

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019/2020

Bc. ADAM FENCL

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Hodnocení denního osvětlení pomocí české vs. evropské normy

Diplomová práce

Vypracoval: Bc. Adam Fencel

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bc. Jaroslav Vychytil, Ph.D.

Studijní obor: Budovy a prostředí



Praha 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

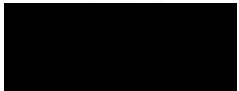
I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Fencel</u>	Jméno: <u>Adam</u>	Osobní číslo: <u>437 981</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb (K124)</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí (N3649)</u>		
Studijní obor: <u>Budovy a prostředí (3608T006)</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Hodnocení denního osvětlení pomocí české vs. evropské normy</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Evaluation of daylighting using Czech vs. European standard</u>	
Pokyny pro vypracování: Požadavky kladené na denní osvětlení v závislosti na účelu daného prostoru z pohledu dosavadních norem ČSN 73 0580-1 až 4 vs. nové ČSN EN 17037. Určení geometrie a rozměrových charakteristik modelových místností, různých odstupů a výšek stínících překážek. Zohlednění vlivu předsazených konstrukcí a různých parametrů otvorových výplní, přičemž na vybraných vzorcích bude změřena propustnost světla výplní osvětlovacích otvorů. Výpočet množství denního osvětlení v modelových místnostech v závislosti na předem definovaných okrajových podmínkách. Hodnocení místnosti z hlediska rovnoměrnosti osvětlení. Porovnání výsledků získaných postupy podle stávajících a nových normových požadavků.	
Seznam doporučené literatury: ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení prostorů – Část 1: Základní ustanovení. Praha : ÚNMZ, 2014. ČSN 36 0011-2 Měření osvětlení prostorů – Část 2: Měření denního osvětlení. Praha : ÚNMZ, 2014. ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky, ČNI Praha, červen 2007. ČSN 73 0580-2 Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov, ČNI Praha, červen 2007. ČSN 73 0580-3 Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol, ČNI Praha, září 1994. ČSN 73 0580-4 Denní osvětlení budov - Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov, ČNI Praha, září 1994. ČSN 73 4301 Obytné budovy, ČNI Praha, červen 2004. ČSN EN 17037 Denní osvětlení budov. ČAS Praha, červen 2019. VYCHYTIL, Jaroslav., KAŇKA, Jan. Stavební světelná technika - přednášky. Praha : Nakladatelství ČVUT v Praze, 176 s. 2016. ISBN 978-80-01-06060-5.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Bc. Jaroslav Vychytil, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>26. 9. 2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>5. 1. 2020</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<p><i>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“.</i></p>	
<p><u>26.9.2019</u></p> <p>_____</p> <p>Datum převzetí zadání</p>	<p></p> <p>_____</p> <p>Podpis studenta(ky)</p>


SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Adam Fencel

Název diplomové práce: Hodnocení denního osvětlení pomocí české vs. evropské normy

Základní část: Konstrukce pozemních staveb podíl: 100 %

Formulace úkolů: Požadavky kladené na denní osvětlení v závislosti na účelu daného prostoru z pohledu dosavadních norem vs. nové evropské normy. Určení parametrů modelových místností a stínících překážek. Vliv předsazených konstrukcí a parametrů oken včetně změření jejich propustnosti. Výpočet osvětlení v modelových místnostech. Hodnocení z hlediska rovnoměrnosti osvětlení. Porovnání výsledků se stávajícími a novými normovými požadavky.

Podpis vedoucího DP: 

Datum: 26. 9. 2019

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)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s využitím poskytnutých odborných konzultací. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Jsem si vědom toho, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., ve znění zákona č. 81/2005 Sb. (autorský zákon). Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Ústřední knihovně Fakulty stavební a Fakulty architektury ČVUT.

V Praze dne 6. 1. 2020

.....
Bc. Adam Fencel

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Bc. Jaroslavu Vychytilovi, Ph.D. za jeho čas a pečlivý přístup, nejen při konzultacích mé diplomové práce, ale i za celou dobu výuky na této fakultě. Dále bych rád poděkoval kolegyním Bc. Kristýně Tomanové a Bc. Magdaléně Bártové za asistenci při ověřování některých vlastností okenních výplní.

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na porovnání dvou normových přístupů k hodnocení množství denního osvětlení v budovách a jeho rovnoměrnost. Konkrétně jde o normy ČSN 730580-1 až 4 a normu ČSN EN 17037. Práce se také zaměřuje na stanovení množství denního osvětlení a jeho rovnoměrnosti rozložení v závislosti na okrajových podmínkách, jimiž jsou výšky stínících překážek, parametry okenních otvorů (poměr celkové plochy osvětlovacího otvoru a světlo-propustné plochy a dále na velikost okenních otvorů) a geometrie předsazených konstrukcí (šířky a vyložení lodžii a balkónů). Dále v této práci byly měřeny veličiny ovlivňující propustnost světla okenním otvorem, šlo o činitel propustnosti světla a činitele znečištění na vnější a vnitřní straně okenního otvoru.

Klíčová slova

Denní osvětlení, činitel denní osvětlenosti, rovnoměrnost denního osvětlení, činitel prostupu světla, činitel znečištění, předsazené konstrukce, stínící překážky, osvětlovací otvor.

Abstract

This diploma thesis is focused on the comparison of two standard approaches to the assessment of the amount of daylight in buildings and its uniformity. Specifically, the standards are ČSN 730580-1 to 4 and ČSN EN 17037. The work is also focused on the determination of the amount of daylight and its uniformity of distribution depending on the boundary conditions, such as the height of screening obstacles, window opening parameters and light-permeable surfaces and the size of the window openings) and the geometry of the front constructions (width and lining of loggias and balconies). Furthermore, the variables affecting the light transmittance through the window opening were measured in this work, it was the light transmittance factor and the pollution factor on the outside and inside of the window opening.

Keywords

Daylighting, daylighting factor, uniformity of daylighting, light transmission factor, pollution factor, hanging structures, shading obstacles, light hole.

Obsah

Obsah.....	9
ÚVOD	12
1. SVĚTLO A JEHO VLASTNOSTI	13
1.1 Poznání podstaty světla	13
1.1.1 Rychlost světla.....	13
1.1.2 Elektromagnetismus	13
1.2 Vliv světla na lidský organismus.....	15
1.2.1 Fyziologické působení světla.....	15
1.2.2 Psychologické působení světla	16
1.2.3 Desinfekční účinky	16
2. DENNÍ OSVĚTLENÍ	17
2.1 Obecně.....	17
2.2 Kvantitativní ukazatele.....	17
2.2.1 Činitel denní osvětlenosti dle ČSN 730580-1 až 4 [15 až 18]....	17
2.2.2 Činitel denní osvětlenosti dle ČSN EN 17037 [19].....	18
2.3 Síť kontrolních bodů.....	18
2.3.1 Místnosti s trvalým pobytem osob dle ČSN 730580-1 [15].....	18
2.3.2 Obytné místnosti dle ČSN 730580-2 [16]	19
2.3.3 Školské stavby dle ČSN 730580-3 [17]	20
2.3.4 Průmyslové budovy dle ČSN 730580-4 [18]	20
2.3.5 Budovy dle ČSN EN 17037 [19].....	20
2.4 Limity činitele denní osvětlenosti	22
2.4.1 Místnosti s trvalým pobytem osob dle ČSN 730580-1 [15].....	22
2.4.2 Obytné místnosti dle ČSN 730580-2 [16]	22
2.4.3 Školské stavby dle ČSN 730580-3 [17]	22
2.4.4 Průmyslové stavby dle ČSN 730580-4 [18].....	22
2.4.5 Prostory dle ČSN EN 17037 [19].....	23
2.5 Kvalitativní ukazatele.....	24

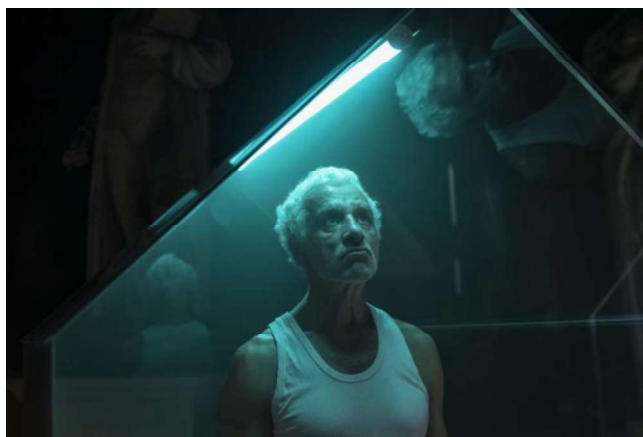
2.5.1	Vnitřní prostory dle ČSN 730580-1 [15].....	24
2.5.2	Rovnoměrnost dle ČSN EN 17037 [19].....	24
3.	HODNOCENÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ.....	25
3.1	Styl zápisu do příloh.....	25
3.2	Modelové místnosti	27
3.2.1	Geometrie	27
3.2.2	Vlastnosti povrchů.....	29
3.2.3	Rozmístění kontrolních bodů.....	30
3.3	Vliv otvorových výplní na denní osvětlení	32
3.3.1	Úvod do problematiky	32
3.3.2	Vlastnosti otvorových výplní.....	33
3.3.3	Použité vlastnosti otvorových výplní	37
3.3.4	Výsledky	38
3.4	Vliv předsazených konstrukcí na denní osvětlení	50
3.4.1	Úvod do problematiky	50
3.4.2	Činitel jasu předsazených konstrukcí	51
3.4.3	Geometrie předsazených konstrukcí.....	51
3.4.4	Výsledky	54
3.5	Vliv průběžné stínící překážky na denní osvětlení.....	76
3.5.1	Úvod do problematiky	76
3.5.2	Geometrie stínících překážek	76
3.5.3	Činitel jasu stínící překážky	79
3.5.4	Výsledky	79
4.	OVĚŘENÍ NĚKTERÝCH VLASTNOSTÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ....	88
4.1	Cíle měření	88
4.2	Použité přístroje.....	89
4.3	Okenní výplně	89
4.4	Průběh měření.....	91
4.4.1	Činitel prostupu světla	91
4.4.2	Činitel znečištění	92

4.5	Výsledky měření.....	94
4.5.1	Činitel prostupu světla.....	94
4.5.2	Činitel znečištění	98
4.6	Zhodnocení výsledků	101
5.	ZÁVĚR	102
6.	LITERATURA.....	103
	SEZNAM PŘÍLOH	105

ÚVOD

To, jak se lidská společnost vyvíjí s sebou nese řadu změn. Jednou z nich je i fakt, že lidé v dnešní době tráví mnohem více svého času uvnitř budov. Důvodem toho, podle mého názoru, je změna spektra pracovních pozic na trhu práce a nové technologie, které jsou velkým lákadlem pro trávení volného času uvnitř budov. Když známý hokejista v reklamě na novou televizi řekl, že je „lepší než realita“ vnímal jsem to jako malý milník.

Podle WHO (World Health Organization, Světová zdravotnická organizace) a podle US Environmental Protection Agency (Agentura pro ochranu životního prostředí) lidé z USA a evropských států tráví v budovách okolo 90 % svého času. Je tedy žádoucí, že vznikají nové studijní programy, stavební řešení a legislativní nařízení, která se starají o pohodlí a zdraví uživatelů budov. Tato diplomová práce se zaměřuje na množství přirozeného světla v interiéru a na kvalitu jeho rozložení.



Obr. 1: Indoor generation [1]

1. SVĚTLO A JEHO VLASTNOSTI

1.1 Poznání podstaty světla

1.1.1 Rychlost světla

První pokusy o změření rychlosti světla jsou připisovány Galileu Galileii (1564–1642), který údajně se svým pomocníkem vylezli na dva kopce a pomocí tehdejších hodin a luceren prováděli měření. Lucerny zakrývali a rozsvěceli, pochopitelně nic neměřili. [3] Lepší nápad měl dánský astronom Ole Rømer okolo roku 1675, který sledoval východy a západy měsíce Io kolem planety Jupiter. Díky tomu, že Jupiteru trvá oběh okolo Slunce přibližně 20 let, mohl Rømer sledovat tento měsíc z různých míst ekliptiky, na kterých se nacházela Země při vlastním oběhu Slunce. Poté pomocí geniální trigonometrie a rozdílu drah stanovil rychlost světla. Dostal se do velmi dobré shody se skutečnou rychlostí světla. Rømerovi vyšlo, že světlu trvá 10 až 11 minut, než ze Slunce dorazí k Zemi. [3]

Ve skutečnosti světlu trvá něco málo přes 8 minut, než dorazí ze Slunce k povrchu Země. Skutečná rychlost světla je přesně 299 792 458 m/s. Je to díky tomu, že základní jednotka délky *1 metr* je v SI soustavě definována pomocí rychlosti světla. Rychlost světla je neměnná a všichni pozorovatelé vždy naměří stejnou hodnotu, bez ohledu na to, jak rychle se v prostoru pohybují.

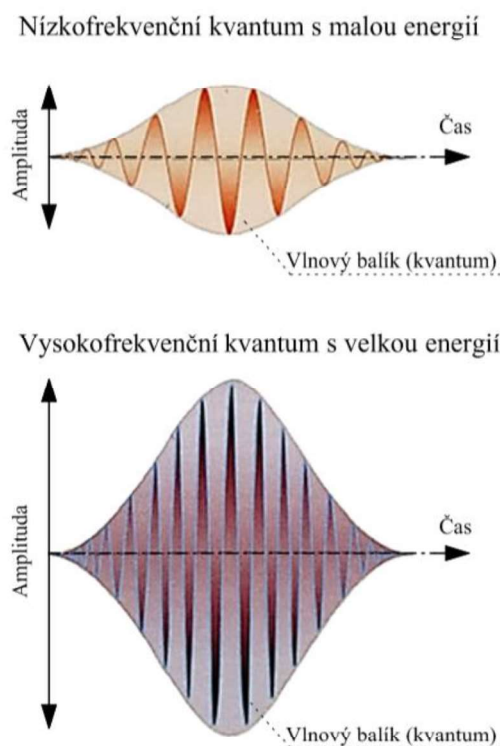
1.1.2 Elektromagnetismus

Lidstvo se světlem pracuje od nepaměti, avšak první vážné úvahy o fyzikálním principu světla sahají do 17. století. Roku 1678 předkládá Christiaan Huygens pařížské Akademii pojednání o povaze světla jako podélného vlnění, avšak Isaac Newton tou dobou považuje světlo za tok částic [2]. Ovšem až v roce 1865 je díky velikánům jako Alessandro Volta, Andrien-Marie Amper, Michael Faraday připravena půda pro Jamese Clerka Maxwella, který ve svých čtyřech rovnicích popisuje zákony elektřiny a magnetismu jako sjednoceného elektromagnetického pole. Z těchto rovnic plyne, že vlny el. mag. pole se šíří rychlostí světla a Maxwell přichází s myšlenkou, že podstata světla tkví v těchto vlnách. Odvozuje základní zákony fyzikální optiky a sjednocuje optiku s teorií elektromagnetického pole. [2]

V roce 1900 německý vědec Max Planck předpokládá, že světlo a další záření nemohou být vysílána libovolně, nýbrž v určitých dávkách (kvantech). Tyto dávky

podle něj obsahují přesné množství energie, a to tím vyšší, čím vyšší je frekvence vlny. [4]. Albert Einstein potvrzuje Planckovy předpoklady, když pomocí kvant (fotonů) vysvětlí fotoelektrický jev. Za tento počin Einstein získal roku 1921 Nobelovu cenu.

Tento model světla a jiného el. mag. vlnění je dnes obecně přijímán a na jeho základě je vybudována například kvantová teorie. To, zda na světlo pohlížíme jako na vlnu nebo na částici, záleží na povaze experimentu a způsobu jeho pozorování.



Obr. 2: Planckův návrh šíření světla pomocí kvant [4]

Tato kvanta (fotony) jsou dnes chápána jako tzv. kvazičástice (částice s nulovou klidovou hmotností). Na obrázku číslo 3 je znázorněno spektrum elektromagnetického vlnění a jeho pojmenování v závislosti na vlnové délce.



Obr. 3: Světelné spektrum [4]

1.2 Vliv světla na lidský organismus

Vliv přirozeného světla je nezbytný pro správné fungování lidského těla. To, jak světlo na člověka působí, lze rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupinou je přímé působení (fyziologické), které lze pomocí správných vědeckých měření většinou přesně stanovit. Druhou hlavní skupinou je nepřímé působení světla (psychologické), jehož účinky jsou vnímány každou osobou odlišně. Tyto účinky lze formulovat pomocí statistických dat a předpovídat tak množství (ne)spokojených osob.

1.2.1 Fyziologické působení světla

Díky přirozenému světlu a jeho pravidelným dynamickým změnám dokáže lidský organismus synchronizovat svůj biologický rytmus a aktivitu. Tento rytmus bývá často označován jako cirkadiánní. Narušení přirozeného střídání dne a noci má za následek rozhození tohoto rytmu, díky tomu je pak organismus náchylnější k únavě, běžným i vážnějším onemocněním, bolestem hlavy a přibírání na váze. Sluneční světlo je také potřeba k vytváření vitamínu D, který napomáhá ke správnému fungování imunitního systému.

1.2.1.1 Hormony

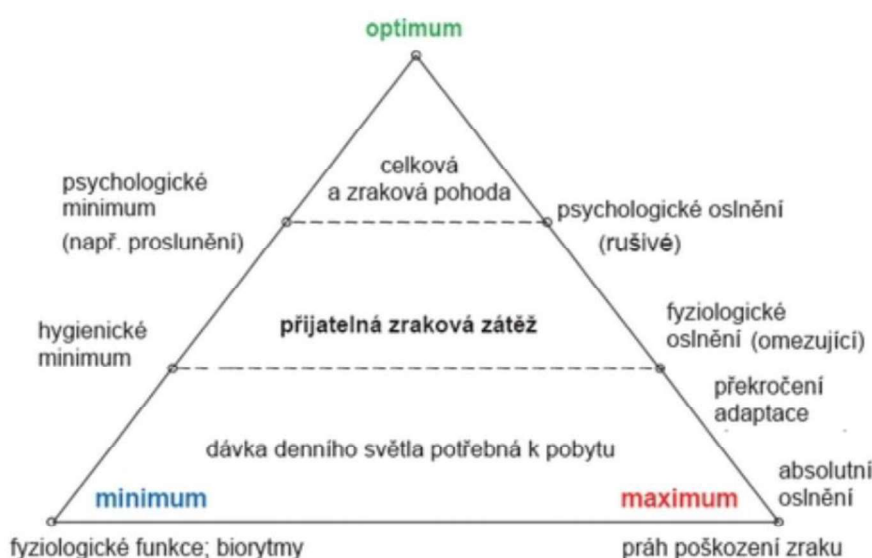
Díky modré složce světla, která je v přirozeném světle obsažena, dokáží buňky na sítnici lidského oka detekovat celkovou úroveň osvětlení a jeho dobu trvání. Tato informace následně putuje do mozku (do suprachiasmatického jádra neboli SCN) odkud se „rozdělují povely“ pro další části mozku a orgány řídící biologický rytmus člověka. [5]

- **Melatonin:** Když ráno začne stoupat množství denního světla, přichází signál z SCN až do epifýzy, která tento hormon produkuje. Produkce melatoninu se zastaví a tělo je tak připraveno k aktivitě. Ve večerních hodinách nastává opačný proces a tělo na základě světelných informací začíná vyrábět tento spánkový hormon a my se cítíme unaveni a připraveni ke spánku. [5] Melatonin se dále podílí na ovládání krevního tlaku, tělesné teploty a metabolismu tuků, cukrů a bílkovin. [6]

- **Kortizol:** Tento hormon zvyšuje připravenost organismu zvládat zátěžové situace jako je stres, hlad, choroby atd. Jeho produkce je v ranním období asi 10× až 20× větší než po zbytek dne. [5]

1.2.2 Psychologické působení světla

Z nedostatku světla může vznikat také deprese, přesněji SAD (seasonal affective disorder), která se nejvíce projevuje na podzim, kdy dochází k snižování dávek přirozeného světla. Na psychickou pohodu má krom množství světla vliv ještě jeho spektrální složení (barva). Teplejší barvy jako například červená, žlutá a oranžová v lidech probouzejí vyšší aktivitu, chuť k jídlu a někdy i zvýšenou míru podráždění. Oproti tomu příjemné odstíny zelené či modré v lidech navozují pocit klidu a napomáhají k vyšší koncentraci. Černá barva spolu s odstíny šedé může navozovat pocit deprese, smutku a snížené výkonnosti.



Obr. 4: Schéma zásad hygieny osvětlování [7]

1.2.3 Desinfekční účinky

Desinfekční účinek světla je znám především v jeho UV oblasti (tj. záření s vlnovou délkou zhruba 280 až 400 nm). Toto spektrum působí tzv. fotochemické poškození nukleových kyselin v buňce či ve viru. Bakterie s takto zasaženými buňkami nejsou schopny dalšího množení, dokud se pomocí enzymů nezotaví.

2. DENNÍ OSVĚTLENÍ

Denní osvětlení se sestává ze dvou základních jevů, prvním je působení přímých slunečních paprsků a tím druhým je světlo rozptýlené v atmosféře.

Při posuzování a výpočtech denního osvětlení se uvažuje stav, kdy je rovnoměrně zatažená obloha v zimě s gradovaným jasem. Pro situace s tmavým terénem se využívá modelová obloha CIE 1:3 což znamená, že jas zenitu je 3× větší než jas horizontu. Pro případy se zasněženým terénem se využívá modelová obloha CIE 1:2, kde jas zenitu je 2× větší než jas horizontu. Jelikož je modelová obloha rovnoměrně zatažená, počítá se pouze se světlem rozptýleným v atmosféře. [8]

2.1 Obecně

„Denní osvětlením se musí vytvořit podmínky zrakové pohody a dobrého vidění pozorovaných předmětů, zabránit vzniku předčasné a nadměrné únavy a předejít možnosti úrazu podmíněného zhoršeným viděním.“ [15]

Denní osvětlení vnitřních prostorů budov se navrhuje a posuzuje podle těchto základních hledisek: úroveň denního osvětlení, rovnoměrnost osvětlení, oslnění, rozložení světelného toku a převažující směr světla a výskytu dalších jevů ovlivňujících zrakovou pohodu (např. barva světla). Hodnotí se tedy jak kvalitativní, tak kvantitativní působení denního světla. Mezi kvantitativní ukazatele patří množství denního světla, které se hodnotí pomocí činitele denní osvětlenosti. Ke kvalitativním například rovnoměrnost denního osvětlení.

2.2 Kvantitativní ukazatele

2.2.1 Činitel denní osvětlenosti dle ČSN 730580-1 až 4 [15 až 18]

Úroveň denního osvětlení se stanovuje poměrnou veličinou, činitelem denní osvětlenosti D (%).

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad (1)$$

kde: D – činitel denní osvětlenosti (%)

E – osvětlenost v kontrolním bodě (lx)

E_h – současná osvětlenost venkovní vodorovné nezacloněné roviny (lx), kterou lze stanovit dle vztahu (2).

$$E_h = \pi \cdot L_m \quad (2)$$

kde: L_m = průměrný jas oblohy (cd/m^2)

Hodnotu činitele denní osvětlenosti lze stanovit pouze samotným výpočtem dle uvedeného vzorce, přímým měřením jednotlivých osvětleností a následným výpočtem nebo měřením a výpočtem, která jsou prováděna na modelu. Takto stanovená hodnota činitele denní osvětlenosti se uvádí na jedno desetinné místo.

2.2.2 Činitel denní osvětlenosti dle ČSN EN 17037 [19]

Tato evropská norma uvádí **cílový činitel denní osvětlenosti D_T (%)**, jehož hodnota má být překročena na minimálně 50 % srovnávací roviny, vypočte se podle vztahu (3). A **minimální cílový činitel denní osvětlenosti D_{TM} (%)**, který má být překročen na minimálně 95 % srovnávací roviny, vypočte se podle vztahu (4).

$$D_T = \frac{\text{osvětlenost}}{E_{v,d,med}} \cdot 100 \quad (3)$$

$$D_{TM} = \frac{\text{osvětlenost}}{E_{v,d,med}} \cdot 100 \quad (4)$$

kde: osvětlenost – hodnota podle požadované úrovně osvětlenosti, viz kapitola 2.4.5 (lx)

$E_{v,d,med}$ – medián oblohové vodorovné osvětlenosti (lx),

např. pro Prahu $E_{v,d,med} = 14\,900$ lx.

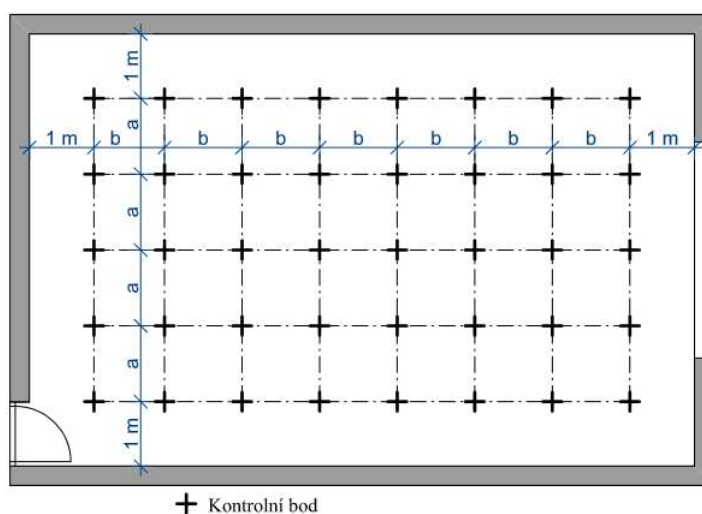
2.3 Sít' kontrolních bodů

Činitel denní osvětlenosti je určován v kontrolních bodech, které jsou umístěny na srovnávací rovině (sít' bodů). Poloha srovnávací roviny závisí na druhu posuzovaného prostoru. Ve většině pracovních prostředí se srovnávací rovina umísťuje do vodorovné polohy 850 mm nad čistou podlahou. V této výšce nejčastěji dochází k pracovním činnostem jako je psaní a čtení.

2.3.1 Místnosti s trvalým pobytem osob dle ČSN 730580-1 [15]

Trvalým pobytem osob se rozumí pobyt osob v místnosti, který trvá déle než 4 hodiny v jenom dni a opakuje se více než jednou týdně.

Krajní řady bodů se v těchto místnostech umísťují 1 m od povrchů okolních stěn, pokud je stěna vybavena např. úložným prostorem, lze řadu kontrolních bodů umístit 1 m od něj.

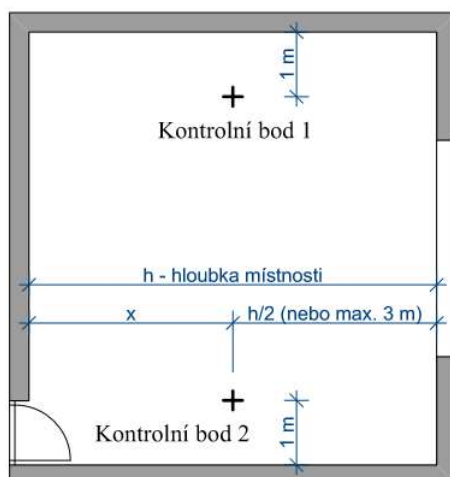


Obr. 5: Ukázka umístění kontrolních bodů v pravoúhlé síti v místnosti s trvalým pobytem osob

Krajní body jsou umístěny 1 m od vnitřního líce stěn, viz obr. 5. Vzdálenosti mezi kontrolními body (*a* a *b* viz obr. 5) se volí tak, aby dávaly dostatečnou představu o průběhu denního osvětlení ve vnitřním prostoru nebo jeho funkčně vymezených částech. Podle druhu a velikosti prostoru se volí vzdálenost mezi kontrolními body, která zpravidla nepřesahuje hranici 6 metrů. Poměr mezi vzdálenostmi *a* a *b* se doporučuje od 0,5 do 2. [8]

2.3.2 Obytné místnosti dle ČSN 730580-2 [16]

V obytných místnostech se kontrolní body umísťují pouze dva, a to ve vzdálenosti 1 m od vnitřních povrchů bočních stěn a do poloviny hloubky místnosti, ne však hlouběji než 3 m, viz obr. 6.



Obr. 6: Umístění kontrolních bodů v obytné místnosti

2.3.3 Školské stavby dle ČSN 730580-3 [17]

Srovnávací rovina se umísťuje 850 mm nad podlahou, v denních místnostech předškolních zařízení se umísťuje 450 mm nad podlahou a ve vnitřních prostorách určených k tělesné výchově je srovnávací rovina umístěna v úrovni podlahy.

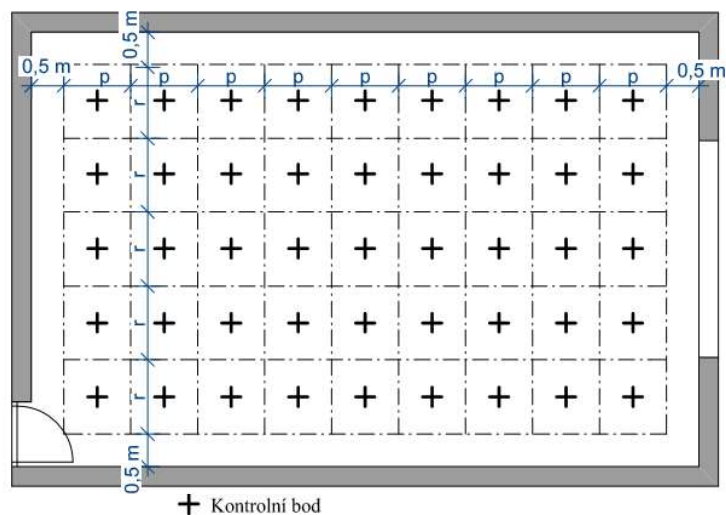
2.3.4 Průmyslové budovy dle ČSN 730580-4 [18]

Srovnávací rovina se volí podle charakteru zrakové činnosti. V případě, že je potřeba zajistit osvětlenost např. ovládacího panelu, který je skloněný, je možné srovnávací rovinu umístit do roviny tohoto panelu.

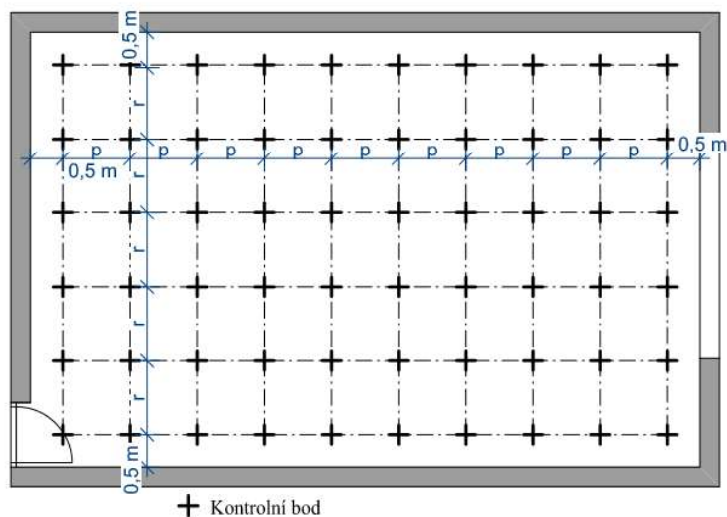
2.3.5 Budovy dle ČSN EN 17037 [19]

Osy, které určují rozmístění kontrolních bodů na srovnávací rovině, jsou nově umístěny 0,5 m od vnitřního líce stěn, viz obr. 7. Norma však v současné době přesně neudává polohu kontrolních bodů vůči osám. Hovoří pouze o ploškách/buňkách, které vznikly mezi osami. Nabízí se tedy dvojí výklad:

- a) kontrolní body budou umístěny do těžišť těchto buněk
- b) kontrolní body budou umístěny do průniku os, jako tomu bylo dříve



Obr. 7: Ukázka umístění kontrolních bodů v prostorech, které mohou být pravidelně využívány lidmi po delší dobu - KB v těžišti buněk.



Obr. 8: Ukázka umístění kontrolních bodů v prostorech, které mohou být pravidelně využívány lidmi po delší dobu - KB v průniku os.

Vzdálenosti p a r na obr. 7 a 8 by měly být ve vzájemném poměru od 0,5 do 2. Přičemž maximální rozměr buňky sítě p se stanoví podle vztahu (5).

$$p = \frac{1}{2} \cdot 5^{\log_{10}(d)} \quad (5)$$

kde: $p \leq 10$ m

d – delší rozměr počítané oblasti (m), je-li však podíl delší strany ke kratší straně roven 2 nebo je větší, je d kratší z rozměrů plochy

2.4 Limity činitele denní osvětlenosti

2.4.1 Místnosti s trvalým pobytem osob dle ČSN 730580-1 [15]

Norma ČSN 730580-1 [15] rozlišuje celkem sedm tříd zrakových činností, pro které udává limity činitelů denní osvětlenosti, kterých musí být dosaženo. Jde o limit minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti D_{min} (%) a průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti D_m (%). Jde-li o prostor s trvalým pobytem osob nebo jeho funkčně vymezenou část, tak musí být minimální hodnota činitele denní osvětlenosti $D_{min} \geq 1,5$ % a průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti $D_m \geq 3,0$ %. I v případě, že by pro danou zrakovou činnost postačovali hodnoty nižší. Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti D_m však musí být splněna pouze u prostorů s horním denním osvětlením a prostorů s kombinovaným denním osvětlením, u kterých se horní osvětlení podílí na průměrné hodnotě činitele denní osvětlenosti D_m nejméně jednou polovinou.

2.4.2 Obytné místnosti dle ČSN 730580-2 [16]

V obytných místnostech s horním osvětlením a v obytných místnostech s kombinovaným osvětlením, u kterých se horní osvětlení podílí na průměrné hodnotě činitele denní osvětlenosti jednou polovinou nebo více musí být dodržen limit $D_m \geq 2,0$ %. V ostatních obytných místnostech musí být ve dvou kontrolních bodech, které jsou vyznačeny na obr. 6, splněny hranice pro činitel denní osvětlenosti $D_{min} \geq 0,7$ % a pro průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti $D_m \geq 0,9$ %.

2.4.3 Školské stavby dle ČSN 730580-3 [17]

Norma ČSN 730580-3 [17] až do srpna roku 2019 udávala nejmenší činitel denní osvětlenosti D_{min} (%) a průměrný činitel denní osvětlenosti D_m (%) v závislosti na druhu vnitřního prostoru, na tom, zda se jedná o místnost s trvalým pobytem osob nebo ne a na třídě zrakové činnosti. Zpravidla nejpřísnější hodnoty norma stanovuje pro rýsovný a laboratoře či dílny pro jemné práce. Ve kterých nejmenší činitel denní osvětlenosti $D_{min} \geq 2,0$ % a průměrný činitel denní osvětlenosti $D_m \geq 6,0$ %.

2.4.4 Průmyslové stavby dle ČSN 730580-4 [18]

Do srpna roku 2019 platily limity pro průměrnou hodnotu činitel denní osvětlenosti D_m (%) v průmyslových stavbách takto:

- pro zřakovou třídu I. až III.: $D_m \geq 5,0 \%$
- pro zřakovou třídu IV.: $D_m \geq 3,0 \%$
- pro zřakovou třídu V. až VII.: $D_m \geq 2,0 \%$

Dále norma ČSN 730580-4 [18] stanovovala 16 základních typů prostorů a činností a ke každému uváděla minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti D_{min} (%) pro všechny dílčí podmnožiny daného prostoru či činnosti. Například pro prostor **komunikace** zde byly uvedené hodnoty tříd zřakových činností (I. až VII.), minimální hodnota činitele denní osvětlenosti D_{min} (%) a průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti D_m (%) pro *pěší komunikace*, *pěší komunikace s přístupem veřejnosti* a *pro prostor pro dopravu materiálu a osob*.

2.4.5 Prostory dle ČSN EN 17037 [19]

Norma ČSN EN 17037 [19] udává limity pro všechny prostory, které mohou být pravidelně využívány lidmi po delší dobu s výjimkou prostorů, u kterých je kvůli povaze práce nebo činnosti v nich prováděné použití denního světla vyloučeno.

Limity nejsou stanovovány na základě tříd zřakových činností, jako tomu bylo po staru, ale stanovují se na základě požadované cílové osvětlenosti E_T (lx) a to ve třech úrovních (minimální, střední a velká). Pro svislé a šikmé osvětlovací otvory platí, že vždy by měla být splněna minimální úroveň, která je pro cílovou osvětlenost $E_T = 300$ lx a minimální cílovou osvětlenost $E_{TM} = 100$ lx. Kde cílová osvětlenost má být splněna na 50 % posuzované plochy a minimální cílová osvětlenost na 95 % posuzované plochy. Dále by měl být splněn limit podílu doby po kterou je daná osvětlenost překročena s denním světlem $F_{time,\%}$ (%) a to tak, že $F_{time,\%} = 50 \%$. Pro vodorovné osvětlovací otvory má být splněn pouze limit cílové osvětlenosti pro minimální úroveň $E_T = 300$ lx, kterého bude dosaženo na 95 % posuzované plochy, a podíl doby, po kterou bude této osvětlenosti dosaženo denním světlem bude $F_{time,\%} = 50 \%$.

Pokud využijeme vztahy (3) a (4) pro přepočtení osvětlenosti na cílový činitel denní osvětlenosti a minimální cílový činitel denní osvětlenosti dostáváme, že $D_T \geq 2,0 \%$ a $D_{TM} \geq 0,7 \%$ (pro Českou republiku).

2.5 Kvalitativní ukazatele

Jako jeden z hlavních kvalitativních ukazatelů, u místností s bočním osvětlením, slouží rovnoměrnost denního osvětlení U (-) stanoví se podle následujícího vzorce:

$$U = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (6)$$

kde: D_{min} – nejmenší hodnota činitele denní osvětlenosti (%), zjištěná v pravouhlé síti kontrolních bodů

D_{max} – největší hodnota činitele denní osvětlenosti (%), zjištěná v pravouhlé síti kontrolních bodů

2.5.1 Vnitřní prostory dle ČSN 730580-1 [15]

Rovnoměrnost denního osvětlení ve vnitřních prostorech, u kterých se předpokládá splnění jen minimálních hodnot činitele denní osvětlenosti by měla být pro třídy zrakové činnosti **I** až **IV** větší než hodnota 0,2, a pro třídu zrakové činnosti **V** větší než 0,15.

2.5.2 Rovnoměrnost dle ČSN EN 17037 [19]

Evropská norma tuto veličinu přímo neuvádí, ale co není v rozporu s ČSN EN 17037 [19], zůstává zachováno.

na obrázku 9 značí:

- 1 – Označení normy, dle které byla místnost posouzena. **ČSN** pro normu ČSN 730580-1 [15] a **EN** pro normu ČSN EN 17037 [19].
- 2 – Kódové označení pro parametry, které mají vliv na denní osvětlenost (např. **0** na obrázku č. 9 značí výšku stínící překážky v metrech).
- 3 – Počet kontrolních bodů umístěných na srovnávací rovině v místnosti ve výšce 850 mm nad čistou podlahou.
- 4 – Počet kontrolních bodů, u nichž bylo dosaženo hodnoty činitele denní osvětlenosti 1,5 % nebo více.
- 5 – Číselná matice s hodnotami činitelů denní osvětlenosti v kontrolních bodech. V řádcích jsou umístěny hodnoty pro KB, které jsou na srovnávací rovině rovnoběžně s okenním otvorem (čím je řádek výše umístěn v matici, tím dále je od okenního otvoru).
- 6 – Stanovisko, zda celá půdorysná plocha posuzované místnosti vyhoví jako místnost určená pro trvalý pobyt osob či prostor, který může být pravidelně užíván lidmi po delší dobu. **OK** = vyhoví, **NE** = nevyhoví.
- 7 – Množství kontrolních bodů v procentech, u nichž byla hodnota činitele denní osvětlenosti větší nebo rovna než 1,5 %.
- 8 – Průměrný činitel denní osvětlenosti **D_m (%)**.
- 9 – Rovnoměrnost denního osvětlení **U (-)**.
- 10 – Počet kontrolních bodů, u nichž činitel denní osvětlenosti nedosáhl hodnoty 1,5 %.
- 11 – Binární zápis podmínky z buňky č. 10 (**1** = v buňce č. 10 je nulová hodnota, **0** = v buňce č. 10 je nenulová hodnota).

	1	2			3	4			
	EN _{Os} - 0				21	21			
								0	12
	1,8	2,5	3,1	3,3	3,1	2,5	1,8	4	13
5	2	3,5	4,5	5	4,5	3,5	2	1	14
	1,6	5,2	7,9	8,4	7,9	5,2	1,6	1	15
		% ≥ 1,5	Dm (%)	U (-)					
	OK	100	3,9	0,19					
	6	7	8	9					

Obr 10: Zázpis modelové místnosti posuzované dle evropské normy

na obrázku 10 značí:

1 až 9 – Je stejné značení jako na obr. 9.

10 a 11 – Se zde neuvádí.

12 – Počet kontrolních bodů, v nichž hodnota činitele denní osvětlenosti byla menší než 0,7 %.

13 – Počet kontrolních bodů, v nichž hodnota činitele denní osvětlenosti byla menší hodnoty než 2,0 %.

14 – Binární podmínka pro buňku č. 12 (stanovisko, zda byl splněn limit pro **minimální cílový činitel denní osvětlenosti D_{TM} (%)**

tj. **0** = na 95 % kontrolních bodů nebyla dosažena hodnota činitele denní osvětlenosti alespoň 0,7 %, **1** = na 95 % kontrolních bodů byla dosažena hodnota činitele denní osvětlenosti 0,7 % nebo více).

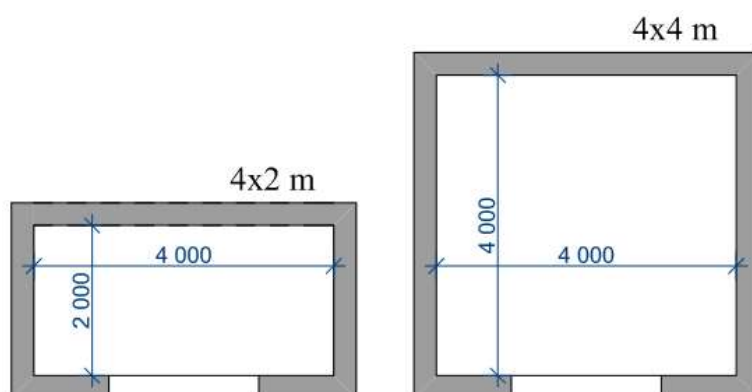
15 – Binární podmínka pro buňku č. 13 (stanovisko, zda byl splněn limit pro **cílový činitel denní osvětlenosti D_T (%)**). Tj. **0** = na 50 % kontrolních bodů nebyla dosažena hodnota činitele denní osvětlenosti alespoň 2,0 %, **1** = na 50 % kontrolních bodů byla dosažena hodnota činitele denní osvětlenosti 2,0 % nebo více).

3.2 Modelové místnosti

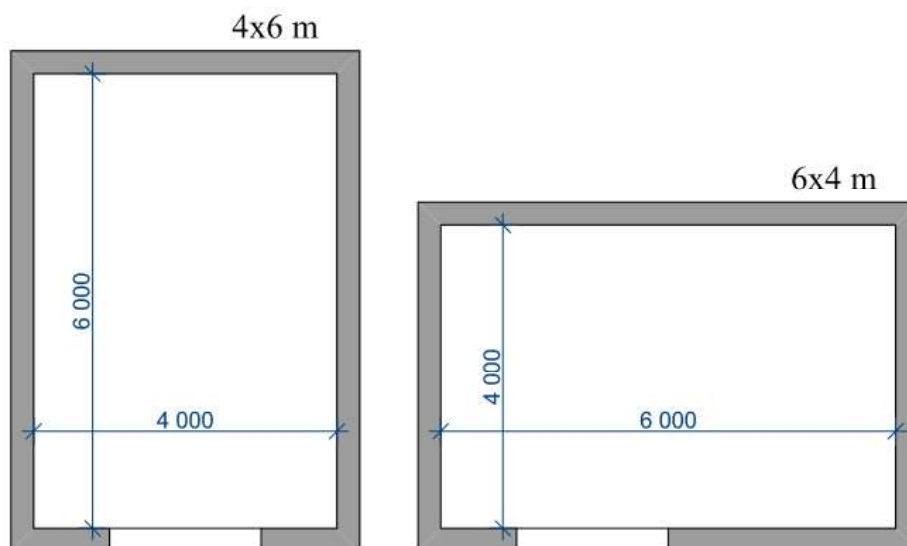
3.2.1 Geometrie

Byly navrženy celkem čtyři modelové obdélníkové místnosti s různým poměrem stran. Jsou zobrazeny na následujících schématech. Světlá výška všech

místností byla uvažována 2650 mm. Tloušťka obvodové stěny byla uvažována 450 mm.

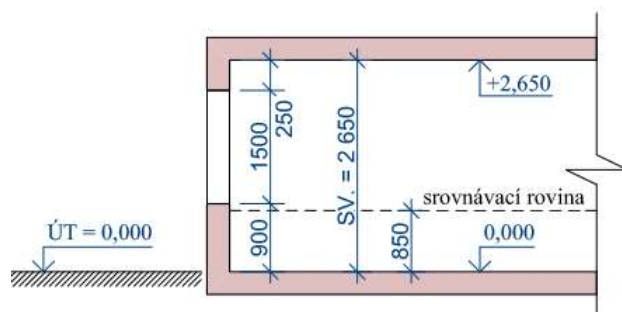


Obr. 11: Půdorysné schéma místností 4×2 m a 4×4 m.



Obr. 12: Půdorysné schéma místností 4×6 m a 6×4 m.

U místnosti s rozměry 6×4 m byly vždy okenní otvory umístovány ve stejné vzdálenosti od levého líce stěny, jako u ostatních místností (z důvodu vytvoření tzv. tmavého koutu místnosti). U ostatních místností byly okenní otvory umístovány vždy doprostřed stěny.



Obr. 13: Řez modelovou místností

Geometrie řezu zůstává pro všechny místnosti stejná, mění se pouze hloubky místností.

3.2.2 Vlastnosti povrchů

Vlastnosti vnitřních povrchů místnosti a ostění okenních otvorů jsou z hlediska stavební světelné techniky určeny pomocí veličiny **činitel odrazu světla ρ** (-). Při dopadu světelného paprsku na povrch je část světla pohlcena daným povrchem a část světla odražena. Činitel odrazu světla udává, kolik dopadajícího světla se od daného povrchu odrazí zpět do prostoru. Pokud povrch pohltí veškeré dopadající světlo, pak $\rho = 0$, pokud povrch všechno světlo odrazí zpět do prostoru, potom $\rho = 1$. Hodnoty činitele odrazu světla závisí především na barvě povrchu a na tom, zda je povrch jeví jako lesklý nebo matný. (Přesnější vysvětlení by bylo, že hodnota činitele odrazu světla závisí na atomární struktuře daného materiálu, nikoliv na jeho barvě. Jelikož barva je vlastnost světla, nikoliv atomů).

Hodnota, kterou bylo potřeba zadat do programu *Světlo+* [9], byl **průměrný činitel odrazu světla ρ_m** (-), spočítá se jako vážený průměr dílčích hodnot podle následujícího vztahu.

$$\rho_m = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot \rho_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (7)$$

kde: ρ_m – průměrný činitel odrazu světla (-)

ρ_i – činitel odrazu světla daného povrchu (-)

n – počet všech dílčích povrchů (-)

S_i – plocha i -tého povrchu (m^2)

Norma ČSN 730580-1 [15] doporučuje následující vlastnosti povrchů:

$$\rho_{\text{stropu}} = 0,7$$

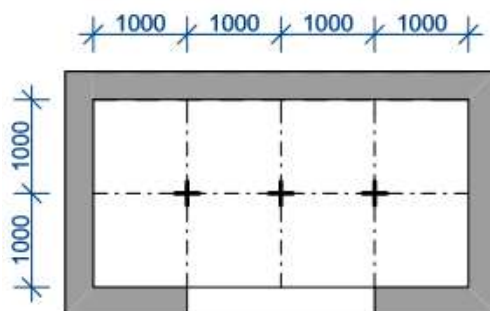
$$\rho_{\text{stěn}} = 0,5$$

$$\rho_{\text{podlahy}} = 0,3$$

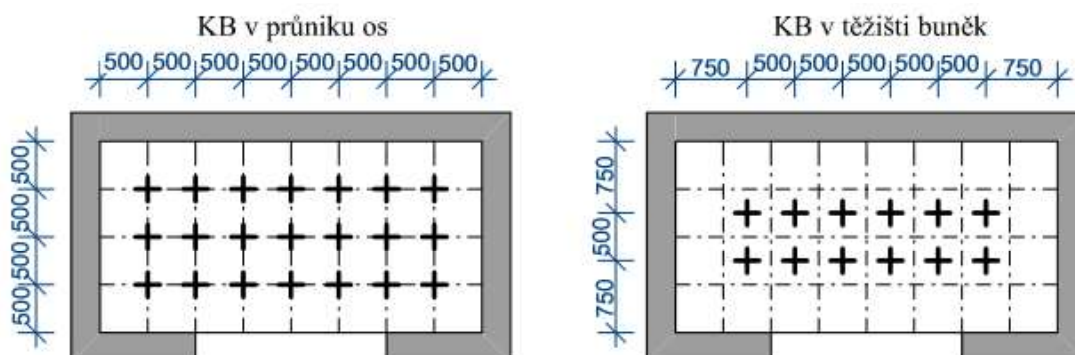
Po dosazení těchto hodnot do vzorce (7) vyjde, že $\rho_m = 0,5$.

3.2.3 Rozmístění kontrolních bodů

Rozmístění kontrolních bodů bylo provedeno v souladu s normami ČSN 730580-1 [15] a ČSN EN 17037 [19]. Jelikož v době psaní této diplomové práce evropská norma ještě jasně nedefinuje to, jak budou kontrolní body rozmístěny vzhledem k osám sítě, byly provedeny dvě varianty. První varianta umísťuje kontrolní bod do průniku os, druhá do těžiště buňky, která je osami vytyčena. Vzdálenosti kontrolních bodů byly voleny podle doporučení ČSN 730580-1 [15] tj. 1 m a pro posudky dle ČSN EN 17037 [19] podle vztahu č. (5).

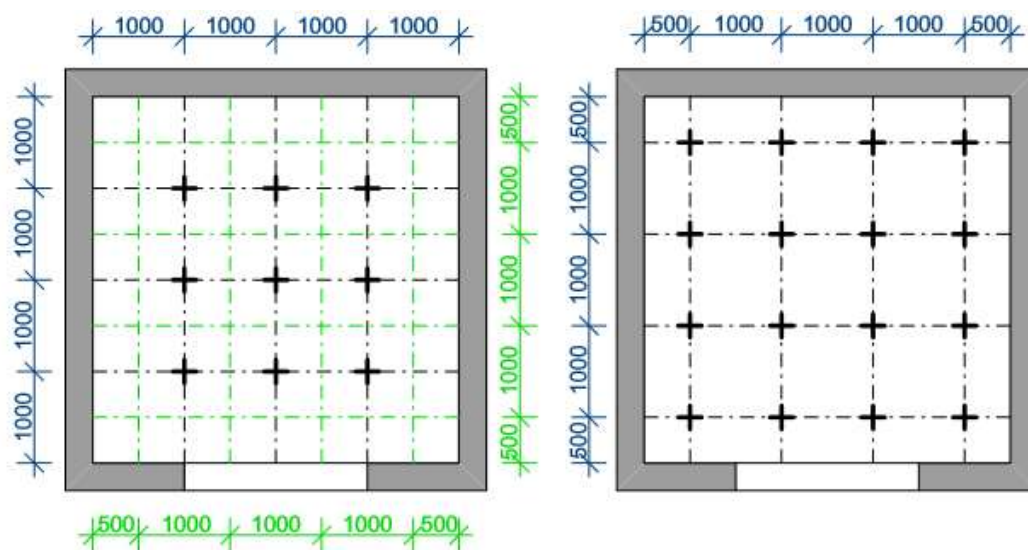


Obr. 14: Rozmístění KB dle ČSN 730580-1 [15], místnost 4×2 m.

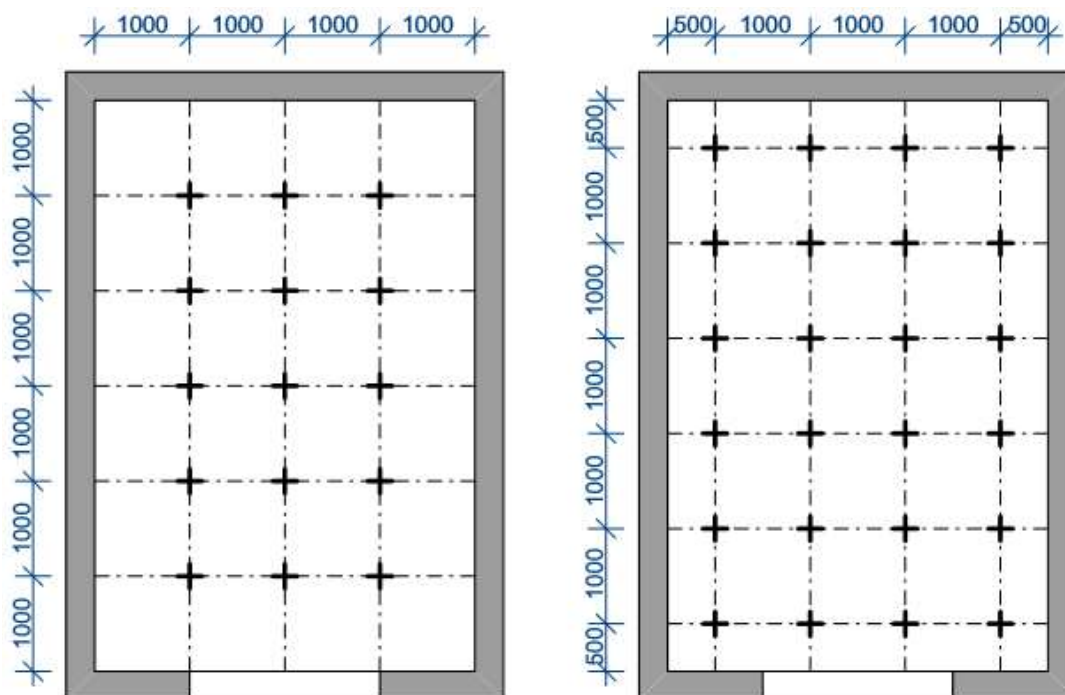


Obr. 15: Rozmístění KB dle ČSN EN 17037 [19], MÍSTNOST 4×2 m.

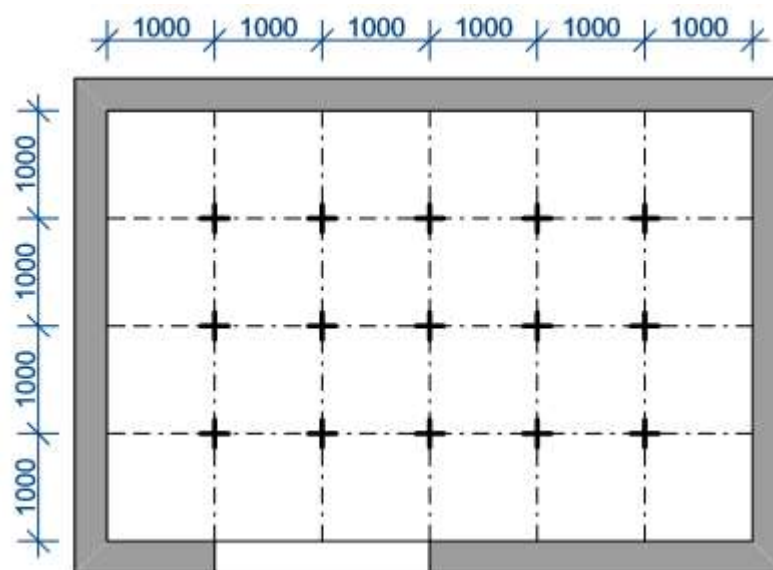
Na obrázku č. 16 je na levé straně rovněž znázorněno rozmístění KB dle ČSN EN 17037 [19], kde KB leží v těžišti zelených os.



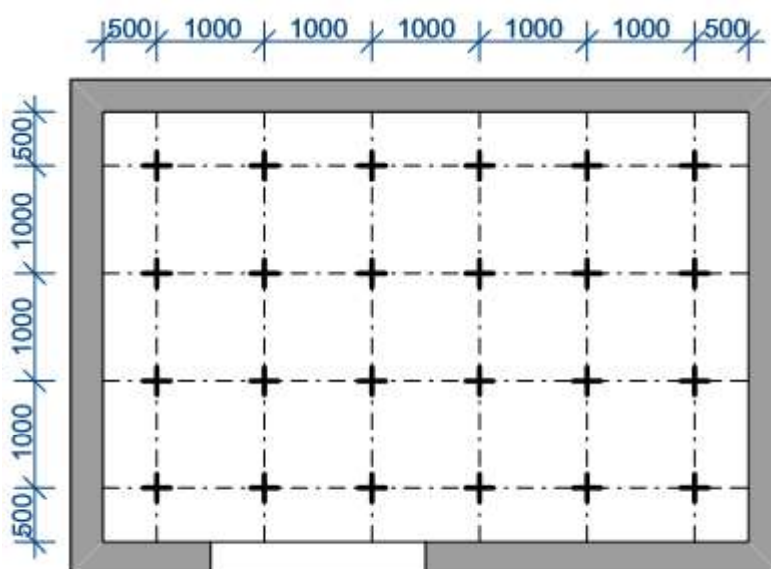
Obr. 16: Rozmístění KB dle ČSN 730580-1 [19] vlevo a dle ČSN EN 17037 [19] vpravo, místnost 4×4 m.



Obr. 17: Rozmístění KB dle ČSN 730580-1 [19] vlevo a dle ČSN EN 17037 [19] vpravo, místnost 4×6 m.



Obr. 18: Rozmístění KB dle ČSN 730580-1 [15] místnost 6×4 m.



Obr. 19: Rozmístění KB dle ČSN EN 17037 [19] místnost 6×4 m.

3.3 Vliv otvorových výplní na denní osvětlení

3.3.1 Úvod do problematiky

Nejprve byla provedena analýza okenních výplní. Hlavním cílem této analýzy bylo zjistit krajní hranice poměru plochy rámu okna vůči celkové ploše okna - **činitel prostupu světla zohledňující vliv konstrukcí osvětlovacího otvoru nepropouštějících světlo**, značen jako τ_k (-).

Poté byla v programu *Světlo+* [9] do modelových místností tato okna umístěna a byl zjištěn minimální a maximální možný stav denního osvětlení v závislosti na dané

šířce okenního otvoru. Posudky byly provedeny a vyhodnoceny dle různých normových přístupů.

3.3.2 Vlastnosti otvorových výplní

3.3.2.1 Výběr oken s extrémními poměry plochy rámu vůči ploše okna

Analýza byla provedena na výrobcích firmy *Okna.Eu* [10]. Po osobní konzultaci s Jiřím Žofkou (prodejcem oken ze zmíněné firmy) byly vybrány reprezentativní typy oken, a to s ohledem na aktuální situaci trhu. Firma *Okna.Eu* [10] se převážně zaměřuje na prodej oken pro rodinné domy a bytové stavby. Vzorčky oken byly vybrány s ohledem na největší preference ze strany cílových zákazníků. Ti preferují nejčastěji plastová okna (jednoznačně nejlevnější řešení, které nepotřebuje velkou údržbu v čase) a hliníková okna (kvůli designu), která jsou zhruba 2× dražší než ta plastová. Ohledně pořizovacích nákladů platí tyto přibližné empirické vztahy:

$$D = 1,5 \cdot P \quad (8)$$

$$H = 2 \cdot P \quad (9)$$

$$DH = 1,5 \cdot D \quad (10)$$

kde: P – cena plastových oken (Kč)

D – cena dřevěných oken (Kč)

H – cena hliníkových oken (Kč)

DH – cena dřevohliníkových oken (Kč)

(samozřejmě záleží např. i na druhu dřeva a okázalosti řešení) [11].



Obr. 20: Konzultace s Jiřím Žofkou

Do tabulky č. 1 byly vybrány různé materiálové varianty okenních otvorů. Cílem této analýzy bylo zúžit spektrum trhu na dva výrobky, jeden s největším poměrem plochy rámu vůči ploše okna a druhý s nejmenším.

Tab. 1: Analýza okenních výplní

Výrobce	Materiál okna	Název okna	Šířka rámu u parapetu	Šířka klapačky (štulpu)	Šířka sloupku okna	Šířka rámu v nadpraží	Okna, která ze statických důvodů nepotřebují sloupek.												Okna, která ze statických důvodů potřebují sloupek.							
							šířka okna (mm)												šířka okna (mm)							
							1 600				1 800				2 000				2 200				2 400			
							Varianta bez klapačky		Varianta s klapačkou		Varianta bez klapačky		Varianta s klapačkou		Varianta bez klapačky		Varianta s klapačkou		Varianta se sloupkem		Varianta se sloupkem a s klapačkou		Varianta se sloupkem		Varianta se sloupkem a s klapačkou	
							Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k	Plocha rámu okna	τ_k
(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)	(mm ²)	(-)			
Okna EU [I1]	Plast	CLASSIC CL 76	116,0	163,2	182,0	116,0	1 734 624	0,72	1 527 686	0,64	1 988 224	0,74	1 781 286	0,66	2 241 824	0,75	2 034 886	0,68	2 264 648	0,69	2 057 710	0,62	2 518 248	0,70	2 311 310	0,64
		PASIV CL 85	116,0	163,2	182,0	116,0	1 734 624	0,72	1 527 686	0,64	1 988 224	0,74	1 781 286	0,66	2 241 824	0,75	2 034 886	0,68	2 264 648	0,69	2 057 710	0,62	2 518 248	0,70	2 311 310	0,64
		PASIV EG 85	119,0	142,0	182,0	119,0	1 718 844	0,72	1 539 640	0,64	1 971 244	0,73	1 792 040	0,66	2 223 644	0,74	2 044 440	0,68	2 246 360	0,68	2 067 156	0,63	2 498 760	0,69	2 319 556	0,64
	Plastohliník	PASIV AC 85	121,9	145,0	185,0	121,9	1 703 658	0,71	1 521 509	0,63	1 954 898	0,72	1 772 749	0,66	2 206 138	0,74	2 023 989	0,67	2 224 981	0,67	2 042 832	0,62	2 476 221	0,69	2 294 072	0,64
		EXCLUSIV HI 72	120,0	168,0	194,0	120,0	1 713 600	0,71	1 501 920	0,63	1 965 600	0,73	1 753 920	0,65	2 217 600	0,74	2 005 920	0,67	2 225 160	0,67	2 013 480	0,61	2 477 160	0,69	2 265 480	0,63
	Hliník	EXCLUSIV SI 75	117,0	148,0	190,0	117,0	1 729 356	0,72	1 541 988	0,64	1 982 556	0,73	1 795 188	0,66	2 235 756	0,75	2 048 388	0,68	2 248 416	0,68	2 061 048	0,62	2 501 616	0,69	2 314 248	0,64
		PREMIUM MC 78	118,0	136,0	180,0	118,0	1 724 096	0,72	1 552 192	0,65	1 976 896	0,73	1 804 992	0,67	2 229 696	0,74	2 057 792	0,69	2 254 976	0,68	2 083 072	0,63	2 507 776	0,70	2 335 872	0,65
	Dřevohliník	PREMIUM MB 78	118,0	114,0	180,0	118,0	1 724 096	0,72	1 580 000	0,66	1 976 896	0,73	1 832 800	0,68	2 229 696	0,74	2 085 600	0,70	2 254 976	0,68	2 110 880	0,64	2 507 776	0,70	2 363 680	0,66
		WOOD CL 92	138,5	135,9	195,0	121,0	1 684 599	0,70	1 516 015	0,63	1 932 699	0,72	1 764 115	0,65	2 180 799	0,73	2 012 215	0,67	2 187 002	0,66	2 018 418	0,61	2 435 102	0,68	2 266 518	0,63
	Dřevo	WOOD CL 72	138,5	135,9	191,0	121,0	1 684 599	0,70	1 516 015	0,63	1 932 699	0,72	1 764 115	0,65	2 180 799	0,73	2 012 215	0,67	2 191 964	0,66	2 023 380	0,61	2 440 064	0,68	2 271 480	0,63

Byla vybrána dvě okna, PASIV CL 85 (s největší plochou propouštějící světlo) a EXCLUSIV HI 72 (s nejmenší plochou propouštějící světlo).

3.3.2.2 Vlastnosti skleněných výplní

Skleněné výplně oken z hlediska stavební světlené techniky charakterizuje **činitel prostupu světla sklem τ_s (-)**. Ten udává, kolik světla projde z exteriéru přes světlo propouštějící plochu až do interiéru. Nabývá hodnot od 0 do 1 (0 = do interiéru neprojde žádné světlo, 1 = do interiéru projde všechno světlo). Jeho hodnota je v praxi závislá na tloušťce skla, tloušťce izolační dutiny mezi skly a druhu plynu v ní, počtu skleněných tabulí a komor s plyny, materiálu skleněných výplní (často jsou použity bezpečnostní fólie, antireflexní úpravy nebo jsou skla opatřena vrstvou kovu, která odráží teplo zpět do interiéru). Reálná hodnota činitele prostupu světla vychází z konsenzu mezi tepelně technickými vlastnostmi, světelně technickými vlastnostmi a cenou. A čím větší je rozměr skleněné tabule (křídla okna), tím tlustší skleněné tabule se používají.

Pro modelové situace v programu *Světlo+* [9] byly použity hodnoty vycházející z normy ČSN 730580-1 [15], ta uvádí hodnotu činitele prostupu světla $\tau_{s,nor}$ (-) pro čiré tabulové sklo o tloušťce 3 až 4 mm takto: $\tau_{s,nor} = 0,92$. Pokud jde o dvojsklo, tak $\tau_{s,dvojskla} = 0,92^2 = 0,85$. U trojskla pak $\tau_{s,trojskla} = 0,92^3 = 0,78$.

3.3.2.3 Uvažované znečištění oken

To, kolik světla projde skrze okno je závislé i na znečištění okna. Norma ČSN 730580-1 [15] udává tabulku, která přímo udává hodnoty **činitele znečištění na vnitřní straně konstrukce $\tau_{z,i}$ (-)** a **činitele znečištění na vnější straně konstrukce $\tau_{z,e}$ (-)**. Jejich hodnota je závislá na sklonu osvětlovacího otvoru (na svislých neulpívá tolik prachu jako na vodorovných) a na míře znečištění. Norma ČSN 730580-1 [15] rozlišuje mezi třemi třídami znečištění (malé, střední a velké) a přímo stanovuje hranice ročního spadu prachu v Mg/km^2 pro rozlišení těchto tříd.

Nejčastěji se používají hodnoty $\tau_{z,i} = 0,95$ a $\tau_{z,e} = 0,90$. Výsledná hodnota znečištění se vypočte dle vztahu (11):

$$\tau_z = \tau_{z,i} \cdot \tau_{z,e} \quad (11)$$

kde: τ_z – činitel znečištění (-)

$\tau_{z,i}$ – činitel znečištění na vnitřní straně (-)

$\tau_{z,e}$ – činitel znečištění na vnější straně (-)

V této diplomové práci byly uvažovány činitel znečištění takto: $\tau_{z,i} = 0,95$, $\tau_{z,e} = 0,90$, $\tau_z = 0,86$.

3.3.3 Použité vlastnosti otvorových výplní

Pro sérii výpočtů v programu *Světlo* + [9] byly použity parametry otvorových výplní a rozměrová řada uvedená v následující tabulce.

Tab. 2: Parametry použitých okenních výplní

Varianta otvorové výplně	Šířka okna (mm)	Výška okna (mm)	Typ okna	Varianta rámu okna	τ_k (-)	činitel prostupu světla τ_s (-)		Největší hodnota součinu $\tau_s \times \tau_k$ (-)	Nejmenší hodnota součinu $\tau_s \times \tau_k$ (-)
						dvojsklo	trojsklo		
Okna, která ze statických důvodů nepotřebují sloupek	1600	1500	PASIV CL 85	bez klapačky	0,72	0,85	0,78	0,61	0,49
			EXCLUSIV HI 72	s klapačkou	0,63				
	1800	1500	PASIV CL 85	bez klapačky	0,74	0,85	0,78	0,63	0,51
			EXCLUSIV HI 72	s klapačkou	0,65				
	2000	1500	PASIV CL 85	bez klapačky	0,75	0,85	0,78	0,63	0,52
			EXCLUSIV HI 72	s klapačkou	0,67				
Okna, která ze statických důvodů potřebují sloupek	2200	1500	PASIV CL 85	se sloupkem	0,69	0,85	0,78	0,58	0,47
			EXCLUSIV HI 72	se sl. i klapač.	0,61				
	2400	1500	PASIV CL 85	se sloupkem	0,70	0,85	0,78	0,59	0,49
			EXCLUSIV HI 72	se sl. i klapač.	0,63				

Pozn.: Klapačka = štulp

Pro okna PASIV CL 85 (s maximální hodnotou τ_k) bylo použito dvojsklo, aby se do interiéru dostalo maximum světla. Pro okna EXCLUSIV HI 72 (s minimální hodnotou τ_k) bylo použito trojsklo, aby do interiéru přicházelo co nejméně denního světla. Tím byly vytvořeny extrémní modelové situace.

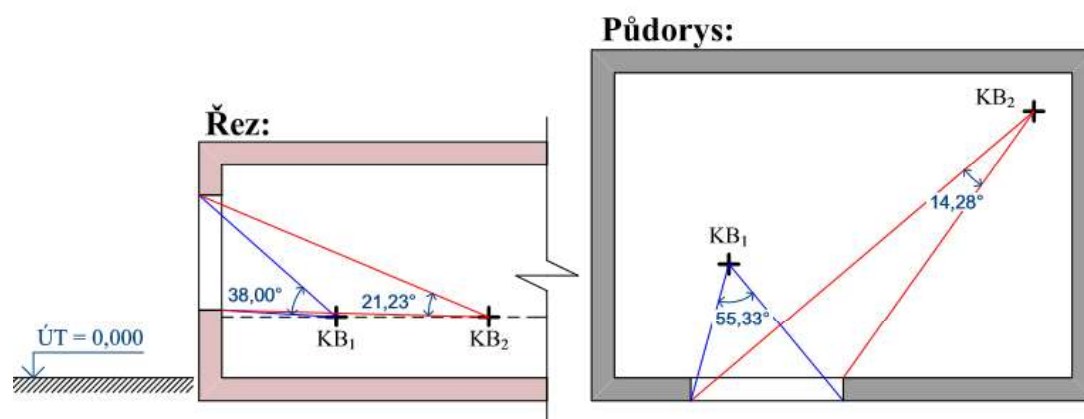
3.3.4 Výsledky

V kapitole 3.3.4.2 je znázorněno, jaký vliv má rozmístění kontrolních bodů na srovnávací rovině spolu s měnícími se parametry oken a geometrií místnosti vliv na průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti D_m (%), rovnoměrnost denního osvětlení U (-) a v kolika procentech kontrolních bodů bylo dosaženo hodnoty činitele denní osvětlenosti alespoň 1,5 %.

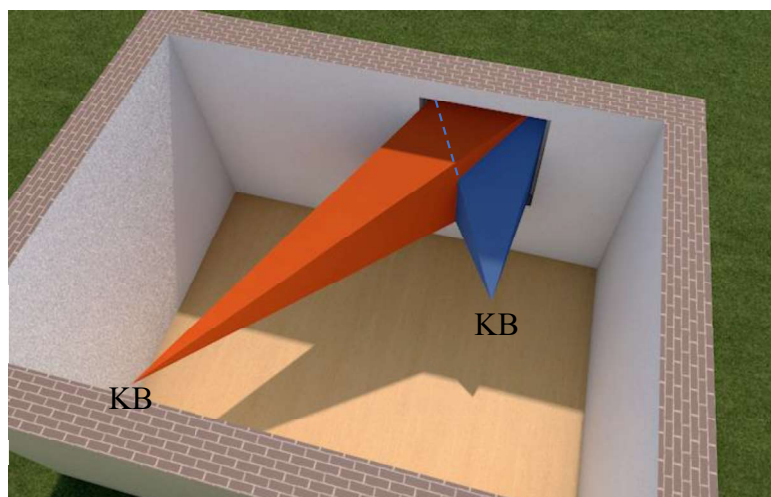
3.3.4.1 Očekávaný trend výsledků

Pokud vyjdeme z předpokladu, že množství denního světla na srovnávací rovině je největší v těsné blízkosti osy osvětlovacího otvoru a ve směru s narůstající šířkou a hloubkou od středu osvětlovacího otvoru množství denního světla postupně (spojitě) klesá, lze předpokládat, že pokud kontrolní body rozmístíme na menší ploše, tak dosáhneme větší rovnoměrnosti denního osvětlení. Z tohoto předpokladu vychází, že rovnoměrnost denního osvětlení by měla být největší při použití normového přístupu dle ČSN 730580-1 [15] a nejmenší při použití normového přístupu ČSN EN 17037 [19], kde kontrolní body umístíme na osy (nikoliv do těžiště buněk).

Pokud kontrolním bodům nic nestíní, tak hodnota činitele denní osvětlenosti každého KB je závislá na tom, jak velký lze z daného KB vykreslit prostorový jehlan, jehož vrchol je umístěn v kontrolním bodě a strany se dotýkají ostění okenního otvoru. Velikost jehlanu není určena jeho výškou, nýbrž velikostí úhlů jeho stěn při vrcholu. (Čím větší jehlan, tím větší bude i hodnota činitele denní osvětlenosti v daném kontrolním bodě).



Obr. 21: Výseč, kterou je z KB vidět obloha

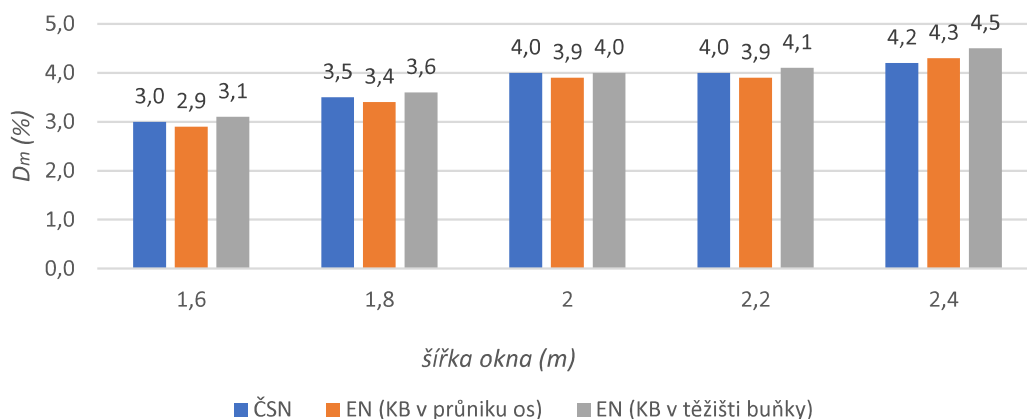


Obr. 22: Prostorová ukázka výseče

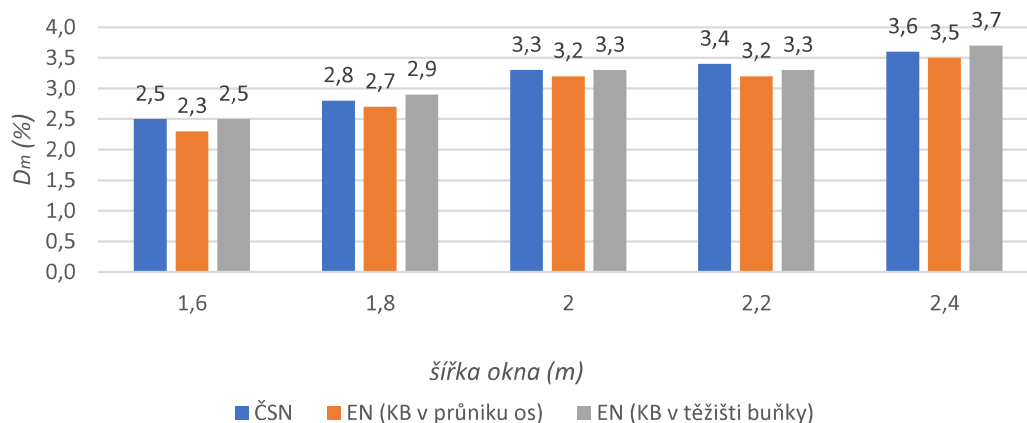
Je zřejmé, že v pravém KB s modrým jehlanem bude dosaženo většího činitele denní osvětlenosti. Pokud budeme uvažovat s konstantní pozicí kontrolního bodu v místnosti a zmenšíme světlo propouštějící plochu okna, hodnota činitele denní osvětlenosti logicky také poklesne. To, jakých vlastností nabyde celá síť kontrolních bodů v závislosti na jejím rozložení, bude ukázáno v další kapitole (3.3.4.2).

3.3.4.2 Výsledky z počítačových simulací

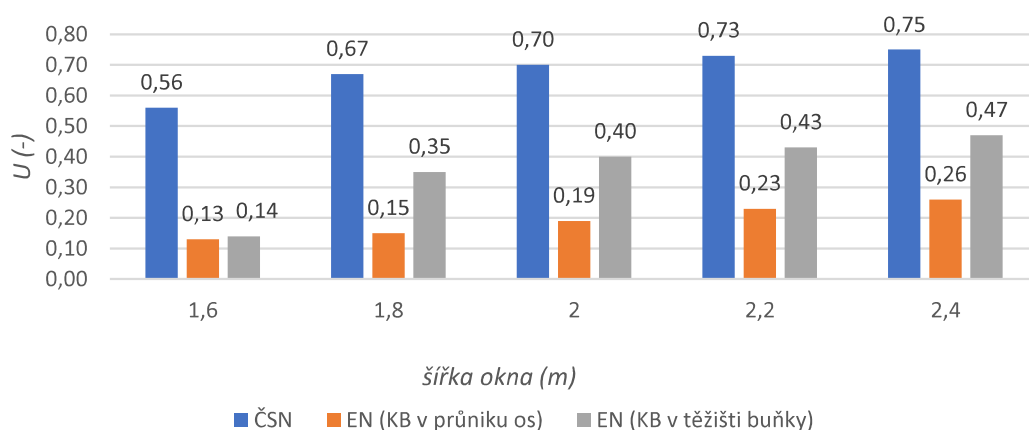
V programu *Světlo+* [9] bylo postupně vymodelováno celkem 90 situací. Ty zahrnují různé tvary místností, normové přístupy, parametry okenních výplní a šířku oken. Díky tomu, že bylo počítáno pouze s extrémními vlastnostmi okenních výplní (viz kapitola 3.3.2.1), těchto 90 simulací ohraničuje shora a zdola celkem 450 možných řešení.



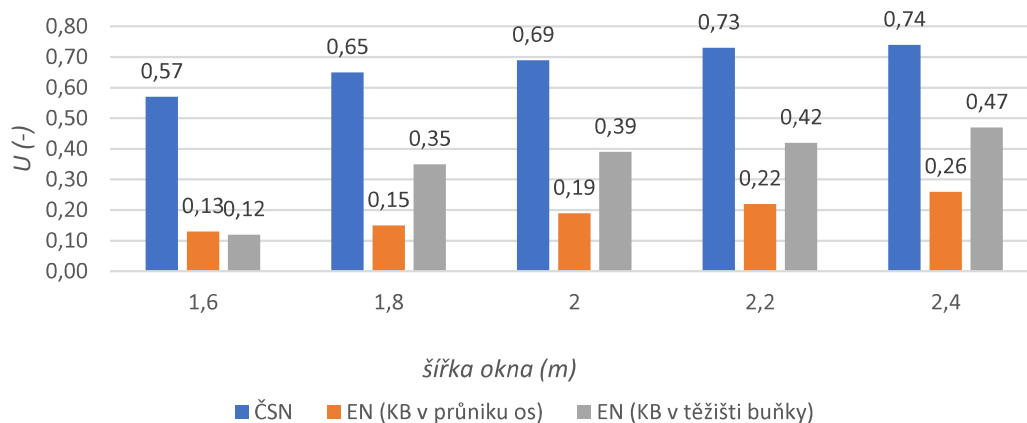
Obr. 23: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×2 m (plastový rám + dvojsklo)



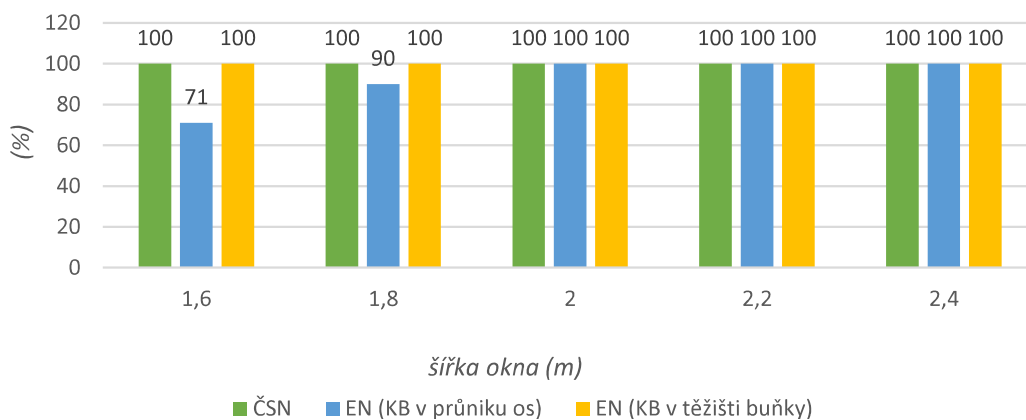
Obr. 24: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×2 m (hliníkový rám + trojsklo)



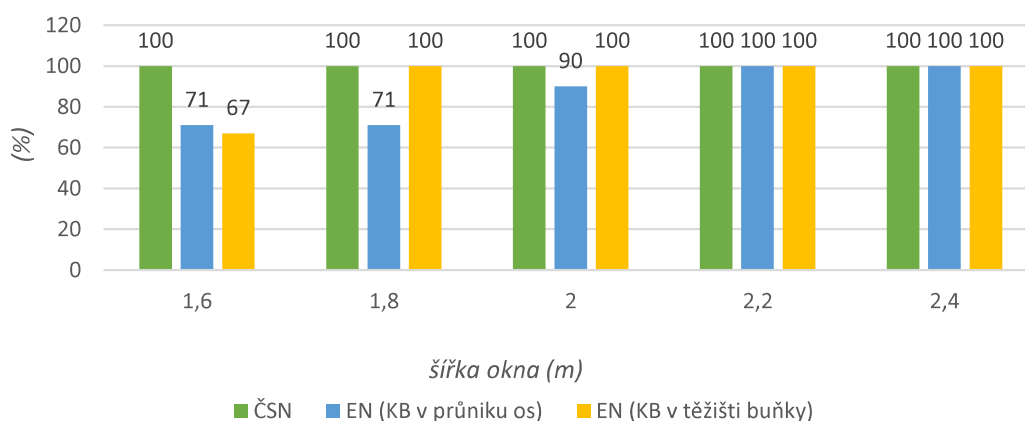
Obr. 25: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×2 m (plastový rám + dvojsklo)



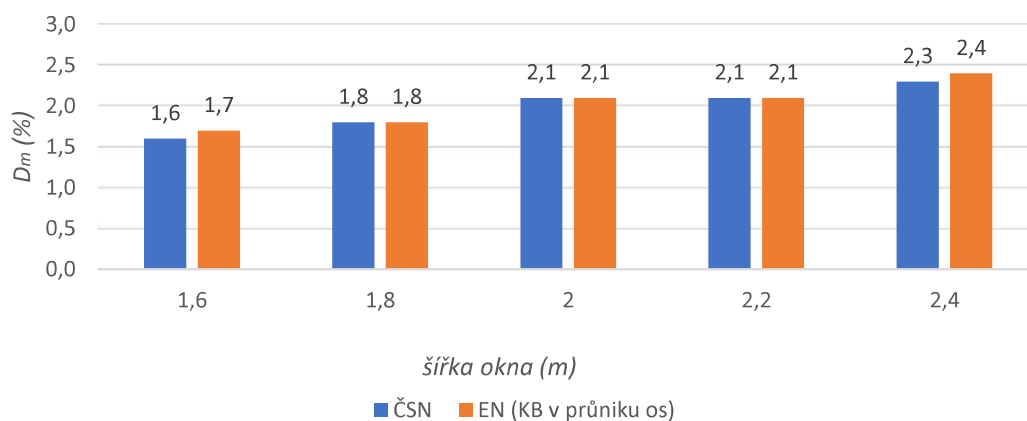
Obr. 26: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4 × 2 m (hliníkový rám + trojsklo)



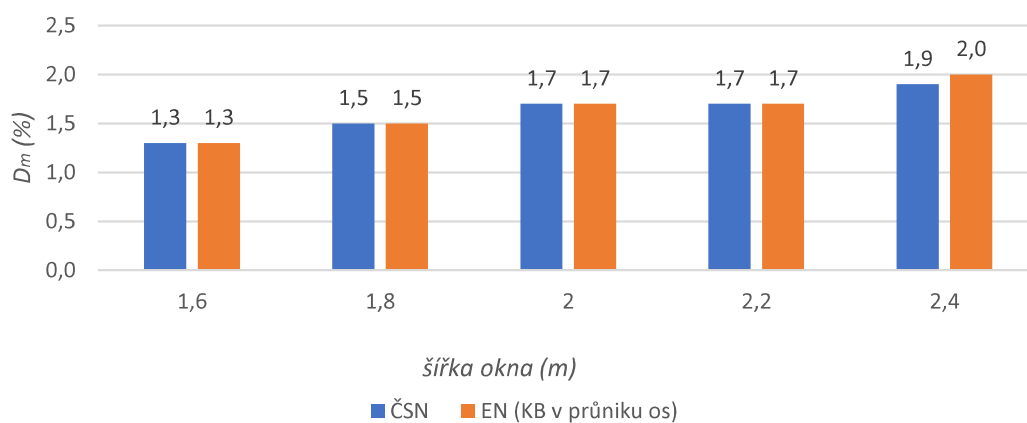
Obr. 27: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4 × 2 m (plastový rám + dvojsklo)



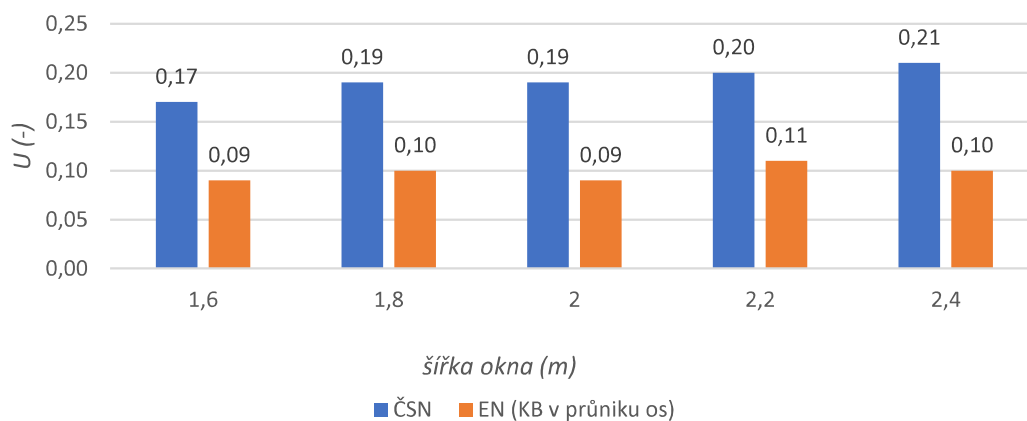
Obr. 28: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4 × 2 m (hliníkový rám + trojsklo)



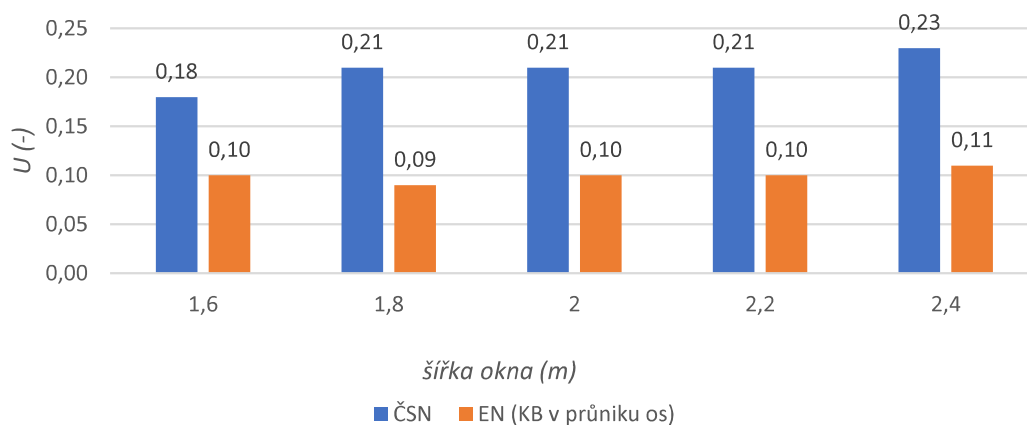
Obr. 29: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×4 m (plastový rám + dvojsklo)



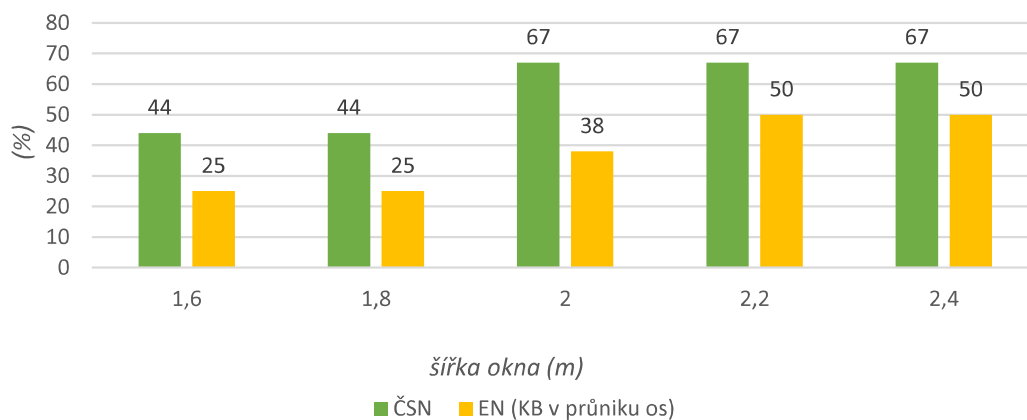
Obr. 30: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×4 m (hliníkový rám + trojsklo)



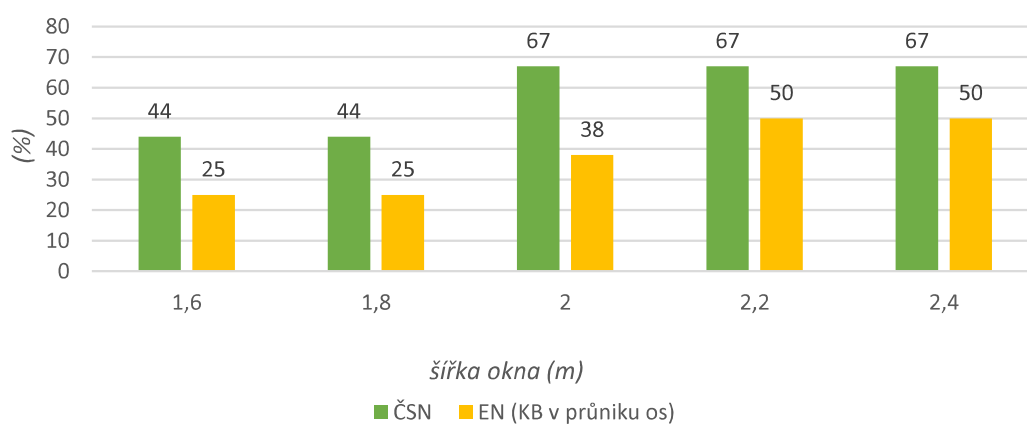
Obr. 31: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×4 m (plastový rám + dvojsklo)



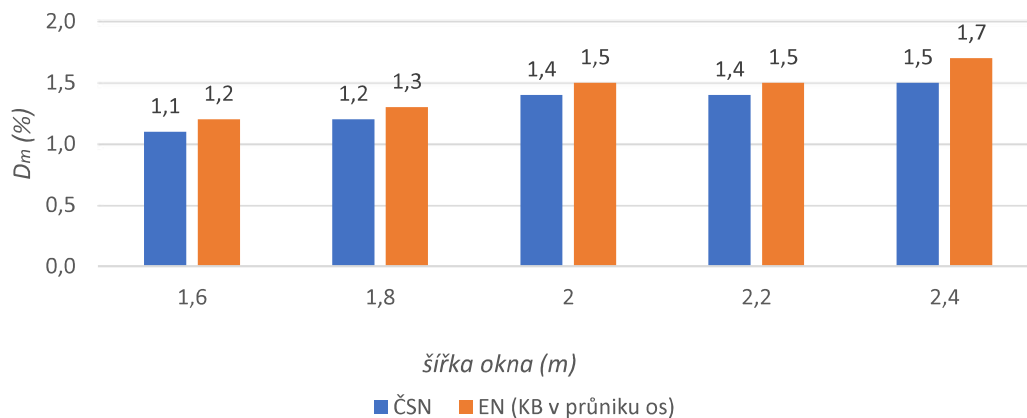
Obr. 32: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×4 m (hliníkový rám + trojsklo)



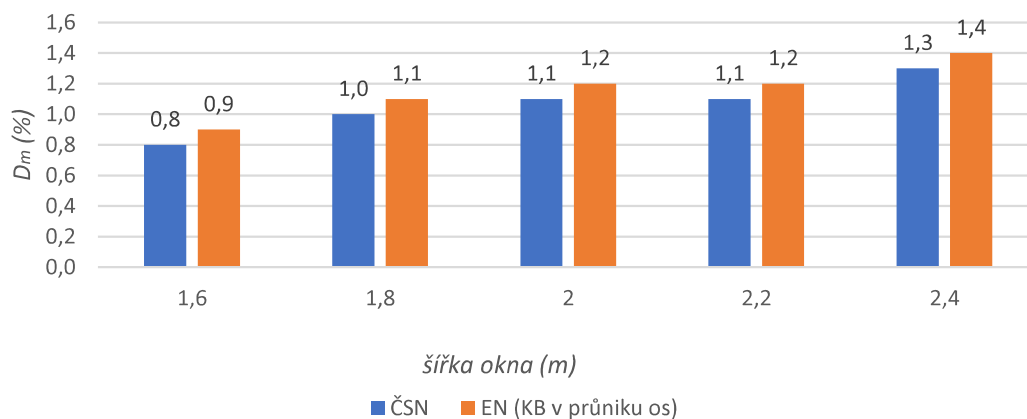
Obr. 33: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti o rozměrech 4×4 m (plastový rám + dvojsklo)



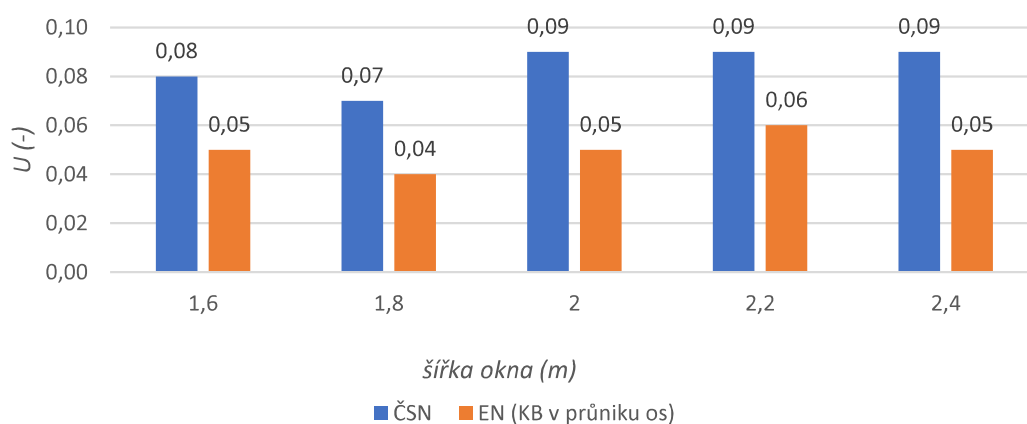
Obr. 34: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti o rozměrech 4×4 m (hliníkový rám + trojsklo)



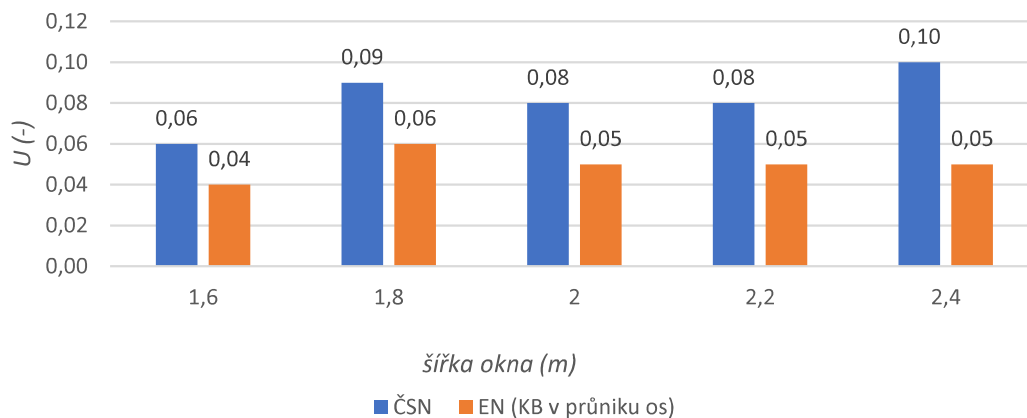
Obr. 35: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4 × 6 m (plastový rám + dvojsklo)



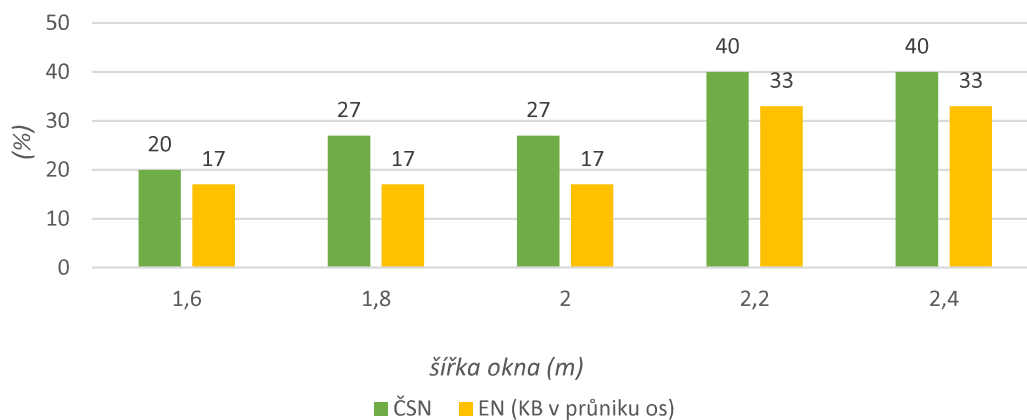
Obr. 36: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4 × 6 m (hliníkový rám + trojsklo)



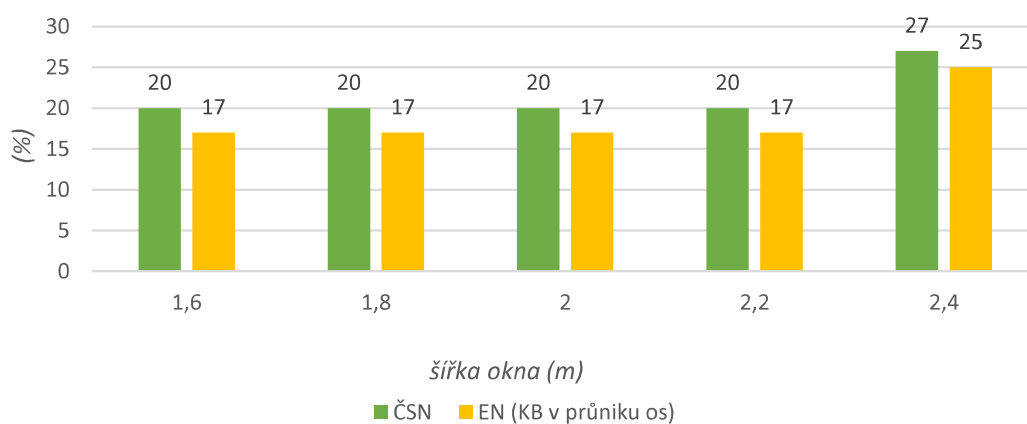
Obr. 37: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4 × 6 m (plastový rám + dvojsklo)



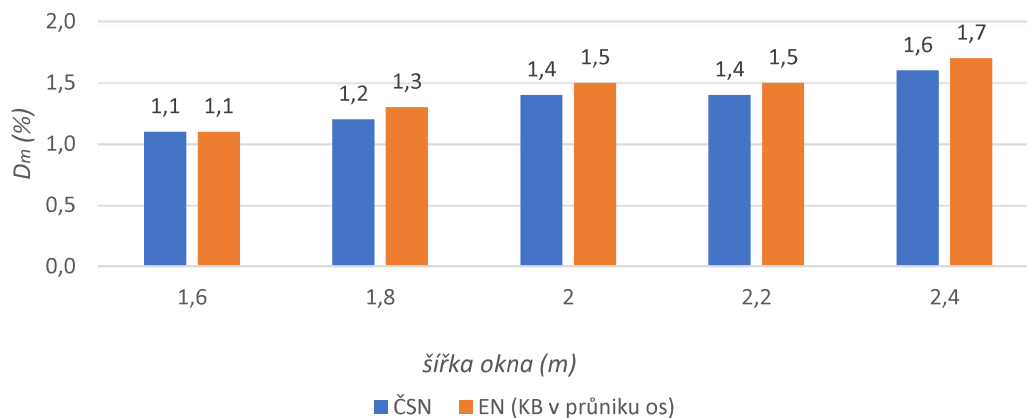
Obr. 38: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4 × 6 m (hliníkový rám + trojsklo)



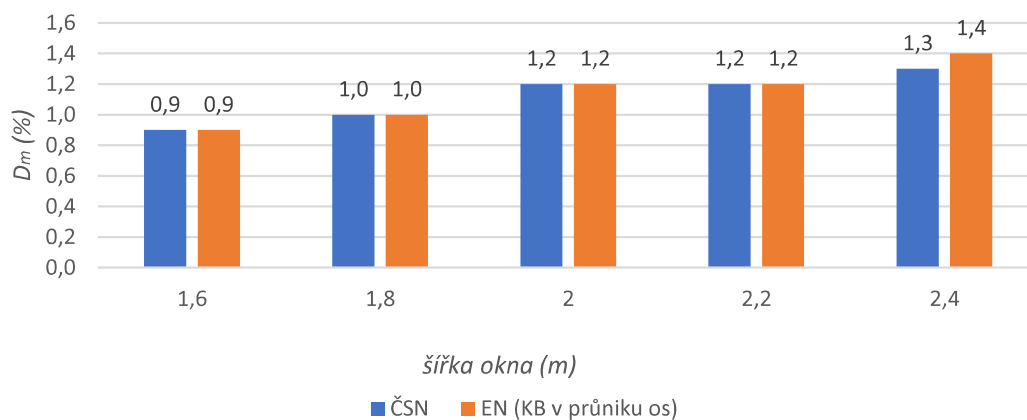
Obr. 39: Procento kontrolních bodů, ve kterých je číselník denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti o rozměrech 4 × 6 m (plastový rám + dvojsklo)



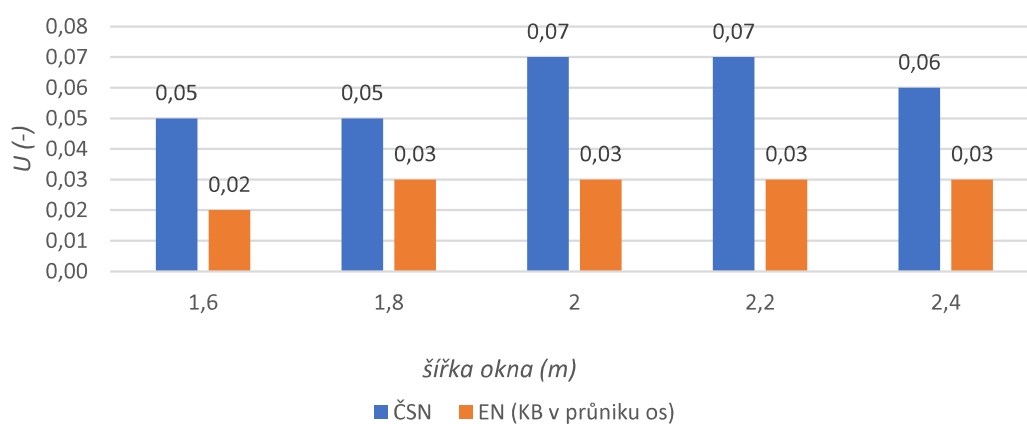
Obr. 40: Procento kontrolních bodů, ve kterých je číselník denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti o rozměrech 4 × 6 m (hliníkový rám + trojsklo)



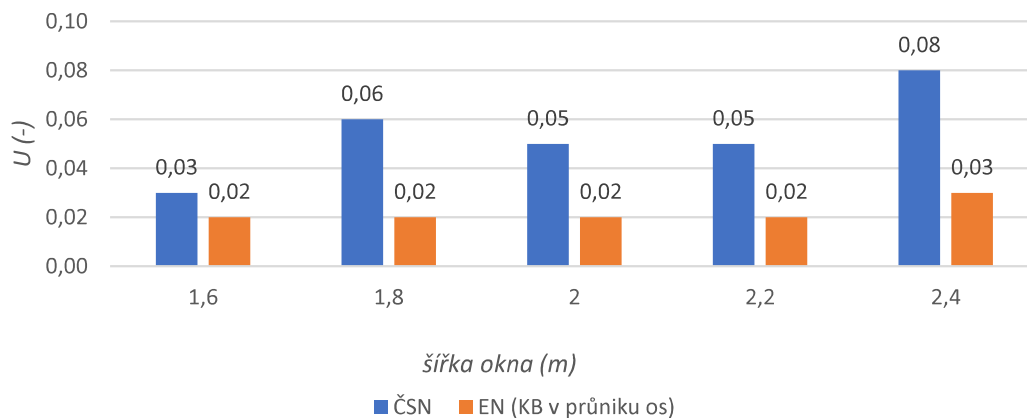
Obr. 41: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 6 × 4 m (plastový rám + dvojsklo)



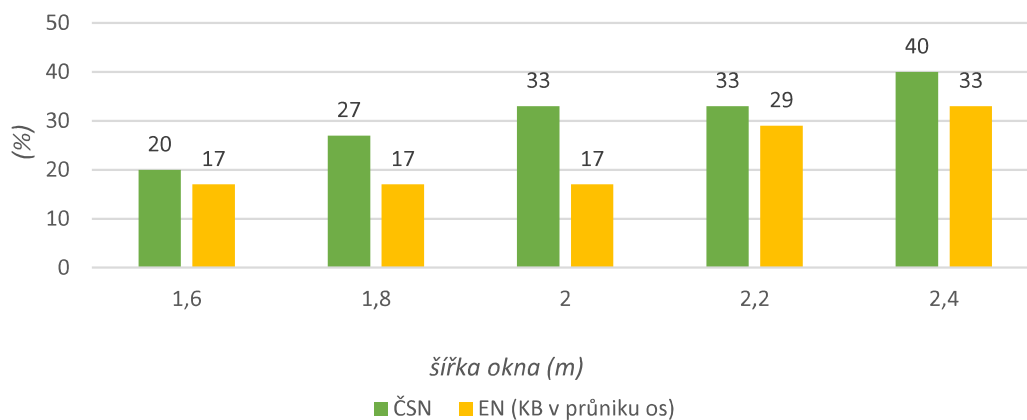
Obr. 42: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 6 × 4 m (hliníkový rám + trojsklo)



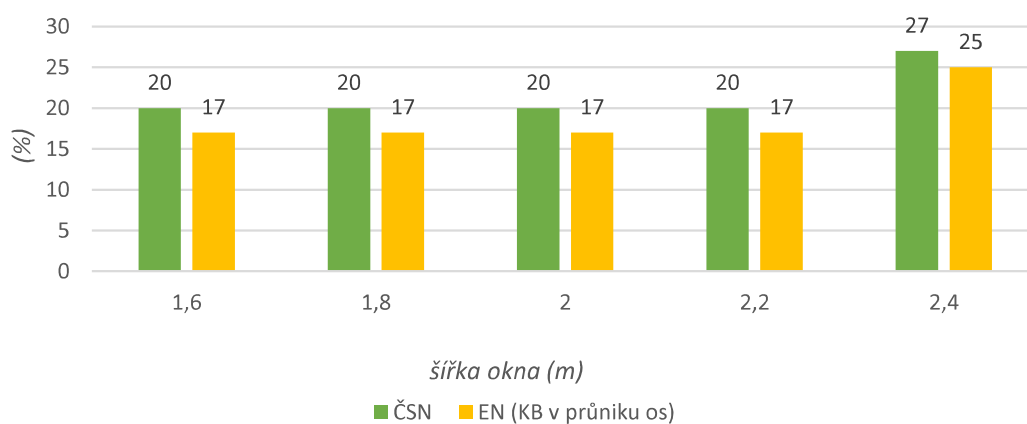
Obr. 43: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 6 × 4 m (plastový rám + dvojsklo)



Obr. 44: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 6×4 m (hliníkový rám + trojsklo)



Obr. 45: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti o rozměrech 6×4 m (plastový rám + dvojsklo)



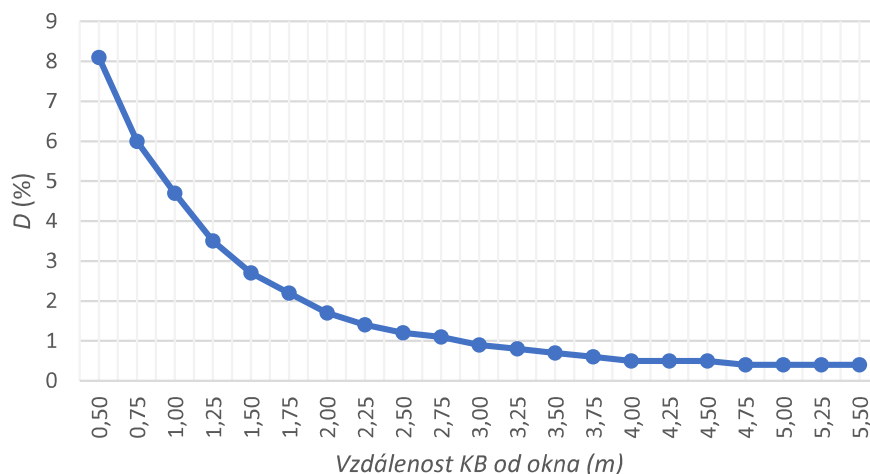
Obr. 46: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti o rozměrech 6×4 m (hliníkový rám + trojsklo)

3.3.4.3 Zhodnocení výsledků

Rovnoměrnost denního osvětlení U (-) vyšla v souladu s předpokladem a to tak, že ve všech posuzovaných případech podle ČSN 730580-1 [15] byla rovnoměrnost denního osvětlení větší než při posudcích dle ČSN EN 17037 [19].

Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti D_m (%) vyšla v místnosti 4×2 m tak, že největších hodnot bylo dosaženo, když kontrolní body byly rozmístěny dle ČSN EN 17037 [19] (KB v těžišti buněk). Poté pokud kontrolní body byly rozmístěny podle ČSN 730580-1 [15] a nejmenších hodnot bylo dosaženo, pokud byly kontrolní body rozmístěny podle ČSN EN 17037 [19] (KB v průniku os). Výjimku lze najít na obrázku č. 23 u šířky okna 2,4 m. Důvodem bylo zaokrouhlení činitele denní osvětlenosti v každém kontrolním bodě na jedno desetinné místo. Z takto zaokrouhlených hodnot byla vypočtena hodnota průměrného činitele denní osvětlenosti $D_m = 4,2$ %. Pokud by bylo počítáno se zaokrouhlením hodnot v každém kontrolním bodě na dvě desetinná místa, tak by výsledná hodnota průměrného činitele denní osvětlenosti byla $D_m = 4,3$ %. Obdobná výjimka je i na obr. č. 24 (šířka okenního otvoru 2,2 m)

U ostatních rozměrů místností (4×4 m, 4×6 m a 6×4 m) vyšla průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti větší nebo rovna při použití normového přístupu ČSN EN 17037 [19] (KB v průniku os) než při použití normového přístupu dle ČSN 730580-1 [15]. Důvodem toho je, že hodnoty činitele denní osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech exponenciálně klesají s rostoucí vzdáleností od okna (směrem do místnosti). Pokud tedy do průměru započteme body, které jsou umístěny v těsné blízkosti osvětlovacího otvoru, dosáhneme vyšších hodnot. Na obrázku č. 47 je vidět, že pokud jsou kontrolní body umístěny s rozdílem vzdálenosti 0,5 m v blízkosti okenního otvoru, dosáhneme většího rozdílu hodnot činitele denní osvětlenosti, než když jsou kontrolní body umístěny s rozdílem vzdálenosti 0,5 m na konci místnosti (dále od okna).



Obr. 47: Trend poklesu činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech s rostoucí vzdáleností od okna

Na obrázku č. 47 je zachycena modelová situace místnosti 4×6 m, s šířkou okenního otvoru 2 m, plastovým rámem okna a dvojsklem. Kontrolní body, byly umístěny ve srovnávací rovině na ose okenního otvoru s krokem 250 mm.

Tabulka č. 3 uvádí počty místností, které (ne)vyhověly celou svou půdorysnou plochou jako místnosti určené k trvalému pobytu osob, potažmo jako místnosti, které mohou být pravidelně využívány lidmi po delší dobu.

Tab. 3: Počet vyhovujících a nevyhovujících místností

Proměnná modelu	Rozměr místnosti	Normový přístup					
		ČSN ¹		EN - Osy ²		EN - Těžiště ³	
		vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností	vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností	vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností
šířka okna (1,6 m až 2,4 m)	4×2 m	10	0	10	0	10	0
	4×4 m	0	10	0	10	-	-
	4×6 m	0	10	0	10	-	-
	6×4 m	0	10	0	10	-	-

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny do průniku os

Pozn. 3: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny těžiště buněk

Místnostem, které jsou v tabulce č. 3 označeny jako nevyhovující, by musela být vymezena funkční plocha, která by půdorysně stanovila část místnosti, s požadovanou úrovní denního osvětlení.

V tabulce č. 4 byly zprůměrovány výsledné hodnoty pro všechny šířky okenních otvorů, aby se ukázalo, jaký vliv má rozmístění kontrolních bodů na stanovované veličiny.

Tab. 4: Zprůměrované hodnoty pro šířky okenních otvorů od 1600 mm do 2100 mm

Normový přístup	Rozměr místnosti (m)	OKNA - dvojskla			OKNA - trojskla		
		D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %	D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %
ČSN ¹	4x2	3,76	0,681	100,0	3,12	0,677	100,0
EN - Osy ²		3,67	0,193	92,0	2,99	0,191	87,0
EN - Těžiště ³		3,86	0,358	100,0	3,14	0,351	93,0
ČSN ¹	4x4	1,97	0,191	57,8	1,63	0,206	40,0
EN - Osy ²		2,02	0,100	37,5	1,65	0,099	27,5
ČSN ¹	4x6	1,31	0,081	30,7	1,07	0,083	21,3
EN - Osy ²		1,42	0,050	23,3	1,16	0,048	18,3
ČSN ¹	6x4	1,35	0,058	30,7	1,10	0,055	21,3
EN - Osy ²		1,41	0,025	22,5	1,15	0,020	18,3

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny do průniku os

Pozn. 3: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny těžiště buněk

3.4 Vliv předsazených konstrukcí na denní osvětlení

3.4.1 Úvod do problematiky

Denní světlo bylo do všech modelových místností přiváděno jedním okenním otvorem s konstantními vlastnostmi (plastové okno PASIV CL 85, šířky 2000 mm – vlastnosti viz tab. 2). Z vnější strany místnosti byly postupně vymodelovány předsazené konstrukce dvojího typu: balkóny a lodžie. Předsazeným konstrukcím bylo postupně zvětšováno vyložení, počáteční vyložení bylo 900 mm, poté se postupně zvedalo v kroku 200 mm až na hodnotu 2100 mm. Předsazené konstrukce byly modelovány v šířce 4 m a v šířce 2 m (viz obr. č. 48 až 53). Ty se šířkou 2 m ještě byly u asymetrické místnosti 6 × 4 m umístěny na levý i pravý okraj od osy okenního otvoru.

Tab. 5: Parametry pro kombinace posuzovaných stavů místností

Rozměr místnosti (m)	Vyložení předsazené konstrukce (m)	Šířka předsazené konstrukce (m)	Umístění vzhledem k ose okna	Typ předsazené konstrukce	Normový přístup
4x2	900	4	vlevo	balkón	ČSN EN - KB na osy EN - KB v těžišti
4x4	1100	2	vpravo	lodžie	
4x6	1300				
6x4	1500				
	1700				
	1900				
	2100				

Z tabulky č. 5 je vidět, že by celkem vzniklo 672 různých typů posuzovaných situací. Díky tomu, že některé místnosti jsou symetrické a v místnostech větších než 4×2 m se ztotožňují rozmístění kontrolních bodů na srovnávací rovině u ČSN 730580-1 [15] a ČSN EN 17037 [19], kde se kontrolní body umisťují do těžiště buněk, tak bylo možné počet vymodelovaných místností zúžit na 280.

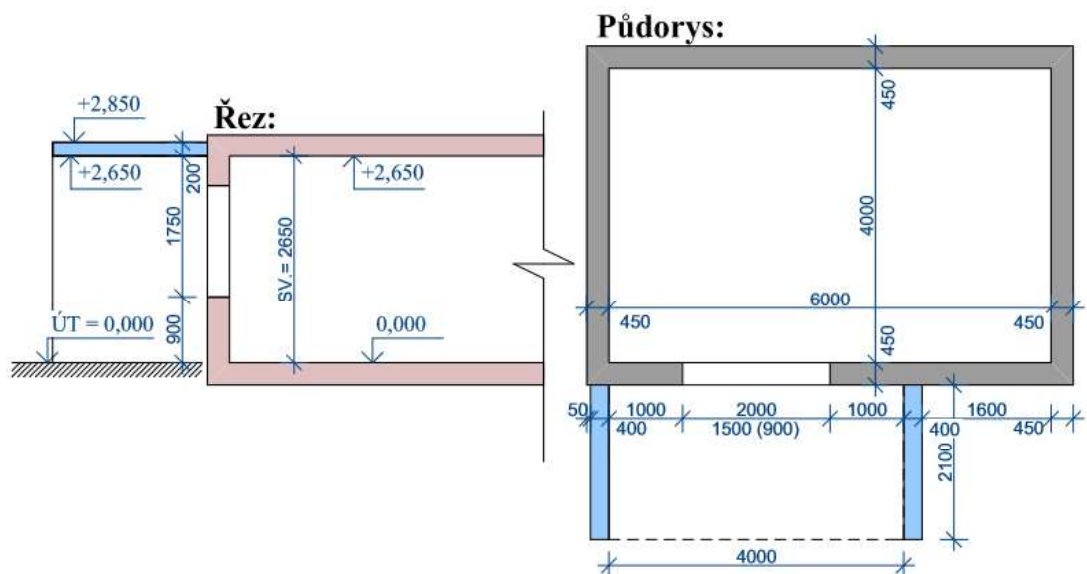
Vymodelované situace byly porovnány dle obou normových přístupů (viz obrázky č. 54 až 107).

3.4.2 Činitel jasu předsazených konstrukcí

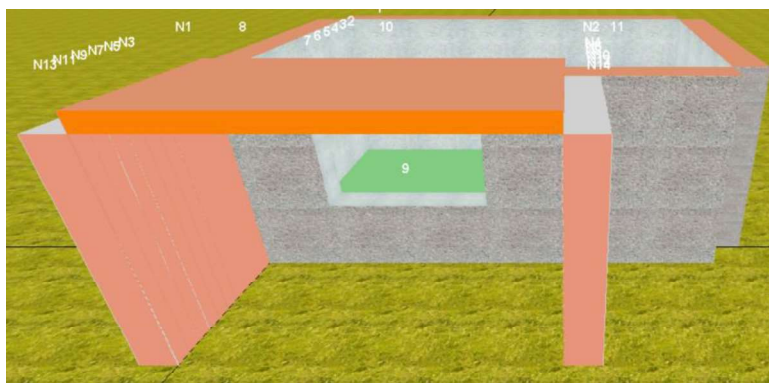
Předsazené konstrukce jsou z hlediska stavební světlené techniky charakterizovány **činitelem jasu** k_v (-). Ten udává, kolik rozptýleného světla předsazená konstrukce odrazí. Nejčastěji je uvažováno s hodnotou 10 %, tj. $k_v = 0,1$. Tato hodnota byla použita i při těchto výpočtech.

3.4.3 Geometrie předsazených konstrukcí

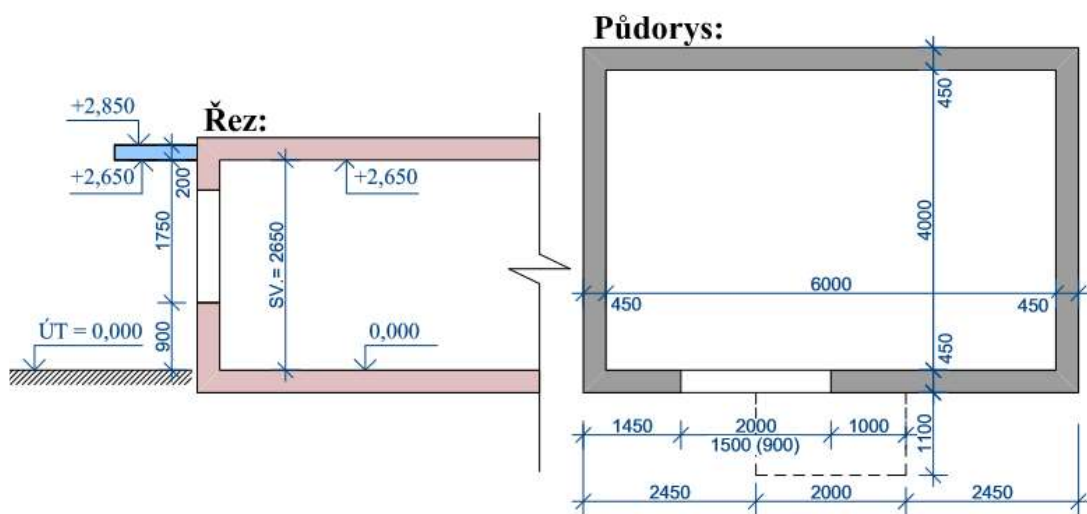
Spodní hrana předsazených konstrukcí byla umístěna do výšky 2650 mm nad čistou podlahou. Tloušťka předsazené konstrukce byla konstantní (200 mm). Tloušťka stěn lodžii byla uvažována jako 400 mm. Vyložení bylo postupně provedeno od 900 až po 2100 mm s krokem 200 mm.



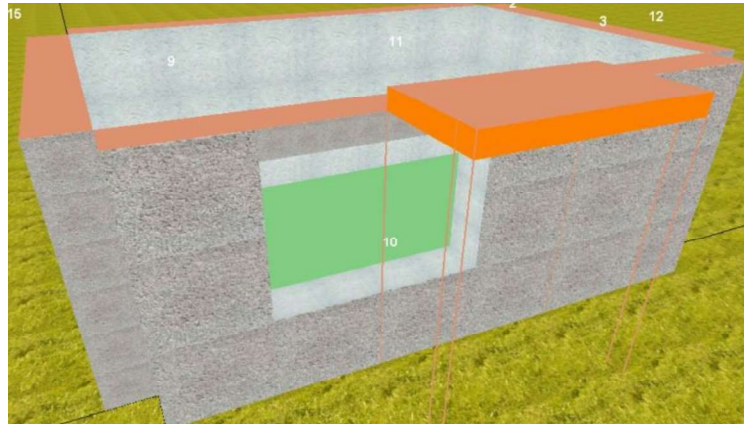
Obr. 48: Schéma lodžie široké 4 m s vyložení 2100 mm, místnost 4 × 6 m



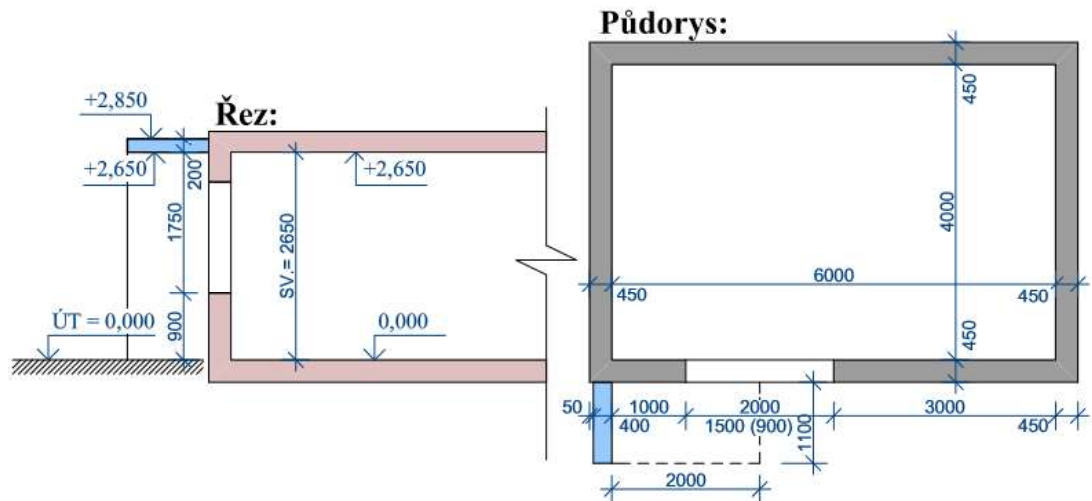
Obr. 49: 3D model z programu Světlo+ (lodžie s vyložení 2100 mm, široká 4 m, v místnosti 4 × 6 m)



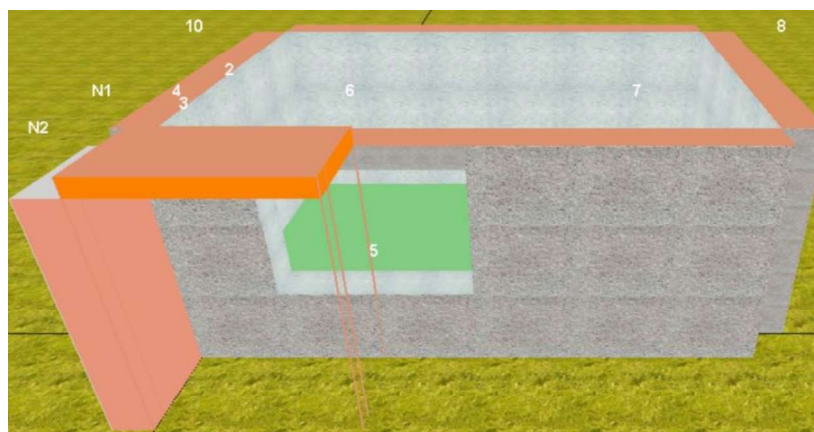
Obr. 50: Schéma balkónu širokého 2 m, umístěného na pravou stranu od osy okna s vyložení 1100 mm v místnosti 4 × 6 m



Obr. 51: 3D model z programu Světlo+ (balkón s vyložením 1100 mm, široký 2 m, umístěný vpravo v místnosti 4 × 6 m)



Obr. 52: Schéma lodžie široké 2 m, umístěné na levou stranu od osy okna s vyložením 1100 mm



Obr. 53: 3D model z programu Světlo+ (lodžie s vyložením 1100 mm, široká 2 m, umístěný vlevo v místnosti 4 × 6 m)

3.4.4 Výsledky

V kapitole 3.4.4.2 je znázorněno, jaký vliv má rozmístění kontrolních bodů na srovnávací rovině spolu s měnicími se typem předsazené konstrukce (a jejím vyložení) a geometrií místnosti na průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti D_m (%), rovnoměrnost denního osvětlení U (-) a v kolika procentech kontrolních bodů bylo dosaženo hodnoty činitele denní osvětlenosti alespoň 1,5 %.

3.4.4.1 Očekávaný trend výsledků

Očekává se, že průměrný činitel denní osvětlenosti při stejném vyložení předsazené konstrukce se bude chovat na základě vztahů 12 a 13:

$$D_{m,B2} \geq D_{m,L2} \geq D_{m,B4} \geq D_{m,L4} \quad (12)$$

kde: $D_{m,B2}$ – průměrný činitel denní osvětlenosti v místnosti s balkónem o šířce 2 m

$D_{m,L2}$ – průměrný činitel denní osvětlenosti v místnosti s lodžií o šířce 2 m

$D_{m,B4}$ – průměrný činitel denní osvětlenosti v místnosti s balkónem o šířce 4 m

$D_{m,L4}$ – průměrný činitel denní osvětlenosti v místnosti s lodžií o šířce 4 m

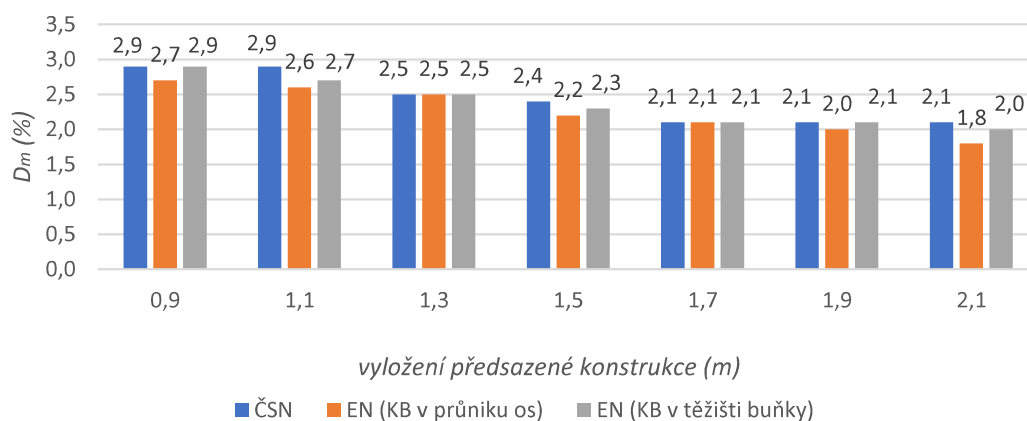
$$U_{\check{C}SN} > U_{EN} \quad (13)$$

kde: $U_{\check{C}SN}$ – rovnoměrnost denního osvětlení počítaná v pravoúhlé síti kontrolních bodů dle ČSN 730580-1 [15]

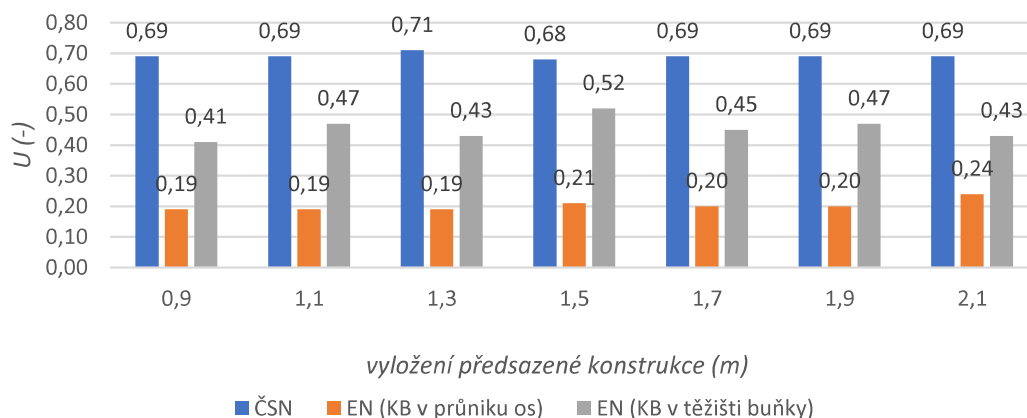
U_{EN} – rovnoměrnost denního osvětlení počítaná v pravoúhlé síti kontrolních bodů dle ČSN EN 17037 [19]

3.4.4.2 Výsledky z počítačových simulací

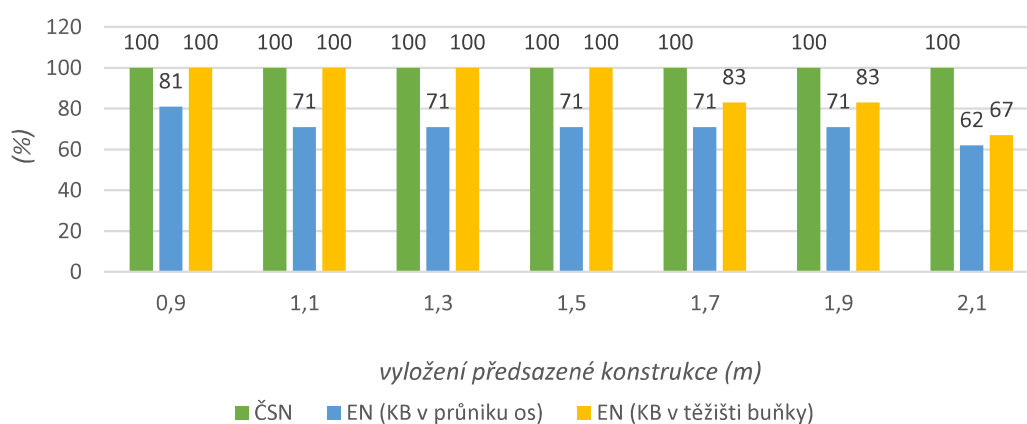
V programu *Světlo+* [9] bylo postupně vymodelováno 280 situací (ty čítali dohromady celkem 4354 kontrolních bodů, v nichž byl zjišťován činitel denní osvětlenosti). Vymodelované situace zahrnují různé tvary místností, normové přístupy a druh předsazené konstrukce s proměnnou šířkou a vyložení.



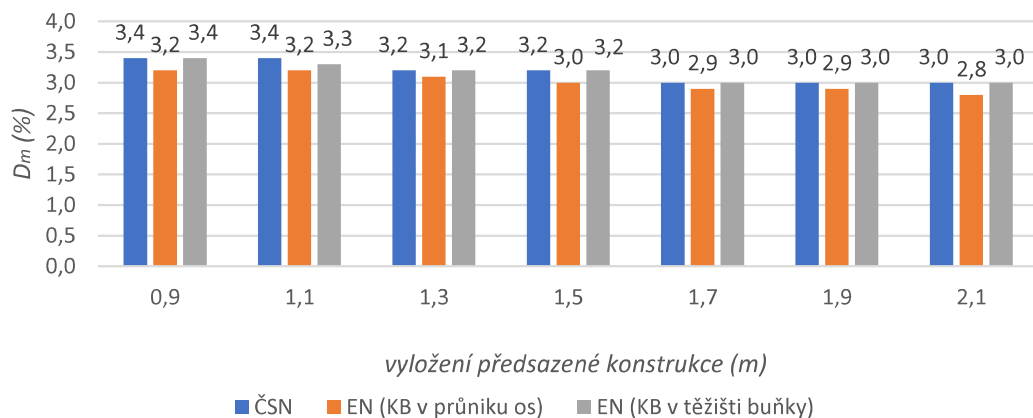
Obr. 54: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



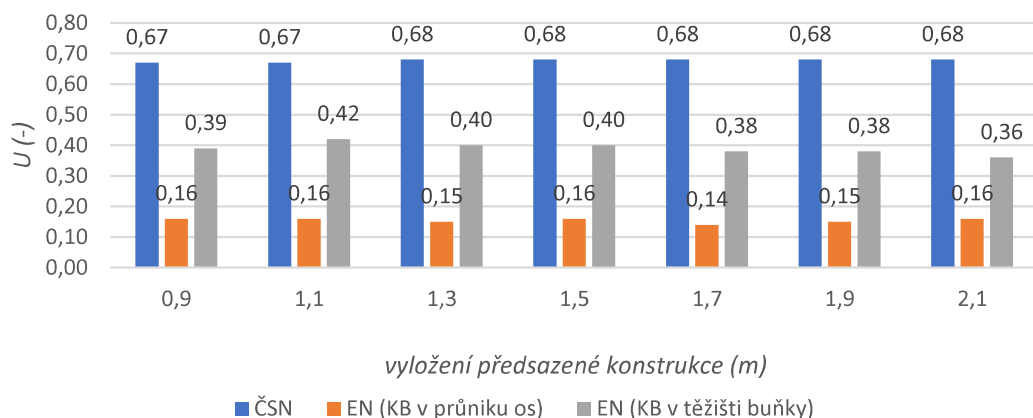
Obr. 55: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



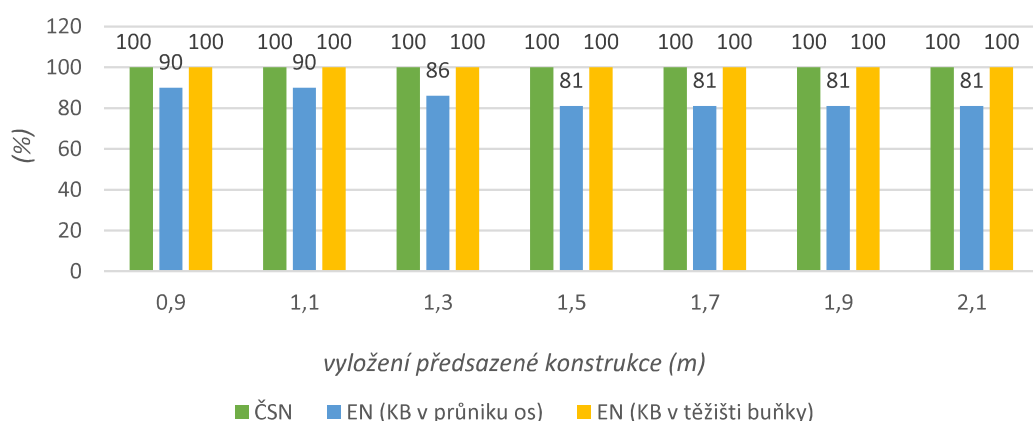
Obr. 56: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×2 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



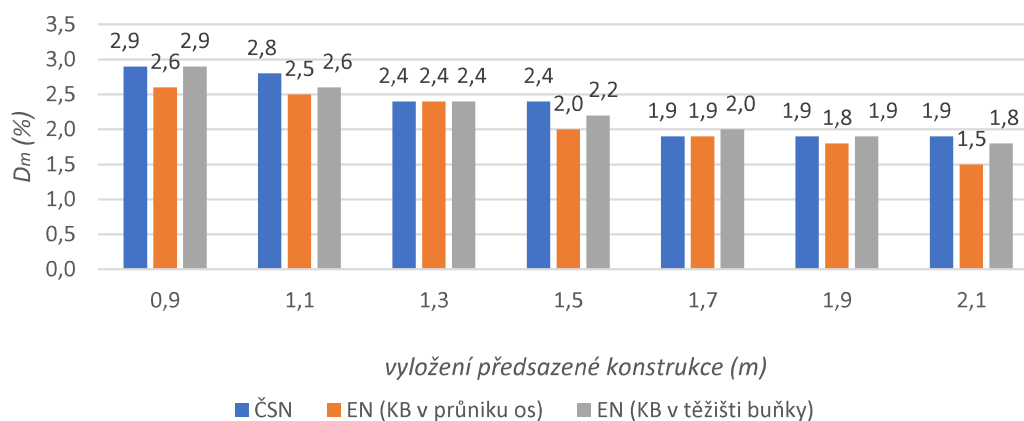
Obr. 57: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



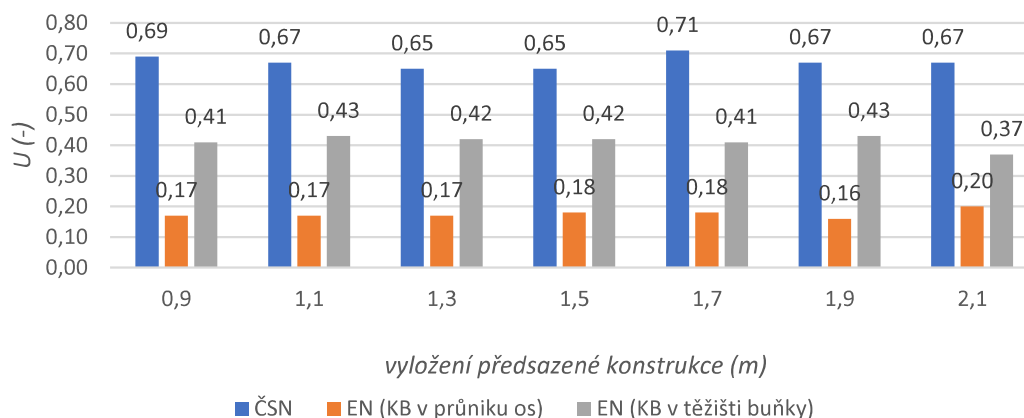
Obr. 58: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



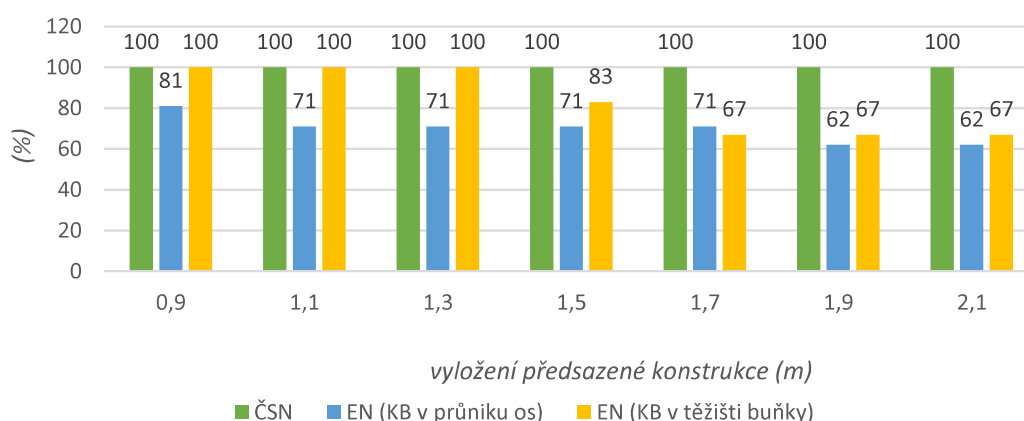
Obr. 59: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×2 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



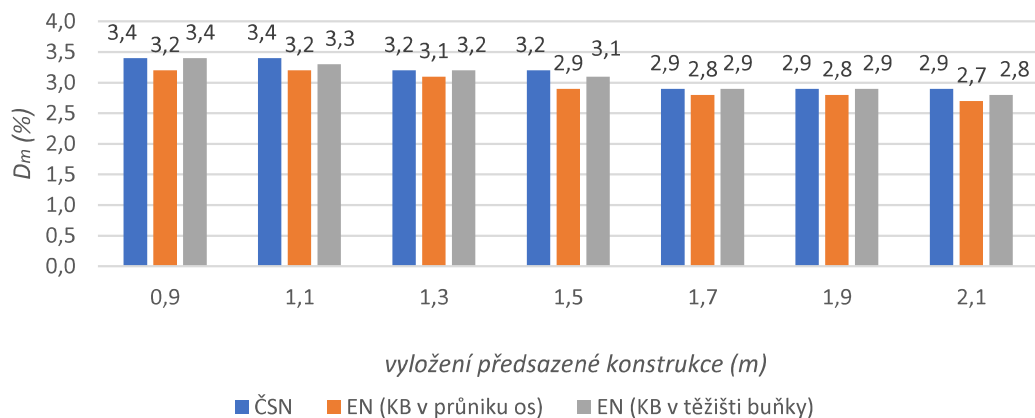
Obr. 60: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



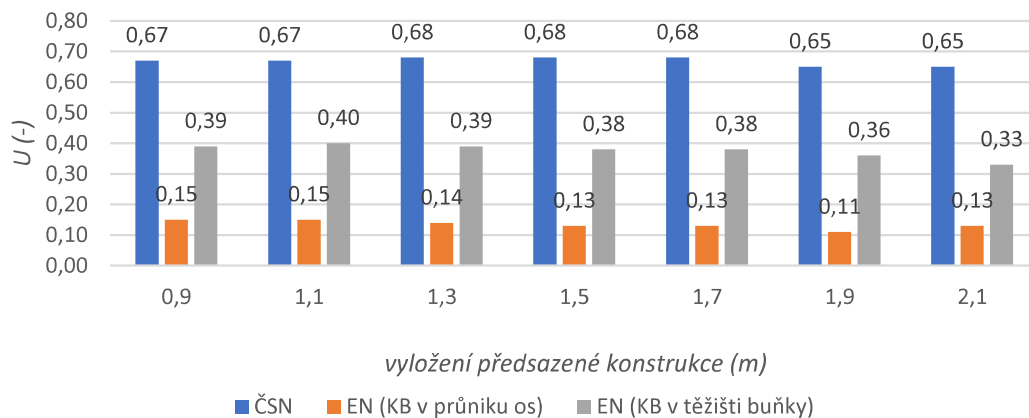
Obr. 61: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



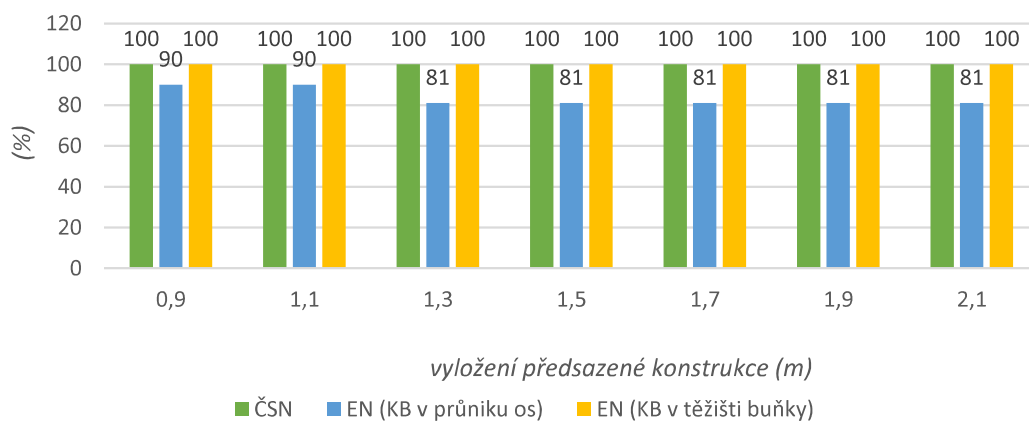
Obr. 62: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×2 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



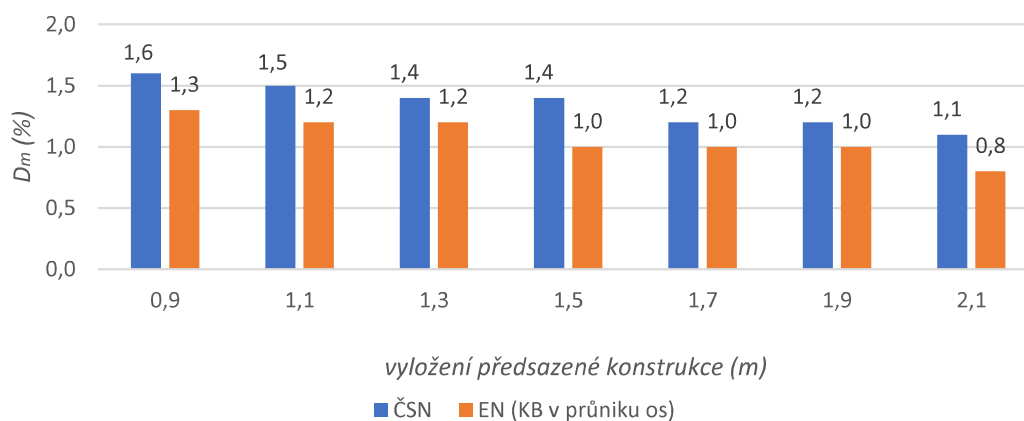
Obr. 63: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m



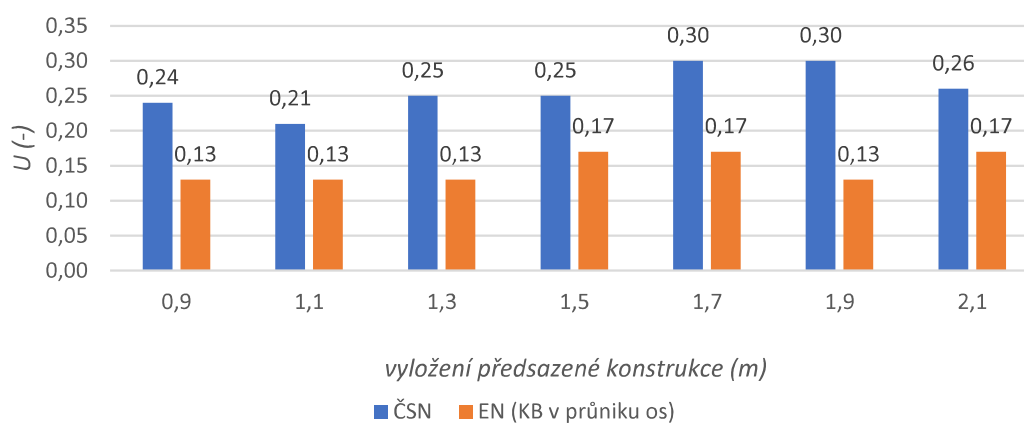
Obr. 64: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m



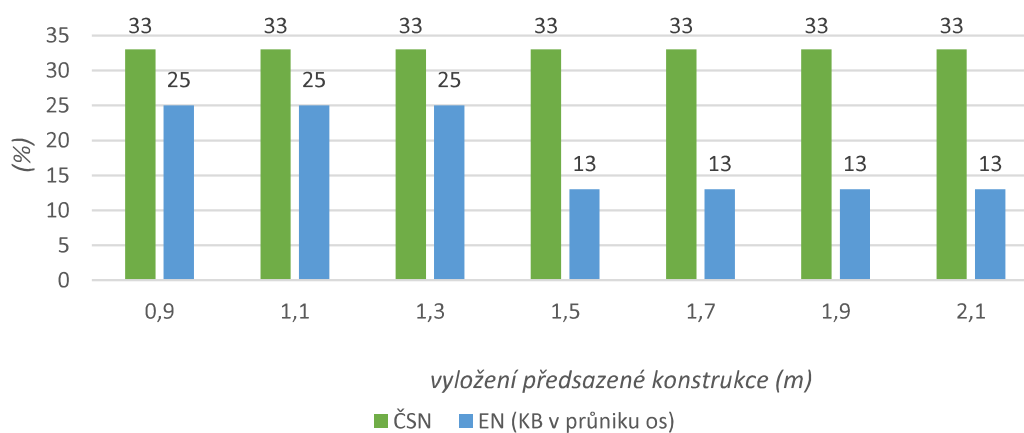
Obr. 65: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×2 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m



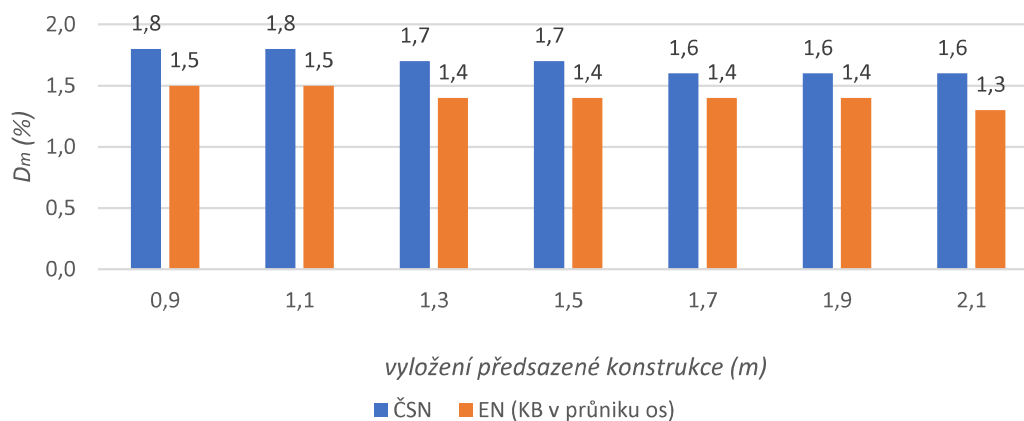
Obr. 66: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



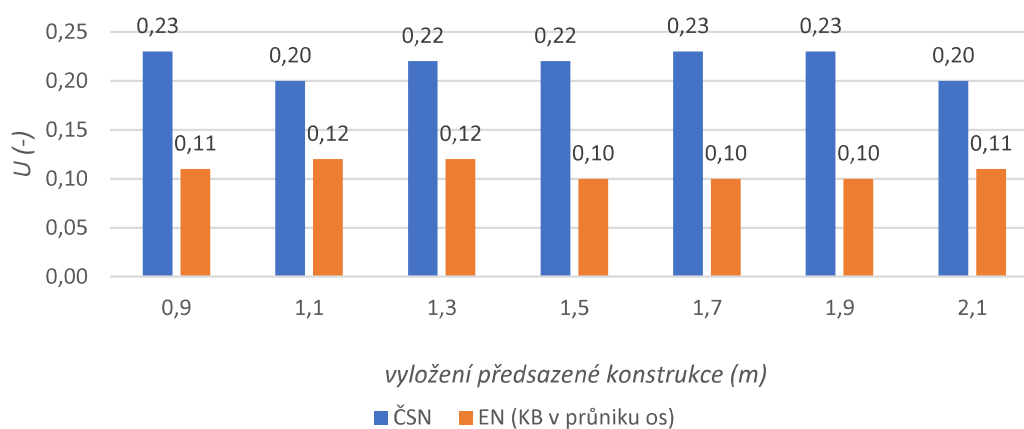
Obr. 67: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



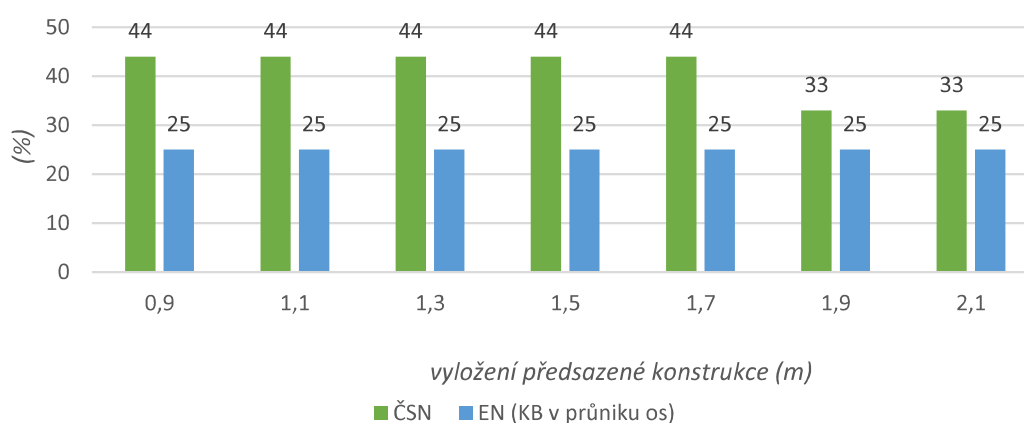
Obr. 68: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



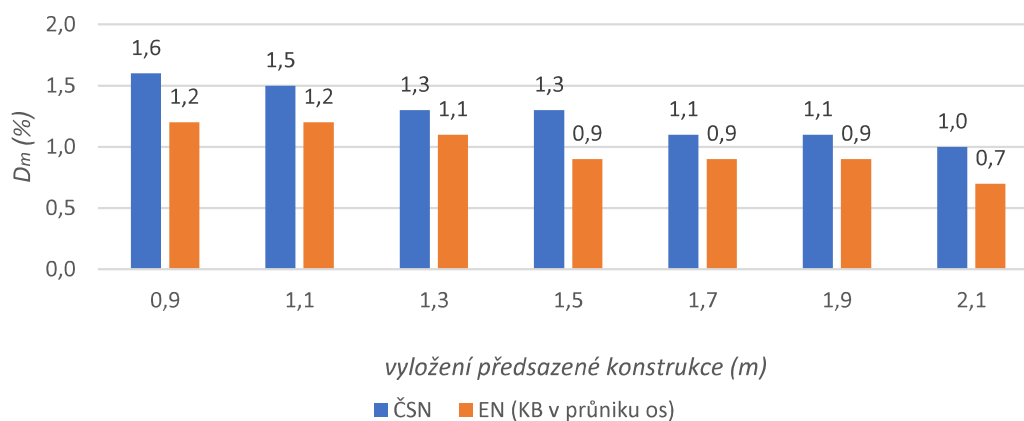
Obr. 69: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



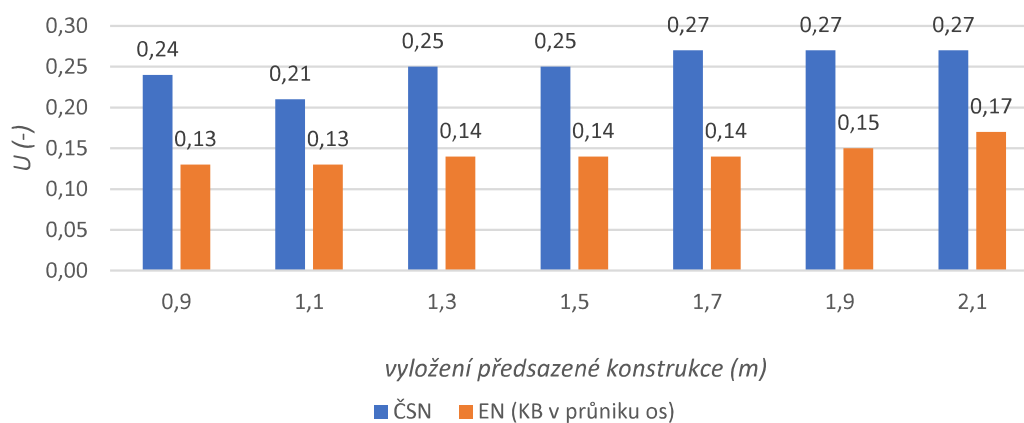
Obr. 70: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



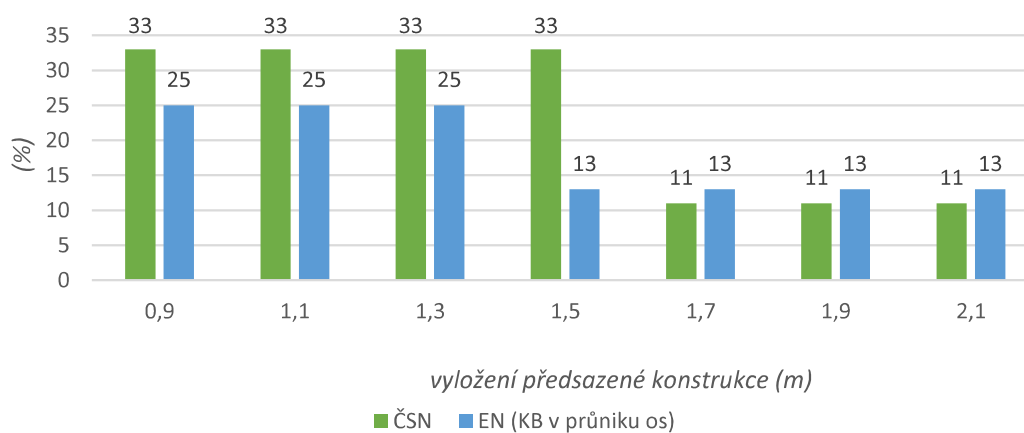
Obr. 71: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



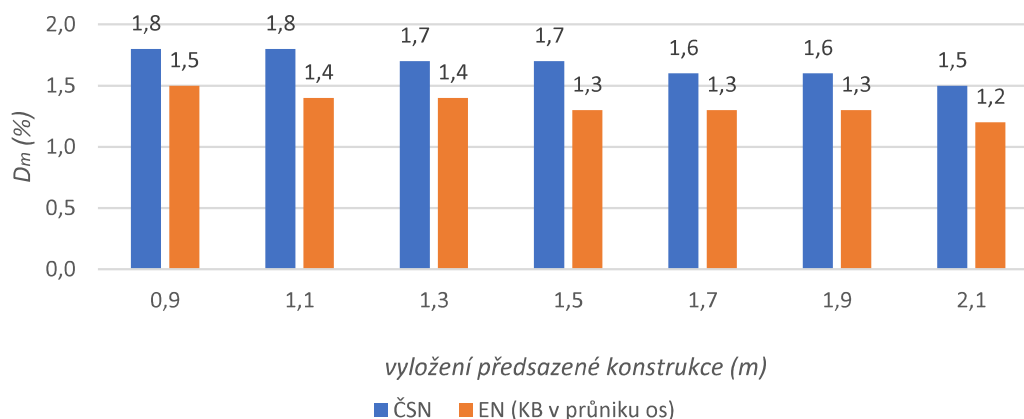
Obr. 72: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



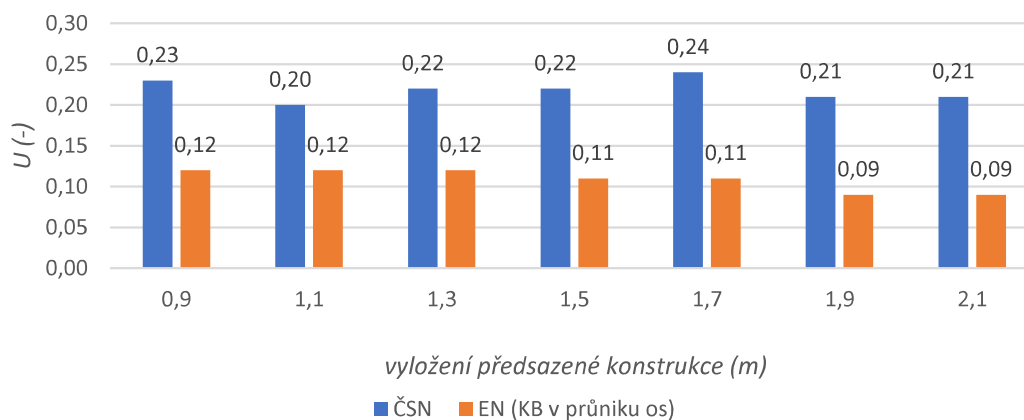
Obr. 73: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



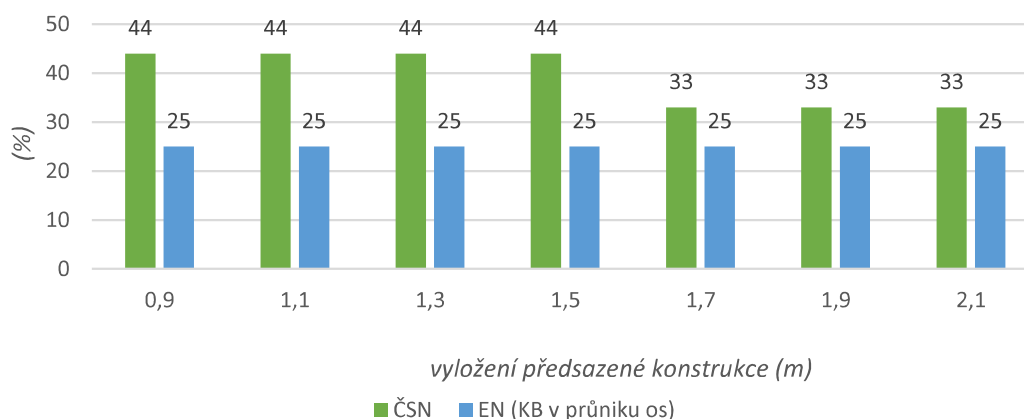
Obr. 74: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



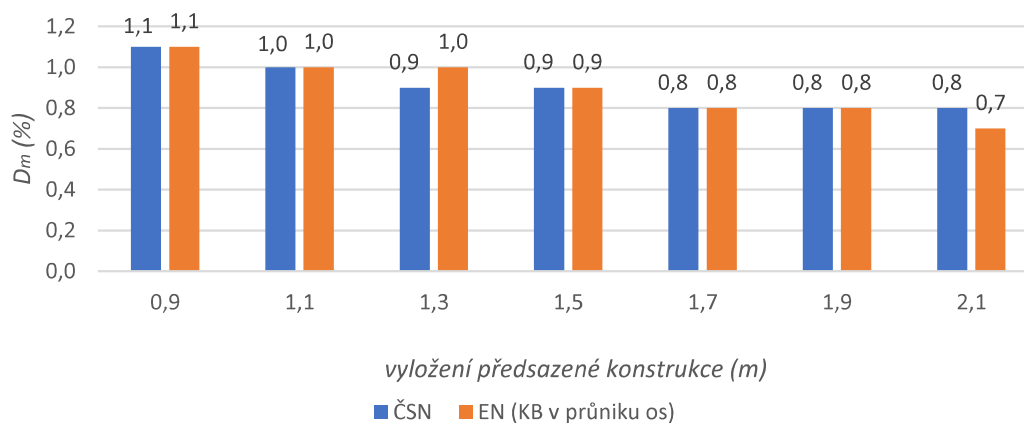
Obr. 75: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m



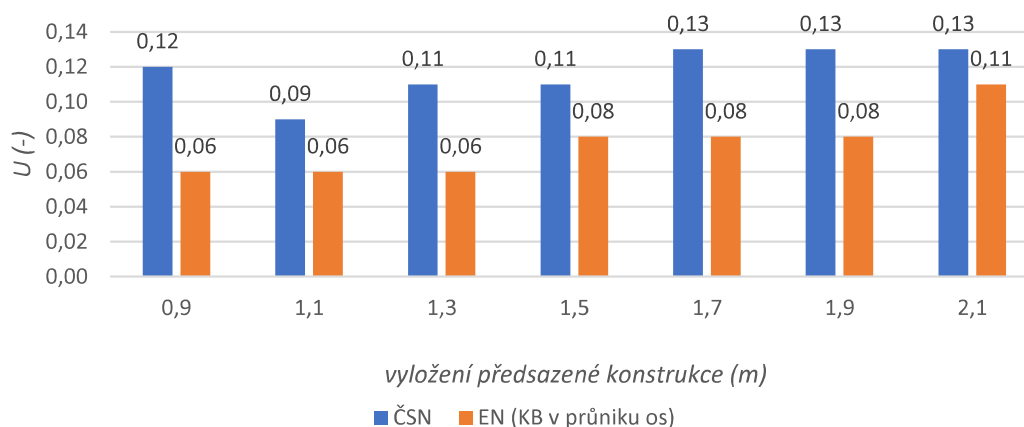
Obr. 76: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m



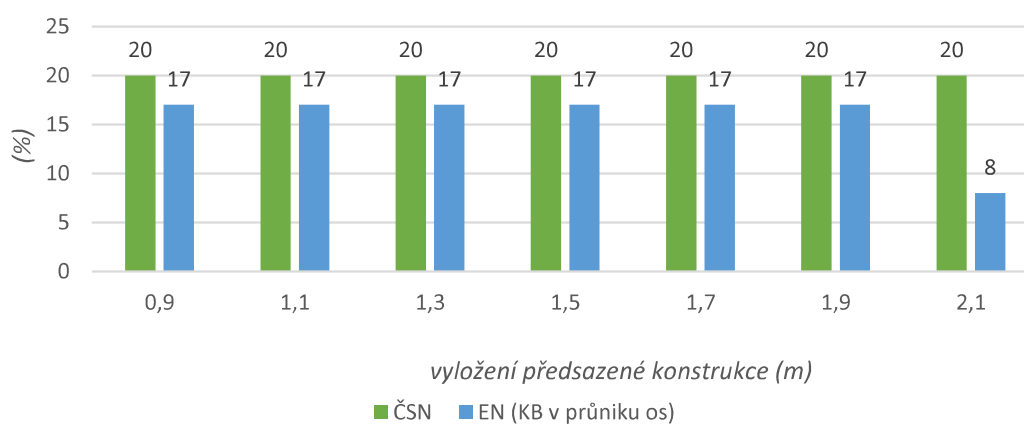
Obr. 77: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m



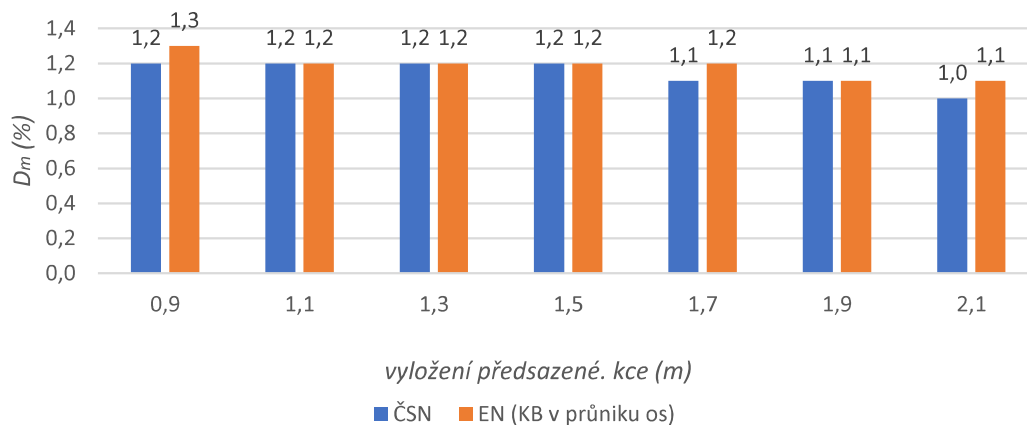
Obr. 78: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



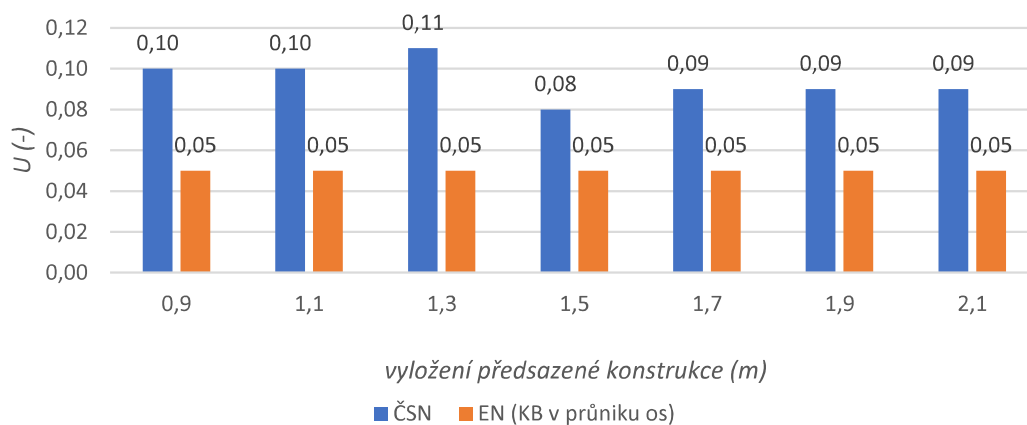
Obr. 79: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



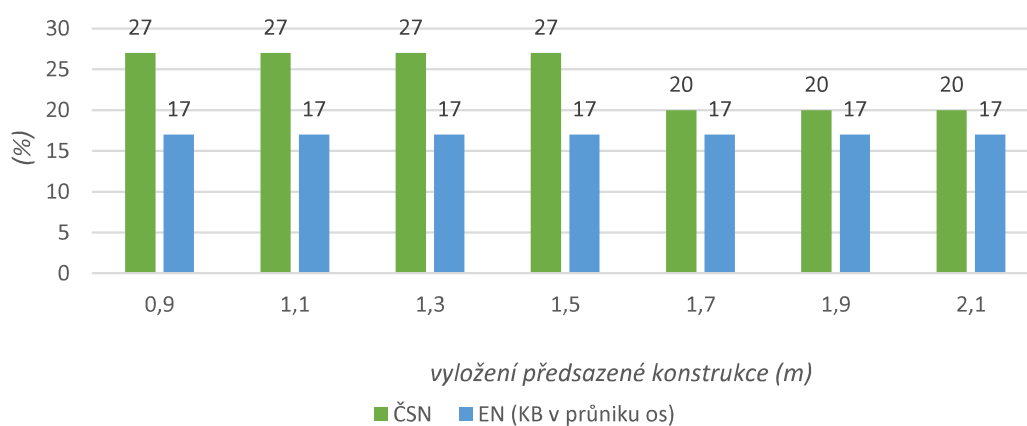
Obr. 80: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×6 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 4 m



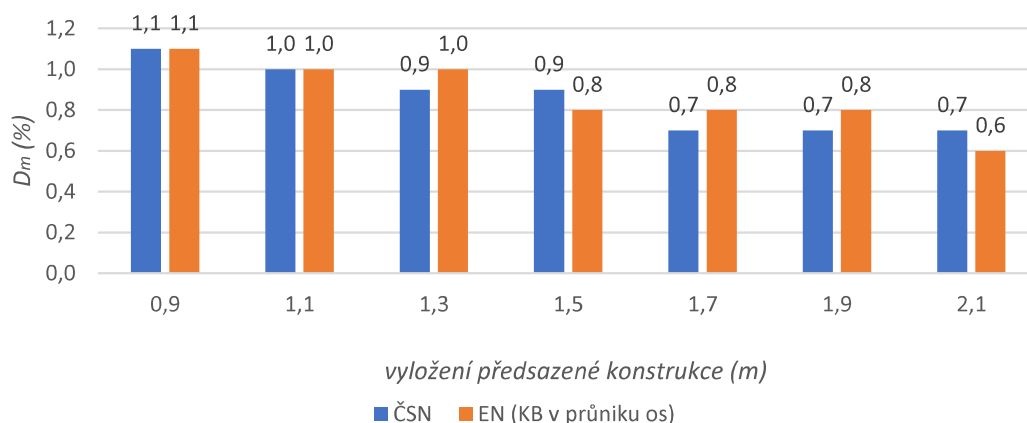
Obr. 81: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



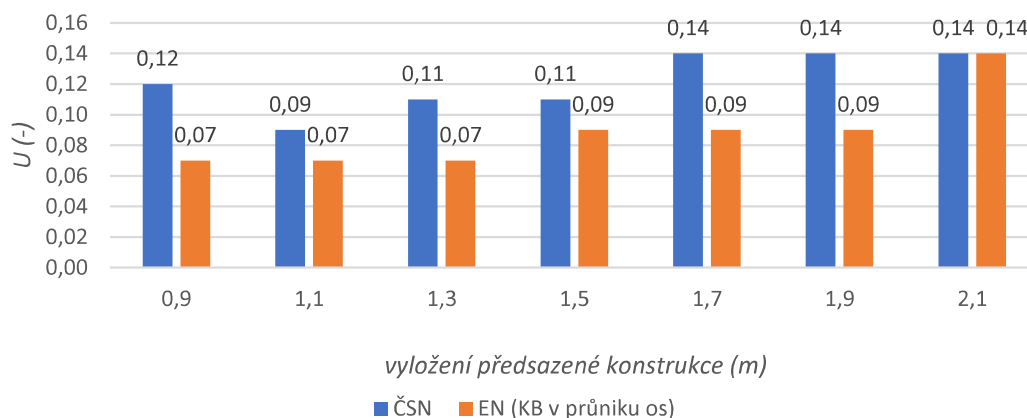
Obr. 82: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



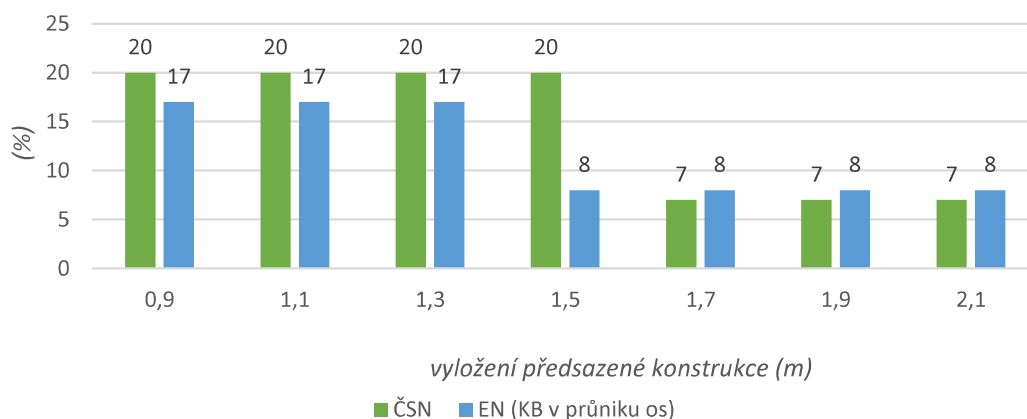
Obr. 83: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×6 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m



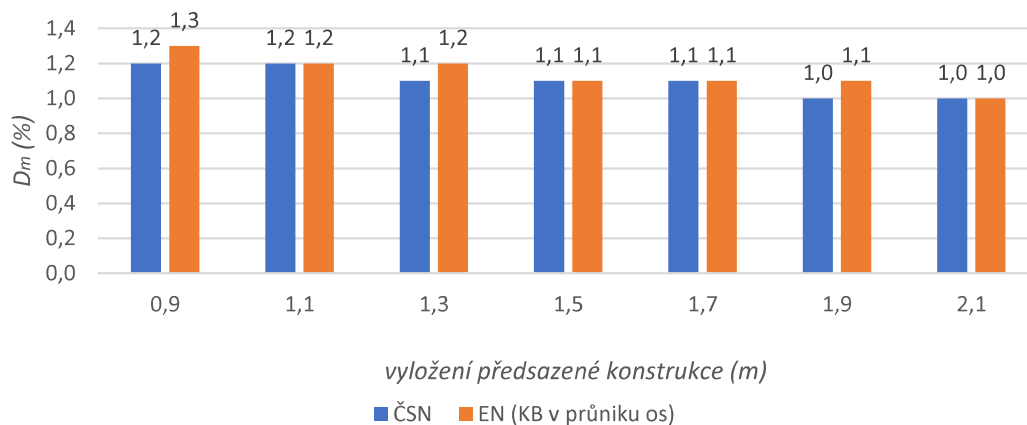
Obr. 84: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



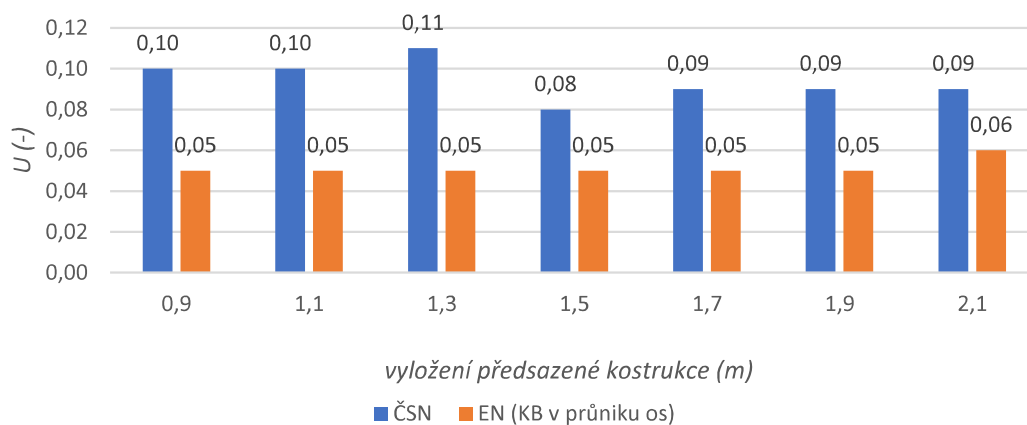
Obr. 85: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



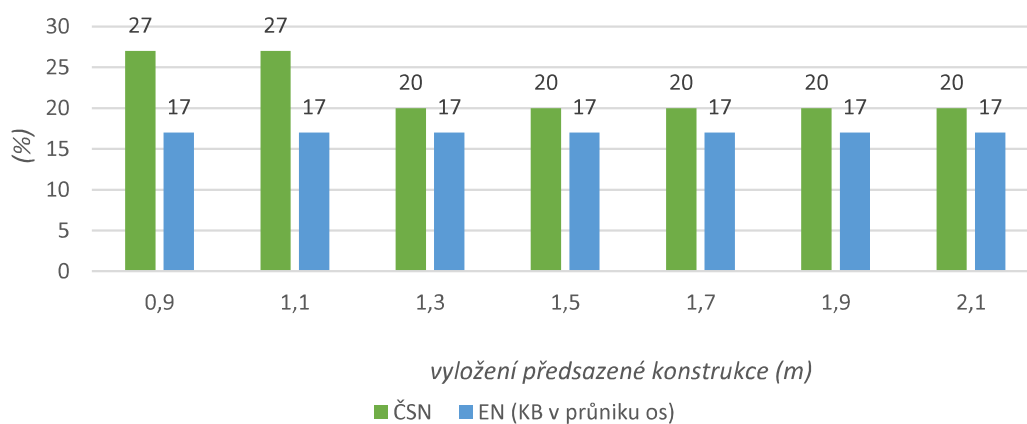
Obr. 86: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×6 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 4 m



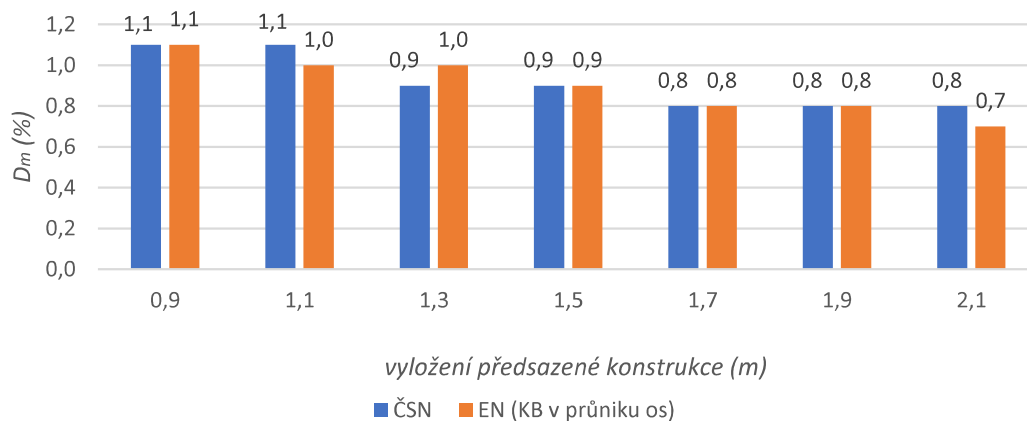
Obr. 87: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m



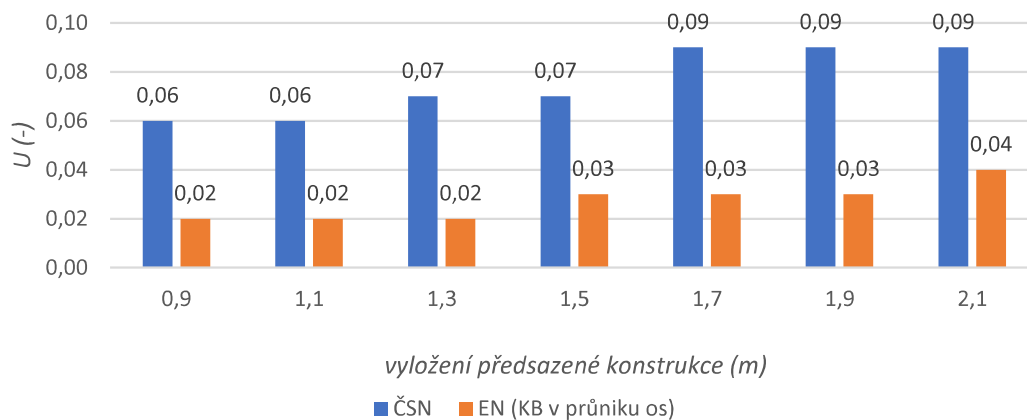
Obr. 88: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m.



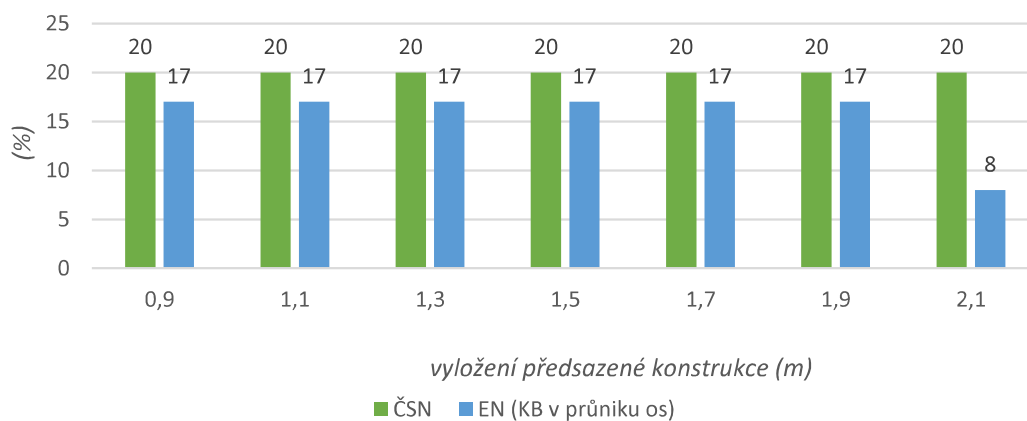
Obr. 89: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×6 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m



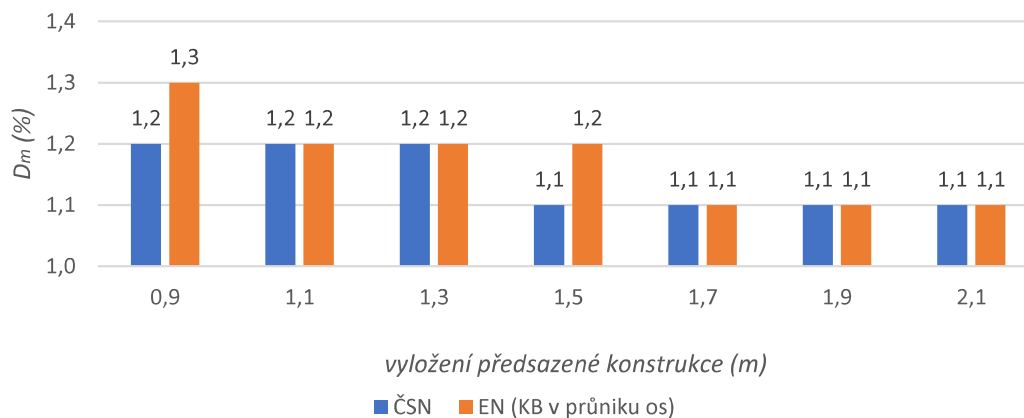
Obr. 90: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech **6 × 4 m** s ohledem na **vyložení balkónu o šířce 4 m**



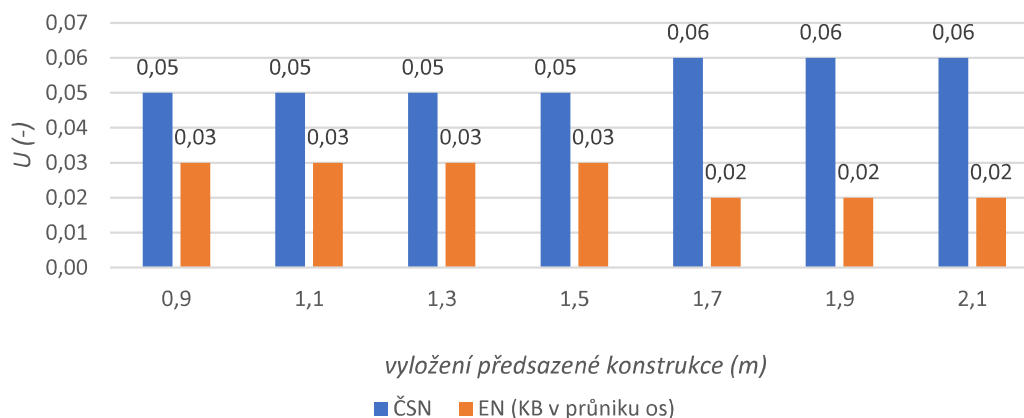
Obr. 91: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech **6 × 4 m** s ohledem na **vyložení balkónu o šířce 4 m**



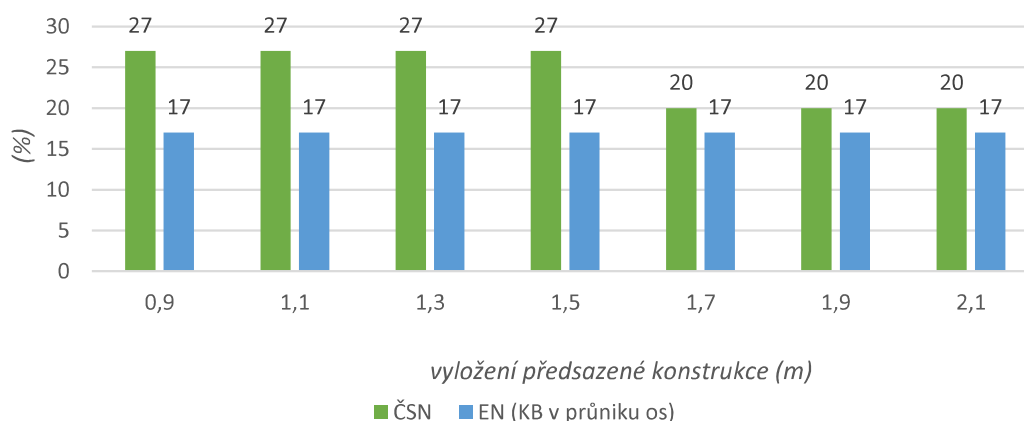
Obr. 92: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než **1,5 %** v místnosti **6 × 4 m** s ohledem na **vyložení balkónu o šířce 4 m**



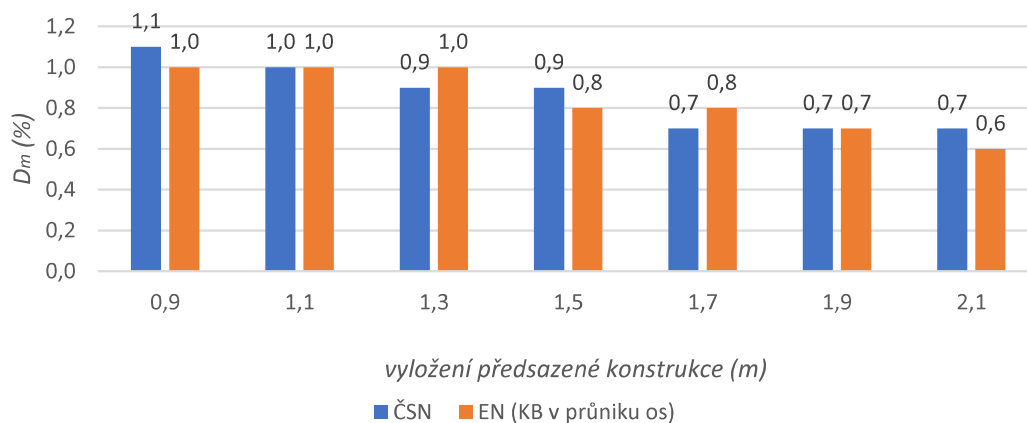
Obr. 93: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m (od osy okna vlevo)



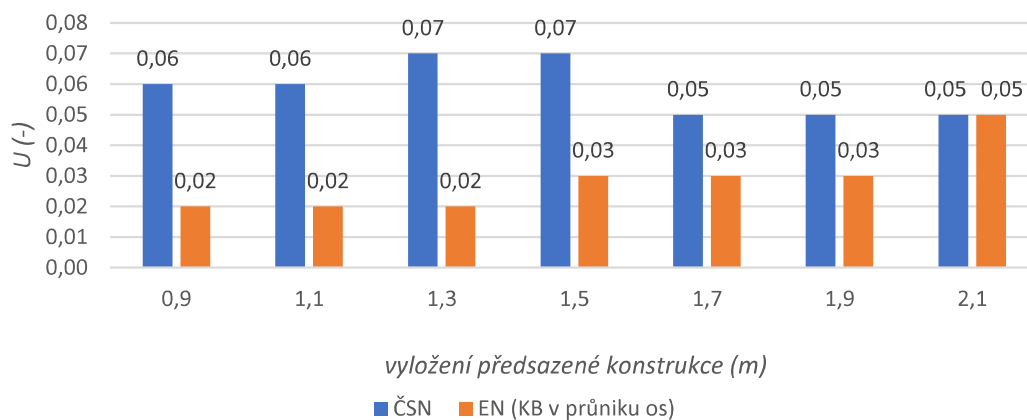
Obr. 94: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m (od osy okna vlevo)



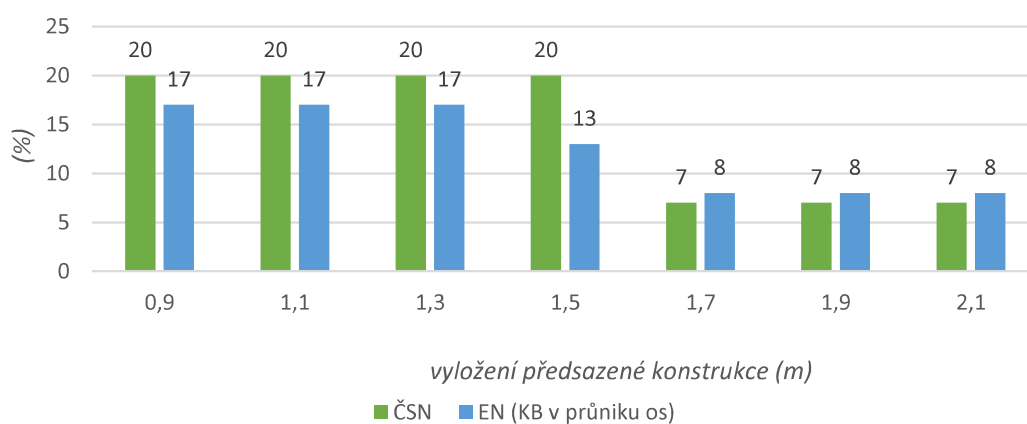
Obr. 95: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 6×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m (od osy okna vlevo)



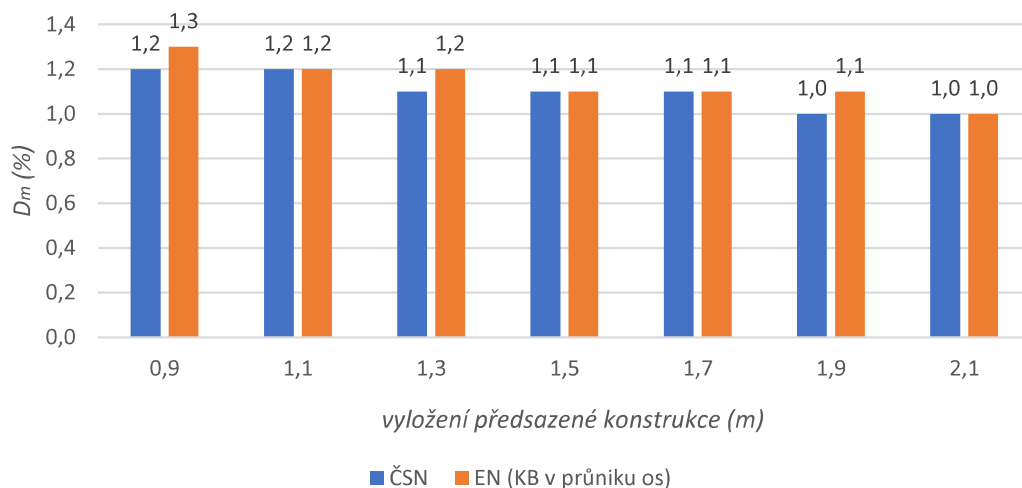
Obr. 96: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech **6 × 4 m** s ohledem na **vyložení lodžie o šířce 4 m**



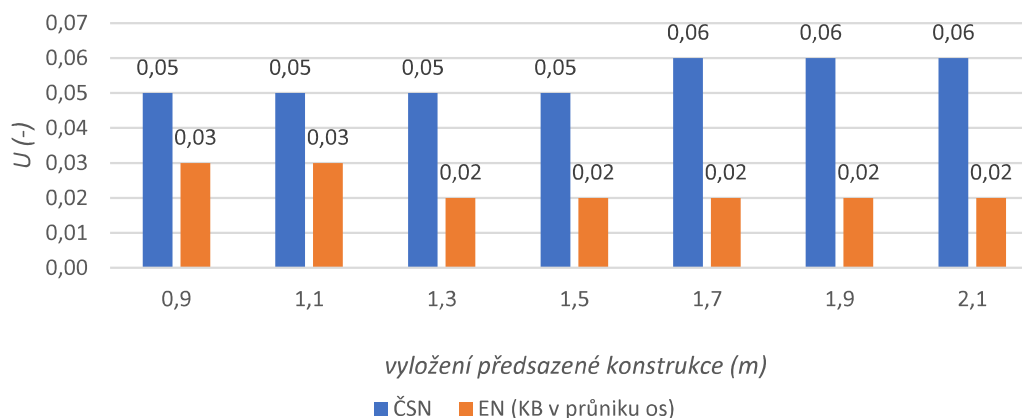
Obr. 97: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech **6 × 4 m** s ohledem na **vyložení lodžie o šířce 4 m**



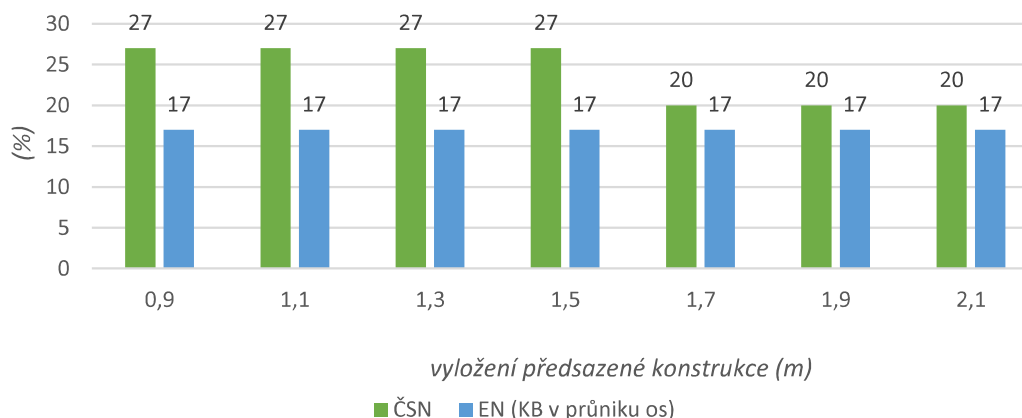
Obr. 98: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti **6 × 4 m** s ohledem na **vyložení lodžie o šířce 4 m**



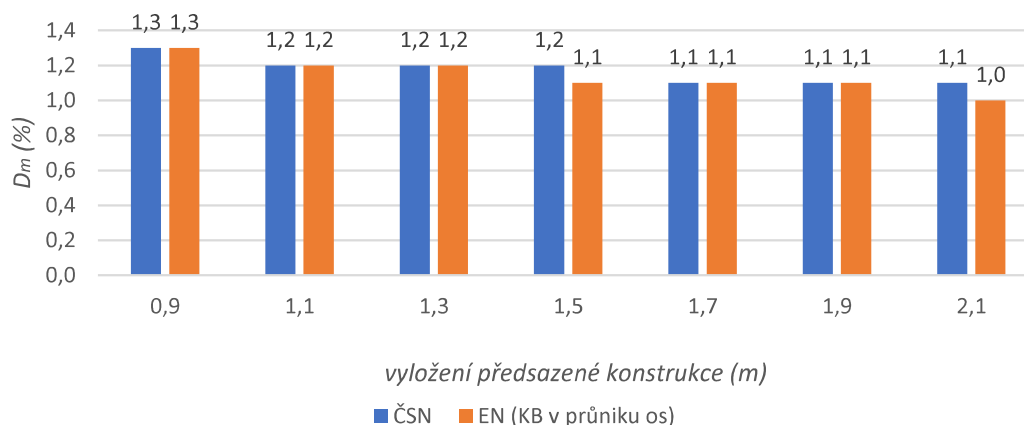
Obr. 99: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m (od osy okna vlevo)



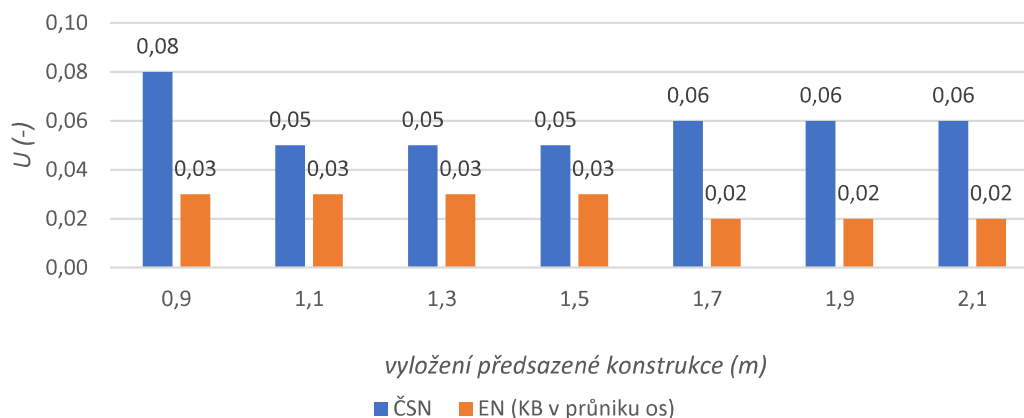
Obr. 100: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m (od osy okna vlevo)



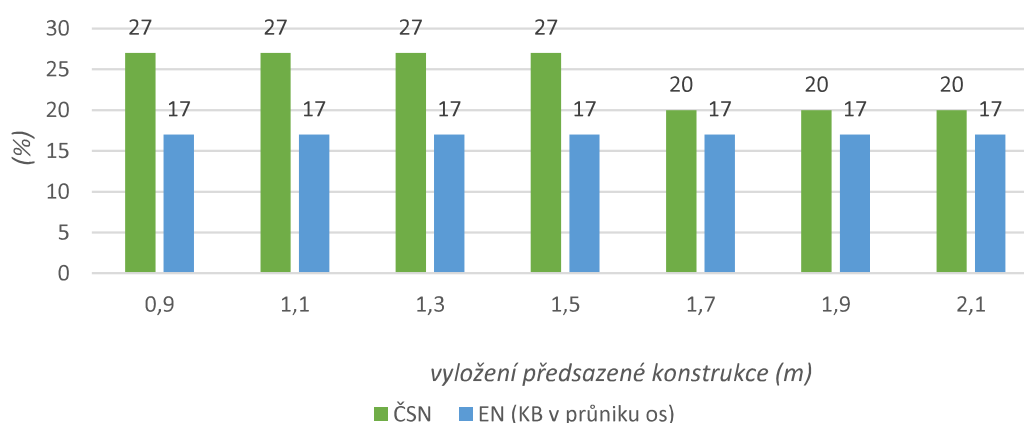
Obr. 101: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 6×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m (od osy okna vlevo)



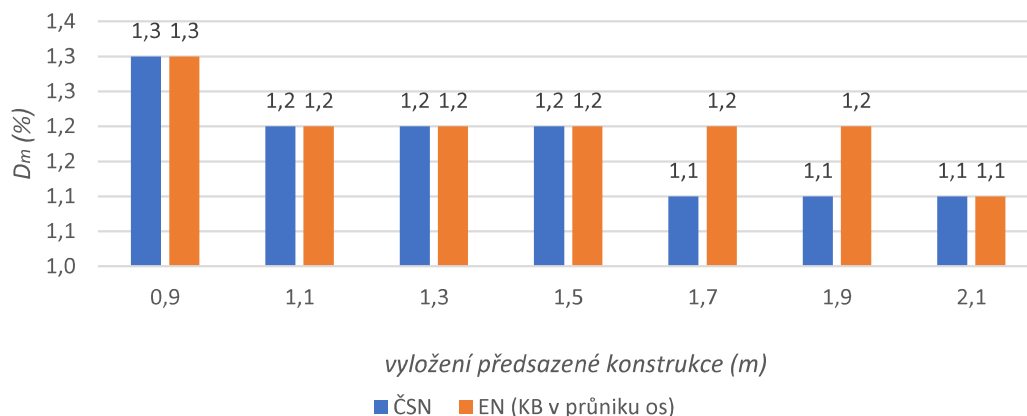
Obr. 102: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m (od osy okna vpravo)



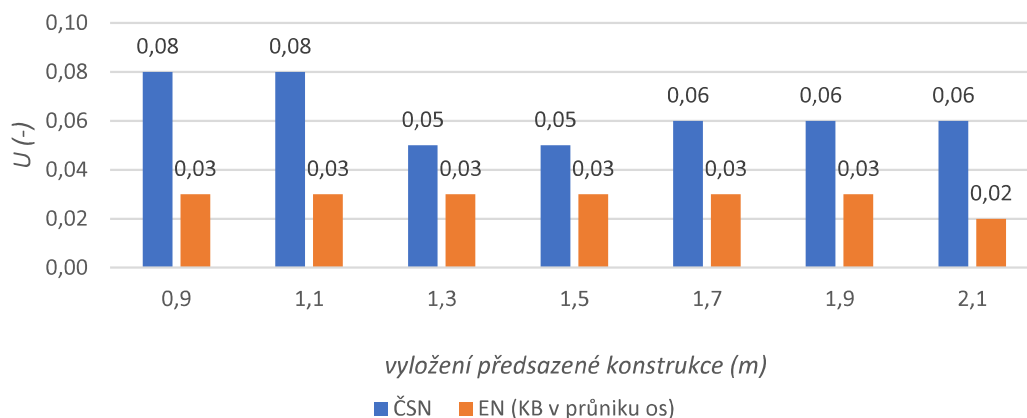
Obr. 103: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m (od osy okna vpravo)



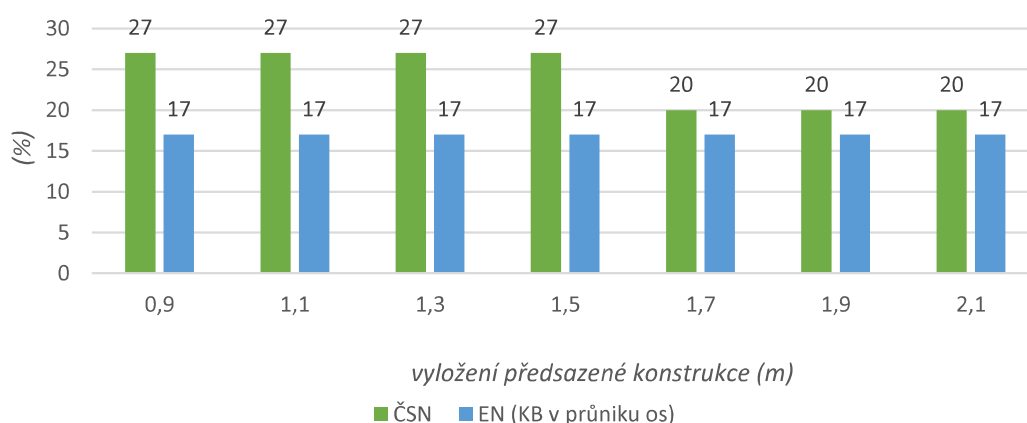
Obr. 104: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 6×4 m s ohledem na vyložení lodžie o šířce 2 m (od osy okna vpravo)



Obr. 105: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m (od osy okna vpravo)



Obr. 106: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m (od osy okna vpravo)



Obr. 107: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 6×4 m s ohledem na vyložení balkónu o šířce 2 m (od osy okna vpravo)

3.4.4.3 Zhodnocení výsledků

Rovnoměrnost denního osvětlení U (-) vyšla v souladu s předpokladem a to tak, že ve všech posuzovaných případech podle ČSN 730580-1 [15] byla rovnoměrnost denního osvětlení větší nebo rovna než při posudcích dle ČSN EN 17037 [19].

Hodnoty průměrných činitelů denní osvětlenosti D_m (%) v závislosti na použitém typu předsazené konstrukce vyšly také v souladu s předpokladem.

Rozdíl mezi průměrnou hodnotou činitele denní osvětlenosti D_m (%) v závislosti na použitém normovém přístupu je znázorněn v tabulce č. 6:

Tab. 6: Rozdíly v D_m (%) v závislosti na normovém přístupu

Rozměr místnosti	Maximální rozdíl D_m (%) v závislosti na použitém normovém přístupu	Četnost situací v nichž extrém nastal	Norma, která dávala větší hodnotu D_m (%)
4 × 2 m	0,4	1	ČSN ¹
4 × 4 m	0,4	5	ČSN ¹
4 × 6 m	0,1	13	EN ² (v poměru 10:3)
6 × 4 m	0,1	16	EN ² (v poměru 10:6)

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] (kontrolní body umístěny v průniku os)

Tabulka č. 7 uvádí počty místností, které (ne)vyhověly celou svou půdorysnou plochou jako místnosti určené k trvalému pobytu osob, potažmo jako místnosti, které mohou být pravidelně využívány lidmi po delší dobu.

Tab. 7: Počet vyhovujících a nevyhovujících místností

Proměnná modelu	Rozměr místnosti	Normový přístup					
		ČSN ¹		EN-Osy ²		EN-Těžiště ³	
		vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností	vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností	vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností
balkón 4 m	4 × 2 m	7	0	5	2	4	3
	4 × 4 m	0	7	0	7	-	-
	4 × 6 m	0	7	0	7	-	-
	6 × 4 m	0	7	0	7	-	-
balkón 2 m	4 × 2 m	7	0	7	0	7	0
	4 × 4 m	0	7	0	7	-	-
	4 × 6 m	0	7	0	7	-	-
	6 × 4 m (L) ⁴	0	7	0	7	-	-
	6 × 4 m (P) ⁵	0	7	0	7	-	-
lodžie 4 m	4 × 2 m	7	0	4	3	4	3
	4 × 4 m	0	7	0	7	-	-
	4 × 6 m	0	7	0	7	-	-
	6 × 4 m	0	7	0	7	-	-
lodžie 2 m	4 × 2 m	7	0	7	0	7	0
	4 × 4 m	0	7	0	7	-	-
	4 × 6 m	0	7	0	7	-	-
	6 × 4 m (L) ⁴	0	7	0	7	-	-
	6 × 4 m (P) ⁵	0	7	0	7	-	-

Pozn.: Některé hodnoty nejsou v tabulce uvedeny, neboť pro místnosti větší než 4 × 2 m splývá rozdělení KB dle ČSN¹ a EN - Těžiště³ normového přístupu

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny do průniku os

Pozn. 3: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny těžiště buněk

Pozn. 4: Balkón/lodžie je umístěn(a) na levou stranu od osy okna (při pohledu zvenčí)

Pozn. 5: Balkón/lodžie je umístěn(a) na pravou stranu od osy okna (při pohledu zvenčí)

Místnostem, které jsou v tabulce č. 7 označeny jako nevyhovující by musela být vymezena funkční plocha, která by půdorysně stanovila část místnosti s požadovanou úrovní denního osvětlení.

V tabulkách č. 8 až 10 byly zprůměrovány výsledné hodnoty pro všechna uvažovaná vyložení předsazených konstrukcí, aby se ukázalo, jaký vliv má rozmístění kontrolních bodů na stanovované veličiny.

Tab. 8: Zprůměrované hodnoty pro balkóny a lodžie široké 4 m s vyložení 900 až 2100 mm

Normový přístup	Rozměr místnosti (m)	balkón š. 4 m			lodžie š. 4 m		
		D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %	D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %
ČSN ¹	4x2	2,41	0,693	100,0	2,30	0,670	100,0
EN - Osy ²		2,27	0,203	71,4	2,11	0,178	70,1
EN - Těžiště ³		2,35	0,455	90,5	2,23	0,414	83,3
ČSN ¹	4x4	1,32	0,261	33,3	1,26	0,253	23,8
EN - Osy ²		1,06	0,146	17,9	0,98	0,143	17,9
ČSN ¹	4x6	0,90	0,117	20,0	0,86	0,123	14,3
EN - Osy ²		0,90	0,078	15,5	0,85	0,086	11,9
ČSN ¹	6x4	0,91	0,075	20,0	0,86	0,059	14,3
EN - Osy ²		0,90	0,026	15,5	0,84	0,029	12,5

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny do průniku os

Pozn. 3: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny těžiště buněk

Tab. 9: Zprůměrované hodnoty pro balkóny široké 2 m s vyložení 900 až 2100 mm

Normový přístup	Rozměr místnosti (m)	balkón š. 2 m vlevo			balkón š. 2 m vpravo		
		D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %	D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %
ČSN ¹	4x2	3,19	0,681	100,0	3,19	0,681	100,0
EN - Osy ²		3,03	0,153	84,4	3,03	0,153	84,4
EN - Těžiště ³		3,17	0,390	100,0	3,17	0,390	100,0
ČSN ¹	4x4	1,69	0,216	41,3	1,69	0,216	41,3
EN - Osy ²		1,39	0,108	25,0	1,39	0,108	25,0
ČSN ¹	4x6	1,14	0,092	23,8	1,14	0,092	23,8
EN - Osy ²		1,18	0,050	16,7	1,18	0,050	16,7
ČSN ¹	6x4	1,14	0,054	23,8	1,17	0,061	23,8
EN - Osy ²		1,17	0,026	16,7	1,19	0,030	16,7

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny do průniku os

Pozn. 3: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny těžiště buněk

Tab. 10: Zprůměrované hodnoty pro lodžie široké 2 m s vyložením 900 až 2100 mm

Normový přístup	Rozměr místnosti (m)	lodžie š. 2 m vlevo			lodžie š. 2 m vpravo		
		D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %	D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %
ČSN ¹	4x2	3,12	0,667	100,0	3,12	0,667	100,0
EN - Osy ²		2,96	0,134	83,7	2,96	0,134	83,7
EN - Těžiště ³		3,09	0,375	100,0	3,09	0,375	100,0
ČSN ¹	4x4	1,66	0,215	39,7	1,66	0,215	39,7
EN - Osy ²		1,35	0,106	25,0	1,35	0,106	25,0
ČSN ¹	4x6	1,12	0,094	21,9	1,12	0,094	21,9
EN - Osy ²		1,15	0,052	16,7	1,15	0,052	16,7
ČSN ¹	6x4	1,11	0,055	23,8	1,15	0,059	23,8
EN - Osy ²		1,14	0,022	16,7	1,16	0,026	16,7

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny do průniku os

Pozn. 3: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny těžiště buněk

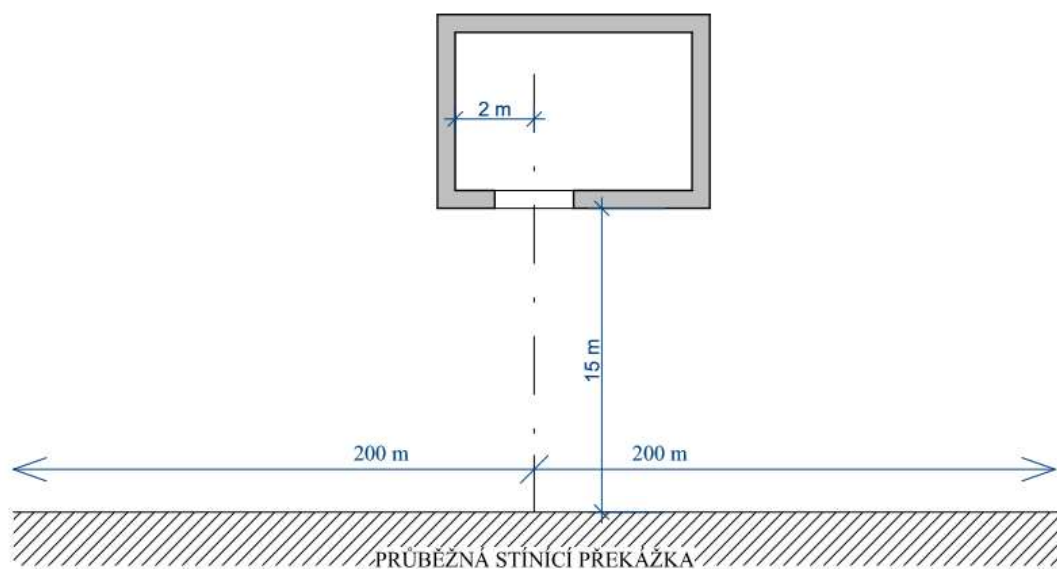
3.5 Vliv průběžné stínící překážky na denní osvětlení

3.5.1 Úvod do problematiky

Denní světlo bylo do všech modelových místností přiváděno jedním okenním otvorem s konstantními vlastnostmi (plastové okno PASIV CL 85, šířky 2000 mm – vlastnosti viz tab. 2). Ve vzdálenosti 15 m od vnějšího líce stěny modelové místnosti byla umístěna průběžná stínící překážka, jejíž výška začínala na 0 m a s krokem 1 m se postupně zvyšovala až do výšky 27 m.

3.5.2 Geometrie stínících překážek

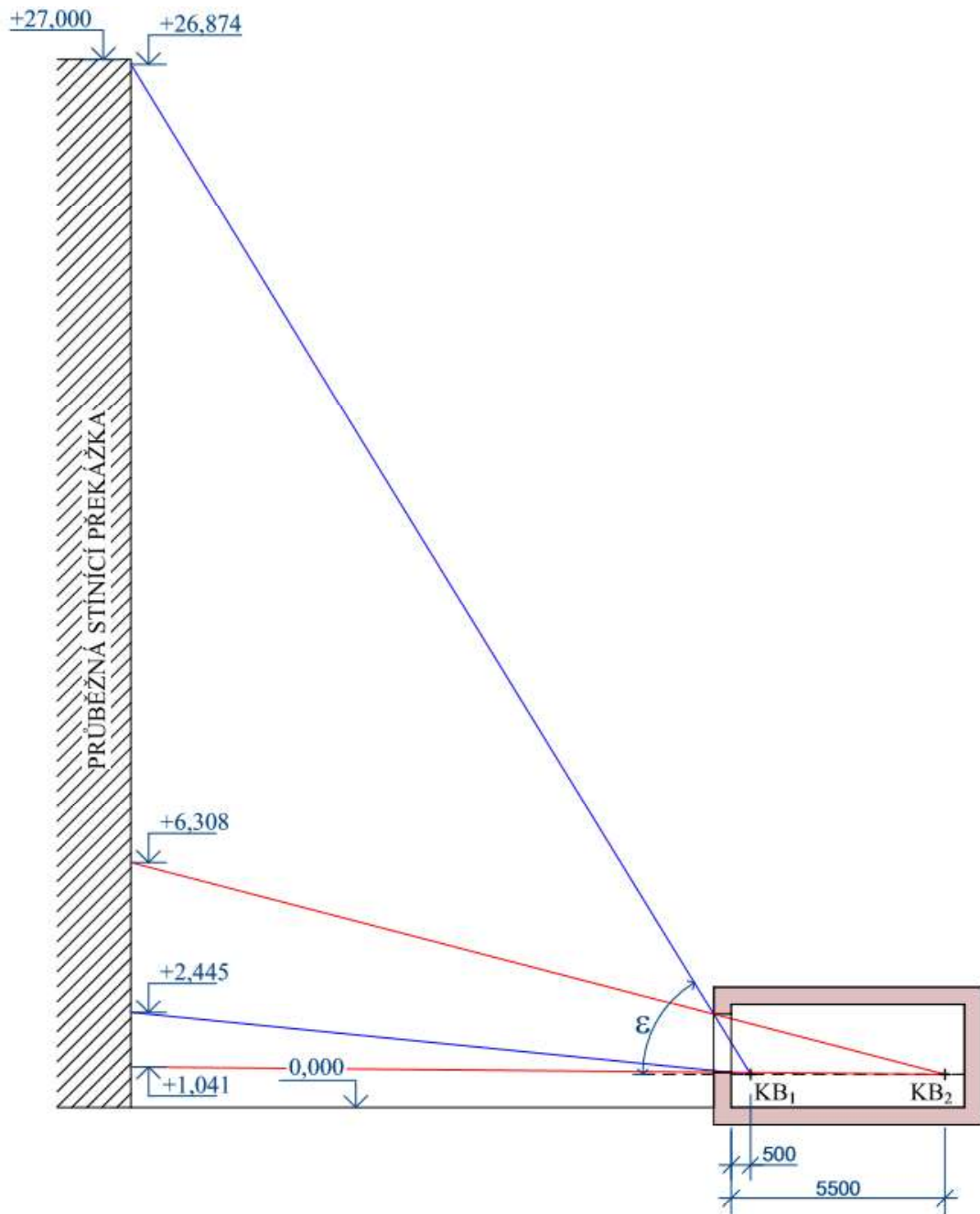
Maximální výška stínící překážky 27 m byla stanovena na základě výpočtu. Při této výšce je již oblohová složka činitele denní osvětlenosti v každém kontrolním bodě rovna nule. Jinými slovy z žádného kontrolního bodu není vidět obloha, pouze stínící překážka a ostatní plochy místnosti.



Obr. 108: Púdorys situace s průběžnou stínící překážkou

Tab. 11: Výšky stínících překážek

Púdorysná vzdálenost KB od vnitřního lince parapetu (mm)	Výška stinici překážky vyjádřena úhlem ϵ		Výška stinici překážky, která je vidět z KB		Výšky stínících překážek v modelové situaci, které KB přímo ovlivňují	
	od (°)	do (°)	od (m)	do (m)	od (m)	do (m)
500	5,7	58,5	2,45	26,87	3	27
750	3,8	52,3	1,93	21,78	2	22
1 000	2,9	46,9	1,67	18,43	2	19
1 500	1,9	38,5	1,42	14,32	2	15
2 000	1,4	32,3	1,29	11,89	2	12
2 500	1,1	27,7	1,21	10,28	2	11
3 000	1,0	24,2	1,16	9,14	2	10
3 500	0,8	21,4	1,12	8,29	2	9
4 000	0,7	19,2	1,09	7,62	2	8
4 500	0,6	17,4	1,07	7,10	2	8
5 000	0,6	15,9	1,05	6,67	2	7
5 500	0,5	14,6	1,04	6,31	2	7



Obr. 109: Řez průběžnou stínící překážkou

Tabulka č. 11 ukazuje, jak narůstající půdorysná vzdálenost kontrolního bodu od vnitřního líce parapetu zmenšuje možný úhel zastínění ε ($^\circ$). Nejvzdálenější kontrolní body od okna má již při výšce stínící překážky 7 m nulovou oblohovou složku činitele denní osvětlenosti D_s (%) a s narůstající výškou překážky se už téměř nemění hodnota činitele denní osvětlenosti v tomto kontrolním bodě. To, že se hodnoty činitele denní osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech mění i v případech, že výška stínící překážky je mimo meze možného úhlu zastínění ε ($^\circ$), je způsobeno tím, že program *Světlo+* [9] počítá s “nekonečným“ počtem odrazů rozptýleného světla.

3.5.3 Činitel jasu stínící překážky

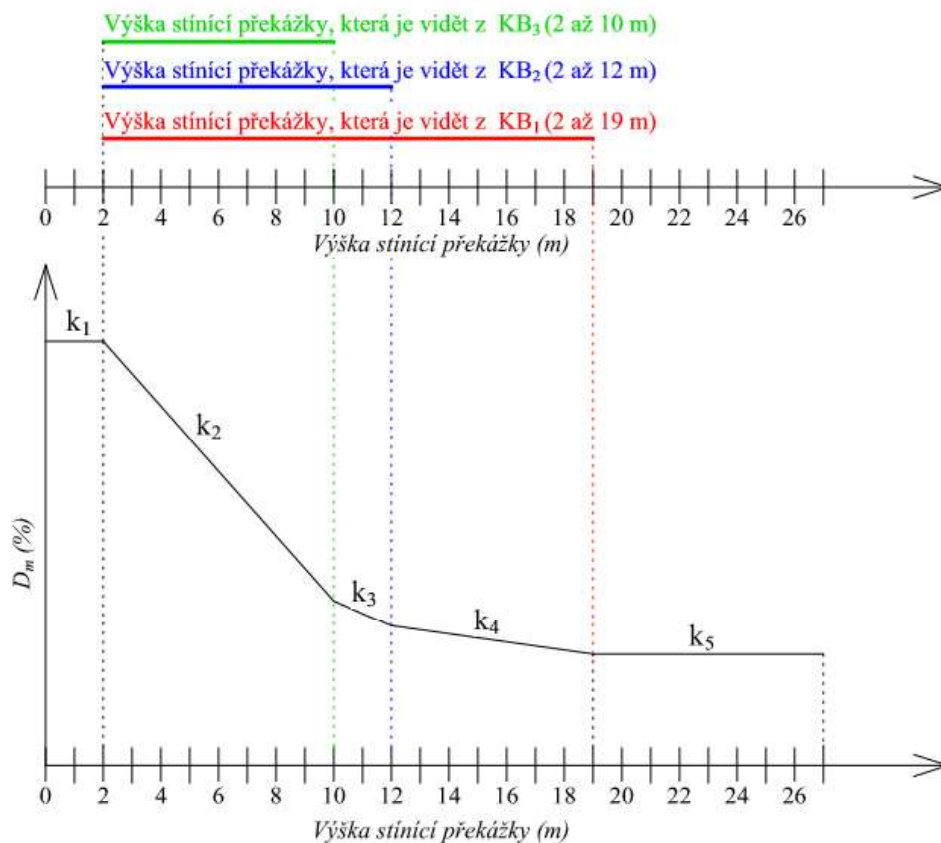
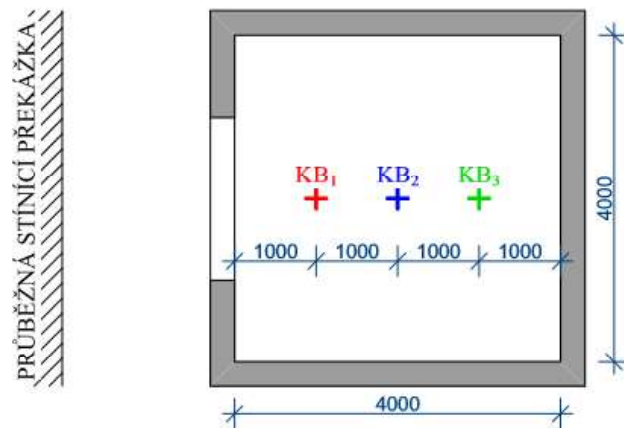
U stínících překážek byl stejně jako u předsazených konstrukcí uvažován **činitel jasu k_v (-)** hodnotou 0,1.

3.5.4 Výsledky

3.5.4.1 Očekávaný trend výsledků

Rovnoměrnost denního osvětlení v místnostech by se stále měla řídit předpokladem ze vztahu č. (13). A to tak, že při posudcích bude dosaženo větší rovnoměrnosti denního osvětlení tam, kde byly kontrolní body rozmístěny na menší ploše.

Pokud vyjdeme z předpokladu, že čím je větší oblohová složka činitele denní osvětlenosti, tím větší činitel denní osvětlenosti bude v daném kontrolním bodě zjištěn, pak můžeme poměrně jednoduchou metodou odhadnout změnu směrnice poklesu průměrného činitele denní osvětlenosti D_m (%) s ohledem na měnící se výšku stínící překážky v jednotlivých místnostech. Tento předpoklad bude zjednodušeně demonstrován na obrázku č. 110 a ve vztahu č. (14):



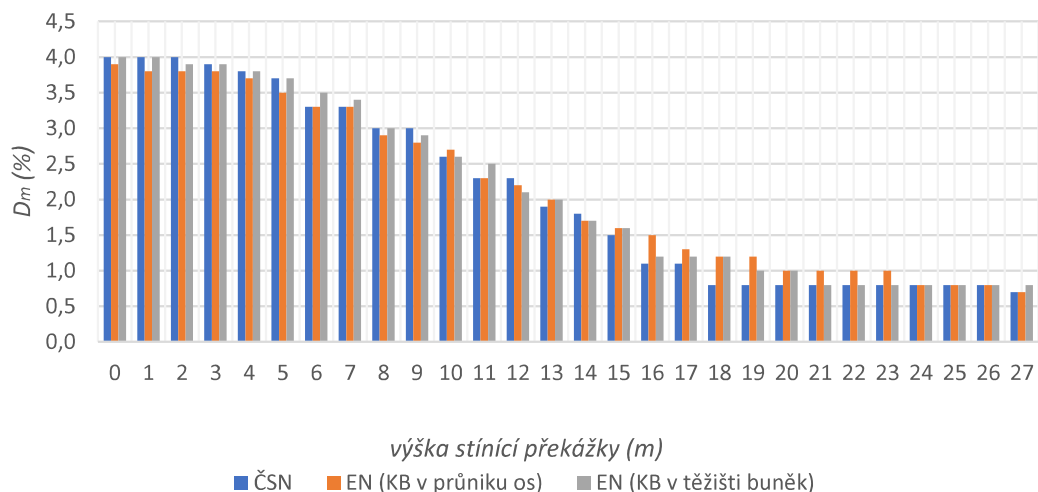
Obr. 110: Změna směrnice k_i v závislosti na výšce stínící překážky

$$|k_2| \geq |k_3| \geq |k_4| \geq |k_1| \approx |k_5| \quad (14)$$

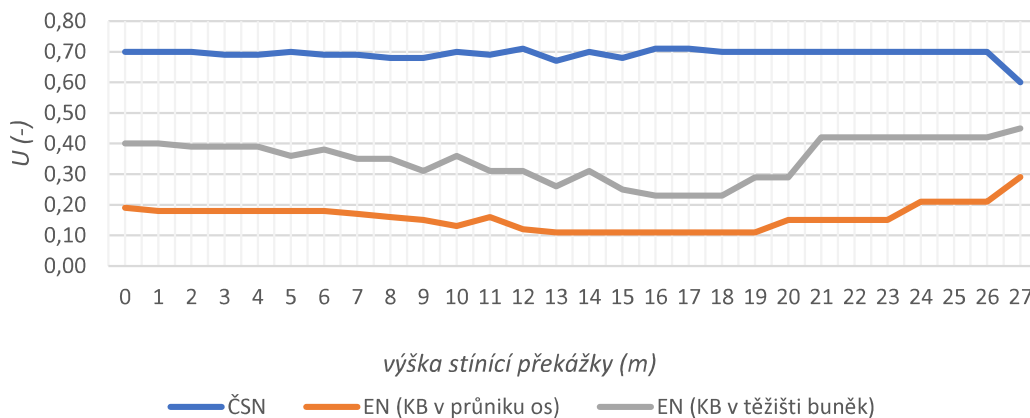
kde: $|k_i|$ – absolutní hodnota směrnice i-tého úseku grafu (-)

3.5.4.2 Výsledky z počítačových simulací

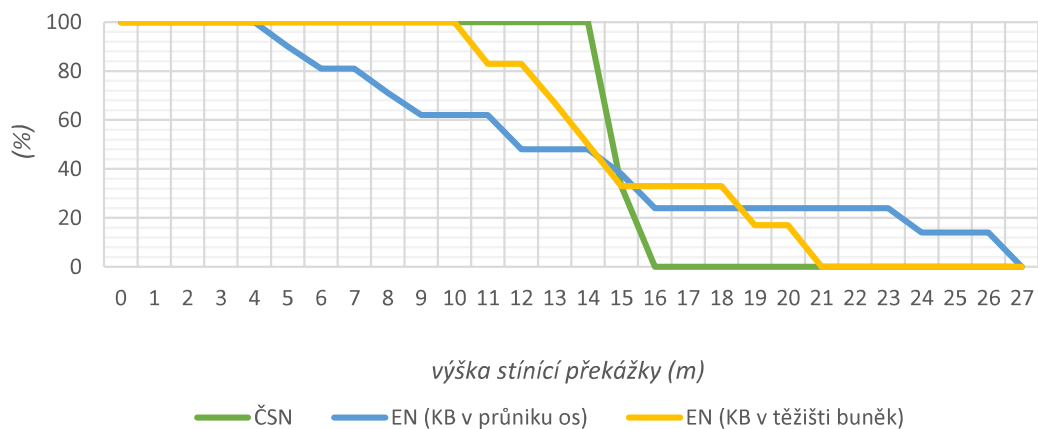
V programu *Světlo+* [9] bylo postupně vymodelováno 252 situací (ty čítali dohromady celkem 4088 kontrolních bodů). Vymodelované situace zahrnují různé tvary místností, normové přístupy a výšky stínících překážek.



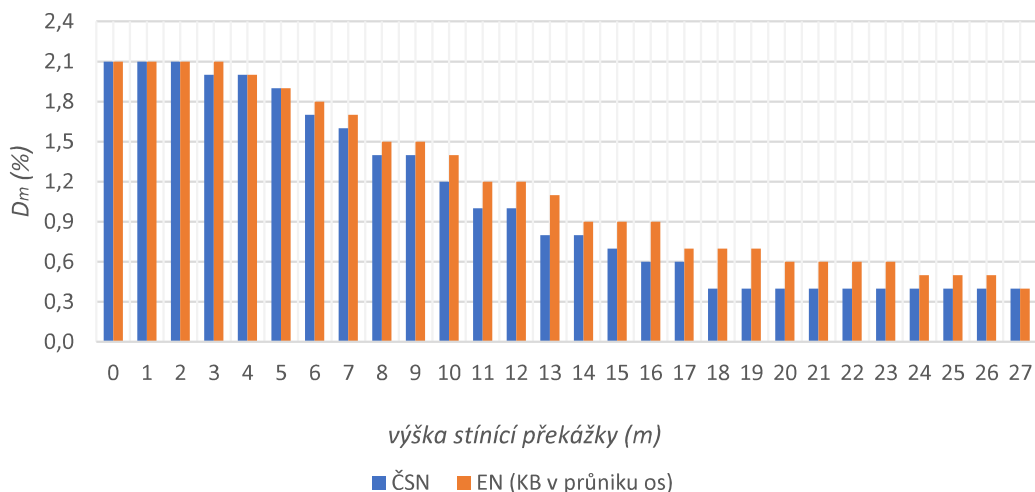
Obr. 111: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na výšku stínící překážky



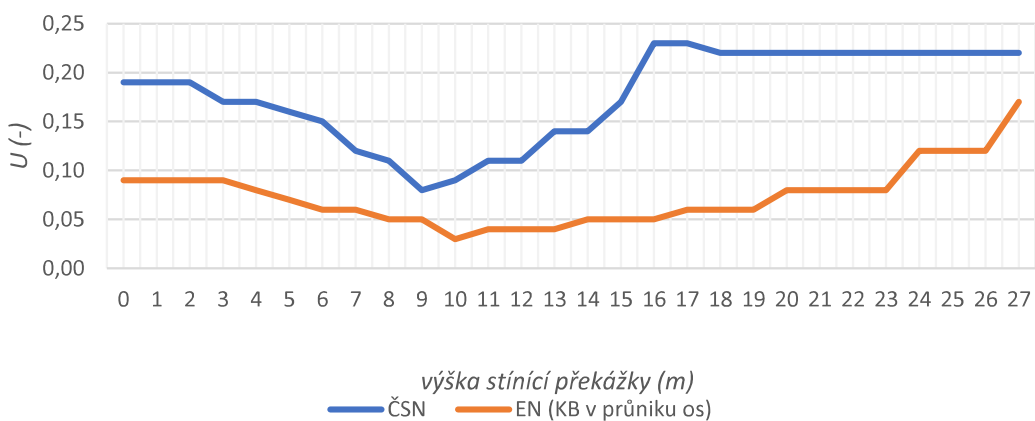
Obr. 112: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×2 m s ohledem na výšku stínící překážky



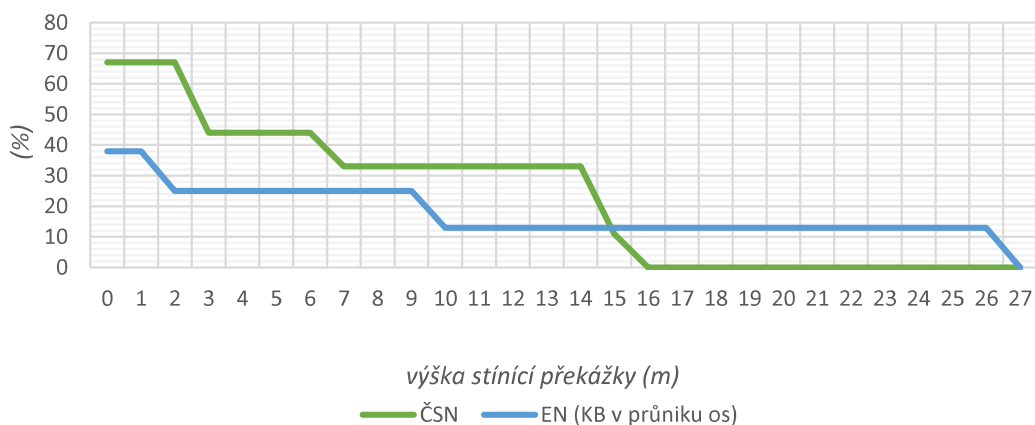
Obr. 113: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×2 m s ohledem na výšku stínící překážky



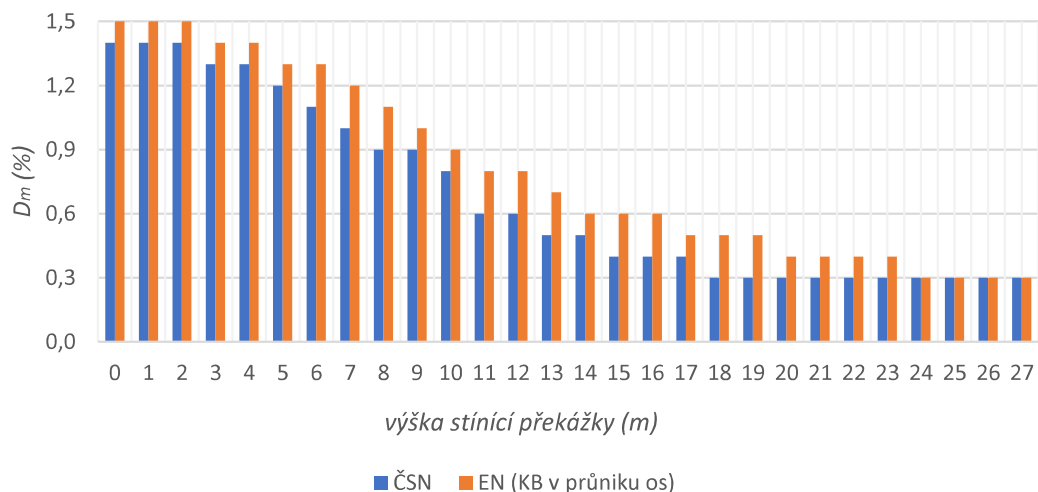
Obr. 114: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na výšku stínící překážky



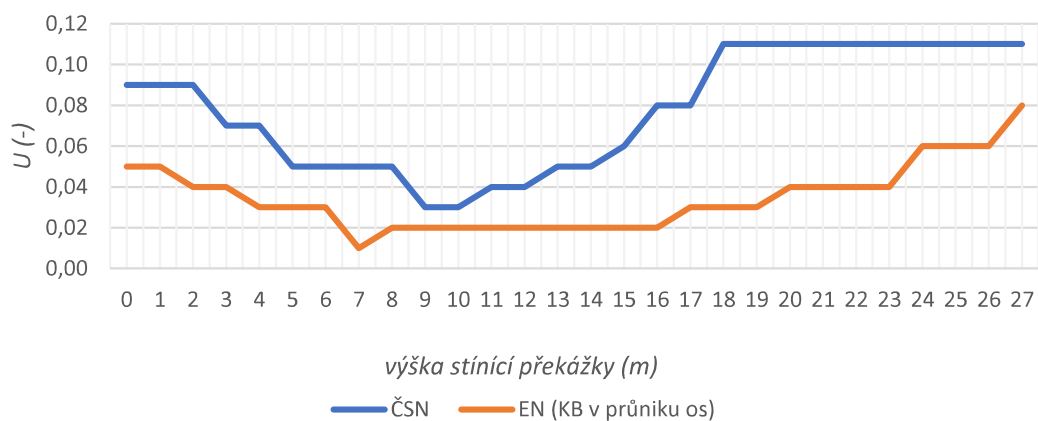
Obr. 115: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×4 m s ohledem na výšku stínící překážky



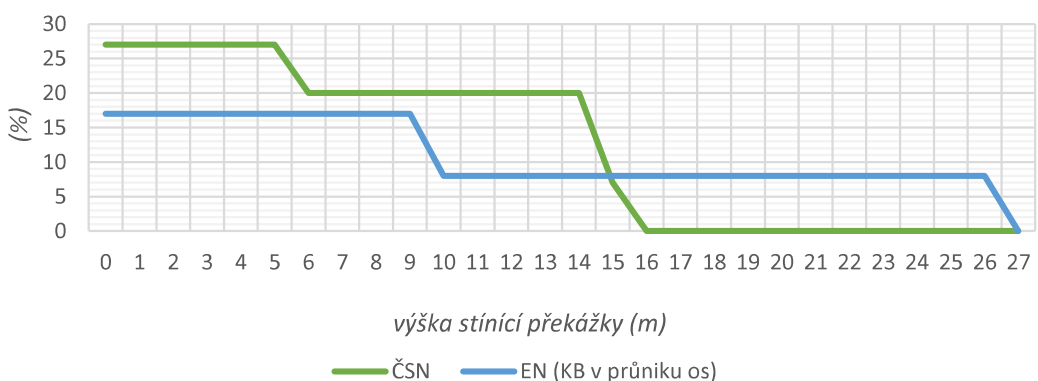
Obr. 116: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×4 m s ohledem na výšku stínící překážky



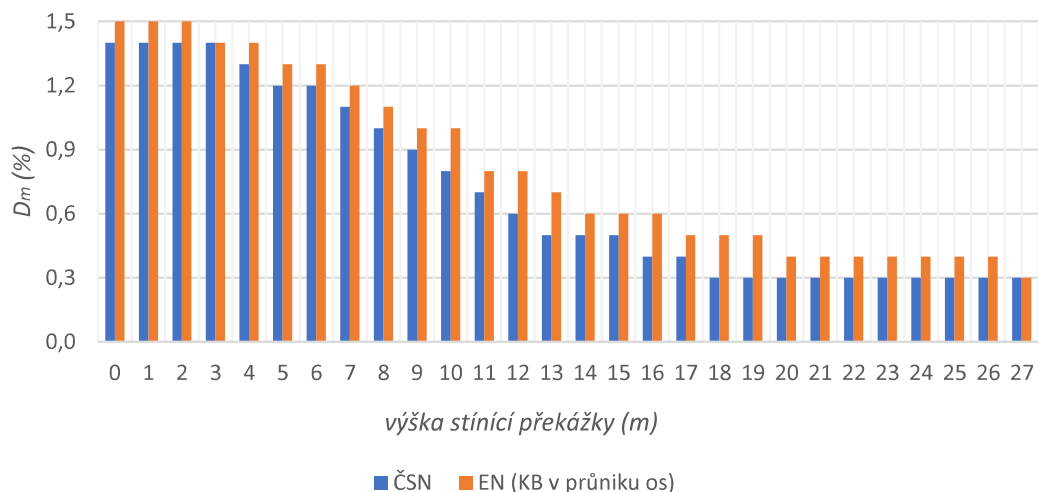
Obr. 117: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na výšku stínící překážky



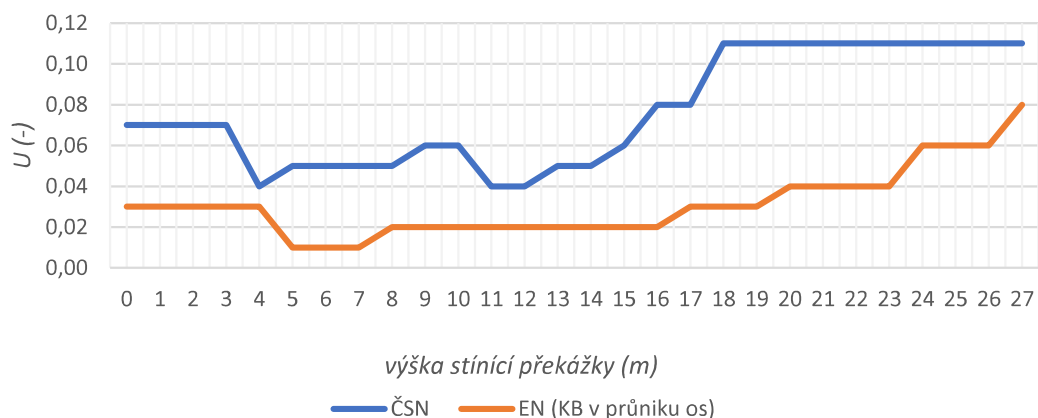
Obr. 118: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 4×6 m s ohledem na výšku stínící překážky



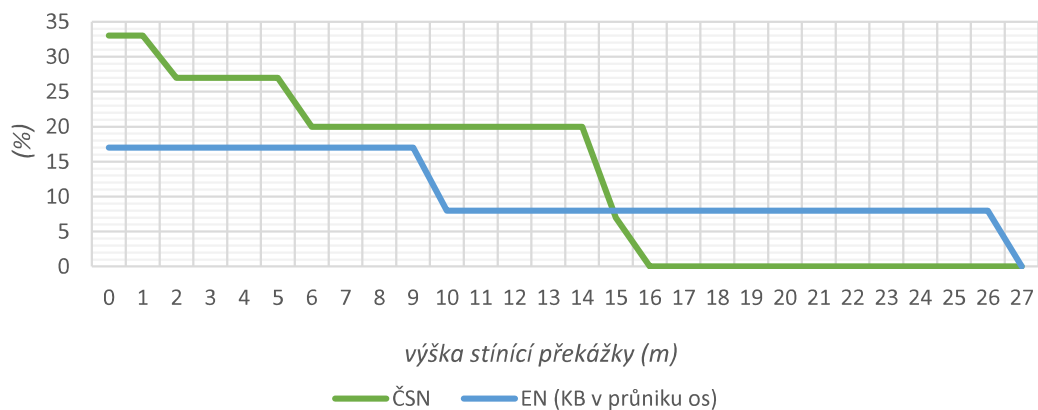
Obr. 119: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 4×6 m s ohledem na výšku stínící překážky



Obr. 120: Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na výšku stínící překážky



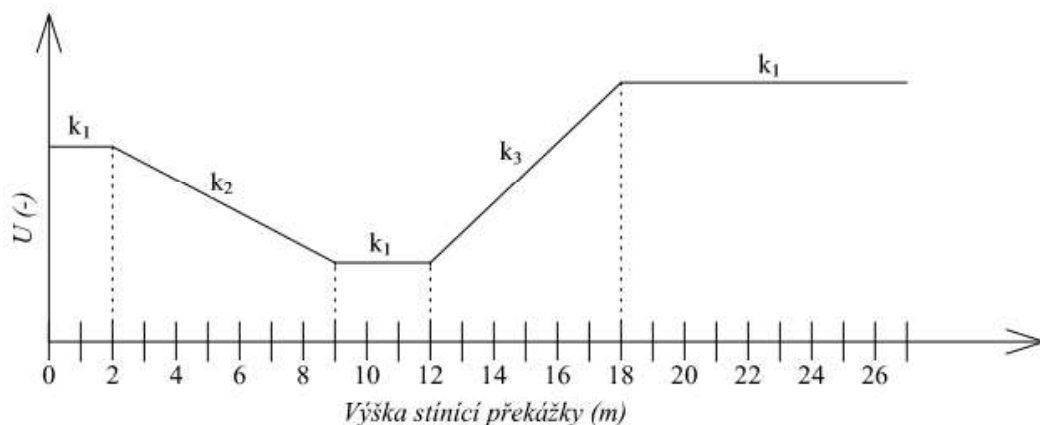
Obr. 121: Rovnoměrnost denního osvětlení v místnosti o rozměrech 6×4 m s ohledem na výšku stínící překážky



Obr. 122: Procento kontrolních bodů, ve kterých je činitel denní osvětlenosti větší nebo roven než 1,5 % v místnosti 6×4 m s ohledem na výšku stínící překážky

3.5.4.3 Zhodnocení výsledků

Rovnoměrnost denního osvětlení vyšla v souladu s předpokladem (vztah 13). Její graf vykazuje většinou postupně konstantní, klesající, stoupající, a nakonec opět konstantní trend, což je způsobeno nestejným poklesem maximální a minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti v síti kontrolních bodů v reakci na změnu výšky stínící překážky, podobně jako na obrázku č. 123.



Obr. 123: Změna trendu rovnoměrnosti denního osvětlení v závislosti na výšce stínící překážky

na obr. 123 značí:

k_1 – Maximální a minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti zjištěné z pravoúhlé sítě kontrolních bodů zůstávají buď neměnné, nebo se obě zmenšují stejným poměrem (např. každá z nich o 20 % své hodnoty).

k_2 – Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti zjištěná z pravoúhlé sítě kontrolních bodů klesá vlivem zvyšující se stínící překážky rychleji, než klesá maximální hodnota činitele denní osvětlenosti v téže síti kontrolních bodů.

k_3 – Maximální hodnota činitele denní osvětlenosti zjištěná z pravoúhlé sítě kontrolních bodů klesá vlivem zvyšující se stínící překážky rychleji, než klesá minimální hodnota činitele denní osvětlenosti v téže síti kontrolních bodů.

Hodnoty průměrného činitele denní osvětlenosti D_m (%) zde vycházejí vyšší při posudcích dle ČSN EN 17037 [19]. To je způsobeno tím, že v kontrolních bodech, které jsou umístěny 0,5 m od vnitřního líce stěny je dosaženo výrazně většího činitele denní osvětlenosti než v bodech umístěných hlouběji v místnosti. Tyto krajní body tak zvyšují průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti.

Tabulka č. 12 uvádí počty místností, které (ne)vyhověly celou svou půdorysnou plochou jako místnosti určené k trvalému pobytu osob, potažmo jako místnosti, které mohou být pravidelně využívány lidmi po delší dobu.

Tab. 12: Počet vyhovujících a nevyhovujících místností

Proměnná modelu	Rozměr místnosti	Normový přístup					
		ČSN ¹		EN-Osy ²		EN-Těžiště ³	
		vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností	vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností	vyhovující počet modelových místností	nevyhovující počet modelových místností
výška	4 × 2 m	15	13	9	19	11	17
průběžné	4 × 4 m	0	28	0	28	-	-
stínící	4 × 6 m	0	28	0	28	-	-
překážky	6 × 4 m	0	28	0	28	-	-

Pozn.: Některé hodnoty v tabulce nejsou uvedeny, neboť pro místnosti větší než 4 × 2 m splývá rozdělení KB dle ČSN¹ a EN - Těžiště³ normového přístupu

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny do průniku os

Pozn. 3: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny těžiště buněk

Místnostem, které jsou v tabulce č. 12 označeny jako nevyhovující, by musela být vymezena funkční plocha, která by půdorysně stanovila část místnosti s požadovanou úrovní denního osvětlení.

V tabulkách č. 13 a 14 byly zprůměrovány výsledné hodnoty pro čtyři skupiny výšek stínících překážek, aby se ukázalo, jaký vliv má rozmístění kontrolních bodů na stanovované veličiny.

Tab. 13: Zprůměrované hodnoty pro výšky stínících překážek 0 až 6 m a 7 až 13 m

Normový přístup	Rozměr místnosti (m)	překážky h = 0 až 6 m			překážky h = 7 až 13 m		
		D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %	D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %
ČSN ¹	4x2	3,81	0,695	100,0	2,63	0,689	100,0
EN - Osy ²		3,69	0,181	95,9	2,60	0,142	61,9
EN - Těžiště ³		3,88	0,390	100,0	2,85	0,338	95,2
ČSN ¹	4x4	1,97	0,175	54,0	1,19	0,109	33,3
EN - Osy ²		2,01	0,081	28,6	1,37	0,042	17,9
ČSN ¹	4x6	1,29	0,070	25,7	0,77	0,040	20,0
EN - Osy ²		1,41	0,038	16,7	0,93	0,017	11,9
ČSN ¹	6x4	1,33	0,058	27,6	0,81	0,049	20,0
EN - Osy ²		1,40	0,023	16,7	0,94	0,017	11,9

Tab. 14: Zprůměrované hodnoty pro výšky stínících překážek 14 až 20 m a 21 až 28 m

Normový přístup	Rozměr místnosti (m)	překážky h = 14 až 20 m			překážky h = 21 až 28 m		
		D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %	D _m (%)	U (-)	procento KB., kde D > 1,5 %
ČSN ¹	4x2	1,14	0,701	19,0	0,79	0,686	0,0
EN - Osy ²		1,38	0,119	29,3	0,89	0,197	16,3
EN - Těžiště ³		1,40	0,256	38,1	0,81	0,399	2,4
ČSN ¹	4x4	0,57	0,204	6,3	0,42	0,222	0,0
EN - Osy ²		0,78	0,059	12,5	0,51	0,110	10,7
ČSN ¹	4x6	0,36	0,084	3,8	0,29	0,111	0,0
EN - Osy ²		0,53	0,030	8,3	0,37	0,055	7,1
ČSN ¹	6x4	0,38	0,084	3,8	0,30	0,111	0,0
EN - Osy ²		0,54	0,030	8,3	0,37	0,055	7,1

Poznámky k tabulce 13 a 14:

Pozn. 1: ČSN 730580-1 [15]

Pozn. 2: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny do průniku os

Pozn. 3: ČSN EN 17037 [19] – kontrolní body umístěny těžiště buněk

4. OVĚŘENÍ NĚKTERÝCH VLASTNOSTÍ OKENNÍCH VÝPLNÍ

Tato kapitola se bude zabývat praktickým měřením hodnot činitele prostupu světla a činitelů znečištění výplně osvětlovacích otvorů.

4.1 Cíle měření

Hlavním cílem tohoto měření bylo potvrdit hodnoty, které udává norma ČSN 730580-1 [15] jako doporučující pro výpočet denního osvětlení. Norma uvádí hodnotu činitele prostupu světla, $\tau_{s,nor}$ (-) pro čiré tabulové sklo o tloušťce 3 až 4 mm takto: $\tau_{s,nor} = 0,92$. Pokud jde o dvojsklo, tak $\tau_{s,dvojskla} = 0,92^2 \approx 0,85$. U trojskla pak $\tau_{s,trojskla} = 0,92^3 \approx 0,78$.

Dále bylo cílem zjistit jaká znečištění budou vykazovat skleněné výplně, pokud z exteriérové strany budou vystaveny po dobu jednoho týdne venkovnímu prostředí v Praze a z vnitřní strany budou simulovány podmínky prašného provozu truhlárny/brusírny. Norma ČSN 730580-1 [15] udává hodnoty znečištění pro vnitřní a vnější stranu okenních výplní v závislosti na sklonu roviny zasklení a na třídě znečištění (malé střední a velké znečištění). V tabulce č. 15 jsou některé normové hodnoty zobrazeny.

Tab. 15: Činitele znečištění dle ČSN 730580-1 [15]

Sklon roviny zasklení	Malé znečištění		Střední znečištění		Velké znečištění	
	$\tau_{z,e}$ (-)	$\tau_{z,i}$ (-)	$\tau_{z,e}$ (-)	$\tau_{z,i}$ (-)	$\tau_{z,e}$ (-)	$\tau_{z,i}$ (-)
svislý (90°)	0,95	0,95	0,90	0,85	0,85	0,65
vodorovný (0°)	0,70	0,95	0,60	0,90	0,50	0,80

Pozn.: Tučně jsou zvýrazněny nejčastěji používané hodnoty

Mírou znečištění vnější strany se rozumí:

- Malé: roční spad prachu do 50 Mg/km² (což je převážně volná krajina a města do 2000 obyvatel)
- Střední: roční spad prachu od 50 do 200 Mg/km² (což je převážně většina měst)
- Velké: roční spad prachu nad 200 Mg/km² (což odpovídá většinou průmyslové oblasti)

Mírou znečištění vnitřní strany se rozumí:

- Malé: čisté prostory (byty, školy, kanceláře)
- Střední: prostory s běžnými zdroji prachu (čisté dílny)
- Velké: prostory s významným zdrojem prachu (brusírny, truhlárny)

4.2 Použité přístroje

K měření jasu byl použit jasoměr *Konika Minolta LS 110*, který je ve vlastnictví katedry konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze. Jasoměr *Konika Minolta LS 110* má tyto vlastnosti:

- úhel pohledu = 9°
- úhel měření $\approx 0,333^\circ$
- rozsah měřitelného jasu: 0,001 až 299 900 cd/m²
- zaostřovací vzdálenost: od 1,014 m až do „nekonečna“



Obr. 124: jasoměr *Konika Minolta LS 110*

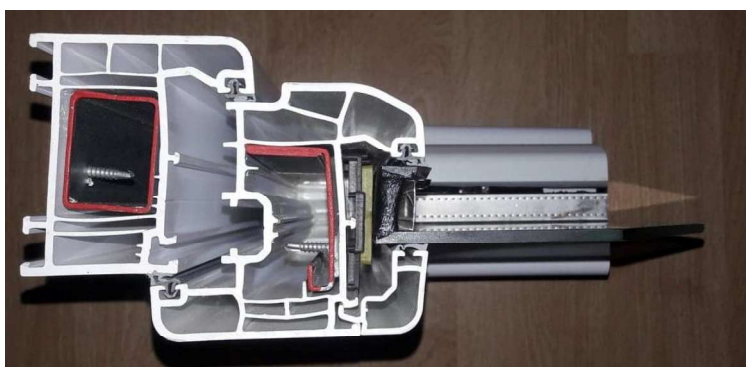
4.3 Okenní výplně

Pro potřeby měření této diplomové práce byly použity vzorky okenních výplní od firmy *Maskop99* [12], tato firma vyrábí rámy oken a skleněné výplně do jejich

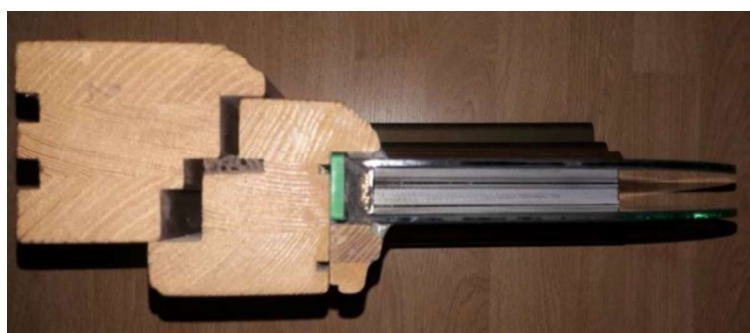
výrobků dodává firma *AGC Processing Teplice a.s* [13]. Firmou *Maskop 99* [12] bylo poskytnuto celkem 7 vzorků okenních výplní s dvěma různými typy zasklení (dvojsklo a trojsklo). Poté z jednoho okenního rámu s dvojsklem bylo hrubým zásahem vytvořeno prosté zasklení s pouze jednou skleněnou tabulí. V tabulce č. 16 jsou uvedeny všechny použité vzorky výplní a vlastnosti jejich zasklení.

Tab. 16: Parametry vzorků okenních výplní

Č. vzorku	Materiál rámu	Parametry zasklení		
		počet skel	tl. skla	tl. mezery
		(ks)	(mm)	(mm)
1	plast	1	4	16
2	dřevo	2		
3	dřevo	2		
4	dřevo	2		
5	dřevo	2		
6	dřevo	3		
7	dřevo	3		



Obr. 125: Vzorek okenní výplně č. 1 (prosté zasklení)



Obr. 126: Vzorek okenní výplně č. 2 (dvojsklo)



Obr. 127: Vzorek okenní výplně č. 7 (trojsklo)

4.4 Průběh měření

4.4.1 Činitel prostupu světla

Norma ČSN 360011-2 [20] udává dva možné způsoby měření. Buď se měří hodnoty činitele prostupu difúzního světla pomocí luxmetru nebo se měří hodnota normálového činitele prostupu světla pomocí jasoměru. V této práci byla použita druhá metoda, měření pomocí jasoměru.

Zjišťování normálové hodnoty činitele prostupu světla dle normy ČSN 360011-2 [20] se má provádět tak, že se jasoměrem měří jas oblohy či jiného pozadí směrem kolmo na světlo propustný materiál okenní výplně a bezprostředně potom se měří jas stejného pozadí otevřeným otvorem.

Měření probíhalo v těchto krocích:

- 1) Okenní výplň byla řádně vyčištěna za pomoci saponátu a utěrky z mikrovláken.
- 2) Okno bylo postaveno na stůl zhruba 450 mm před objektiv jasoměru.
- 3) Jasoměr byl zaostřen na pozadí, které tvořila obloha nebo bílá stěna ve vzdálenosti zhruba 1300 mm od objektivu jasoměru.
- 4) Proběhlo měření jasu stěny přes okenní výplň.
- 5) Bezprostředně po stanovení jasu byl okenní rám z lavice odstraněn a byl změřen jas stejného místa na bílé stěně bez okenní výplně. Prodleva mezi oběma měřeními byla vždy zhruba 2 sekundy.
- 6) Hodnoty byly zaznamenány do tabulky a poté bylo provedeno vyhodnocení měřené veličiny a vypočtena nejistota.



Obr. 128: Měření jasu skrze okenní výplň (dvojsklo)

4.4.2 Činitel znečištění

Norma ČSN 360011-2 [20] udává dva možné způsoby měření. Měří se buďto pomocí luxmetru, jehož čidlo je přiloženo rovnoběžně k povrchu skleněné tabule, nebo se měří jasoměrem kolmo k rovině zasklení. V této diplomové práci byla použita druhá metoda (měření za pomoci jasoměru).

Měření probíhalo v těchto krocích:

- 1) Vzorky okenních výplní (č. 3 a č. 6 viz tabulka 16) byly umístěny do vodorovné polohy na střeše budovy B Fakulty stavební ČVUT v Praze, kde byly vystaveny povětrnostním vlivům po dobu jednoho týdne.
- 2) Vzorky oken byly přemístěny do učebny Fakulty stavební, kde probíhalo měření. U vzorku č. 3 a č. 6 byla vyčištěna polovina exteriérové strany a pomocí nitě byl označen předěl těchto dvou částí.
- 3) Za použitím prachu z dřevěných pilin byla znečištěna interiérová strana tak, aby znečištění vizuálně odpovídalo znečištění v truhlářské dílně.



Obr. 129: Znečištění interiérové strany okna prachem z dřevěných pilin



Obr. 130: Výsledné znečištění interiérové strany okenní výplně

- 4) Okna byla umístěna proti pozadí (zatažený závěs v učebně, bílá stěna a zatažená obloha) a postupně byly měřeny hodnoty jasů skrze okenní výplň znečištěnou z obou stran, poté s vyčištěným vnějším povrchem. A následně s oboustranně vyčištěným povrchem. Na měření s oběma povrchy čistými byly kvůli současnosti měření použity vzorek okenní výplně č. 2 a č. 7, která měla stejný druh zasklení jako špinavé vzorky.
- 5) Výsledky byly zapsány do tabulky a pomocí vzorců 15 až 18 byly stanoveny hodnoty činitele znečištění na vnější a vnitřní straně.

4.5 Výsledky měření

4.5.1 Činitel prostupu světla

V tabulkách č. 17 až 19 jsou uvedeny naměřené hodnoty, pomocí kterých byl stanoven činitel prostupu světla, a vypočteny nejistoty pomocí vzorců 15 až 17.

$$u_S = k_S \cdot u_A \quad (15)$$

kde: u_S – rozšířená nejistota (-)

k_S – koeficient rozšíření (pro 95% pravděpodobnost $k_S = 2$)

u_A – výběrová směrodatná odchylka výběrového průměru (-) neboli nejistota typu A (viz vztah 16)

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (16)$$

kde: n – počet naměřených hodnot (-)

x_i – naměřená hodnota i -tého měření

\bar{x} – aritmetický průměr z naměřených hodnot, vypočten dle vztahu 17

Obecně se nejistota měření typu A nechá uplatnit pro statistický soubor, který má více než 10 dat. Pokud je dat méně, násobí se nejistota typu A ještě koeficientem k_a , jehož velikost závisí na počtu statistických dat (měření). Norma ČSN 360011-1 [21] však udává, že dat musí být minimálně 20. V této diplomové práci bude počítána nejistota typu A pro soubory s větším počtem dat než 10.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (17)$$

Činitel prostupu světla ve směru kolmém k povrchu materiálu propouštějící světlo (ve směru normály) byl stanoven na základě vztahu 18:

$$\tau_{s,nor} = \frac{L_S}{L_O} \quad (18)$$

kde: $\tau_{s,nor}$ – činitel prostupu světla ve směru normály (-)

L_S – jas pozadí měřený skrze osvětlovací otvor (cd/m^2)

L_O – jas stejného pozadí změřený bez osvětlovacího vlivu osvětlovacího otvoru (změřený bezprostředně po stanovení L_S) (cd/m^2)

Norma ČSN 360011-1 [21] také stanovuje, že pro výpočet celkové nejistoty se uvažuje ještě s nejistotou typu B, do níž se započítávají jednotlivé parametry ovlivňující přesnost měření jako je např. kalibrace přístrojů, chyby měřičů atd. Dále je v ní uvedeno, že celková nejistota se uvádí v % a podle velikosti nejistoty se rozlišuje *přesné měření* (kde celková rozšířená nejistota $U \leq 8,0 \%$), *provozní měření* (kde celková rozšířená nejistota $8,0 \% < U \leq 14,0 \%$) a *orientační měření* (kde celková rozšířená nejistota $14,0 \% < U \leq 20,0 \%$). V této diplomové práci bude uveden pouze interval hodnot ohraničující zhola a shora rozšířenou nejistotou typu A měřenou veličinu.

4.5.1.1 Jednoduché zasklení

V tabulce č. 17 jsou uvedeny výsledky naměřených hodnot.

Tab. 17: Naměřené hodnoty a činitel prostupu světla pro jednoduché zasklení

Zasklení	Č. měření	Označení vzorku, na kterém probíhalo měření	L_s (cd/m^2)	L_o (cd/m^2)	$\tau_{s,nor}$ (-)
jednoduché (4 mm)	1	1	104,50	109,80	0,952
	2		102,80	112,50	0,914
	3		104,40	108,50	0,962
	4		103,50	108,10	0,957
	5		106,80	113,70	0,939
	6		101,90	112,20	0,908
	7		104,80	109,60	0,956
	8		103,70	106,80	0,971
	9		41,39	44,92	0,921
	10		55,93	58,78	0,952
	11		40,99	44,44	0,922
	12		39,68	42,91	0,925
	13		46,46	47,79	0,972
	14		42,30	45,22	0,935
	15		48,15	52,13	0,924
	16		40,08	43,81	0,915
	17		41,47	44,62	0,929
	18		40,01	43,36	0,923
	19		43,54	47,26	0,921
	20		39,68	43,01	0,923
aritmetický průměr:			$\bar{x} = 0,936$		
chyba aritmetického průměru:			$u_A = 0,004$		
rozšířená nejistota na 95 %:			$u_S = \pm 0,009$		

Z tabulky č. 17 je vidět, že hodnota činitele prostupu světla vyšla v intervalu [0,927; 0,945], což je mimo normou ČSN 730580-1 [15] uvažovanou hodnotu činitele prostupu světla jednoduchým zasklením 0,92. Měřením jsme se nedostali do očekávaného rozmezí.

4.5.1.2 Dvojitě zasklení

Pro výpočet činitele prostupu světla a stanovení nejistoty byly použity stejné výpočetní vztahy jako u jednoduchého zasklení (vztahy 15 až 18). V následující tabulce jsou vidět výsledky naměřených hodnot.

Tab. 18: Naměřené hodnoty a činitel prostupu světla pro dvojitě zasklení

Zasklení	Č. měření	Označení vzorku, na kterém probíhalo měření	L_s (cd/m^2)	L_o (cd/m^2)	$\tau_{s,\text{dvojskla}}$ (-)
dvojsklo (2 × 4 mm)	1	2	15,67	19,61	0,799
	2		90,40	106,20	0,851
	3		89,34	108,50	0,823
	4		16,46	20,83	0,790
	5		52,25	63,82	0,819
	6	3	15,73	18,57	0,847
	7		15,30	18,77	0,815
	8		17,10	20,40	0,838
	9		17,02	20,76	0,820
	10		17,85	20,53	0,869
	11	4	17,05	20,79	0,820
	12		16,06	19,66	0,817
	13		16,97	20,50	0,828
	14		17,37	20,85	0,833
	15		17,09	20,56	0,831
	16	5	16,90	20,47	0,826
	17		17,35	20,92	0,829
	18		16,53	20,20	0,818
	19		17,40	20,79	0,837
	20		17,30	20,67	0,837
aritmetický průměr:			$\bar{x} = 0,827$		
chyba aritmetického průměru:			$u_A = 0,004$		
rozšířená nejistota na 95 %:			$u_S = \pm 0,008$		

Z tabulky 18 je vidět, že hodnota činitele prostupu světla vyšla v intervalu [0,819; 0,835], tento interval je mimo normou ČSN 730580-1 [15] očekávanou hodnotou činitele prostupu světla dvojsklem ($\approx 0,846$).

4.5.1.3 Trojitě zasklení

Pro výpočet činitele prostupu světla a stanovení nejistoty byly použity stejné výpočetní vztahy jako u jednoduchého zasklení (vztahy 15 až 18). V následující tabulce jsou vidět výsledky naměřených hodnot.

Tab. 19: Naměřené hodnoty a činitel prostupu světla pro trojitě zasklení

Zasklení	Č. měření	Označení vzorku, na kterém probíhalo měření	L_s (cd/m^2)	L_o (cd/m^2)	$\tau_{s,\text{trojskla}}$ (-)
trojsklo (3 × 4 mm)	1	6	15,04	19,50	0,771
	2		15,22	20,21	0,753
	3		15,30	20,17	0,759
	4		15,54	21,10	0,736
	5		14,71	19,17	0,767
	6		15,33	20,23	0,758
	7		15,52	20,85	0,744
	8		15,72	21,35	0,736
	9		16,78	22,11	0,759
	10		16,74	21,69	0,772
	11	7	16,37	21,64	0,756
	12		16,69	22,49	0,742
	13		15,86	21,51	0,737
	14		16,90	21,91	0,771
	15		16,50	21,65	0,762
	16		16,67	22,15	0,753
	17		16,24	21,95	0,740
	18		16,90	22,00	0,768
	19		16,46	22,00	0,748
	20		16,40	21,93	0,748
aritmetický průměr:			$\bar{x} = 0,754$		
chyba aritmetického průměru:			$u_A = 0,003$		
rozšířená nejistota na 95 %:			$u_S = \pm 0,005$		

Z tabulky 19 je vidět, že hodnota činitele prostupu světla vyšla v intervalu [0,749; 0,759], tento interval je mimo normou ČSN 730580-1 [15] očekávanou hodnotou činitele prostupu světla dvojsklem ($\approx 0,779$).

4.5.2 Činitel znečištění

V tabulkách č. 20 až 22 jsou uvedeny naměřené hodnoty, které byly spočteny na základě vztahů 15 až 17 a 19 až 21. Značení v následujících rovnicích (19 až 21) odpovídá značení ze skript *Stavební světelná technika - cvičení* [14]

$$\tau_{z,e} = \frac{L_{zo}}{L_{\check{c}v}} \quad (19)$$

$$\tau_{z,i} = \frac{L_{\check{c}v}}{L_{\check{c}o}} \quad (20)$$

$$\tau_z = \frac{L_{zo}}{L_{\check{c}o}} = \tau_{z,i} \cdot \tau_{z,e} \quad (21)$$

kde: $\tau_{z,e}$ – činitel znečištění na vnější straně (-)

$\tau_{z,i}$ – činitel znečištění na vnitřní straně (-)

τ_z – celková hodnota činitele znečištění (-)

L_{zo} – jas výplně osvětlovacího otvoru při oboustranně znečištěném povrchu (cd/m^2)

$L_{\check{c}v}$ – jas výplně osvětlovacího otvoru s vyčištěným vnějším povrchem (cd/m^2)

$L_{\check{c}o}$ – jas výplně osvětlovacího otvoru s oboustranně vyčištěným povrchem (cd/m^2)

Tab. 20: Naměřené hodnoty a činitele znečištění na vnitřní a vnější straně

Zasklení	Č. měření	Označení vzorku, na kterém probíhalo měření	L_{zo} (cd/m^2)	$L_{\check{c}v}$ (cd/m^2)	$L_{\check{c}o}$ (cd/m^2)	$\tau_{z,i}$ (-)	$\tau_{z,e}$ (-)	
dvojsklo (2 × 4 mm)	1	2 a 3	222,90	260,10	-	0,857	-	
	2		230,20	266,70	-	0,863	-	
	3		230,30	269,60	-	0,854	-	
	4		176,00	202,50	-	0,869	-	
	5		173,20	200,10	-	0,866	-	
	6		183,40	212,70	-	0,862	-	
	7		-	8,04	9,22	-	0,872	
	8		-	211,40	242,50	-	0,872	
	9		-	239,70	274,00	-	0,875	
	10		-	242,20	274,00	-	0,884	
	11		-	340,90	391,20	-	0,871	
	12		-	359,00	412,50	-	0,870	
aritmetický průměr:						$\bar{x} =$	0,862	0,874

Tab. 21: Naměřené hodnoty a činitele znečištění na vnitřní a vnější straně

Zasklení	Č. měření	Označení vzorku, na kterém probíhalo měření	L_{zo} (cd/m^2)	$L_{\check{c}v}$ (cd/m^2)	$L_{\check{c}o}$ (cd/m^2)	$\tau_{z,i}$ (-)	$\tau_{z,e}$ (-)	
trojsklo (3 × 4 mm)	13	6 a 7	51,22	57,09	61,50	0,897	0,928	
	14		53,74	63,11	-	0,852	-	
	15		34,32	39,69	-	0,865	-	
	16		35,12	41,15	-	0,853	-	
	17		34,98	39,73	42,36	0,880	0,938	
	18		35,03	39,09	41,88	0,896	0,933	
	19		35,46	39,60	41,19	0,895	0,961	
	20		54,97	61,45	-	0,895	-	
	21		53,74	63,11	-	0,852	-	
	22		49,43	57,27	-	0,863	-	
	23		35,44	40,73	-	0,870	-	
	24		-	30,10	31,72	-	0,949	
	25		-	30,52	31,77	-	0,961	
	26		-	30,60	31,74	-	0,964	
	27		-	30,74	32,10	-	0,958	
	28		-	31,49	33,56	-	0,938	
	29		-	31,43	33,04	-	0,951	
30	-	33,15	34,77	-	0,953			
aritmetický průměr:						x =	0,874	0,949

Pozn. k tabulce č. 20 a 21: U proškrtaných buněk nebyly změřeny hodnoty kvůli současnosti měření (jas oblohy se měnil poměrně rychle)

Z tabulek č. 20 a 21 je patrné, že průměrné hodnoty činitele znečištění na vnitřní straně se liší jen o dvanáct tisícín. To znamená, že skla byla zhruba stejně zašpiněná. Oproti tomu hodnoty činitele znečištění na vnější straně se liší o sedmdesát pět tisícín. Z toho lze usoudit, že okna, přestože byla vystavena povětrnostním vlivům po stejnou dobu a na stejném místě, byla nejspíše vlivem odšťikující vody při dešti zašpiněna nesterjně. Proto v následující tabulce č. 22 jsou spočteny hodnoty činitelů znečištění z obou vzorků (tj. oken č. 3 a č. 6) a jsou zde vypočteny i nejistoty.

Tab. 22: Naměřené hodnoty a činitele znečištění na vnitřní a vnější straně

Zasklení	Č. měření	Označení vzorku, na kterém probíhalo měření	L_{zo} (cd/m^2)	$L_{\check{c}v}$ (cd/m^2)	$L_{\check{c}o}$ (cd/m^2)	$\tau_{z,i}$ (-)	$\tau_{z,e}$ (-)	
dvojsklo (2 × 4 mm)	1	2 a 3	222,90	260,10	-	0,857	-	
	2		230,20	266,70	-	0,863	-	
	3		230,30	269,60	-	0,854	-	
	4		176,00	202,50	-	0,869	-	
	5		173,20	200,10	-	0,866	-	
	6		183,40	212,70	-	0,862	-	
	7		-	8,04	9,22	-	0,872	
	8		-	211,40	242,50	-	0,872	
	9		-	239,70	274,00	-	0,875	
	10		-	242,20	274,00	-	0,884	
	11		-	340,90	391,20	-	0,871	
	12		-	359,00	412,50	-	0,870	
trojsklo (3 × 4 mm)	13	6 a 7	51,22	57,09	61,50	0,897	0,928	
	14		53,74	63,11	-	0,852	-	
	15		34,32	39,69	-	0,865	-	
	16		35,12	41,15	-	0,853	-	
	17		34,98	39,73	42,36	0,880	0,938	
	18		35,03	39,09	41,88	0,896	0,933	
	19		35,46	39,60	41,19	0,895	0,961	
	20		54,97	61,45	-	0,895	-	
	21		53,74	63,11	-	0,852	-	
	22		49,43	57,27	-	0,863	-	
	23		35,44	40,73	-	0,870	-	
	24		-	30,10	31,72	-	0,949	
	25		-	30,52	31,77	-	0,961	
	26		-	30,60	31,74	-	0,964	
	27		-	30,74	32,10	-	0,958	
	28		-	31,49	33,56	-	0,938	
	29		-	31,43	33,04	-	0,951	
	30		-	33,15	34,77	-	0,953	
aritmetický průměr:						$\bar{x} =$	0,870	0,922
chyba aritmetického průměru:						$u_A =$	0,004	0,009
rozšířená nejistota na 95 %:						$u_S = \pm$	0,008	0,018

Pozn.: U proškrtaných buněk nebyly změřeny hodnoty kvůli současnosti měření (jas oblohy se měnil poměrně rychle).

Z tabulky je vidět, že činitel znečištění na vnitřní straně vychází v intervalu [0,862; 0,878] a činitel znečištění na vnější straně vychází v intervalu

[0,904; 0,940]. Z těchto krajních mezí lze dopočítat celkový činitel znečištění dle vztahu (21), který vyjde v intervalu [0,779; 0,825].

4.6 Zhodnocení výsledků

U měření činitele prostupu světla jsme se ani s jedním měřením nedostali do normou (ČSN 730580-1 [15]) očekávaných hodnot, i přestože se výsledky lišily jen nepatrně, jak ukazuje tabulka č. 23.

Tab. 23: Vyhodnocení činitele prostupu světla

Činitel prostupu světla			
Zasklení	naměřeno	očekáváno	rozdíl
	τ_s , měřeno (-)	τ_s , očekáváno (-)	$\Delta\tau_s$ (%)
jednoduché	[0,927; 0,945]	0,920	0,76 až 2,71
dvojitě	[0,819; 0,835]	0,846	-3,24 až -1,35
trojitě	[0,749; 0,759]	0,779	-3,81 až -2,53

Výsledky znečištění jsou zachyceny v tabulce č. 24, jejich hodnoty budou přiřazeny k nejbližším hodnotám z tabulky č. 15 (*Činitele znečištění dle ČSN 730580-1 [15]*).

Tab. 24: Vyhodnocení činitele znečištění

Činitele znečištění			
naměřeno		normové hodnoty ¹	
$\tau_{z,i}$ (-)	$\tau_{z,e}$ (-)	$\tau_{z,i}$ (-)	$\tau_{z,e}$ (-)
[0,862; 0,878]	[0,904; 0,940]	0,85	0,9 až 0,95
		odpovídající normové označení znečištění	
		střední	malé až střední

Pozn. 1: dle normy ČSN 730580-1 [15]

5. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo posoudit požadavky kladené na denní osvětlení v závislosti na účelu prostoru z pohledu dosavadních norem ČSN 730580-1 až 4 [15 až 18] a nově vzniknuvší normy ČSN EN 17037 [19]. To, jak normy přistupují k posudku a rozmístění kontrolních bodů, je uvedeno v první části této práce.

Dále byly navrženy modelové místnosti, u kterých bylo vypočteno přesné množství denního světla a jeho rovnoměrnost podle obou normových přístupů tak, že místnosti byly zařazeny do navzájem si odpovídajících kategorií užívání. U těchto místností dále probíhala změna parametrů, které mají vliv na množství a rozložení denního světla (konkrétně šlo o průběžnou stínící překážku, parametry okenních výplní a předsazené konstrukce). V závislosti na změně těchto parametrů byly vytvářeny posudky podle obou norem.

Celkem bylo posouzeno na 9664 kontrolních bodů a z těchto dat vyhotoveno porovnání obou normových přístupů.

Ukázalo se, že hodnoty rovnoměrnosti denního osvětlení vycházejí příznivěji pokud se použije normový přístup ČSN 730580-1 [15]. A hodnoty průměrného činitele denní osvětlenosti vycházejí většinou vyšší při použití normového přístupu ČSN EN 17037 [19]. Dle mého názoru by norma ČSN EN 17037 [19] měla ještě nezpochybnitelně stanovit, zda se kontrolní body umísťují na osy sítě nebo do těžiště plošek osami vytyčených.

V závěru této práce byly dále měřeny některé z parametrů okenních výplní, konkrétně činitel prostupu světla a činitel znečištění. Tato měření lze brát pouze jako orientační, neboť nebyly striktně dodrženy zásady, které udává norma ČSN 360011-1 a 2 [20 a 21].

Pokračování této práce by mohlo spočívat v rozšíření spektra okrajových podmínek, zvětšení rozmanitosti a počtu modelových místností a upravení některých parametrů jako jsou např. odrazivost povrchů. Dále by bylo žádoucí vytvořit počítačový program nebo algoritmus na stanovení maximální možné funkčně vymezené plochy místnosti, kde jsou splněny požadavky normy ČSN EN 17037 [19] (konkrétně požadavek na cílový činitel denní osvětlenosti a minimální cílový činitel denní osvětlenosti).

6. LITERATURA

- [1] *EARCH* [online]. [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <http://www.earch.cz/cs/revue/indoor-generation-travi-uvnitř-budov-az-90-casu-kvalita-vnitřního-prostředí-se-vsak-prehlíží>
- [2] *Časopis SVĚTLO* [online]. 2000 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/fyzikalni-podstata-svetla--16967>
- [3] PODOLSKÝ, Jiří. *$E=mc^2$ a jaderná energie* [videozáznam dostupný z <https://www.youtube.com/watch?v=mP-DqZeYnyM>], MFF FDP 2.3.2017.
- [4] HAWKING, Stephen. *Stručná historie času v obrazech*. Argo, 2002. ISBN 80-7203-422-7.
- [5] *TZB-info* [online]. [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/1794-vliv-svetla-a-osvetleni-na-cloveka>
- [6] *Česká republika - Ministerstvo zdravotnictví* [online]. [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/dokumenty/modre-svetlo-negativne-ovlivnuje-kvalitu-spanku-odbornici-doporucuji-dodrzovat-_16949_3970_1.html
- [7] *Časopis SVĚTLO* [online]. 1.12.2015 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/vliv-svetla-na-nase-zdravi-aneb-hygiena-osvetlovani--1294>
- [8] VYCHYTIL, Jaroslav a KAŇKA, Jan. *Stavební světelná technika: přednášky*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-06060-5.
- [9] JpSoft s. r. o. *SVĚTLO+* [software] Software pro denní osvětlení a oslunění budov. Informace na www.svetloplus.cz
- [10] *OKNA.EU* [online]. [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://www.okna.eu/produkty>
- [11] Interview s Jiřím ŽOFKOU, zaměstnancem firmy Okna.Eu, Praha 22. 11. 2019.

- [12] *Firma Maskop 99* [online]. [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <http://www.maskop99.cz/kontakt-ni-informace>
- [13] *AGC Processing Teploce a.s.* [online]. [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://www.agc-processing.cz/kontaktuj-te-nas/>
- [14] VYCHYTIL, Jaroslav. *Stavební světelná technika: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978–80–01–058–58–9.
- [15] ČSN 73 0580-1: *Denní osvětlení budov. Část 1: Základní požadavky*. Praha: ČIN. 2007, 24 s. Zohledněny změny Z1 z r. 2011, Z2 z r. 2011.
- [16] ČSN 73 0580-2: *Denní osvětlení budov. Část 2: Denní osvětlení obytných budov*. Praha: ČIN. 2007, 4 s. Zohledněna oprava 1 z r. 2014.
- [17] ČSN 73 0580-3: *Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení průmyslových budov*. Praha: ČIN. 1994, 8 s. Zohledněny změny Z1 z r. 1996, Z2 z r. 1999.
- [18] ČSN 73 0580-4: *Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení škol*. Praha: ČIN. 1994, 8 s. Zohledněny změny Z1 z r. 1996, Z2 z r. 1999.
- [19] ČSN EN 17037: *Denní osvětlení budov*. Praha: ČIN. 2019, 56 s.
- [20] ČSN 360011-1: *Měření osvětlení prostorů. Část 1: Základní ustanovení*. Praha: ČIN. 2014, 16 s.
- [21] ČSN 360011-2: *Měření osvětlení prostorů. Část 1: Měření denního osvětlení*. Praha: ČIN. 2014, 12 s.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Excelové tabulky s maticemi kontrolních bodů

Příloha B – Vymodelované místnosti v programu Světlo+

Příloha C – Izofoty každého posouzeného modelového stavu

Všechny uvedené přílohy jsou v elektronické podobě umístěny na příloženém CD.