 0580-1. *Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007. Ve znění změny Z1 z ledna 2011.
8. ČSN 73 0580-3. *Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol*. Praha: Český normalizační institut, 1994. Ve znění změny Z1 z prosince 1996 a změny Z2 z října 1999.
9. *Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*. V platném znění. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/zakon/410/2005>
10. ČSN 36 0011-1. *Měření osvětlení prostorů – Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
11. ČSN 36 0011-2. *Měření osvětlení prostorů – Část 2: Měření denního osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, 2014.

KNIHY A ODBORNÉ PUBLIKACE

12. WEIGLOVÁ, Jiřina, Daniela BEDLOVIČOVÁ a Jan KAŇKA. *Stavební fyzika 1*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006, 130 s. ISBN 80-010-3392-9
13. WEIGLOVÁ, Jiřina a Jan KAŇKA. *STAVEBNÍ FYZIKA 10: Denní osvětlení a oslunění budov*. Druhé. Praha: ČVUT - výroba, 2005. ISBN 8001031276.
14. VYCHYTIL, Jaroslav. *Stavební světelná technika - cvičení*. Praha : Nakladatelství ČVUT v Praze, 156 s. 2015. ISBN 978-80-01-05858-9.
15. RYBÁR, Peter, František ŠESTÁK, Marie JUKLOVÁ, Jozef HRAKA a Jiří VAVERKA. *Denní osvětlení a oslunění budov*. Praha: ERA group spol.s.r.o., 2001. ISBN 80-86517-33-0.
16. KAŇKA, Jan. *DEO 1: vybrané stati ze stavební světelné techniky*. Praha: ČVUT, výroba, 2014. ISBN 80-010-2292-9.
17. SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, et al. *Světelná technika*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
18. KAŇKA, Jan. *Stavební fyzika 1: Zvuk a denní světlo v architektuře*. Praha: ČVUT, výroba, 2003. ISBN 80-010-2292-9.
19. MEEK, Christopher a Kevin VAN DEN WYMELENBERG. *Daylighting and integrated lighting design*. Praha: Routledge, 2015. ISBN 9780415725255.
20. KITTLER, Richard a Jozef MIKLER. *Základy využívania slnečného žiarenia*. Bratislava: VEDA, 1986. ISBN 1729/I85.
21. KITTLER, Richard a Jana PULPITLOVÁ. *Základy využívania prírodného svetla*. Bratislava: VEDA, 1988. ISBN 1745/I85.
22. Denní osvětlení. In: *VELUX* [online]. Brno: VELUX, 2016 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://velcdn.azureedge.net/~media/marketing/cz/odbornici/architekti-a-projektanti/pdf/moss/deic-denni-svetlo.pdf?la=cs-cz>
23. ROKYTA, Richard a A KOL. *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: GRADA Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.

ODBORNÉ ČLÁNKY

24. HABEL, Jiří. Základy světelné techniky. *Světlo: Časopis pro světlo a osvětlení* [online]. 2008, **2008**(04), 2 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/zaklady-svetelne-techniky-1--15860>
25. KAŇKA, Jan. Denní osvětlení obytných místností. *Světlo: Časopis pro světlo a osvětlení* [online]. 2010, **2010**(01), 4 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40807.pdf>
26. BOGUSZAKOVÁ, Jarmila. Zrak a vidění. *Světlo: Časopis pro světlo a osvětlení* [online]. 2003, **2003**(04), 4 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/zrak-a-videni--16756>
27. CHRISTOFFERSEN, Jens, Anna Karina HAMMELEV HANSEN, Karsten ANDERSEN, Peter Foldbjerg, Thorbjørn Færing Asmussen FOLDBJERG a Thorbjørn FÆRING ASMUSSEN. DAYLIGHT AND INDOOR CLIMATE IN A RENOVATED DANISH SCHOOL. *Daylight* [online]. 2016, **2016**(5), 4 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://thedaylightsite.com/indoor-climate-in-a-renovated-danish-school/>
28. VAN BOMMEL, I. W. J. M., G. J. van den BELD, LIGHTING FOR WORK: VISUAL AND BIOLOGICAL EFFECTS, *Philips Lighting* [online]. 2003, **2013**(April), 16 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.2367&rep=rep1&type=pdf>

VZORNÍK

29. CEMIX, *Vzorník barev*, 2016, dostupné z: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb.

OBSAH

ÚVOD	8
1 OBECNÉ PRINCIPY SVĚTELNÉ TECHNIKY	10
1.1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	10
1.2 ZRAKOVÝ SYSTÉM	12
1.2.1 Oko	13
1.2.1.1 Vizuální funkce oka	14
1.2.1.2 Nevizuální funkce oka	14
1.2.1.3 Adaptace	15
1.2.1.4 Akomodace	15
1.3 DENNÍ OSVĚTLENÍ A JEHO VLIV NA LIDSKÉ ZDRAVÍ	16
1.4 VELIČINY VE SVĚTELNÉ TECHNICE	17
1.5 DENNÍ SVĚTLO	18
1.5.1 Typy standardizovaných obloh dle CIE	19
1.5.1.1 Rovnoměrně zatažená obloha při tmavém terénu	19
1.5.1.2 Rovnoměrně zatažená obloha při zasněženém terénu	20
1.5.1.3 Jasná obloha	20
2 PRINCIPY A PARAMETRY DENNÍHO OSVĚTLENÍ	21
2.1 ČINTEL DENNÍ OSVĚTLENOSTI	22
2.2 POŽADAVKY NA DENNÍ OSVĚTLENÍ ŠKOL	24
3 CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO OBJEKTU	26
3.1 STAVEBNÍ POPIS ZÁKLADNÍ ŠKOLY	26
3.1.1 Identifikační údaje	26
3.1.2 Popis území stavby	26
3.1.3 Účel užívání stavby	27
3.1.4 Základní charakteristika domu	28
3.1.4.1 Stavební řešení	28
3.1.4.2 Základové konstrukce	28
3.1.4.3 Svislé nosné konstrukce	28
3.1.4.4 Vodorovné nosné konstrukce	28
3.1.4.5 Zastřešení	28
3.1.4.6 Příčky	28
Úprava povrchů a výplně otvorů	28
3.2 POPIS HODNOCENÉHO PROSTORU	29
3.2.1 Učebna 2	29
3.2.2 Učebna 3	29
3.2.3 Učebna 4	29
3.2.4 Učebna 5	30
3.2.5 Popis povrchů	30
3.2.6 Výplně otvorů	31
4 MĚŘENÍ Činitele DENNÍ OSVĚTLENOSTI	32
4.1 PRINCIPY APLIKOVANÉHO MĚŘENÍ	32
4.1.1 NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA MĚŘENÍ	32
4.1.1.1 Měření činitele odrazu ρ	33
4.1.1.2 Měření činitele prostupu světla τ_s	34
4.1.1.3 Měření činitele znečištění τ_z	34
4.2 MĚŘENÍ DENNÍ OSVĚTLENOSTI V ZŠ	35
4.2.1 Činitel odrazu ρ	35
4.2.2 Činitel prostupu světla sklem τ_s	36
4.2.3 Činitel znečištění τ_z	36
4.2.4 Přístroje	37
4.2.5 Okrajové podmínky	38
4.2.6 Naměřené hodnoty	38
4.2.6.1 Učebna 2	38

4.2.7	Učebna 3	39
4.2.7.1	Učebna 4.....	39
4.2.7.2	Učebna 5.....	40
4.2.8	Vyhodnocení měření	40
5	SOFTWARE PRO SIMULACI DENNÍHO OSVĚTLENÍ.....	42
5.1	<i>VELUX DAYLIGHT VISUALIZER</i>	42
5.1.1	Charakteristika	42
5.1.2	Uživatelské rozhraní.....	43
5.1.3	Hodnocení programu.....	44
5.2	<i>SVĚTLO+</i>	45
5.2.1	Charakteristika	45
5.2.2	Uživatelské rozhraní.....	46
5.2.3	Hodnocení programu.....	47
5.3	<i>WDL5 5.0</i>	47
5.3.1	Charakteristika	47
5.3.2	Uživatelské rozhraní.....	48
5.3.3	Hodnocení programu.....	49
5.4	<i>DIAL+</i>	50
5.4.1	Charakteristika	50
5.4.2	Uživatelské rozhraní.....	50
5.4.3	Hodnocení programu.....	51
5.5	<i>AUTODESK REVIT Architecture</i>	52
5.5.1	Charakteristika	52
5.5.2	Uživatelské rozhraní.....	52
5.5.3	Hodnocení programu.....	54
5.6	<i>WAL 1.1</i>	54
5.6.1	Charakteristika	54
5.6.2	Uživatelské rozhraní.....	54
5.6.3	Hodnocení programu.....	55
5.7	<i>DALŠÍ MOŽNOSTI</i>	55
5.7.1	Ecotect.....	55
5.7.2	DIALux evo	55
5.8	<i>SHRNUTÍ CHARAKTERISTIK PROGRAMŮ</i>	56
6	HODNOCENÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ	57
6.1	<i>VELUX Daylighting Visualizer</i>	58
6.1.1	Učebna 2	58
6.1.2	Učebny 3 a 5.....	58
6.1.3	Učebna 4	60
6.1.4	PŘEHLED VÝSLEDKŮ	61
6.1.5	ROZLOŽENÍ JASU A OSVĚTLENÍ	61
6.2	<i>SVĚTLO+</i>	64
6.2.1	Učebna 2	64
6.2.2	Učebna 3	65
6.2.3	Učebna 4	66
6.2.4	Učebna 5	68
6.2.5	Přehled výsledků	68
6.3	<i>WDL5 5.0</i>	69
6.3.1	Učebna 2	69
6.3.2	Učebna 3	70
6.3.3	Učebna 4	71
6.3.4	Učebna 5	72
6.3.5	Zahrnutí vlivu prvků v učebně	73
6.3.6	Přehled výsledků	75
6.4	<i>DIAL+</i>	75

6.4.1	Učebna 2	75
6.4.2	Učebna 3	76
6.4.3	Učebna 4	78
6.4.4	Učebna 5	79
6.4.5	Přehled výsledků	80
6.5	<i>AUTODESK REVIT</i>	80
6.5.1	Učebna 2, 3, 4, 5.....	80
6.5.2	Přehled výsledků	81
6.5.3	Vizualizace.....	81
6.6	<i>WAL 1.1</i>	82
6.6.1	Učebna 3 – normovaný činitel odrazu.....	82
6.6.2	Přehled výsledků	83
6.7	<i>MODEL Y DLE NAMĚŘENÝCH HODNOT</i>	84
6.7.1	Učebna 2	85
6.7.2	Učebna 3	86
6.7.3	Učebna 4	88
6.7.4	Učebna 5	89
6.7.5	Přehled výsledků	91
7	PŘEHLED A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	92
8	ZÁVĚR.....	96
9	LITERATURA.....	98

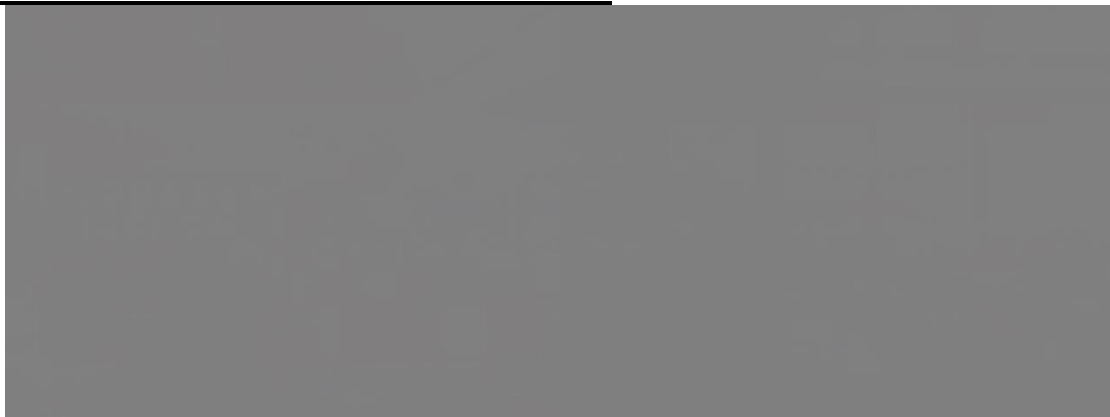
PŘÍLOHOVÁ ČÁST
VÝKRESOVÁ ČÁST

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

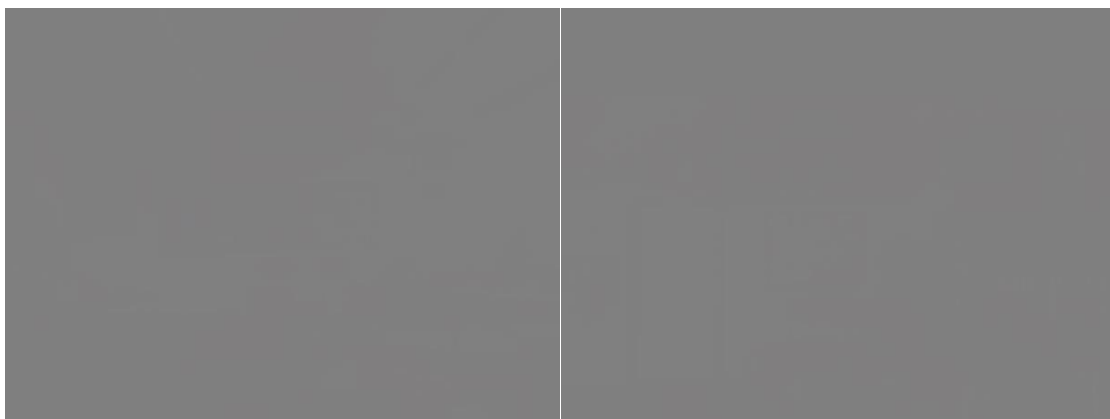
SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|---|---|
| 1. PŘÍLOHA Č. 1 – fotodokumentace učeben | 3 |
| 2. PŘÍLOHA Č.2 – protokol z programu wdl5 5.0 | 5 |

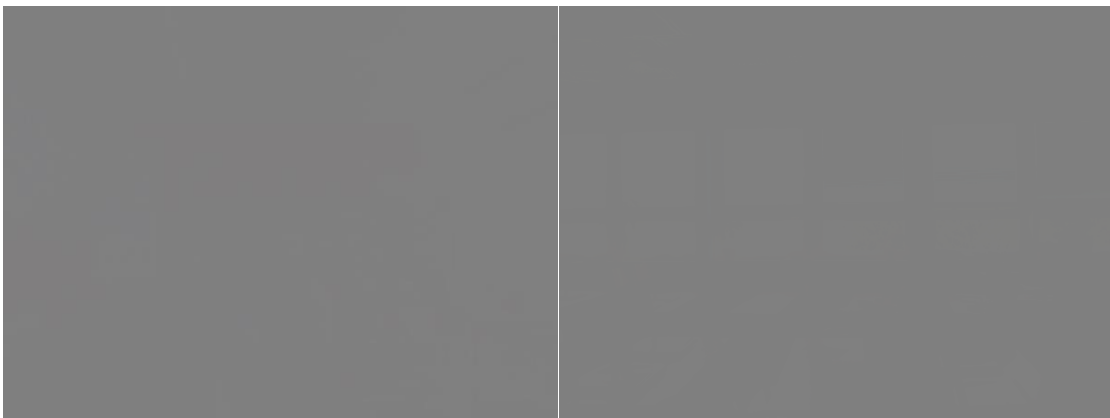
1. PŘÍLOHA Č. 1 – fotodokumentace učeben



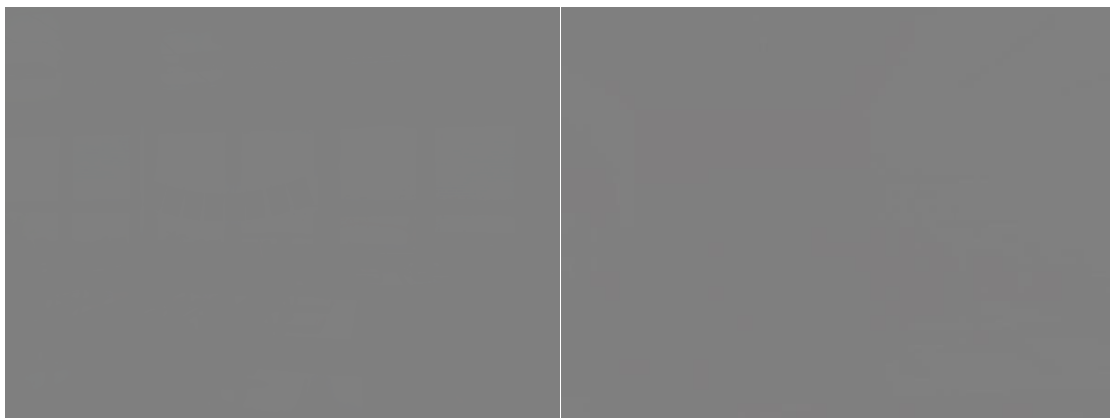
Učebna 2



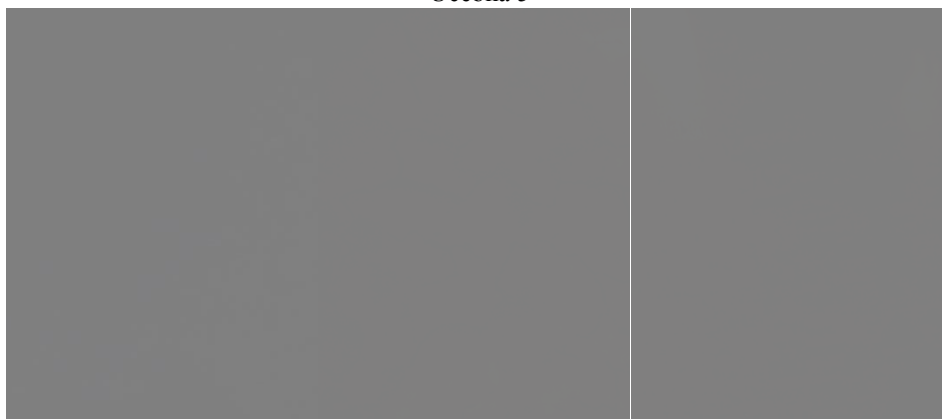
Učebna 3



Učebna 4



Učebna 5



Podlaha: vlevo učebna 2, uprostřed učebny 3 a 4, vpravo učebna 5



Strop v učebnách



Keramický obklad v učebnách

2. PŘÍLOHA Č.2 – protokol z programu wds 5.0

Protokol o provedených výpočtech.

Projekt

Název	ZŠ Kostomlaty nad Labem
Popis	
Adresa	Školní 402 289 21 Kostomlaty nad Labem
Poznámka	
Datum	2. 11. 2016

Investor

Společnost
Kontaktní osoba
Adresa
Telefon
E-mail
Webová stránka

Zhotovitel

Společnost	
Kontaktní osoba	Veronika Hermanová
Adresa	
Telefon	
E-mail	
Webová stránka	

Provedené výpočty

- Výpočet denního osvětlení dle ČSN 73 0580

Obsah

Úvodní stránka	1
Obsah	2
Prostor 1	3
Budova 1	
Podlaží 1	
Učebna 3	4
Činitel denní osvětlenosti	5
Podlaží 1	
Učebna 4	7
Činitel denní osvětlenosti - 1	8
Stěna 2	10
Podlaží 1	
Učebna 5	11
Činitel denní osvětlenosti	12
Stěna 6	14
učebna 2	15
Činitel denní osvětlenosti	16
Stěna 4	18

Prostor 1**Údržba**

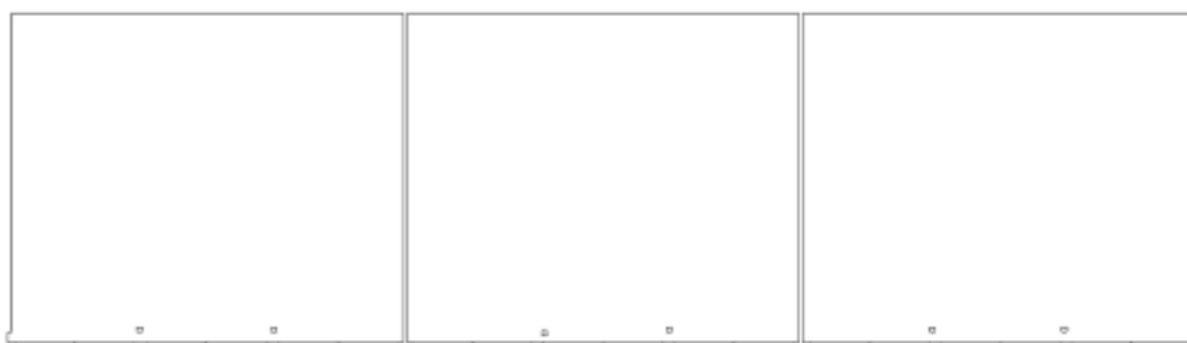
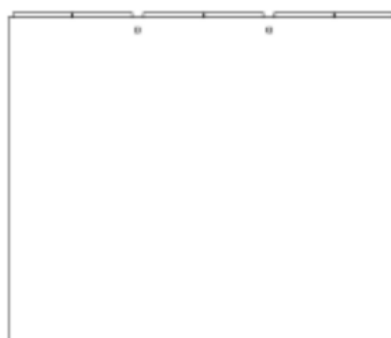
Čistota prostředí | Čisté

Obecné

Transformace |

Výpočet

Počet odrazů	0
Model oblohy	Rovnoměrně zatažená
Osvětlenost na venkovní ploše	5000 lx
Rozměr elementární plochy	900 mm



Učebna 3

Výpočet

Počet odrazů		3
Dělicí poměr otvoru		10
Rozměr elementární plochy		300 mm

Údržba

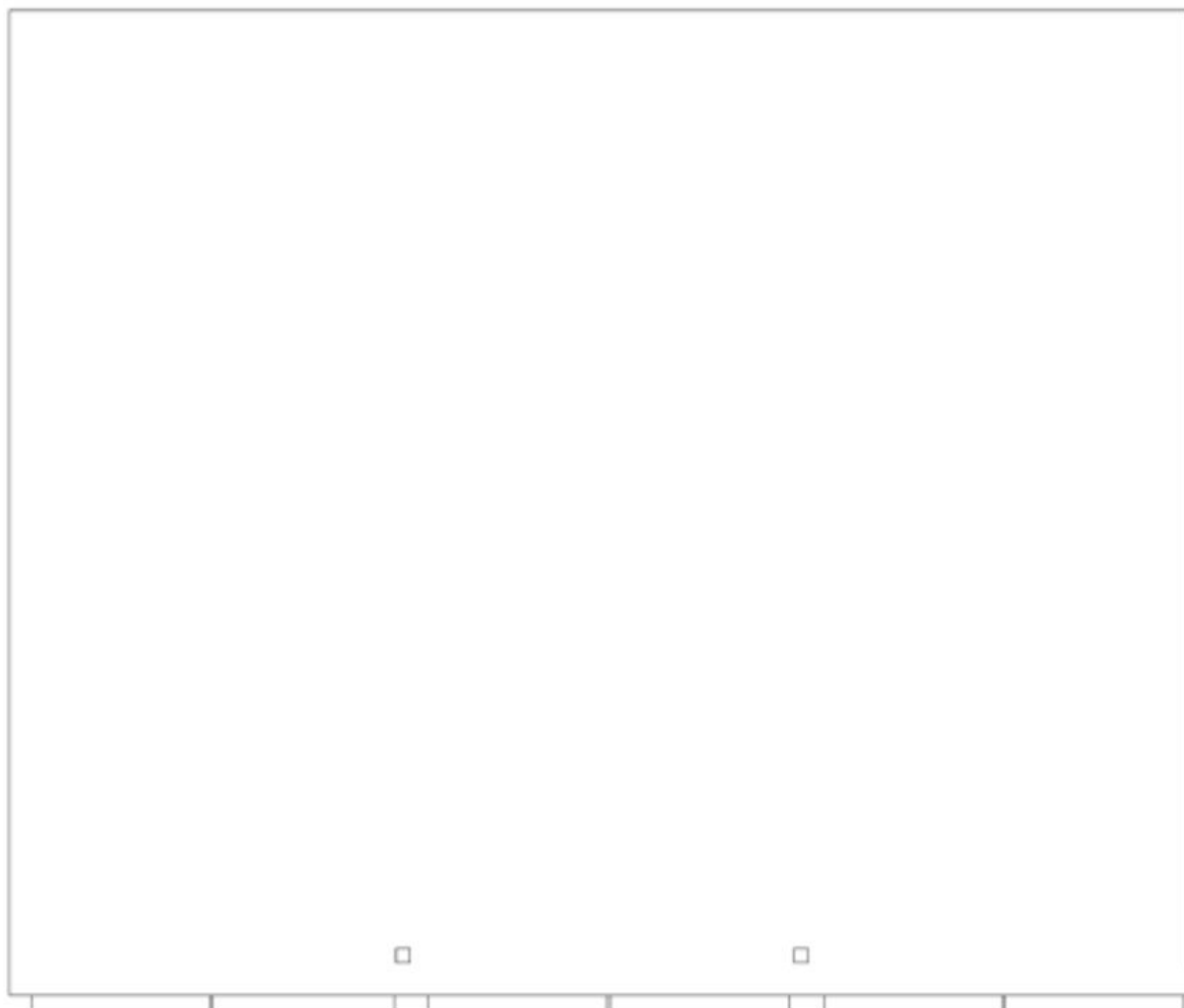
Čistota prostředí		Čisté
-------------------	--	-------

Geometrie

Výška		3300 mm
Plocha		66,0 m ²

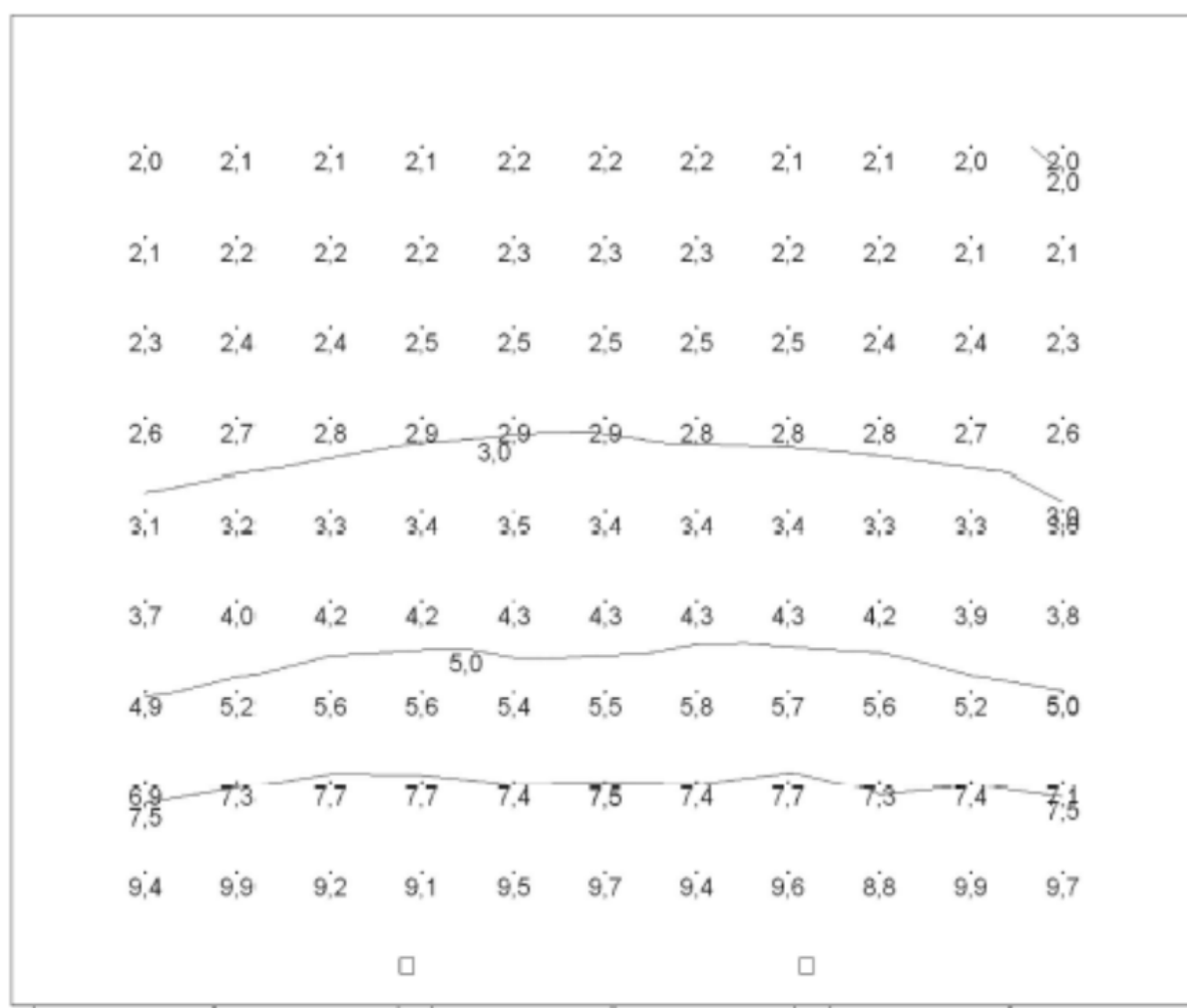
Odraznost

Podlaha		0,465367277933657
Strop		0,771861396637559
Stěny		0,698644691550732



Činitel denní osvětlenosti

Požadovaná rovnoměrnost	0,00	Počty	11 x 9
Požadovaná hodnota	1,5	Rozteče	687,5 x 680,0 mm
Minimální hodnota	2,0	Odsazení	1000,0 x 1000,0 mm
Maximální hodnota	9,9	Výška	750 mm
Průměrná hodnota	4,4	Natočení soustavy	0,0 0,0 0,0 °
Rovnoměrnost	0,20		



Otvory

Název	Tloušťka ostění	Posunutí		Otočení	
Otvor 1	100	110,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 2	100	1480,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 3	100	3090,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 4	100	4460,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 5	100	6070,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 6	100	7440,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 7	100	110,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 8	100	1480,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 9	100	3090,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 10	100	4460,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 11	100	6070,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 12	100	7440,0	900,0	mm	0,0 °

Název	Druh skla	Koeficient prostupu 1 skla	Počet skel	Koeficient konstrukce otvoru	Koeficient konstrukce budovy	Koeficient regulačních zařízení
Otvor 1	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 2	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 3	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 4	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 5	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 6	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 7	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 8	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 9	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 10	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 11	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 12	Čiré	0,92	2	0,73	1	1

Učebna 4

Výpočet

Počet odrazů		3
Dělicí poměr otvoru		10
Rozměr elementární plochy		300 mm

Údržba

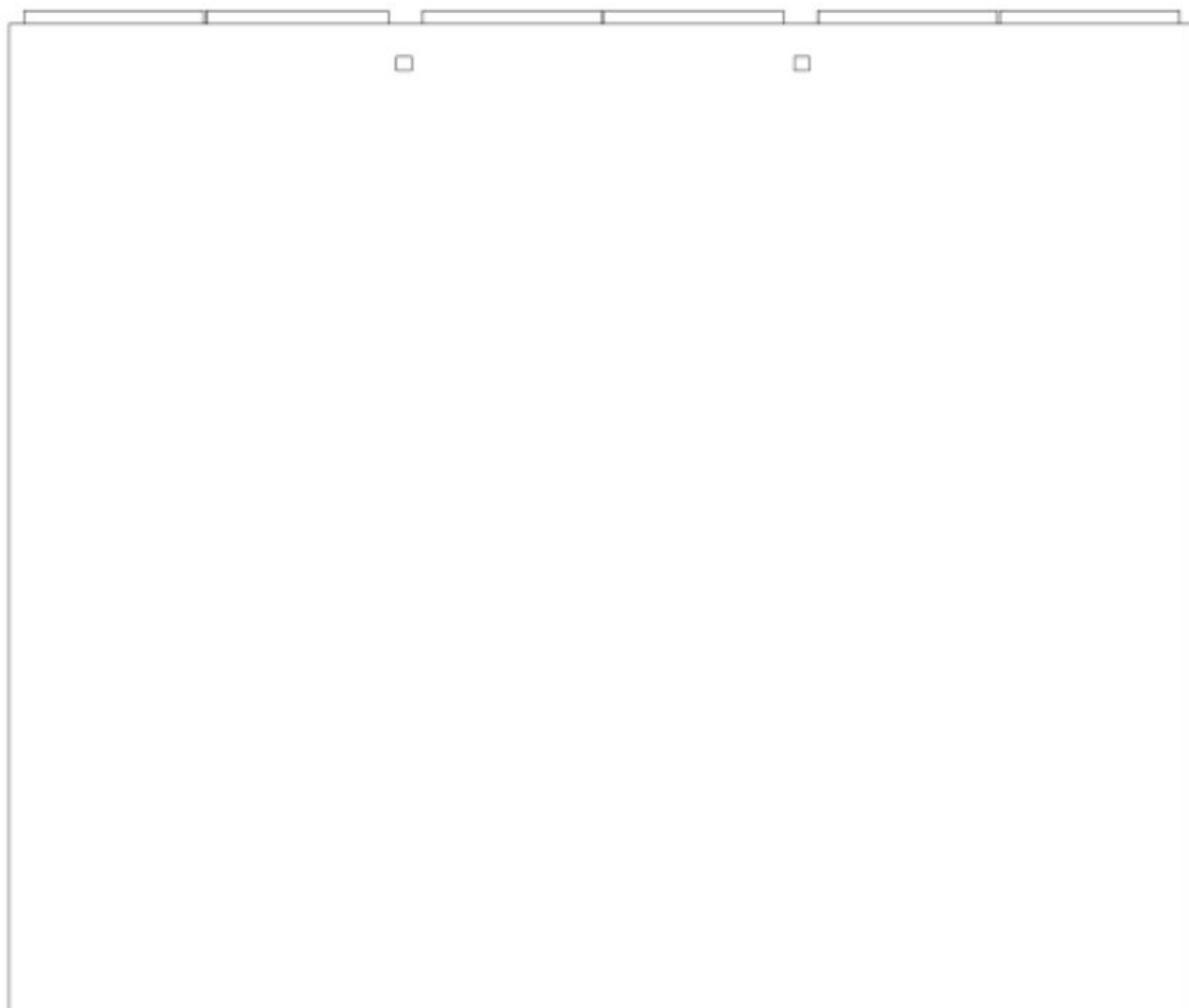
Čistota prostředí		Čisté
-------------------	--	-------

Geometrie

Výška		3300 mm
Plocha		66,2 m ²

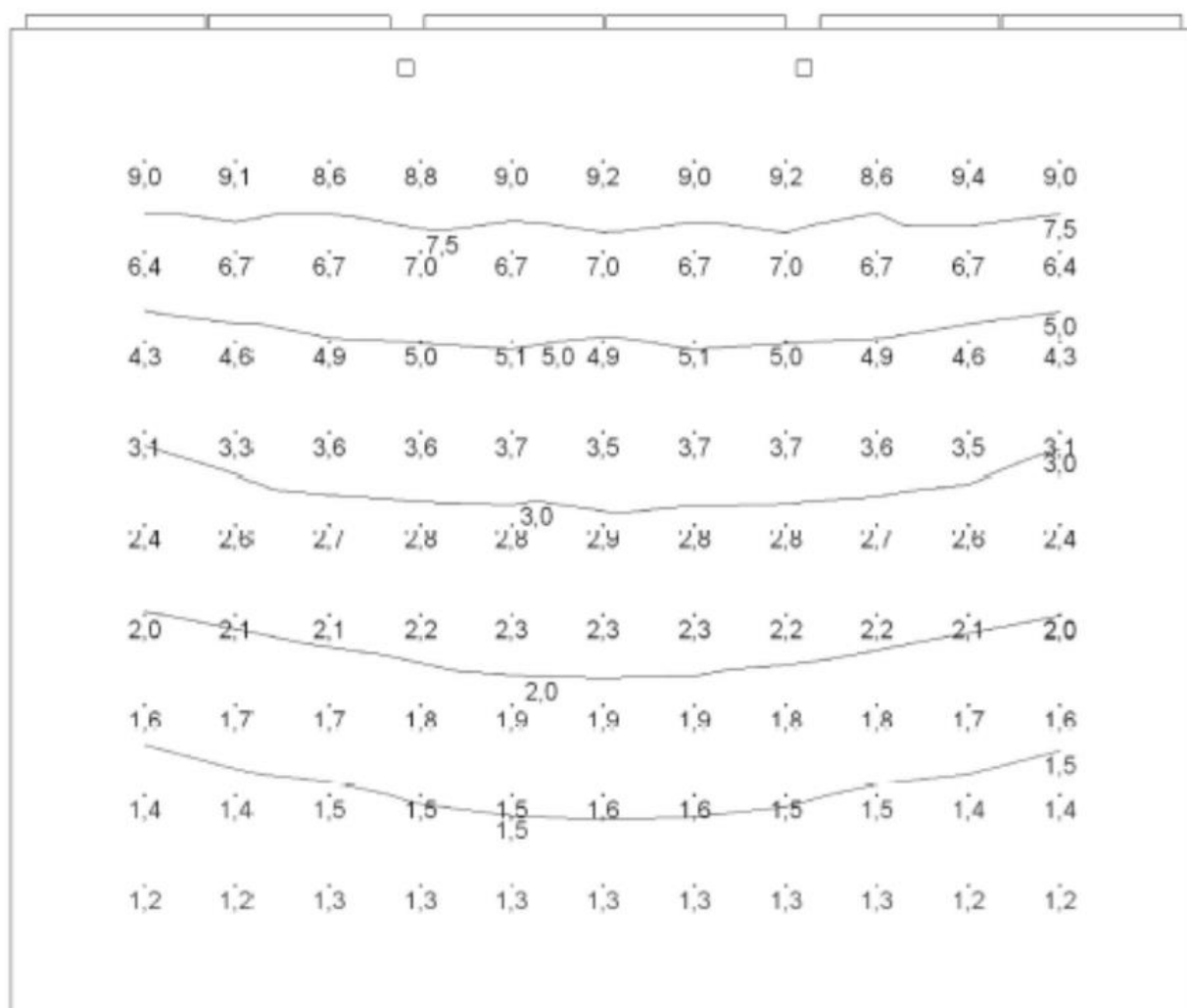
Odraznost

Podlaha		0,465367277933657
Strop		0,771861396637559
Stěny		0,481677947944403
		0,889999985694885
		0,481677947944403
		0,304919232670963



Činitel denní osvětlenosti - 1

Požadovaná rovnoměrnost	0,00	Počty	11 x 9
Požadovaná hodnota	1,5	Rozeče	687,5 x 680,0 mm
Minimální hodnota	1,2	Odsazení	1000,0 x 1000,0 mm
Maximální hodnota	9,4	Výška	850 mm
Průměrná hodnota	3,7	Natočení soustavy	0,0 0,0 0,0 °
Rovnoměrnost	0,12		

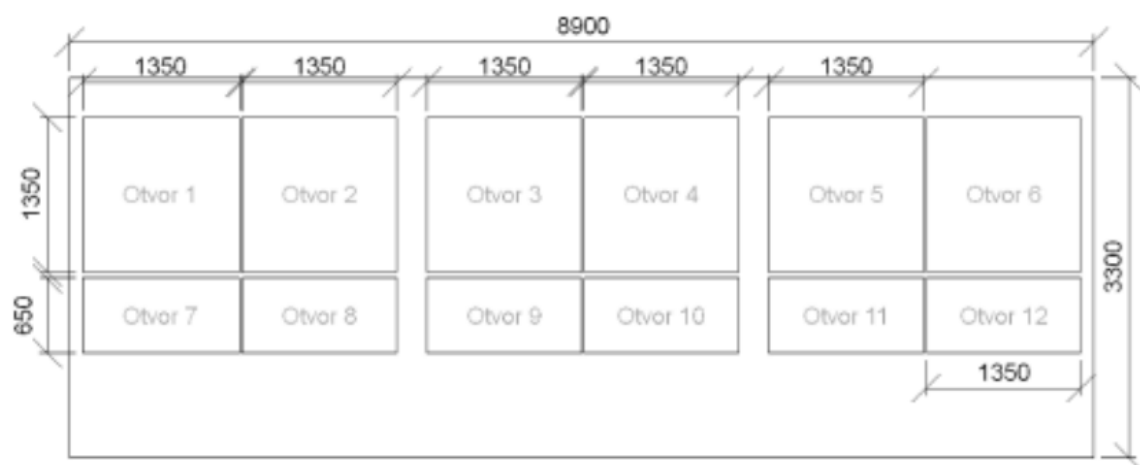


Otvory

Název	Tloušťka ostění	Posunutí		Otočení	
Otvor 1	100	110,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 2	100	1480,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 3	100	3090,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 4	100	4460,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 5	100	6070,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 6	100	7440,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 7	100	110,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 8	100	1480,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 9	100	3090,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 10	100	4460,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 11	100	6070,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 12	100	7440,0	900,0	mm	0,0 °

Název	Druh skla	Koeficient prostu 1 skla	Počet skel	Koeficient konstrukce otvoru	Koeficient konstrukce budovy	Koeficient regulačních zařízení
Otvor 1	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 2	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 3	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 4	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 5	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 6	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 7	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 8	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 9	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 10	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 11	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 12	Čiré	0,92	2	0,73	1	1

Stěna 2



Učebna 5

Výpočet

Počet odrazů	3
Dělicí poměr otvoru	10
Rozměr elementární plochy	300 mm

Údržba

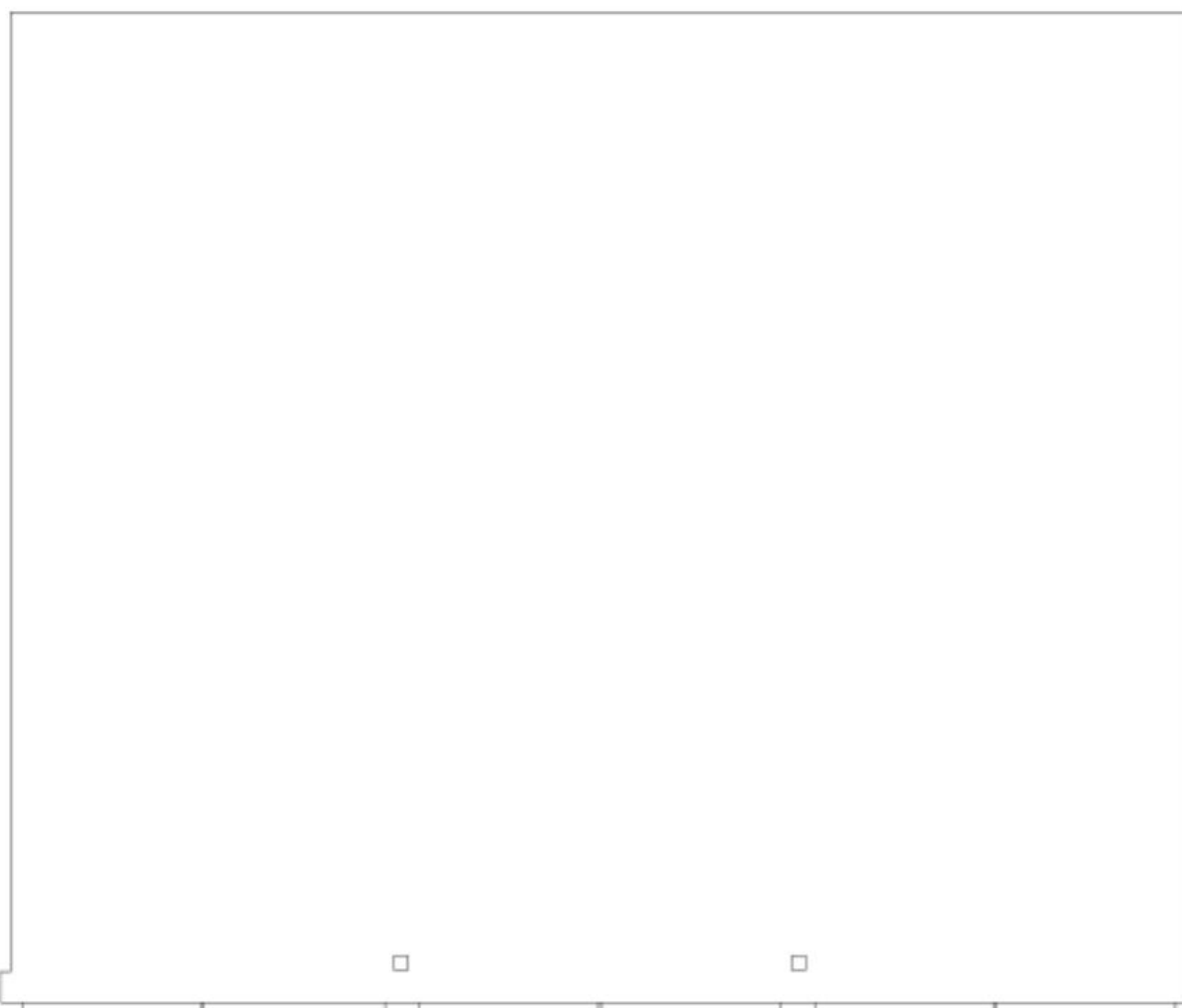
Čistota prostředí	Čisté
-------------------	-------

Geometrie

Výška	3300 mm
Plocha	66,0 m ²

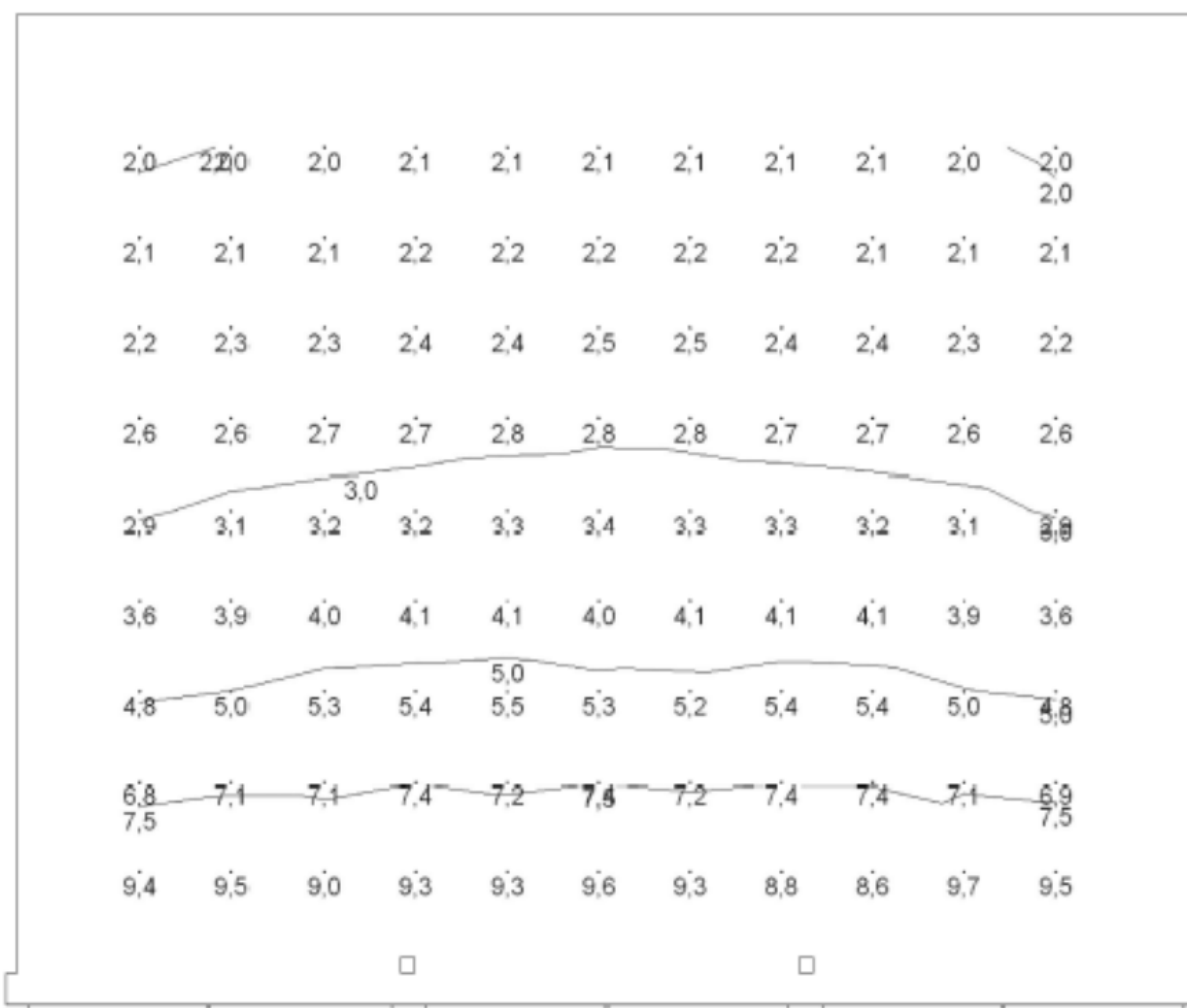
Odraznost

Podlaha	0,465367277933657
Strop	0,771861396637559
Stěny	0,698644691550732
	0,698644691550732
	0,698644691550732
	0,698644691550732
	0,698644691550732
	0,910000026226044



Činitel denní osvětlenosti

Požadovaná rovnoměrnost	0,00	Počty	11 x 9
Požadovaná hodnota	1,5	Rozteče	687,5 x 680,0 mm
Minimální hodnota	2,0	Odsazení	1000,0 x 1000,0 mm
Maximální hodnota	9,7	Výška	850 mm
Průměrná hodnota	4,2	Natočení soustavy	0,0 0,0 0,0 °
Rovnoměrnost	0,20		

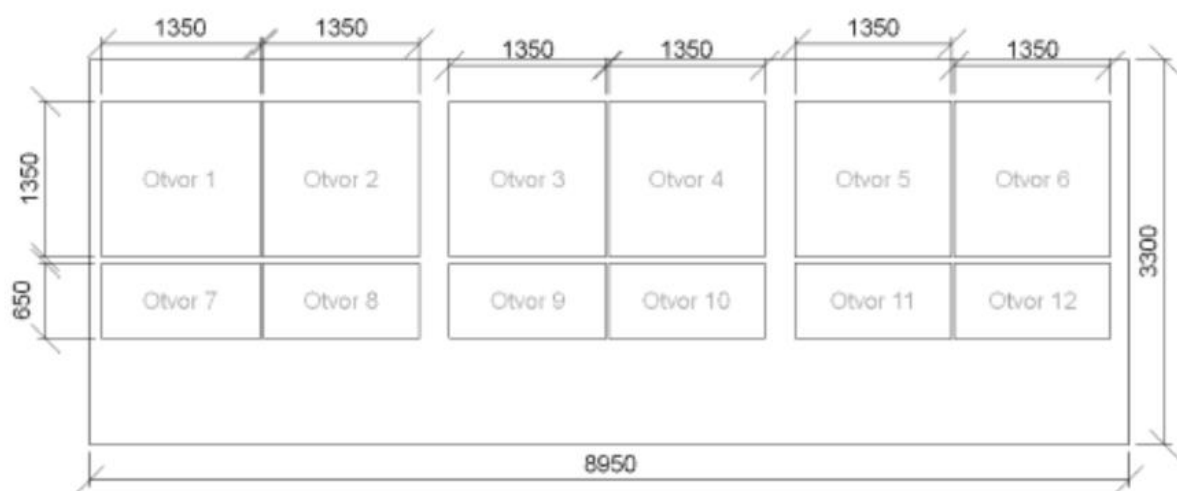


Otvory

Název	Tloušťka ostění	Posunutí		Otočení	
Otvor 1	100	110,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 5	100	6070,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 2	100	1480,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 3	100	3090,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 4	100	4460,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 6	100	7440,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 7	101	110,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 8	101	1480,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 9	101	3090,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 10	101	4460,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 11	101	6070,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 12	101	7440,0	900,0	mm	0,0 °

Název	Druh skla	Koeficient prostupu 1 skla	Počet skel	Koeficient konstrukce otvoru	Koeficient konstrukce budovy	Koeficient regulačních zařízení
Otvor 1	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 5	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 2	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 3	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 4	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 6	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 7	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 8	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 9	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 10	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 11	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 12	Čiré	0,92	2	0,73	1	1

Stěna 6



učebna 2**Výpočet**

Počet odrazů	3
Dělicí poměr otvoru	10
Rozměr elementární plochy	300 mm

Údržba

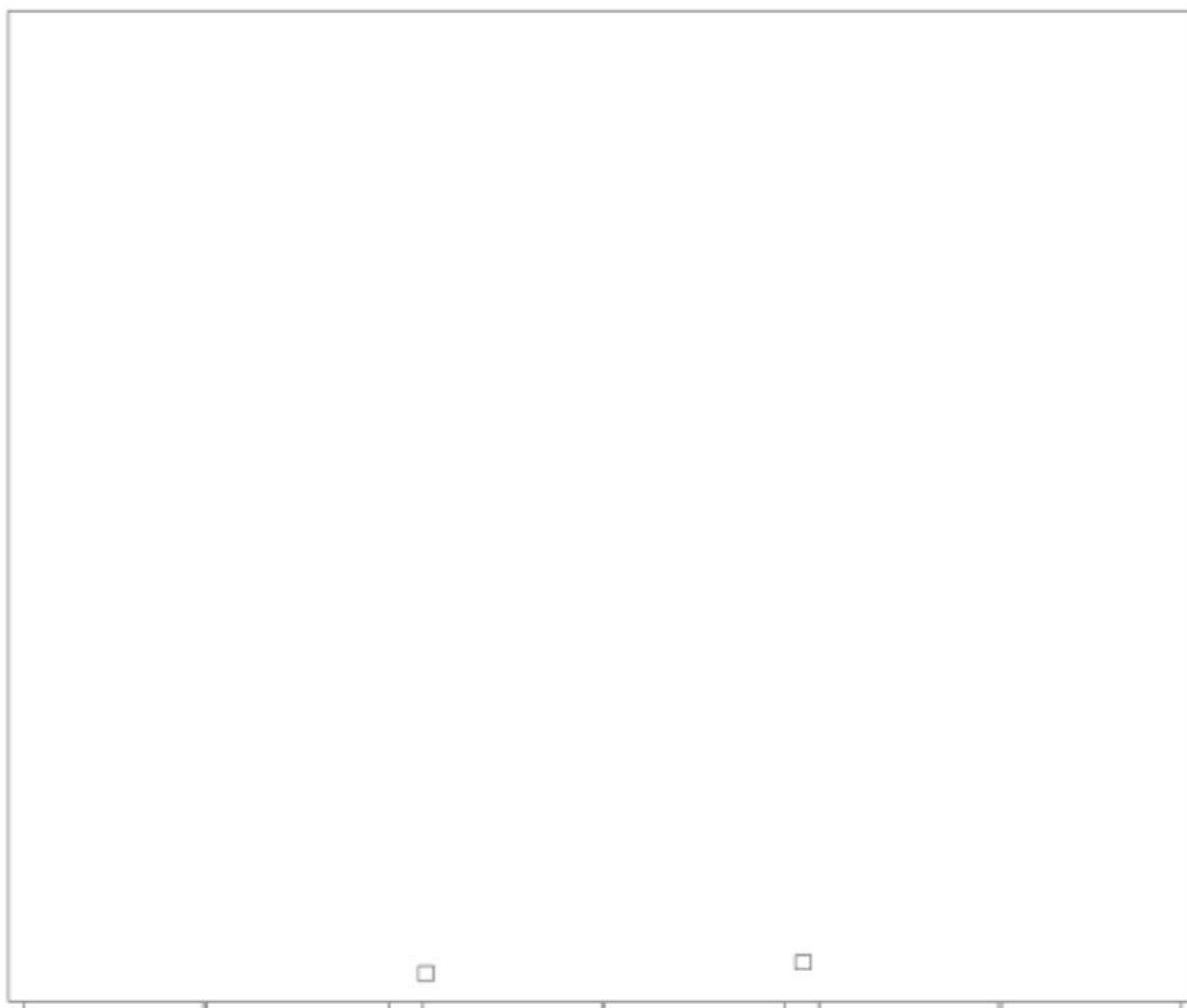
Čistota prostředí	Čisté
-------------------	-------

Geometrie

Výška	3300 mm
Plocha	66,2 m ²

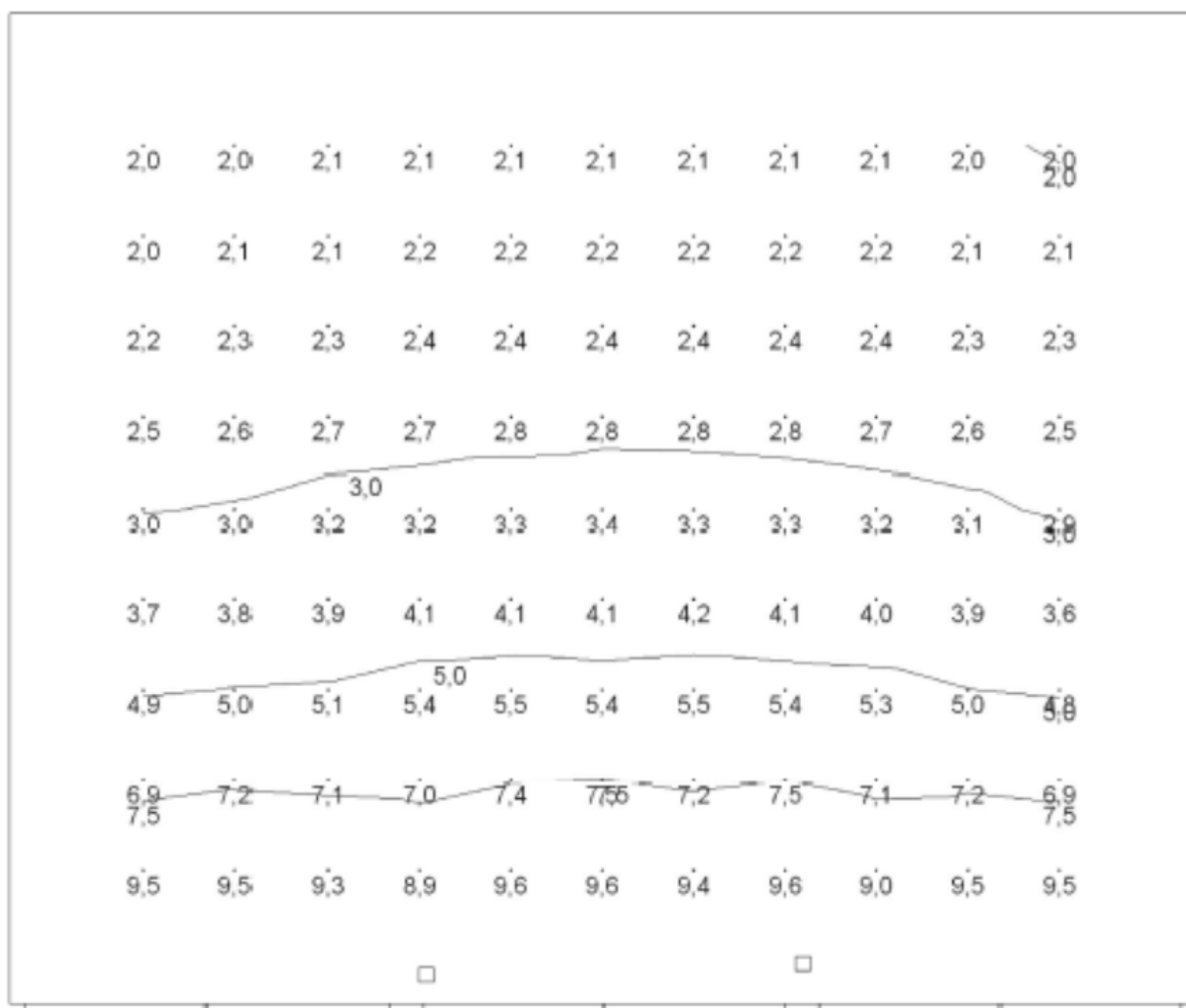
Odraznost

Podlaha	0,465367277933657
Strop	0,771861396637559
Stěny	0,649403666090965 0,653801508402824 0,653801508402824 0,880223197305202



Činitel denní osvětlenosti

Požadovaná rovnoměrnost	0,00	Počty	11 x 9
Požadovaná hodnota	1,5	Rožteče	687,5 x 680,0 mm
Minimální hodnota	2,0	Odsazení	1000,0 x 1000,0 mm
Maximální hodnota	9,6	Výška	850 mm
Průměrná hodnota	4,2	Natočení soustavy	0,0 0,0 0,0 °
Rovnoměrnost	0,21		



Otvory

Název	Tloušťka ostění	Posunutí		Otočení	
Otvor 1	100	110,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 2	100	1480,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 3	100	3090,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 4	100	4460,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 5	100	6070,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 6	100	7440,0	1600,0	mm	0,0 °
Otvor 7	101	110,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 8	101	1480,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 9	101	3090,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 10	101	4460,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 11	101	6070,0	900,0	mm	0,0 °
Otvor 12	101	7440,0	900,0	mm	0,0 °

Název	Druh skla	Koeficient prostupu 1 skla	Počet skel	Koeficient konstrukce otvoru	Koeficient konstrukce budovy	Koeficient regulačních zařízení
Otvor 1	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 2	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 3	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 4	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 5	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 6	Čiré	0,92	2	0,75	1	1
Otvor 7	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 8	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 9	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 10	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 11	Čiré	0,92	2	0,73	1	1
Otvor 12	Čiré	0,92	2	0,73	1	1

Stěna 4

