

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ARCHITEKTURY

ÚSTAV STAVITELSTVÍ II



EXPERIMENTÁLNÍ MOBILNÍ LABORATOŘ DENNÍHO
OSVĚTLENÍ A OSLUNĚNÍ

HABILITAČNÍ PRÁCE

Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

2021

Poděkování:

Tímto bych ráda poděkovala všem, kteří se na této práci podíleli. Poděkování patří zejména Doc. Ing. Daniele Bošové, Ph.D., Doc. Ing. Stanislavu Darulovi, CSc. za jejich konzultace, diskuze a věcné připomínky. Dále pak Ing. arch. Markovi Pavlasovi, Ph.D. a Ing. arch. Martinovi Majnovi za architektonickou spolupráci. Děkuji, patří i rodině, která mě celou dobu podporovala. V neposlední řadě musím poděkovat Fakultě architektury ČVUT v Praze za poskytnutí pracovního a vědeckého zázemí.

Obsah

| | |
|--|-----|
| 1. Úvod | 1 |
| 2. Denní světlo..... | 3 |
| 2.1. Přímé sluneční světlo..... | 9 |
| 2.2. Oblohové světlo..... | 15 |
| 3. Měření v oblasti světelné techniky..... | 20 |
| 4. Experimentální laboratoř denního osvětlení a oslunění | 37 |
| 4.1. Zadání | 37 |
| 4.2. Architektonický návrh mobilní experimentální laboratoře | 42 |
| 4.3. Přístrojové vybavení experimentální mobilní laboratoře | 52 |
| 4.3.1. Luxmetry Radiolux 111 + příslušné fotometrické hlavy | 53 |
| 4.3.2. Photometer/Radiometer 211 + příslušné fotometrické hlavy | 59 |
| 4.3.3. Příslušenství pro luxmetry - stativy | 64 |
| 4.3.4. Jasoměr Konica Minolta LS 110 | 66 |
| 4.3.5. Jasový analyzátor LDA - LumiDISP | 68 |
| 4.3.6. Fotoaparát Nikon D7500 s fish-eye objektivem | 70 |
| 4.3.7. Spektroradiometr | 71 |
| 4.4. Možnosti využití experimentální mobilní laboratoře | 73 |
| 4.4.1. Vliv jednotlivých prvků na měřené veličiny..... | 75 |
| 4.4.2. Vliv okolního prostředí (vnější okrajové podmínky)..... | 79 |
| 5. Závěr | 85 |
| Seznam obrázků: | 86 |
| Seznam tabulek: | 87 |
| Literatura:..... | 88 |
| Příloha 1 – Hlavní parametry přívěsu a samotné laboratoře | 92 |
| Příloha 2 – Protokol o kalibraci - Radiolux 111-01 a Radiolux 111-02 | 95 |
| Příloha 3 – Vědecké a odborné publikace | 99 |
| Příloha 4 – Vybrané příklady vědeckých a odborných publikací | 101 |

1. Úvod

Problematika denního světla je současným tématem a pro zdravý život člověka důležitým pilířem. Bez denního světla nebude člověk zdravý ani po fyzické stránce, ani po stránce psychické. Obecně je světlo základním prostředkem pro vnímání věcí a veškerého prostoru kolem nás. Vše, co vidíme je vlastně odraz světla. Bez denního světla zatím nedokážeme žít, i když jsme si našli již různé způsoby, jak denní světlo v určité formě nahrazovat. Nejlepší, nejpříjemnější, nejzdravější a stále ještě nejlevnější je přirozené denní světlo. Podle intenzity a kvality denního světla rostou rostliny, řídí se jím fauna, ať chceme nebo ne, mění se s ním i naše nálada a chování, vnímání času a prostoru. S tím samozřejmě souvisí i kvalita našeho každodenního života, tzn. práce, ale i odpočinek. Stejně, jako jde i ruku v ruce světlo a stín, tak pravil již Valeriu Butulescu: „I výrobce stínů potřebuje světlo“.

Ale jak vše správně přizpůsobit, nakombinovat a zároveň uspokojit potřeby každého už není věda ani umění, je to nekonečné hledání kompromisu, což lze přirovnat až k alchymii. Když využijeme veškeré zkušenosti, ale i cit, nenalezneme nikdy správné řešení, protože denní světlo dělá vše kolem nás proměnlivé, dynamické, s každým okamžikem jedinečné a svým způsobem kouzelné. Proto se ho snažme vnímat a využívat tím nejcitlivějším způsobem a nezavírejme mu dveře. Je nutné a žádoucí, aby bylo součástí nejen našich exteriérů, ale především interiérů.

Člověk jako takový je od počátečního vývoje naprogramován na život ve venkovním prostředí, pro které je právě denní světlo nejpřirozenější podmínkou pro jeho fungování. I když člověk bydlel v jeskyni, která byla sice temná, nebo si začal stavět příbytky, do kterých také moc denního světla nepronikalo, vždy v průběhu dne trávil většinu času ve venkovním prostředí, kde si užíval denního světla a slunečního svitu. Veškeré činnosti člověka probíhaly za denního světla, jelikož jiné světlo ani neměl k dispozici. Nástupem umělých zdrojů světla jsme se začali zavírat ve vnitřních prostorech a pracovat mimo své biorytmy. Již svíčky či petrolejové lampy nám umožnily pracovat v šeru a pro některé jedince to začala být náhrada denního světla. Sluníčka a denního světla najednou pro biorytmus člověka začalo ubývat a tento trend bohužel nabyl a stále nabývá na intenzitě. Kdy poslední těžkou zkouškou pro člověka byla a je pandemie Covid -19, kdy lidé v tzv. lockdownu byli nuceni trávit veškerý čas bez ohledu na denní či noční dobu ve vnitřních prostorech. Tato situace ještě stále není překonána a jednoznačný vliv nedostatku denního světla a přímě sluneční radiace na psychiku

a zdraví člověka je již deklarována mnoha zahraničními i tuzemskými studiemi (Lee, a další, 2020), (Aries, a další, 2015), (Hauge, 2015), kdy nejzávažnějším problémem je především zdravý vývoj dětského organismu, který se není schopen s touto situací a prostředím vyrovnat.

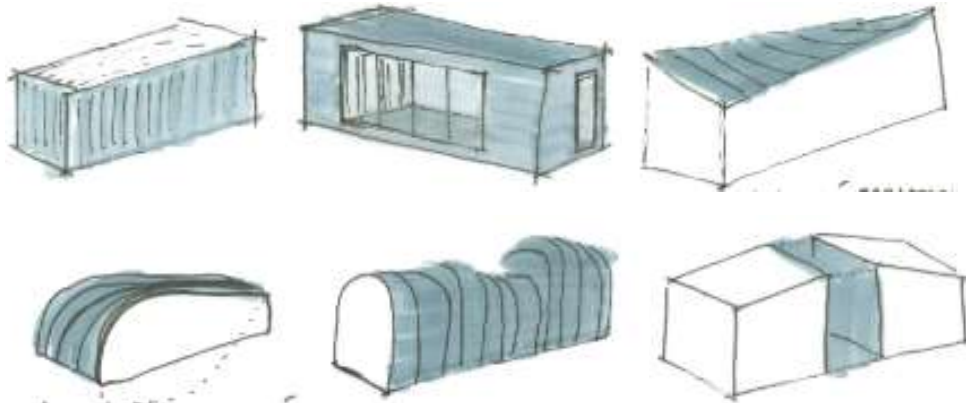
Prostor, okolí a vše kolem nás je ovlivňováno působením člověka. Zásadní kapitolou je architektonické tvorbě vnitřního prostředí. Její funkce a vnímání je ovlivněno a formováno světlem. Z tohoto důvodu bychom při návrzích měli světlu věnovat velkou pozornost. Chceme-li přivést dostatek světla do interiérů budov, pak samozřejmě musíme pracovat i s exteriérem. Urbanista a švýcarský architekt Le Corbusier pronesl velice důležité krédo architektury: "Dát lidem slunce a světlo", kterým bychom se i nadále měli řídit, chceme-li tvořit zdravé a kvalitní prostředí pro život. (Jeanneret, 1943)

Světlo nám dává velké možnosti ve vědě, technice, ale i v samotném poznání. Jak vnímat prostředí a materiály ve stále se zahušťujícím a zrychlujícím se světě? Jaké vytvářet prostředí, které nás každodenně obklopuje? Jaké vyrábět, kombinovat a volit materiály, s jejich vlastnostmi jako průhlednost, čírost či průsvitnost? Jak si hrát s odrazem, odleskem, barvou, zabarvením či tónem barvy? Jak vše spolu kombinovat? To je běh na dlouhou trať, který se budeme snažit obtížně vyhrávat. Požadavky a potřeby jedince jsou velice odlišné, protože každý člověk je jedinečná osobnost. A to v našem případě, kdy sledujeme vlivy insolace a denního světla, do hry vstupují ještě další proměnlivé parametry jako zeměpisná poloha, světové strany, vzdálenost od rovníku, rozestupy mezi objekty, ale i nespočetně mnoho požadavků a legislativních pravidel, které nám tuto práci ještě ztěžují. Přesto chceme navrhovat a tvořit prostředí příjemné, zdravé, pozitivní, které nebude způsobovat problémy a komplikace, a které zároveň bude šetrné k životnímu prostředí.

Experimentální mobilní laboratoř denního osvětlení a oslunění má za cíl se věnovat dennímu světlu tak, aby pomáhala najít vhodná řešení pro výše zmíněná kritéria. Řešila by možnosti, otázky a varianty, aby využívání denního světla bylo pro člověka stále přirozenou formou s jeho požadavky a možnostmi v současném světě. Vzhledem k tomu, že samotné denní světlo pro dnešního člověka není v interiéru budov dostačující, je důležité zabývat se i kombinací denního a umělého světla, tzv. sdruženým osvětlením. Tato unikátní zkušební laboratoř by měla spojovat nejen možnosti vědy, vývoje a požadavků na zdraví člověka, ale také schopnosti a možnosti, které nám samotné světlo dává. Neméně významnou funkci může

poskytovat studentům při výuce a pochopení vlivu slunečního a oblohového světla na tvorbu architektonického detailu.

Již počáteční návrh mobilní laboratoře se pokoušel spojit architektonický koncept a potřeby zkušební laboratoře tak, aby tvořil jednotnou sounáležitost a působil kompaktně a funkčně. Celý tým, který se podílel na návrhu, definoval a diskutoval svoje potřeby a jen tak se podařilo vytvořit jedinečnou podobu tak neobvyklého charakteru.



Obrázek 1: Prvotní skici pro návrh mobilní laboratoře, výstup ze společného projektu tým autorů: Ing. arch. Martin Majna, Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D., Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

2. Denní světlo

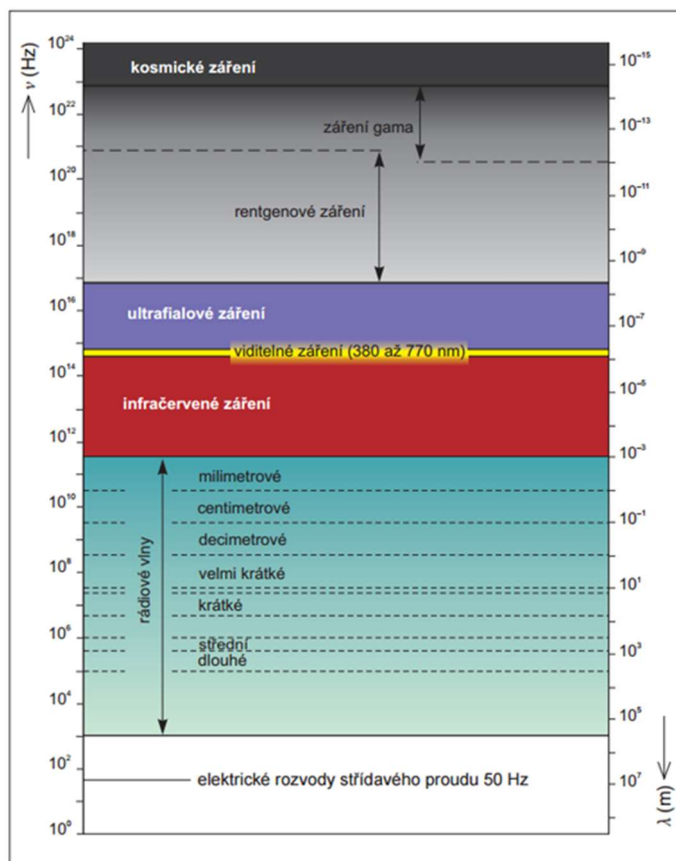
Pod pojmem denní světlo si musíme představit jak přímé světlo, tak sluneční světlo odražené (od oblaků a zemských předmětů). Sluneční světlo je veškeré elektromagnetické záření, jehož primárním zdrojem je Slunce. Sluneční záření působí na člověka komplexně, svým integračním tokem, je pro člověka nejpřirozenější formou energie, kterou je schopen přímo využívat. Při insolaci neboli toku sluneční energie na povrch Země, jde o elektromagnetickou radiaci Slunce ve stejném smyslu, jako při přirozeném osvětlení interiérů od oblohy, ale ve vyšších intenzitách a hlavně v silně pozměněném spektrální skladbě (Tregenza, a další, 2011).

Denní světlo je nejen energeticky vhodným, resp. úsporným zdrojem pro osvětlování prostorů, ale také nutným předpokladem pro vytvoření zdravého prostředí pro život živých organismů v interiérech. Jeho množstvím, intenzitou, způsobem podání a dodání do interiéru se snažíme vytvořit vhodné parametry denní osvětlenosti, které s sebou nesou leckdy protichůdné požadavky jednotlivých profesí.

Denní světlo má důležitý význam, ať z hlediska biologického, tak význam světla obecně, protože umělé světlo tvoří zatím jen nepatrný zlomek oproti celkové světelné energii, kterou dostáváme na zemský povrch od Slunce. Se světlem jsou spojené všechny prvotní formy života a zároveň jeho dalšího udržování a fungování. A to přímou formou – Slunce jako zdroj energie, tak nepřímo – v důsledku fotosyntetické tvorby molekulárního kyslíku atmosféry a tvorbu ozónu, která vytváří vnější obal atmosféry. Jedná se zároveň o účinnou bariéru proti krátkovlnné optické radiaci – tzn. ultrafialovému záření s kratšími paprsky než 380nm, které působí denaturačně na bílkoviny. Což nám ukazuje, že optické záření samo vytváří ochranu proti vlastním negativním účinkům. (Maňák, 1969)

Oproti umělému osvětlení vykazuje denní osvětlení poměrně vysoké intenzity osvětlenosti, které je však možné pozorovat především v exteriéru. V rámci interiérů tzn. v rámci stavebních a technických možností není možné tuto intenzitu dostatečně využít a to vzhledem k mnoha dalším okrajovým podmínkám, které intenzitu denního osvětlení v interiéru ovlivňují. Do této skupiny patří velké množství hledisek – velikost otvoru, materiál zasklení, velikost místnosti, její dispoziční uspořádání, barevnost interiéru i exteriéru, okolní zástavba, atd. V běžné stavební praxi lze hovořit o využití denního světla především formou bočního osvětlení, což s sebou nese velkou nerovnoměrnost a jeho prudký pokles s rostoucí vzdáleností od okenního otvoru. S rostoucí hloubkou místnosti pak přichází na řadu sdružené osvětlení, tedy kombinace denního a umělého osvětlení.

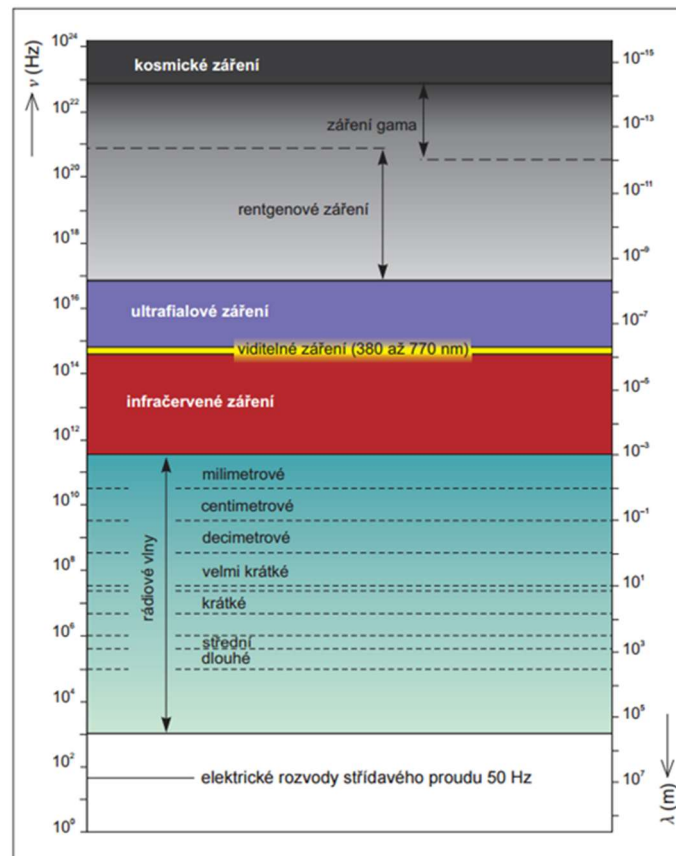
Další jedinečností denního světla je jeho spektrální složení. Každá složka je charakterizována jedním kmitočtem ν [Hz], případně vlnovou délkou λ [nm]. Seřadí-li se složky záření podle jejich kmitočtů či vlnových délek, získáme spektrum záření – viz



Obrázek 2. (HABEL, a další, 2013).

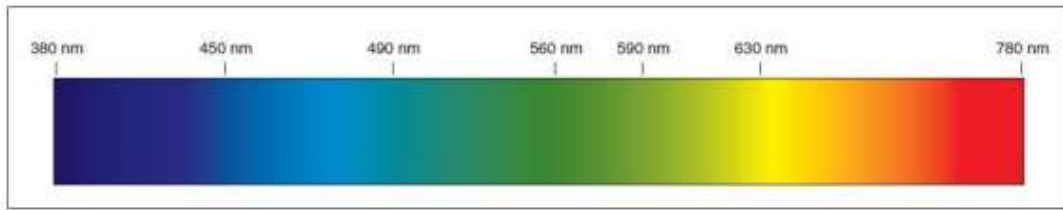
Velká proměnlivost v čase je další přirozenou vlastností denního světla. Je způsobena nejen rozdíly ve vzdalování se a přibližování se Slunci, ale také zenitovým vychylováním polohy Slunce během roku, dále pak otáčením se Země kolem své vlastní osy během 24 hodiny a neopomenutelnými změnami způsobenými výkyvy meteorologických situací v daném místě. Na základě těchto vlivů se mění charakteristika denního světla plynule, ale i dynamicky. Jedná se o změny v intenzitě osvětlenosti, o změny ve spektrálním složení, v podílu přímé slunečné a nepřímé oblohové složky ve světleném toku. Tyto změny mohou s sebou nést i negativní vliv na zrak a zrakový výkon především při namáhavé zrakové činnosti, zejména při výskytu jasů o vysokých hodnotách. Rychlé změny osvětlenosti kladou zvýšené nároky na adaptační schopnosti zrakového systému, náročnější jsou vždy směrem od vyšších k nižším hladinám jasu. Samostatnou kapitolou je působení přímé sluneční radiace vstupující do interiéru nebo i v samotném exteriéru, které nazýváme oslněním. V dnešní době tyto „problémy“ denního osvětlení umíme a můžeme korigovat právě využitím stínění, sdruženým osvětlením nebo jejich kombinací. To vše již umí řídit chytré „SMART“ systémy a požadované osvětlení nastavit. Lékařskými výzkumy (Hauge, 2015) již bylo doloženo, že bez denního světla nefunguje lidský

organismus tak jak má, proto bychom přirozenému světlu měli dávat přednost v maximální možné míře. Důležitý je kromě interiérového návrhu osvětlení také urbanistický návrh exteriéru, kde by lidé měli mít možnost využívat přirozenou radiaci Slunce. A zároveň bychom měli umožnit lidskému oku odlehčení (přerušením zrakového úsilí) formou pohledu do dálky. I zrakový orgán potřebuje správný režim práce a odpočinku.



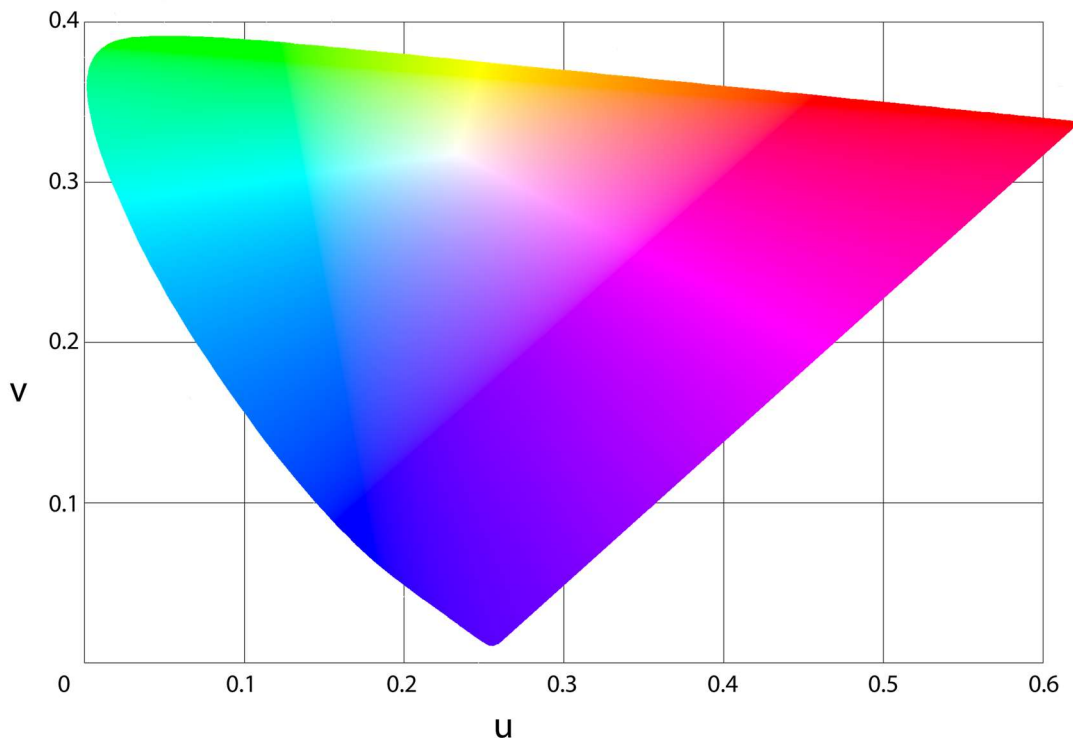
Obrázek 2: Spektrum elektromagnetických záření s orientačním členěním podle kmitočtů a vlnových délek (HABEL, a další, 2013)

Světlo nezpůsobuje jen zrakový vjem, ale také barevný počitek. Barevné vlastnosti primárních světelných zdrojů se označují názvem chromatičnost nebo jsou popsány všeobecným indexem barevného podání R_a [%], barevné vlastnosti sekundárních světelných zdrojů se označují názvem kolorita. Záření každé vlnové délky viditelného světla budí barevný počitek. Každému barevnému počitku odpovídá určitá spektrální barva, kterou popisujeme barevným tónem – viz Obrázek 3.



Obrázek 3: Rozložení barevných tónů ve spektrální oblasti viditelného záření (SOKANSKÝ, a další, 2011)

Dalším parametrem ovlivňujícím zrakové vnímání je index podání barev R_a [%], v zahraničí nazýván jako CRI – color rendering index. Jedná se o hodnocení věrnosti barevného vjemu, který vznikne osvětlením z daného zdroje v porovnání s tím, jaký barevný vjem by vznikl při denním světle. Hodnota R_a [%] nabývá hodnot od 0% do 100%. Kdy $R_a = 100%$ charakterizuje denní světlo, to znamená, pokud by měl jiný zdroj $R_a = 100%$ má tedy přirozené podání barev. Oproti tomu $R_a = 0%$, znamená, že při daném zdroji světla není možné rozeznat barvy, tomu například odpovídá nízkotlaká sodíková výbojka. Tyto nízkotlaké výbojky byly používány dříve zejména v západní Evropě, nyní jsou především pro osvětlení komunikací nevhodné, protože neumožňují od sebe odlišit různé barvy, což je právě u komunikací z hlediska bezpečnosti klíčové. U žárovek a kvalitních LED svítidel se dostáváme na úroveň $R_a = 90%$. Nové kvalitní zdroje mají tendenci $R_a = 95%$ oproti dříve používaným zářivkám, jejichž hodnota $R_a = 80%$. Aby fungovala podstata indexu podání barev, musí platit pravidlo odrazu světla od materiálů. Jedná se o odraz záření různých vlnových délek od pozorovaných předmětů. Vnímáme-li červený předmět, tento předmět odráží vlnovou délku červené barvy. Pokud by tato vlnová délka chyběla ve světelném záření, neviděli bychom jí a vnímali bychom jí jako šedou. Grafickou podobu indexu podání barev uznala již v roce 1960 mezinárodní společnost pro osvětlování CIE a to dle Müllerovi a MacAdamovi teorie (Deane, a další, 1970) – viz Obrázek 4.

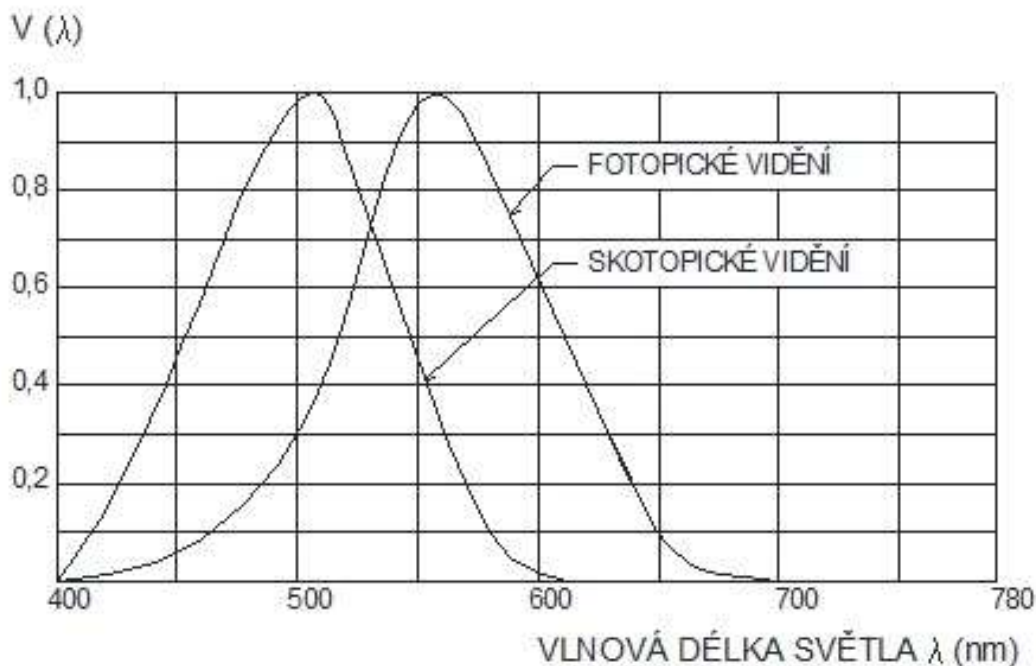


Obrázek 4: CIE 1960 UCS. MacAdamsův (u,v) diagram chromatičnosti.

Lidský zrak není stejně citlivý na všechny barvy. Největší citlivost vykazuje na světlo žluté, přičemž citlivost na barvu světla je poněkud jiná při fotopickém vidění – vidění ve dne a jiná při skotopickém vidění – vidění za šera – viz Obrázek 5. Odlišná křivka spektrální citlivosti čípků a tyčinek způsobuje při přechodu od fotopického ke skotopickému vidění zmenšování jasů červeného světla v porovnání se světlem modrým. Tento úkaz se nazývá Purkyňův jev podle významného českého fyziologa 19. století.

Spektrální citlivost zraku je u různých osob odlišná. Aby byla zajištěna jednotnost světelně technických výpočtů, přijala Mezinárodní komise pro osvětlování CIE dohodu o spektrální citlivosti tzv. normálního fotometrického pozorovatele.

Normální fotometrický pozorovatel je myšlená osoba, která má v populaci průměrnou spektrální citlivost zraku. Při fotopickém vidění je citlivost normálního fotometrického pozorovatele největší pro světlo vlnové délky rovné 555nm. Od této vlnové délky, která se nazývá základní, na obě strany spektra citlivost klesá, až při vlnových délkách kratších než asi 380nm a delších než asi 770nm je prakticky nulová. (WEIGLOVÁ, a další, 2006)



Obrázek 5: Poměrná světelná účinnost monochromatického záření (Bošová, 2016)

2.1. Přímé sluneční světlo

Přímé sluneční světlo je nerušeně dopadající část denního osvětlení na zemský povrch. Přímé sluneční záření je ta část slunečního záření, která jako soustředěný svazek dopadne na zemský povrch po selektivním zeslabení v atmosféře. Před vstupem do zemské atmosféry připomíná spektrum absolutně černého tělesa o povrchové teplotě cca 6000K. Jak již bylo výše zmíněno, zdrojem je Slunce, které vyzařuje sluneční záření formou elektromagnetického záření, čímž ovlivňuje celou sluneční soustavu. Má kulovitý tvar a jeho povrch tvoří fotosféra, což je tenká neprůhledná vrstva plynu v plazmatickém stavu. Množství sluneční energie, které dopadá na horní hranici atmosféry je $1,8 \cdot 10^{17}$ W a k tomu je potřeba připočítat toleranci $\pm 3,3\%$, která je způsobena různou vzdáleností Slunce a Země (obíhající po eliptické dráze). Ozáření extraterestriálním slunečním zářením procházející plochou 1 m^2 kolmou na směr paprsků, za 1 s ve střední vzdálenosti Země od Slunce mimo zemskou atmosféru je nazývána solární zářivou konstantou $E_{e,o}$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$], která je rovna:

$$E_{e,o} = 1367 \pm 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 0,5 \% \quad [1]$$

Kromě zářivé sluneční konstanty se v případě světelně technických hodnocení zavádí světelná solární konstanta $E_{v,o} = 133\,800 \text{ lx}$, která představuje osvětlenost na ploše 1 m^2 při

kolmém dopadu slunečních paprsků na hranici zemské atmosféry. Při průchodu atmosférou dochází k zeslabení světlené intenzity. (CIE 108:, 1994)

Až na letní horké dny a místa s klimaticky vyššími teplotami je obecně přímé slunečné světlo vnikající do interiérů vítané a žádoucí. Pokud je přímého slunečního svitu nadměrné množství nebo je na nějakou omezenou dobu nežádoucí, jsou možným řešením stínící systémy, které tento krátkodobý diskomfort vyřeší. Bohužel řešení v opačném případě neexistuje, protože pokud interiér navrhne tak, že jeho okenní otvor není orientován na slunečnou světovou stranu nebo pokud je zastíněn okolní zástavbou či pevnými prvky fasády, je pak již nemožné ho do daného interiéru dostat.

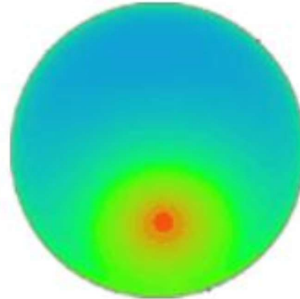
Intenzita přímé složky slunečního záření je několikanásobně vyšší, než jeho difúzní oblohová složka a proto při jasných dnech zajišťuje vysokou intenzitu celkové světlosti interiérů. Sluneční radiace je obecně vnímána u evropské populace pozitivně a dá se říci, že je vyhledávána, pokud je dodávána v přijatelné míře. Přístup přímého slunečního světla má vliv na tvar budovy, design fasády a především na orientaci okenních otvorů, během dne pohybem stínů dotváří architektonický prostor. S tím následně souvisí návrh dispozičního uspořádání interiéru, kdy zásadní roli hraje nespočet dalších okrajových podmínek, které se ideálně protínají v tom neoptimálnějším řešení.

Solární zisky při správném návrhu mohou dále také pozitivně přispívat ke snížení spotřeby energie zejména na vytápění. Naopak v letních měsících je potřeba se solárním ziskům bránit a omezit tak energetické zisky, které by byly následně vyžadovány pro chlazení. Proto je velice těžkým úkolem vybalancovat tyto dva protichůdné požadavky. Pro jejich přesné určení je používána řada sofistikovaných výpočtů a modelů.

Pro tyto jednotlivé výpočty a možné určení okrajových světelných podmínek bylo mezinárodní komisí pro osvětlování CIE uznáno 15 typů obloh. (ISO 15469:2004(E)/CIE S 011/E:2003) (CIE 215:2014.)

Přímé sluneční světlo reprezentuje jasná obloha dle CIE. Jedná se o bezoblačnou oblohu, která byla prvně popsána v dokumentu CIE 22/1973, který byl dále uznán jako technický standard (CIE, 1994) a v roce 1997 uznána jako mezinárodní standart ISO 15469:1997 (ISO, 1997), který byl aktualizován v roce 2004 jako ISO 15469:1997 (ISO, 2004). Standard jasné oblohy byl komisí CIE uznán jako druhý v pořadí, po CIE rovnoměrně

zatažené obloze, jedná se o často využívaný standard. Jas oblohy je u jasné oblohy závislý na poloze Slunce nad horizontem a je po celé hemisféře rozložen rovnoměrně, ale zároveň má svá lokální maxima a minima.



CIE standardní jasná obloha

Obrázek 6: Distribuce jasů u jasné oblohy dle CIE (VAJKAY, František, 2014)

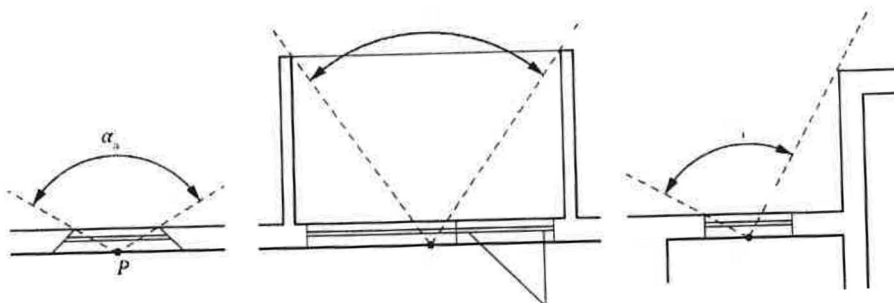
Jak vypovídá Obrázek 6, nejvyšší jas oblohy je v místě polohy Slunce a v jeho nejbližším okolí, čím více se od něj vzdaluje, tím se jas oblohy snižuje. Při jasné obloze dochází k rozptylu slunečního světla zejména v oblasti kratších vlnových délek viditelného záření. To je příčinou vjemu oblohy v odstínech modré barvy. S nárůstem aerosolů v atmosféře je barevný odstín méně sytý a přechází do běla. Vyšší hladina jasu je také v blízkosti horizontu, kdy dochází k rozptylu slunečního světla v atmosféře. Jas je také ovlivněn čistotou a suchostí atmosféry, samozřejmě čím více je atmosféra čistější a sušší, tím je jas oblohy vyšší. Při jasné obloze působí na osvětlenost daného místa též přímé sluneční světlo. Závislost osvětlenosti $E_{s,h}$ [lx] na výšce Slunce nad horizontem γ_s [°] a světelném činiteli zákalu T_v [-] je popsán v literatuře viz. (SOKANSKÝ, a další, 2011), (Kittler, a další, 2012).

S jasnou oblohou souvisí i doba proslunění, která reprezentuje kvalitu vnitřního prostředí a přispívá tak k celkové pohodě osazenstva. Pro Českou republiku je doba proslunění dána vyhláškou 268/2009, paragrafem 13 pro obytnou zástavbu, kde je předepsána doba proslunění pro 1/3 plochy obytných místností. Výjimku tvoří hlavní město Praha, kde byl požadavek na dobu proslunění v roce 2018 zrušen pro novou výstavbu (Nařízení č. 10/2016 Sb. hl. m. Prahy, 2018). Nová evropská norma ČSN EN 17037 – platná od srpna 2019 proslunění předepisuje také taxativně u nemocničních pokojů, místností pro dětské herny v mateřských školách a alespoň v jedné obytné místnosti bytu. Minimální doba proslunění je dána časem a to 90 minut, kdy dopadá na zvolený kontrolní bod/ body přímé sluneční světlo

a to ve stanovený den 1. března při zanedbání oblačnosti. Pro posouzení uvažujeme tolik okenních otvorů, nacházejících se v dané místnosti, kolik je nezbytných k dosažení doporučené hodnoty doby proslunění.

Dobu proslunění lze ověřit ruční – grafickou metodou – pomocí diagramů, nebo odpovídajícím počítačovým programem. Dále lze také přistoupit k ověření splnění podmínek in-situ a to pomocí geometrického měření nebo z fotografie, která byla pořízena objektivem typu fish-eye. Ve skutečnosti se jedná o vyhodnocení doby proslunění v konkrétní den, kdy se ověřuje viditelnost slunce na obloze, resp. vypočítá se tato doba v minutách. V České republice byl stanovený den 1. března a to normou ČSN 73 4301 – Obytné budovy, změna 4 (srpen 2019).

Nově se dle ČSN EN 17037 hodnotí bod na vnitřní rovině osvětlovacího otvoru ve středu jeho šířky, a pokud se v místnosti nachází více osvětlovacích otvorů v různých fasádách, je možné čas přímého slunečního svitu sčítat, ovšem pokud k oslunění nedochází současně. Výška kontrolního bodu zůstala nezměněna a to 300 mm nad podlahou avšak minimálně 1200 mm nad podlahou. Neefektivní půdorysný úhel, který byl dříve popsán jako 25° od fasády je nyní reprezentován skutečnou neefektivní hodnotou danou šířkou okenního otvoru a tloušťkou ostění (resp. tloušťkou obvodové konstrukce). Přípustný výsek možného dopadu přímých slunečních paprsků znázorňuje Obrázek 7. Z kontrolního bodu určujeme přesně viditelnou část oblohy. K tomu je nutné znát tvar a velikost okolní stínící zástavby a existenci ostatních možných stínících překážek.



Obrázek 7: Znázornění přípustného výseku možnosti dopadu přímých slunečních paprsků pro hodnocení doby oslunění dle ČSN EN 17037 (ČSN EN 17037, 2019)

Sluneční záření s sebou nese nejen pozitivní vliv na vnitřní prostředí, ale i vlivy negativní. Oslnění je právě jeden z negativních vlivů osvětlení, je možné ho definovat jako „nepříznivý stav zraku, jenž ruší zrakovou pohodu a zhoršuje nebo dokonce znemožňuje vidění“. Vzniká v případě, že se v zorném poli nachází příliš jasné plochy, nebo pokud dojde vlivem závojevých odrazů ke snížení kontrastního poměru. Vnímání oslnění je částečně hodnoceno individuální citlivostí a může způsobovat citlivějším jedincům vedlejší účinky, které se projevují okamžitě nebo i následně a to např. bolestí hlavy nebo únavou. Oslnění je závislé na rozložení jasu v zorném poli, proto je poloha zdroje oslnění v závislosti na pozici směru pohledu pozorovatele rozhodující.

Oslnění dělíme na dva druhy a to oslnění rušivé a oslnění omezující. Pro jednoduchost bychom mohli uvést, že v případě rušivého oslnění se jedná o nepříjemný pocit, při kterém ještě není zhoršená činnost zraku. V případě omezujícího oslnění již dochází zřetelně ke zhoršení činnosti zraku. Z výše popsaného jasně vyplývá, že člověk může být nepříjemně oslněn i když zraková činnost není ještě omezena, kdy příčinu tohoto nepříjemného pocitu zatím nejsme schopni zjistit (Maňák, 1976).

Oslnění narůstá se zvyšující se velikostí oslňujícího zdroje, zvyšujícím se jasem oslňujícího zdroje, narůstajícím množstvím světla dopadajícím do oka, zvětšujícím se kontrastním poměrem mezi přímým a centrálním nebo periferním viděním nebo jakoukoliv kombinací těchto jevů. Oslnění naopak bude klesat, pokud se bude zvětšovat úhel mezi směrem pohledu pozorovatele a přímkou spojující oko pozorovatele s oslňujícím zdrojem.

Sledovat tento jev a posuzovat oslnění se doporučuje u prostorů, které jsou navrhovány pro činnosti odpovídající zrakové náročnosti čtení, psaní nebo práci na zobrazovacím zařízení a hlavně tam, kde jsou pevně dána pracovní místa, tzn. tam, kde si uživatel nemůže zvolit místo a směr pozorování. (ČSN EN 17037, 2019)

Návrh interiéru vždy tento jev respektuje. Pokud přesto k oslnění v interiérech dochází, je na místě tyto prostory individuálně chránit a to např. pohyblivými nebo výsuvnými zařízeními protisluneční ochrany. Pevná clonění se musejí vždy navrhovat s ohledem na požadovanou úroveň osvětlenosti interiéru, aby pak netvořila trvalou clonu, která pak zapříčiní nedostatečné osvětlení denním světlem v příslušném místě interiéru.

Při posuzování oslnění denním světlem, které je reprezentováno oknem, respektive sluncem a oblohou, či odrazem od jakéhokoliv objektu, je třeba zohlednit složité rozložení jasu v zorném poli pozorovatele, velikost, jas a polohu oslňujícího zdroje vůči směru pohledu pozorovatele.

Metoda pravděpodobnosti oslnění denním světlem DGP [-] použitá pro stanovené podílu nespokojených pozorovatelů zohledňuje jak osvětlenost v úrovni okna, tak i jednotlivé oslňující zdroje s vysokým jasem. Parametr DGP slouží pro hodnocení oslnění při skutečných podmínkách denního světla u prostorů s bočním osvětlením.

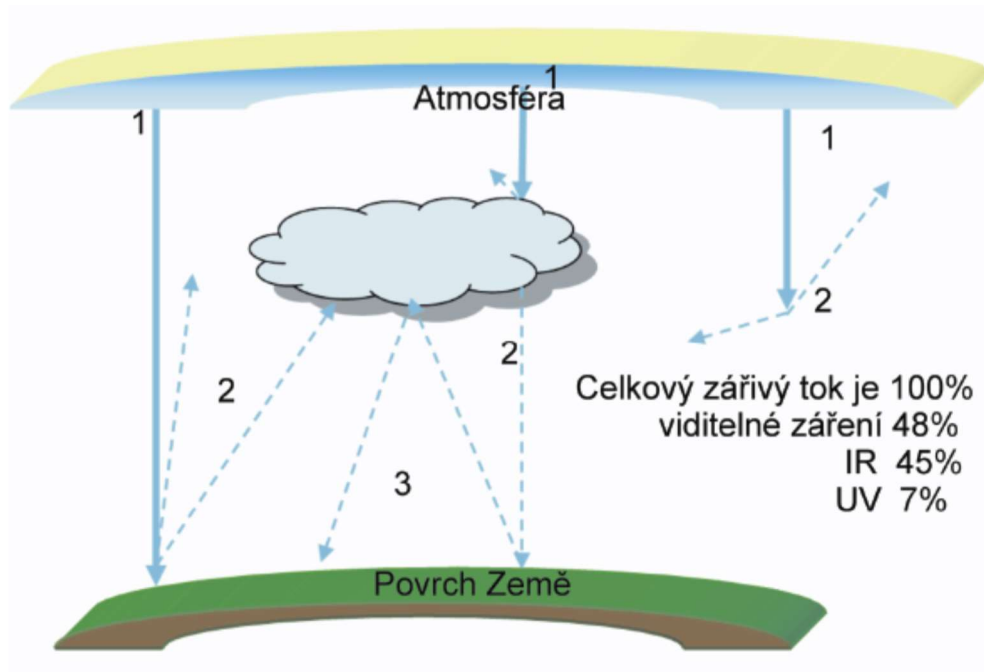
Parametr DGP [-] je definován empirickým vzorcem, spojuje měřitelné fyzikální veličiny, kterými jsou jas oslňujících zdrojů, osvětlenost v úrovni očí, prostorový úhel oslňujícího zdroje s mírou oslnění vnímanou pozorovatelem. Jedná se tedy částečně o výpočetní a částečně o subjektivní parametr v hodnocení oslnění. Jeho výpočet je opět definován normou ČSN EN 17037 – Denní osvětlení budov, přílohou E.2. Možnou kategorizaci tohoto parametru zobrazuje Tabulka 1.

| Míra oslnění | DGP |
|---|------------------------|
| Oslnění je téměř nepozorované | $DGP \leq 0,35$ |
| Oslnění je pozorovatelné, ale většinou není rušivé | $0,35 < DGP \leq 0,40$ |
| Oslnění je pozorovatelné a většinou je rušivé | $0,40 < DGP \leq 0,45$ |
| Oslnění je pozorovatelné a většinou je nesnesitelné | $DGP > 0,45$ |

Tabulka 1: Rozsah hodnot DGP – pravděpodobnost oslnění denním světlem dle (ČSN EN 17037, 2019)

2.2. Oblohové světlo

Oblohové světlo tvoří samostatnou část denního světla, jedná se totiž o rozptýlené světlo aerosolem a jejími nečistotami v atmosféře. Oblohové světlo reprezentuje viditelnou část oblohového záření. Znázornění prostupu slunečního záření atmosférou ukazuje Obrázek 8. Směr číslo 1 reprezentuje sluneční záření, které prostupuje atmosférou a částečně je jí absorbované, případně část odražené od povrchu Země. Směr číslo 2 je právě výše zmíněné difúzní světlo, které vzniká rozptylem v atmosféře, průchodem a rozptylem v oblacích nebo odrazem od povrchu Země. Pokud se světlo několikanásobně odrazí, jedná se stále o difúzní světlo, ale již s vícenásobným odrazem. Některé odražené světlo se dokonce může vrátit do meziplanetárního prostoru.



Obrázek 8: Prostup slunečního světla atmosférou během dne (SOKANSKÝ, a další, 2011)

Denní osvětlenost ve venkovním prostoru se skládá jak z přímého světla, tak ze světla oblohového, tuto osvětlenost pak nazýváme jako globální celkovou osvětlenost E_g [lx]. Vztah pro výpočet je dán:

$$E_g = E_s + E_{ob} \quad [2]$$

kde, E_g je celková denní osvětlenost [lx]

E_s je osvětlenost přímým slunečním světlem [lx]

E_{ob} je osvětlenost difúzním oblohovým světlem [lx]

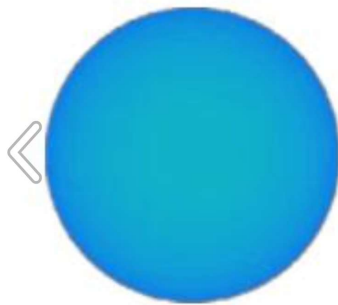
Pokud se zaměříme na denní osvětlení objektů, respektive jeho posuzování, navrhování a kontrolou parametrů denního osvětlení, byl stanovený jednotný model pro oblohu a to rovnoměrně zatažený model (Moon, a další, 1942) přijatý CIE v roce 1955 (CIE 1955). Vliv přímého slunečního záření je tedy úplně vyloučen, a pokud bychom vzhledli k obloze, nesmí být známá poloha Slunce. Jedná se o základní a velice důležitý typ oblohy, který je využíván pro normalizaci požadavků pro denní osvětlení v interiérech a exteriérech. Zároveň je důležitý i poměr jasů a to směrem od horizontu a směrem k zenitu, tento by měl odpovídat poměru 1 : 3 za předpokladu tmavého terénu s činitelem odrazu $\rho_T = 0,005$ až $0,20$.

$$L_\gamma : L_{\gamma z} = 1:3 \quad [3]$$

kde: L_γ je jas oblohy pro $\gamma = 0^\circ$, ve směru k horizontu

$L_{\gamma z}$ je jas oblohy pro $\gamma = 90^\circ$, ve směru k zenitu

Rovnoměrně zataženou s tmavým terénem a s gradací jasu 1:3 ukazuje Obrázek 9.



Rovnoměrně zatažená obloha

Obrázek 9: Distribuce jasů u rovnoměrně zatažené oblohy s gradací jasu 1 : 3 dle CIE

(VAJKAY, František, 2014)

Pro výpočet, resp. návrh či posouzení úrovně denního osvětlení je model rovnoměrně zatažené oblohy ideální, taktéž pak měření v simulátoru umělé oblohy, kde je možnost nastavení gradace jasu 1 : 3 poměrně jednoduchá. Složitější variantou se pak stávají skutečná měření pod reálnou oblohou v in-situ. Aby bylo měření připraveno pro ideální okrajové podmínky, je velice těžkou úlohou. Z tohoto důvodu svou komplexností mobilní laboratoř právě svojí připraveností může tento problém celkem rychle řešit, jelikož bude mít vše připravené k okamžitému měření a tak může celá část přípravy odpadnout a změnit gradaci oblohových jasů.

Denní světlo je důležitým prvkem pro naplnění potřeb souvisejících s osvětlením ve všech typech budov, až na výjimky, kde je denní světlo nepřípustné z důvodu dané technologie či výrobního procesu. Abychom dosáhly požadované úrovně denní osvětlenosti uvnitř interiéru během roku, je velikost okenního otvoru s jeho stíněním a umístěním jeden z nejméně rozhodujících parametrů. Dalšími důležitými parametry jsou tloušťka ostění ve stěně či střeše, materiál zasklení okenního otvoru a následný činitel prostupu, procento neprůsvitné plochy okenního otvoru (rám + křídlo), vnitřní členění a dispoziční řešení včetně zařízení interiéru a v neposlední řadě pak činitele odrazu jednotlivých povrchů, ať v interiéru, tak v exteriéru.

Chceme-li prohlásit prostor za vyhovující z hlediska denního osvětlení, musejí být splněny požadované hodnoty minimální či průměrné osvětlenosti na srovnávací rovině uvnitř daného nebo posuzovaného prostoru. Srovnávací rovina se většinou volí ve výšce 850 mm nad podlahou, pokud není uvedeno jinak. Výjimku tvoří prostory pro předškolní děti, např. herny mateřských škol, kde je srovnávací rovina posunuta na výšku 450 mm. U tělocvičen je dokonce v úrovni výšky podlahy tzn. ve výšce 0 mm. Z posuzovaného prostoru lze při vyhodnocování z důvodu eliminace signatur malou část srovnávací roviny vynechat. Hodnoty doporučených úrovní osvětlenosti udávají jednotlivé normy a to:

- ČSN EN 17 037 - Denní osvětlení budov, 2019
- ČSN 73 0580-1, změna 3 Denní osvětlení budov – základní požadavky, 2019
- ČSN 73 0580-2, změna 1 Denní osvětlení budov – denní osvětlení obytných budov, 2019
- ČSN 73 0580-3: změna 3 Denní osvětlení budov - denní osvětlení škol, 2019
- ČSN 73 0580-4: změna 3 Denní osvětlení budov – denní osvětlení průmyslových budov, 2019
- ČSN 36 0020-1, změna 1 Sdružené osvětlení, 2019

Doporučené úrovně osvětlenosti z výše uvedených norem jsou pak zezáväzněny, zpřesněny či předepsány zákonem, nařízením vlády nebo vyhláškou a jejich splnění je pak jedním s požadavků na povolení stavby. Výpočty denního osvětlení jsou prováděny ověřenými počítačovými programy, v případě jednoduchých okrajových podmínek lze přistoupit na ruční početně grafickou metodu.

Pro hodnocení denního osvětlení se používá činitel denního osvětlení D [%]. Činitel denní osvětlenosti vnitřního prostoru je podíl osvětlenosti dané roviny oblohovým i světlem odraženým od venkovních a vnitřních ploch k současné srovnávací osvětlenosti venkovní nezastíněné vodorovné roviny za předpokládaného nebo známého rozložení jasu zatažené oblohy. Jak bylo výše zmíněno, jedná se o rozložení jasu 1:3 (ČSN730580-1, Z3-2019), kdy jas k zenitu je 3 x větší než jas k horizontu. Přímé slunečné světlo je vyloučeno z obou osvětleností, jelikož se počítá s rovnoměrně zataženou oblohou a tudíž pouze s difúzním světlem. V hodnotě činitele denní osvětlenosti bodu dané vnitřní roviny jsou zahrnuty vlivy prostupem světla zasklením, redukcí nečistot, atd. Činitel denní osvětlenosti D se proto stanoví dle vztahu:

$$D = \frac{E}{E_{eh}} \cdot 100 \quad [4]$$

kde : D je činitel denního osvětlení [%]

E je osvětlenost v bodě dané roviny [lx]

E_{eh} je srovnávací osvětlenost v bodě venkovní nezastíněné roviny [lx]

Při stanovení činitele denního osvětlení výpočtem, použijeme vztah:

$$D = D_s + D_e + D_i \quad [5]$$

kde: D je činitel denního osvětlení [%]

D_s je oblohová složka činitele denního osvětlení [%]

D_e je vnější odražená složka činitele denního osvětlení [%]

D_i je vnitřní odražená složka činitele denního osvětlení [%]

Oblohová složka činitele denního osvětlení D_s je podíl osvětlenosti dané roviny v daném bodě vyvolané přímo oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasu a osvětlenosti horizontální roviny poloprostorem oblohy bez překážek. Pokud hodnotíme úroveň denního osvětlení pro české normativní hodnoty, musíme počítat opět s rovnoměrně zataženou oblohou s gradací jasu 1:3. Navíc pokud se nacházíme v nadmořské výšce nižší, než 600 m. n. m. počítáme s variantou tmavého terénu. Naopak pro místa s dlouhotrvající sněhovou pokrývkou - při nadmořské výšce vyšší než 600 m, lze použít výpočtový model zatažené oblohy v zimě při zasněženém terénu, jehož činitel odrazu světla je v mezích

$\rho_T = 0,5 - 0,85$ a gradace jasů 1:2 od horizontu k zenitiu. Přímé sluneční světlo je vyloučeno z obou osvětleností, jelikož dle ČSN je uvažováno s rovnoměrně zataženou oblohou. Oblohovou složku pak stanoví vztah:

$$D_s = \frac{E_s}{E_{eh}} \cdot 100 \quad [6]$$

kde je: D_s oblohová složka činitele denního osvětlení [%]

E_s osvětlenost bodu dané roviny oblohovým světlem [lx]

E_{eh} srovnávací osvětlenost v bodě venkovní nezastíněné roviny [lx]

Druhá, vnitřní odražená složka činitele denního osvětlení D_i je podíl složky osvětlenosti dané roviny v daném bodě vnitřního prostoru vyvolané vnitřními odraznými povrchy přímo nebo nepřímo osvětlenými oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasů a osvětleností horizontální roviny vyvolané poloprostorem oblohy bez překážek. Přímé sluneční světlo je opět vyloučeno z obou osvětleností. Vnitřní odražená složka je udávána vztahem:

$$D_i = \frac{E_i}{E_{eh}} \cdot 100 \quad [7]$$

kde: D_i je vnitřní odražená složka činitele denního osvětlení [%]

E_i je osvětlenost bodu dané roviny vnitřním odraženým světlem [lx]

E_{eh} je srovnávací osvětlenost v bodě venkovní nezastíněné roviny [lx]

Poslední, vnější odražená složka D_e je podíl složky osvětlenosti dané roviny v daném bodě vyvolané přímo vnějšími odraznými povrchy nebo nepřímo povrchy osvětlenými oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasu a osvětlenosti poloprostorem téže oblohy bez překážek. Přímé sluneční světlo je vyloučeno. Vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti se stanoví ze vztahu:

$$D_e = \frac{E_e}{E_{eh}} \cdot 100 \quad [8]$$

kde: D_e je vnější odražená složka činitele denního osvětlení [%]

E_e je osvětlenost bodu dané roviny vnějším odraženým světlem [lx]

E_{eh} je srovnávací osvětlenost v bodě venkovní nezastíněné roviny [lx]

3. Měření v oblasti světelné techniky

Fotometrie je pojem, který reprezentuje měření veškerých světelně-technických veličin. Měření může být buď vizuální, neboli subjektivní, kdy k měření používáme vlastnosti lidského zraku, nebo fyzikální resp. objektivní, kdy jsou použity pro měření fotometrické přístroje. Pokud se budou provádět obě měření – subjektivní i fyzikální, měly by být výsledky srovnatelné.

Měřením světla se zabývají normy:

- ČSN 36 0010, změna 1 Měření světla - Kmenová norma, 1996
- ČSN 36 0011 - 1, změna 1 Měření osvětlení prostorů - Základní ustanovení, 2019
- ČSN 36 0011 - 2, změna 1 Měření osvětlení prostorů - Měření denního osvětlení, 2019
- ČSN 36 0011 - 3, Měření osvětlení prostorů - Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů, 2014
- ČSN 36 0011 – 4, Měření osvětlení prostorů - Část 4: Měření umělého osvětlení venkovních prostorů, 2014
- ČSN EN 13032 – 1 až 4 Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel, 2008 až 2019

Stejně jako všechna měření i fotometrické měření vyžaduje velkou pečlivost v dodržování základních podmínek až po nejmenší detaily, aby byla udržena požadovaná přesnost. Z tohoto důvodu rozeznáváme proto tři druhy měření – přesné, provozní a orientační. Požadovaný stupeň přesnosti měření stanoví podle jeho účelu hygienická stanice případně objednatel měření. Dle stupně přesnosti měření se stanovuje i podrobnost zpracování výsledků a následného protokolu z měření. Absolutní procento celého měření je závislé na druhu měřené veličiny a zvolené metodě měření.

Měření se zpravidla provádí tam, kde je potřeba ověřit správnost návrhu osvětlení a doložit tak, že osvětlení odpovídá platným požadavkům. Jedním z příkladů může být novostavba, část prostoru pro trvalou práci před uvedením do provozu nebo venkovní prostor s novým umělým osvětlením. Měřením by mělo být dokázáno, že jsou zajištěny podmínky osvětlení a zrakové pohody během užívání daného prostoru. Důvodem měření ale také může být porovnání různých řešení osvětlení z hlediska hospodárnosti nebo z hlediska

energetických úspor, ale vždy při zachování zrakové pohody, která by měla představovat preferenci jednotlivých hodnocení.

Pokud se zaměříme na vizuální metody, jedná se například o porovnání jasů dvou sousedních ploch. Z důvodu akomodační schopnosti oka a tím, že se jedná o subjektivní fotometrii, nelze změřit velikost rozdílu světla, ale můžeme tak velmi přesně posoudit rovnost jasů dvou sousedních ploch, jsou-li pozorovány současně a mají-li stejnou chromatičnost. Při tomto měření musejí být však dodržena tato pravidla:

- 1) Oko pozorovatele musí být adaptováno na světlo. Jas fotometrického pole má mít při průměru zornice 3mm hodnotu mezi 6 a 60 cd/m²
- 2) Zorný úhel srovnávacího pole fotometru má být 1,5° až 2°, tzn., že má být omezen na foveu¹.
- 3) Pozorovatel provádějící srovnávací měření musí mít normální barevné vidění, jeho oči nesmí být unavené a musí být barevně adaptované.
- 4) Při průchodu světla fotometrem se nesmí měnit jeho spektrální složení a zároveň zeslabování světla ve fotometru musí probíhat neselektivně
- 5) Velikost výstupní pupily (účinného otvoru) měřeného a srovnávacího pole má být stejná. Pokud by se velikosti lišily, je nutné vliv tohoto rozdílu eliminovat a to vhodným způsobem dle použité metody nebo použitého přístroje
- 6) Okolí fotometrického pole má být neutrální a omezeno na zorný úhel cca 25°. Jas okolí fotometrického pole by měl mít hodnotu 50 až 100% jasu fotometrického pole (ČSN 360010, 1965)

Fyzikální metody měření využívají místo lidského oka fyzikální čidla, která jsou vhodná pro technickou a především pro laboratorní fotometrii. Použitá čidla fotometrických přístrojů by měly mít průběh křivky spektrální citlivosti co nejvíce shodný s křivkou spektrální citlivosti normálního pozorovatele. Většina měření je totiž dále vyhodnocována či porovnávána resp. vztahována opět k normálnímu pozorovateli (člověku jako takovému). Důležitým bodem fyzikálního měření je spektrální citlivost korigovaných čidel. Intenzita osvětlení přijímače musí být udržována přibližně na hodnotě, na níž byla provedena korekce. Jelikož jednotlivé fotonky

¹ Fovea je ústřední jamka sítnice, jedná se o místo nejostřejšího vidění. Tato středová část sítnice je tenká a prohloubená, obsahuje téměř výlučně čípky. (ČSN IEC 50(845), 1996)

mají různé odchylky v různých částech spektra a jejich schopnost akomodace není možná tak, jako je tomu u lidského oka.

Před vlastím měřením musí probíhat důkladná příprava, která v sobě nese všechny okolnosti týkající se osvětlení. Důležité je připravit vše tak, aby měření probíhalo bez chyb a byly zjištěny všechny požadované údaje v potřebné kvalitě. Nejdříve stanovíme místo měření, polohu a výšku srovnávací roviny a následně i kontrolní body. Určíme druh a stupeň přesnosti měření. Stanovíme požadované a měřené veličiny s jejich jednotkovou škálou. Samostatnou kapitolu tvoří seznam měřících přístrojů, jejich kvalita, potřebná kalibrace a další pomocná vybavení. Veškeré údaje související s měřením je potřeba vždy zaznamenat. Zhotovit náčrtek nebo ideálně výkresovou dokumentaci vnitřního prostoru, kde bude měření probíhat, včetně jeho orientace ke světovým stranám a zařazení funkce daného posuzovaného prostoru. Uvnitř prostoru je potřeba popsat a označit pracovní místa nebo daný typu pobytu. Včetně popisu místa s konkrétními zrakovými činnostmi, jejich náročností a případnými riziky. Přesně zdokumentovat interiérové vybavení – technické, technologické, ale ideálně i doplňkové či designové. Důležitou roli hraje i rozmístění osvětlovacích soustav, včetně popisu jejich využívání v době měření a zakreslení exteriéru a to pomocí např. situace venkovního prostoru, včetně tvarů a rozměrů jednotlivých prvků venkovního prostoru, opět včetně orientace vůči světovým stranám. Samostatně popsané musí být také atmosférické podmínky v čase probíhajícího měření.

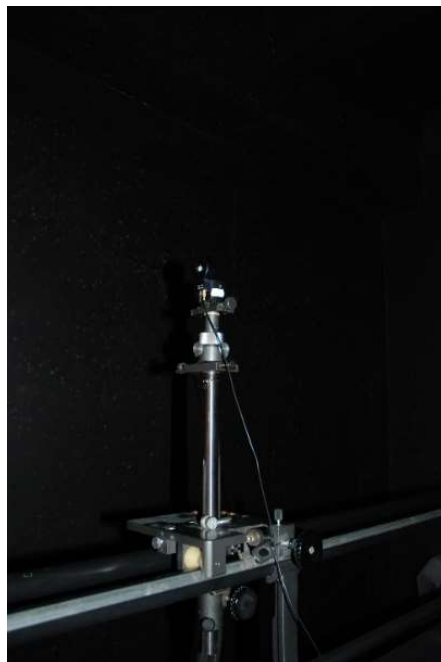
Při měření denního osvětlení hrají nejdůležitější úlohu osvětlovací otvory – okna, světlíky, světlovody, atd., které jsou zdrojem denního osvětlení. Proto je důležité znát jejich rozmístění, tvar a rozměr, výškové poměry okolních objektů, včetně profilu okolního terénu, které mohou tvořit případné stínění či jiné ovlivnění úrovně denního osvětlení například odrazem. V době měření je nutné zdokumentovat také vzrostlou zeleň, která je během roku proměnlivá, či případné jiné dočasné stínící prvky.

Jelikož denní osvětlení vykazuje velkou proměnlivost v čase, je nutné souběžně s interiérovým měřením provádět i exteriérová měření. Proto se předem definuje místo tohoto měření a jeho srovnávací rovina. I toto je důležitý parametr, který by neměl být v rámci přípravy podceňovaný. Opět je nutné vše důsledně zaznamenat a graficky znázornit. Vždy je doporučováno provádět průběžnou fotodokumentaci jednotlivých měření. Touto fotodokumentací pak bude doplněn i záznam z měření, zpráva či protokol.

Stejně jako každá měření i měření osvětlení pro svou relevanci vyžaduje kalibrované přístroje. Sensory totiž v čase degradují ve svých úrovních různě a proto je důležité kalibrace provádět pravidelně. Každé měření je ovlivněno chybami měřicího přístroje a ještě samotným postupem měření. Při přípravě experimentu a jeho provádění by měly být tyto chyby co nejvíce poníženy, proto jsou kalibrace tak důležité.

Velké procento měření probíhá v laboratorním prostředí, kde se provádějí především přesná měření se svými povolenými odchylkami, aby naměřené údaje mohly sloužit pro hodnocení a posuzování nebo pro katalogové údaje výrobců. Ve vybraných laboratořích se provádí i kalibrace jednotlivých měřících přístrojů.

Jednou ze specializovaných laboratoří je fotometrická laboratoř, vybavena nejen černými povrchy jak stěn, tak stropu, tak podlahy, ale i veškerých předmětů a zařízení, nacházejících se v interiéru. Černá matná barva je zvolena z toho důvodu, aby se zamezilo rušivým odrazům světla. Hlavním zařízením této laboratoře je fotometrická lavice, která je celá také v černém matném provedení. Její délka se většinou pohybuje od 3 do 6ti metrů a skládá se z ocelové vodící tyče, někdy je počet tyčí více než jedna, záleží na způsobu upevnění měřených, měřících zařízení a dalších pomůcek jako například clon. Lavice je vybavena odečítací stupnicí s přesností většinou 1mm.



Obrázek 10: Kalibrace luxmetru ve fotometrické laboratoři Slovenské akademie věd,
zdroj: archiv autora

Například pro kalibraci luxmetru se na jeden konec fotometrické lavice umístí normál svítivosti a na pohyblivou část vodící tyče se umístí čidlo kalibrovaného luxmetru. Pro správnou kalibraci musí být dodržena fotometrická vzdálenost. Vzdálenost odpovídá 5ti násobku největšího rozměru fotometrovaného zdroje pro méně přesné kalibrace a 10ti násobku pro přesné kalibrace. Následná kalibrace luxmetru se provádí dle čtvercového zákona. (Prokopová, a další, 2016)

Dle čtvercového zákona je osvětlení čidla nepřímo úměrné čtverci vzdálenosti této plochy od světelného zdroje. To vše závisí na relativní velikosti světelného zdroje neboli na jeho rozměrech a vzdálenosti od osvětlené plochy. Čtvercový zákon platí přesně pro bodový zdroj, neboli pro nekonečně velkou vzdálenost reálného zdroje od plochy. Při konečné vzdálenosti vznikají chyby, jejichž velikost je závislá na poměru největšího zdroje a vzdálenosti přijímací plochy (ČSN 360010, 1965)

Osvětlenost a její rozložení v místnosti se měří v kontrolních bodech, které jsou zpravidla rozmístěny v pravidelné a pravoúhlé síti v celém prostoru nebo jeho funkčně vymezených částech, ve výšce srovnávací roviny nebo ve výšce pracovního prostoru. Srovnávací rovina bývá vodorovná, ale může být i svislá či nakloněná, závisí na pracovní resp. kontrolované rovině (prostoru). Standardní výška srovnávací roviny je určena výškou 850 mm nad podlahou dle (ČSN EN 17037, 2019), pokud daný prostor nevyžaduje jinou, např. v mateřských školkách je tato rovina snížena na výšku 450mm nad podlahou dle (ČSN730580-3, Z3-2019), na komunikacích pak 200 mm nad úroveň terénu a v tělocvičně pak v úrovni podlahy (0mm). V případě posouzení činitele denního osvětlení, intenzity doplňujícího umělého osvětlení v případě sdruženého osvětlení nebo při hodnocení intenzity samotného umělého osvětlení se první body umísťují vždy 1 m od vnitřních povrchů stěn. Nová evropská norma ČSN EN 17037 však tyto první body vymezila vzdáleností 0,5 od stěn, pokud není uvedeno jinak. Body se pak v prostoru umístí v pravidelných vzdálenostech s přiměřenou hustotou – dle rozměrů místnosti, polohy osvětlovacích otvorů, svítidel či stínících překážek. To vše z důvodu vhodného zachycení prostorového průběhu, změny a místa s největší a nejmenší hodnotou měřené veličiny. Počet bodů i jejich rozteč je vždy volena s ohledem na velikost prostoru a podrobnosti daného měření. Vzdálenosti bodů ve směru osy x [m] a osy y [m] by měly být přibližně stejné. Při hodnocení sdruženého osvětlení musejí být srovnávací roviny denního a umělého osvětlení zásadně ve stejné výšce. V případě, že se v prostoru nachází

překážka, která brání umístění kontrolního bodu, je možné tento bod vynechat, ale vše je potřeba podrobně popsat v protokolu o měření.

Před samotným měřením je potřeba zkontrolovat měřicí přístroje: jejich stav a funkce, včetně napětí jejich napájecích zdrojů. Důležitá je čistota jednotlivých důležitých částí přístrojů, jelikož zašpinění či zaprášení přístroje může způsobit velmi vysoké chyby v měření. S čistotou přístrojů souvisí i čistota prostoru, ve kterém se měření provádí, proto by měla být součástí protokolu z měření také informace o údržbě a čištění prostorů a okenních otvorů a osvětlovacích soustav, kde k měření dochází, tzn. ideálně zjištění lhůty údržby, stavu znečištění a stáří jednotlivých prvků. Před měřením se také kontroluje, zda není prostor ovlivněn cizím světlem, které není součástí kontrolního měření (ČSN 360011-1, 2014). Stanoví se poloha kontrolních bodů a výška srovnávací roviny, jak je uvedeno výše.

Při měření osvětlenosti je nutné dbát na správnou polohu čidla luxmetru. Pro jeho správnost se provádí objektivní kontrola, která zabezpečí optimální - ideální výšku čidla, včetně nastavení ve vodorovné či svislé poloze, pro tuto kontrolu můžeme použít stojan, kardanový závěs nebo klasickou/ digitální vodováhu.

Měřicí přístroje podléhají během měření ochraně před vnějšími vlivy, které by mohly ovlivnit samotné měření a zkreslit tak finální hodnoty. Jedná se například o otřesy, výkyvy teplot či vlhkosti ať už s hodnotami vysokými nebo naopak nízkými. Dbát bychom měli také na ochranu přístrojů z hlediska jejich maximálních rozsahů, kdy by nemělo docházet k vystavení přístrojů větším intenzitám, než na které jsou vyrobeny či kalibrovány. Pokud byl měřicí přístroj uložen před samotným měřením ve tmě, je potřeba ho na měřený prostor nechat adaptovat a to po dobu, při které se stabilizují jeho měřené hodnoty. Mají-li analogové měřicí přístroje více rozsahů měření, musí se vždy vybrat správná stupnice, která odpovídá měřeným hodnotám, aby probíhající měření odpovídalo žádané přesnosti.

Velký důraz je třeba klást na eliminaci ovlivnění měření osobou provádějící toto měření nebo dokonce dalšími osobami, pokud se měření provádí bez přítomnosti uživatelů. Osoba provádějící měření by měla vždy zaujmout takovou polohu, aby v její přítomnosti nedošlo k ovlivnění příslušného měření.

V případě, že dojde při měření k neočekávané skutečnosti, která by mohla mít vliv na správnost výsledků měření, je potřeba vše zaznamenat do protokolu a posléze zohlednit při vyhodnocování konkrétního měření.

Pokud je možné zachovat podmínky měření, je vhodné měření opakovat a to někdy i několikanásobně a z důvodu snížení možností chyb a také, aby bylo možné vyhodnotit střední hodnoty ze statistických souborů. Pro přesná měření je opakovatelnost nutností.

Měření denního osvětlení je díky své dynamice a proměnlivosti velice obtížné téma. Samotná proměnlivost je dána souběhem několika vlivů. Mezi hlavní vlivy, které mění okamžitý stav denního osvětlení, jak už bylo zmíněno výše, patří zdánlivý pohyb slunce po obloze a změny oblačnosti. Veličina, která byla stanovena pro úroveň denního osvětlení a denní složku sdruženého osvětlení se nazývá činitel denního osvětlení D [%], je vyjádřena poměrem v daném bodě v konkrétní srovnávací rovině ve vnitřním prostoru k současné srovnávací rovině venkovní nezacloněné vodorovné roviny o známém nebo předpokládaném rozložení jasu oblohy – viz vztah [4]. Aby bylo možné eliminovat proměnlivost denního osvětlení pro výpočty a měření, byla stanovena rovnoměrně zatažená obloha s rozložením jasu podle ČSN 73 0580-1, příloha A, za předpokladu tmavého terénu. Díky modelu zatažené oblohy nezáleží měření na světových stranách, protože sluneční světlo je rovnoměrně rozptýleno. Pokud se provádí měření v místech s předpokládanou dlouhotrvající sněhovou pokrývkou, jedná se především o oblasti s vyšší nadmořskou výškou než 600 m. n. m., doporučuje se měřit denní osvětlení při zasněženém terénu. Pokud měření probíhá při jiném stavu oblohy, než je rovnoměrně zatažená obloha, je nutné stav oblohy jednoznačně definovat a to dle 15ti standardizovaných typů obloh.

Měření lze také provádět na modelech (Bošová, a další, 2016), pokud situace neumožňuje měření přímo v objektech. Takováto měření jsou vyžadována v případě, že je projekt v přípravné projektové fázi a nejsou k dispozici ověřené výpočetní metody osvětlení nebo chceme-li porovnat různé typy osvětlovacích soustav pro výběr té nejoptimálnější či v případě výzkumných účelů, což je největší procento tohoto typu měření. Měření je nutné provést pod nezacloněnou oblohou opět s rovnoměrně zataženou oblohou se známým rozložením jasu nebo pod umělou oblohou s umělým osvětlením, kterou má k dispozici Slovenská akademie věd. Jedná se o kopuli průměru 8 m, která je odspodu osvětlena umělými zdroji tak, aby bylo dosaženo gradace jasu oblohy CIE.



Obrázek 11: Hemisferická umělá obloha na Ústave stavebnictví a architektury SAV v Bratislavě

Měření denního osvětlení probíhá pomocí souběžného měření dvou luxmetrů. Jeden měří osvětlenost venkovní vodorovné nezacloněné roviny E_{eh} [%] a druhý luxmetr měří osvětlenost vnitřního kontrolního bodu E [%]. Důležité je, aby oba luxmetry měly stejnou spektrální citlivost $V[\lambda]$, aby nedocházelo ke vzniku spektrálních chyb. Existují i přístroje, které dokáží měřit přímo činitel denního osvětlení D [%]. Jedná se o přístroj s dvěma čidly a dostatečně dlouhými přívodními kabely, jelikož je umístění čidel stejné, jako při měření dvěma luxmetry.

Před měřením a po skončení měření se kontroluje také rozložení jasu rovnoměrně zatažené oblohy, aby se zamezilo vzniku spektrálních chyb. Pokud měření trvá delší dobu, je vhodné tuto kontrolu udělat i během měření, jelikož rozložení jasu se díky proměnlivosti denního osvětlení může v průběhu měření změnit. Pro tuto kontrolu se využívá jasoměr, jehož úhel měřeného pole nemá být větší než 10° a pro přesné měření by měl mít úhel jeho měřeného pole 1° .

Jas se měří pod úhlem 15° , 45° a 90° nad horizontem ve čtyřech svislých rovinách, volí se směry rovnoběžné a kolmé na osvětlovací otvory. Má-li místnost jen jednostranné boční osvětlení, stačí kontrolu rozložení jasu provést jen na polovině oblohy, ovlivňující denní osvětlení. Jas v úhlu 15° by měl dosahovat hodnot 0,55 - 0,75 jasu v úhlu 45° a jas v zenitu by se měl pohybovat v rozmezí 1,15 – 1,4 jasu pod úhlem 45° .

V případě, že není k dispozici jasoměr, je možné použít čidlo luxmetru s jasovým nástavcem, který je opatřen černým matným povrchem z vnitřní strany. Pokud nástavec nemá optiku, jedná se o duté rovné potrubí o délce rovné nejméně dvacetinásobku jeho vnitřního průměru. V případě sofistikovanějšího nástavce s optikou je zaměření vyhodnocované plochy možné provést pomocí průhledové čočky. Nástavec je upevněn na čidlo luxmetru pomocí závitu.

Máme-li zkontrolované rozložení jasu oblohy, můžeme konečně přistoupit k měření venkovní nezacloněné srovnávací osvětlenosti vodorovné roviny. Místo pro měření volíme tak, aby bylo nezastíněné a aby bylo co nejbližší měřenému interiéru. Většinou se jedná o střechu daného objektu nebo o volné či vyvýšené prostranství. (Janečková(Prokopová), a další, 2014). Pokud takové místo k dispozici nemáme a při měření srovnávací osvětlenosti dochází k mírnému stínění okolními budovami, je potřeba naměřené hodnoty korigovat, což je možné podle prostorového úhlu a činitele odrazu světla stínících překážek pomocí Waldramova diagramu.

Interval měření volíme dle potřebného schématu, i intervalu 30 s až 1 min, záznam by měl být kompletní, včetně časového průběhu. A zároveň musí být zachována synchronizace měření vnitřní a venkovní osvětlenosti. (Janečková(Prokopová), a další, 2013)

S hodnocením osvětlenosti uvnitř interiérů souvisí činitel prostupu světla skrz průsvitnou část okenního otvoru. I tento parametr je možné měřit, základem je oboustranně vyčištěný materiál okenního otvoru. Způsoby měření jsou dva:

1) Měření činitele prostupu difúzního světla τ_{dif} [-] pomocí luxmetru

Při zjišťování hodnoty činitele prostupu difúzního světla τ_{dif} [-] měříme osvětlenost luxmetrem s čidlem přiloženým na měřenou vnitřní stranu výplně osvětlovacího otvoru s normálou plochy čidla směrem ven a bezprostředně po tom se měří s čidlem ve stejné poloze s otevřeným osvětlovacím otvorem. Hodnota činitele prostupu difúzního světla je rovna podílu obou změřených osvětleností. (ČSN 360011-2, 2014).

2) Měření normálového činitele prostupu světla $\tau_{s,nor}$ [-] pomocí jasoměru

Při zjišťování hodnoty normálového činitele prostupu světla $\tau_{s,nor}$ [-] jasoměrem, měříme jas oblohy nebo jiného pozadí směrem kolmo k povrchu materiálu, a bezprostředně

potom měříme jas stejného pozadí otevřeným otvorem. Hodnota normálového činitele prostupu světla je rovna podílu obou změřených jasů. (ČSN 360011-2, 2014)

Provádíme-li zároveň obě měření, musí být časový odstup obou měření velice krátký, abychom eliminovali proměnlivost denního světla na minimum. Hodnota normálového činitele prostupu světla $\tau_{s,nor}$ [-] je vyšší než hodnota činitele prostupu difúzního světla τ_{dif} [-]. Pokud totiž není známa skutečná hodnota činitele prostupu difúzního světla τ_{dif} [-], pro materiály propouštějící světlo, je možné hodnotu stanovit dle následujícího vztahu, dle (ČSN730580-1, Z3-2019).

$$\tau_{dif} = 0,9 \tau_{s,nor} \quad [9]$$

kde: τ_{dif} je činitele prostupu světla sklem pro difúzní světlo [-]

$\tau_{s,nor}$ je činitele prostupu světla sklem ve směru normály roviny skla [-]

Hodnoty činitele propustnosti denního světla jsou důležitým parametrem pro výpočet a následné hodnocení činitele denního osvětlení. Výrobci oken, resp. zasklení by měly tyto hodnoty uvádět v technických listech svých výrobků, aby při návrhu bylo možné činitele správně použít. Při návrhu objektu a vyhodnocování činitele denního osvětlení, je tato informace často nedostupná, proto je většinou jen odhadována.

S propustností denního světla okenním otvorem souvisí také znečištění průsvitné části okenního otvoru, jedná se o další důležitý parametr pro měření, výpočet a následné hodnocení denního osvětlení. Tento parametr se nazývá činitel znečištění výplně osvětlovacího otvoru τ_z [-].

Hodnoty samostatně určujeme pro vnější a vnitřní povrch osvětlovacího otvoru a to z toho důvodu, že každý povrch se dle prostředí, kterému je vystavován zašpiní za různou dobu a s různou intenzitou. Zároveň závisí i na sklonu okenního otvoru, zda zašpinění na průsvitné části ulpívá či nikoliv, proto jsou dány různé hodnoty pro svislý, vodorovný a šikmý otvor o různém sklonu. Měření probíhá obdobným způsobem, jako měření uvedené výše pro činitel prostupu světla. To znamená, že měření je prováděno buď luxmetrem s čidlem přiloženým rovnoběžně s povrchem materiálu zasklení, nebo se měří jasoměrem ve směru kolmo k jeho povrchu.

Měření provádíme přímo na okenním otvoru – na průsvitné části, v místě, kde je potřeba činitel znečištění zjistit. Na výplni okenního otvoru se na vhodném místě v potřebném rozsahu vyčistí vnější povrch výplně osvětlovacího otvoru a v bezprostřední blízkosti oba povrchy – vnější i vnitřní, poté se opakovaně měří osvětlenosti nebo jasy a to dle (ČSN 360011-2, 2014) dle následujícího schématu:

- 1) měření při oboustranně znečištěném povrchu výplně osvětlovacího otvoru
- 2) měření s vyčištěným vnějším povrchem a znečištěným vnitřním povrchem výplně osvětlovacího otvoru
- 3) měření s oboustranně vyčištěným povrchem výplně osvětlovacího otvoru

Všechna měření je žádoucí provádět v minimálním časovém intervalu, kdy je opět potřeba eliminovat proměnlivost denního osvětlení, aby byly minimalizovány chyby změnou intenzity osvětlení denním světlem.

Hodnota činitele znečištění vnějšího povrchu τ_{ze} [-] je rovna podílu hodnoty změřené při oboustranně znečištěném a hodnoty při vyčištěném vnějším povrchu výplně osvětlovacího otvoru.

Hodnota činitele znečištění vnitřního povrchu τ_{zi} [-] je rovna podílu hodnoty změřené při znečištěné výplni pouze na vnitřní straně a hodnoty při oboustranně vyčištěné výplni osvětlovacího otvoru.

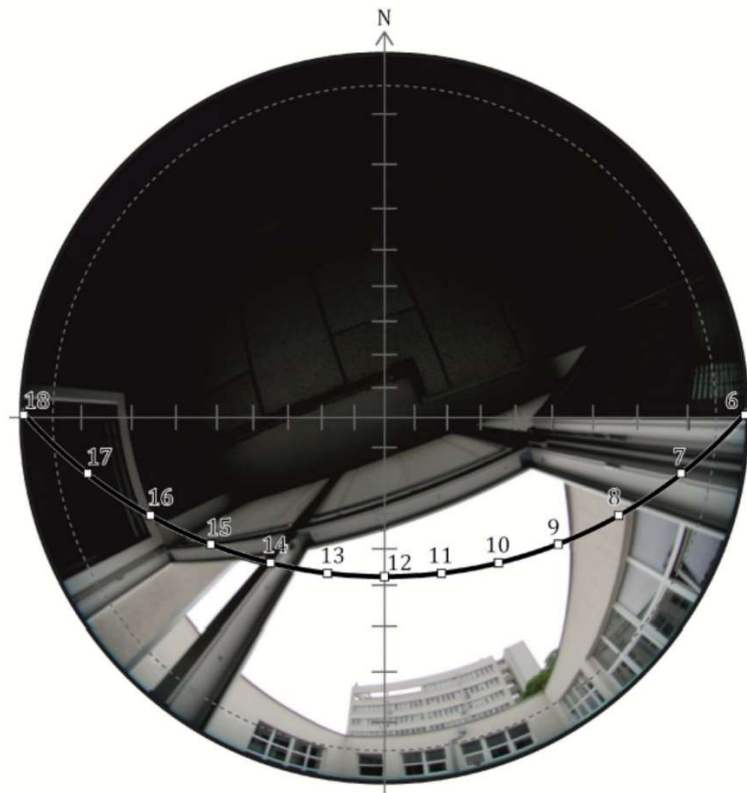
Celková hodnota činitele znečištění τ_z [-] je rovna podílu hodnoty změřené při oboustranně znečištěné a hodnoty změřené při oboustranně vyčištěné výplni osvětlovacího otvoru. (ČSN 360011-2, 2014)

Další samostatnou částí v oblasti měření denního osvětlení je měření jasů. Jedná se o kvalitativní parametr, jelikož správné rozložení jasů v místnosti zajišťuje zrakovou pohodu uživatele. Jas lze interpretovat jako podíl svítivosti ke kolmému průmětu plochy, kterou vidíme. Před měřením jasů ploch vnitřního prostoru je potřeba zkontrolovat rozložení jasů rovnoměrně zatažené oblohy při současném měření úrovně srovnávací osvětlenosti venkovní vodorovné nezacloněné roviny. Změřené jasy musí být korigovány na stejnou úroveň osvětlenosti venkovní vodorovné nezacloněné roviny, aby byla eliminována proměnlivost denního světla (ČSN 360011-2, 2014).

Měření jasů opět provádíme při rovnoměrně zatažené obloze s rozložením jasu podle ČSN 73 0580-1, příloha A, za předpokladu tmavého terénu a probíhá v místnostech, kde vykonáváme danou činnost a kde může jas nějakým způsobem tuto činnost ovlivňovat. Prvotním měřícím místem je proto pracovní plocha a její nejbližší okolí. V rámci měření je uvažováno celé okolí, včetně stropů, stěn, podlah, ale i nábytek a zařízení, které jsou součástí měřené místnosti. Naměřené hodnoty jsou dále vyhodnocovány a porovnávají se s doporučenými hodnotami a až poté je deklarován prostor za vyhovující či nikoliv. Při vyhodnocování jasů, které mohou vést k oslňování uživatelů, musíme brát v úvahu, že měření je prováděno při rovnoměrně zatažené obloze, kdežto k problematickému oslňování bude docházet nejvíce při nerovnoměrně zatažené obloze / jasné obloze.

Pro měření je vhodné používat jasové analyzátoři, jelikož měření pomocí jasoměru je náročnější a vyžaduje větší časový interval, což je opět pro měření denního světla problematické, kvůli jeho proměnlivosti. Pro měření jasoměrem volíme na měřené ploše rastr měřících bodů, z kterého se následně výpočtem určí průměrný jas dané plochy. Oproti tomu jasový analyzátor umožňuje plošné měření a následné analyzování rozložení jasu na osvětlovaných plochách nebo světelných zdrojích. Obvykle se jedná o speciální digitální fotoaparát nebo kameru, jehož spektrální citlivost je přizpůsobena (hardwarově či softwarově) citlivosti lidského oka, normálního fotometrického pozorovatele.

Od difúzního denního osvětlení se dostáváme k přímým slunečním paprskům a tedy k měření doby proslunění. Jedná se o ověření viditelnosti slunce na obloze při jasné obloze a následné odečtení a uvedení této doby v hodinách, minutách. Oslunění je zjišťováno při zanedbání oblačnosti a je možné ho vypočítat nebo ověřit in situ. Nejjednodušším způsobem pro ověření doby oslunění je metoda pomocí fotoaparátu s objektivem fish eye. Čočku fotoaparátu musíme umístit do kontrolního bodu daného okenního otvoru a zajistit polohu severu. Do fotografie je dále potřeba promítnout diagram slunečních drah a dle skutečných poloh exteriérových překážek zjistit dobu oslunění. V místech, kde je dráha slunce vedena po viditelné části oblohy, je možné uvažovat dopad přímých paprsků do kontrolního bodu. Naopak, pokud je dráha slunce vedena přes nějakou překážku, stává se tato překážka jasným stínícím prvkem a v konkrétní měřený den je nutné tento časový interval z vyhodnocené doby proslunění odebrat. Vše názorně ukazuje Obrázek 12.



Obrázek 12: Ověření doby proslunění fotoaparátem s objektivem typu rybí oko a vloženým stereografickým diagramem (ČSN EN 17037, 2019)

Přesnost ve vyhodnocení doby oslunění určuje shodnost severní orientace fotografie se severní orientací diagramu slunečních drah. Z dráhy slunce pro zvolený kontrolní den je možné odečíst dobu oslunění. Jako vhodnou pomůckou pro fotografii pořízenou čočkou fotoaparátu směřující svise vzhůru se ukázal kruhový diagram slunečních drah neboli stereografický diagram.

Posouzení pro vybraný den, který je v České republice stanovený na 1. března při zanedbání oblačnosti, provádíme pro kontrolní bod/y, umístěné ve středu šířky okenního otvoru na vnitřní rovině obvodové konstrukce, ve výšce minimální 1,2 m nad podlahou nebo 0,3 m nad parapetem a volíme vždy vyšší výšku z těchto dvou parametrů. Je-li okno bez parapetu, volíme výšku kontrolního bodu automaticky vy výšce 1,2 m nad podlahou daného podlaží.

První překážku pro možnost dopadu přímých slunečních paprsků do kontrolního bodu tvoří ostění okenního otvoru. Společně tak tloušťka ostění, resp. tloušťka obvodové konstrukce spolu se šířkou okenního otvoru ovlivňují tzv. neefektivní úhel možného dopadu přímého slunečního svitu – viz Obrázek 7. Dalším omezujícím úhlem doby oslunění je

úhel $\gamma_{s,\min}$ [°], který charakterizuje uvažovanou minimální výšku Slunce nad obzorem. Evropská norma ČSN EN 17037, uvádí pro Českou republiku a datum 21. března úhel $\gamma_{s,\min} = 13^\circ$. Po přepočtu na den 1. března se sníží úhel $\gamma_{s,\min}$ na hodnotu $\gamma_{s,\min} = 3^\circ$, jak je uvedeno v článku (Kaňka, 2021).

Po dokončení všech měření je důležité zpracování protokolu o měření a všechna naměřená data vyhodnotit. Protokol musí obsahovat všechna důležitá data, hodnoty, skici či výkresovou dokumentaci a ideálně je doplněn fotodokumentací, která tvoří průkazný a vizuální prvek celé dokumentace.

Změřená data je nutné upravit na základě vlastností jednotlivých měřících přístrojů, jak dle dat výrobců, tak převážně dle kalibračních protokolů. V některých případech přistupujeme k přizpůsobení dat včetně vlastností měřeného prostoru nebo podmínek měření všech podstatných korekčních činitelům a to tak, aby ve výsledcích měření byly co nevíce eliminovány chyby měření a výsledky tak maximálně odpovídaly skutečnosti.

Pro přehlednost naměřených dat jejich zápis provádíme do tabulek, které obsahují jasné popisky a k tomu přiřazená měřená data. Popis měření by měl korespondovat s výkresovou dokumentací, aby bylo dodatečně jasné, kde se daný měřený bod nacházel. Používáme číselné, či abecední označení jednotlivých bodů, které odpovídá tabulkovému popisu a každý bod je tak jednoznačně identifikován. V rámci rozložení světla je možné vyhodnocení provést pomocí grafického znázornění přímo do půdorysu. Pro denní světlo se zakreslují křivky o stejné úrovni činitele denního osvětlení, nazývají se izofoty, pro umělé světlo se pak zakreslují izoluxy, což jsou čáry, spojující body o osvětlenosti se stejnými hodnotami. Ze změřených hodnot jasů ploch se stanoví rozložení jasů pro jednotlivé části zorného pole. V tomto nám může práci ulehčit jasový analyzátor, jelikož fotografie z jasového analyzátoru již toto rozložení jasů obsahují. Měnila-li se úroveň venkovní srovnávací vodorovné osvětlenosti během měření, je potřebné jasy přepočítat na stejnou jednotnou úroveň srovnávací osvětlenosti. Při posouzení největších přípustných jasů osvětlovacích otvorů při průhledu na oblohu, se počítá s jasem rovnoměrně zatažené oblohy při venkovní vodorovné srovnávací osvětlenosti 20 000 lx. Rozložení jasů ploch je možné vyhodnotit na perspektivním výkrese nebo na barevné fotografii s příslušnou legendou. Fotografie či perspektivní výkres můžeme opět doplnit o izočáry jasů nebo kontrasty jasů.

Abychom mohli daný měřený bod vyhodnotit, zda je pro danou funkci vyhovující či nikoliv, z hlediska denního osvětlení se určují minimální hodnoty činitele denního osvětlení $D [^\circ]$, které se pak porovnávají s minimálními doporučenými hodnotami. Při horním, kombinovaném nebo sdruženém osvětlení se hodnotí i průměrný činitel denního osvětlení a celý prostor jako takový by měl vykazovat požadovanou rovnoměrnost. Někdy je potřeba měřený prostor na základě vyhodnocení rozdělit na vymezené funkční zóny, kterým se pak přiřadí daná funkce prostoru, pro který má být nadále využíván. Součástí hodnocení musejí být i posouzení vlivů jednotlivých činitelů na zjištěné hodnoty a na zrakovou pohodu – jedná se např. o vliv znečištění, stavu údržby, stav regulačních zařízení, přítomnost osob, různé stínění technologiemi, zařízeními a dekoracemi.

Závěr hodnocení by měl obsahovat, zda naměřené hodnoty vyhovují požadovaným hodnotám dle platné legislativy. Pokud byl výsledek nevyhovující, měl by závěr obsahovat vhodná doporučení, jak dále pokračovat, co je potřeba zlepšit či upravit, aby se naměřené hodnoty dostaly na úroveň požadovaných hodnot. Často je doporučováno zlepšení odraznosti povrchů, snížení znečištění pravidelnou údržbou až po zásah do konstrukčních prvků, jako např. možnost zvětšení okenního otvoru.

Na konci měření jsou odhadovány chyby a nejistoty měření, které mohly během měření vzniknout. Odhad nejistoty měření se provádí dle postupu (ČSN 360011-1, 2014).

Nejistoty, které se mohou objevit u měření denního osvětlení, jsou tyto:

- 1) nejistota kalibrace měřících přístrojů – jedná se především o luxmetry a jasoměry, jejichž hodnoty by měly obsahovat kalibrační listy každého použitého měřícího přístroje
- 2) nejistoty způsobené chybami měřících přístrojů, které by jednotlivě měly být uvedeny v dokumentaci od výrobce a následně započítány opět dle (ČSN 360011-1, 2014):
 - spektrální chyba,
 - směrová chyba,
 - chyba linearity,
 - chyba displeje,
 - únava fotonky,
 - chyba způsobená vlivem teploty,
 - chyba modulace světla,

- vyrovnaní,
- citlivost na UV záření,
- citlivost na IR záření.

Pokud nejsou výše zmíněné chyby uvedeny jednotlivě, je možné použít celkovou chybu, kterou výrobce uvést musí.

- 3) nejistoty chybou zaokrouhlování jsou většinou odhadovány podle použitého postupu měření a přesností použitých měřicích přístrojů.
- 4) nejistoty z chyb korekcí ať už na kalibrační křivku nebo druh světla
- 5) nejistota chybami metody:
 - chyba v plošném umístění fotonky u luxmetru nebo jasoměru,
 - chyba ve výškovém umístění fotonky u luxmetru nebo jasoměru,
 - chyba ve směrování jasoměru,
 - chyba časového souběhu odečtu,
 - chyba rovnoměrnosti zatažené oblohy,
 - chyba měřicích bodů a to počtem nebo umístěním,
 - případně další chyby neuvedené výše.

Nejsou-li hodnoty některých chyb známy, musejí být odhadnuty. Pak je ovšem nutné určit váhu jednotlivých chyb. Chyby, které mají na výsledky měření minimální váhu, se z odhadu vynechají. Toto balancování je vždy na účastnících samotného měření a velkou váhu zde hrají zkušenosti celého měřicího týmu, který za měření zodpovídá a který by měl mít předem přibližnou představu o výsledcích samotného měření, aby v případě fatální chyby byl schopen tuto chybu odhalit nejlépe již v samotném počátku.

Finální protokol z denního osvětlení má několik bodů, které přesně definuje norma (ČSN 360011-1, 2014) a norma (ČSN 360011-2, 2014). Body jsou následující:

- 1) přesné označení objektu a vymezení prostoru, kde probíhá měření
- 2) datum a hodina měření
- 3) účel měření a zvolený stupeň přesnosti měření
- 4) údaje o měřicích přístrojích včetně třídy přesnosti a kalibrace přístrojů
- 5) údaje o způsobu měření, případně o pomocných zařízeních
- 6) rozměry nebo výkresy s orientací měřeného prostoru

- 7) údaje o funkci prostoru, o druhu a rozmístění zrakových činností
- 8) údaje o vlastnostech prostoru a jeho vybavení zařízeními
- 9) údaje o druhu osvětlovacích otvorů, jejich rozměry a umístění, konstrukce, sklon (úhel, který svírá rovina otvoru a vodorovná rovina), druh a vlastnosti průsvitné výplně osvětlovacích otvorů (sklo nebo plast, či jiný materiál, čiré rozptýlené, neutrální zbarvené, reflexní vrstvy, hodnoty činitele prostupu, odrazu a pohlcení světla atd.), ale také způsob a lhůty čištění konstrukcí osvětlovacích otvorů, poslední interval čištění, stupeň znečištění (hodnoty činitelů znečištění venkovního a vnitřního povrchu)
- 10) údaje o funkčním stavu konstrukcí osvětlovacích otvorů (otevřené, zavřené), druh a vlastnosti zařízení pro regulaci denního osvětlení (záclony, rolety, závěsy, žaluzie, clony, okenice, jejich propustnost, činitel odrazu, barva, stupeň znečištění) a funkční stav zařízení pro regulaci denního osvětlení během měření (např. zatažené záclony, stažené rolety či žaluzie, při plynulé nebo stupňovité regulaci se uvede úroveň regulace)
- 11) údaje o okolnostech ovlivňujících měření (např. přítomnost uživatelů), stav a rozložení jasu oblohy během měření, venkovní stínění, předstupující části objektu s měřeným prostorem, okolní objekty, terén, vysoká zeleň, činitele odrazu světla stínících objektů a terénu, dále také případné dočasné stínění (což může být např. lešení, výzdoba, atd.), důležitá je také teplota vnitřního a venkovního vzduchu
- 12) výška i sklon srovnávací roviny a rozmístění kontrolních bodů pro měření osvětlenosti i jasů – ideálně doplněné o výkresovou dokumentaci
- 13) vyznačení orientace optické osy jasoměru nebo jasového analyzátoru
- 14) výsledné hodnoty zjištěné měřením sestavené do tabulek nebo uvedené ve výkresech, případně vyjádřené graficky, s uvedením a odůvodněním použitých korekcí, u nich se uvede hodnota odhadu nejistoty měření $\pm U$ v použitých jednotkách (lx, cd/m², atd.)
- 15) porovnání hodnot zjištěných měřením s požadavky s ohledem na nejistotu měření
- 16) závěry vyhodnocení a případné doporučení na opatření ke zlepšení stavu osvětlení
- 17) jména pracovníků účastnících se na měření
- 18) podpis osoby zodpovědné za měření.

4. Experimentální laboratoř denního osvětlení a oslunění

4.1. Zadání

Cílem celého projektu a mé práce je navrhnout, postavit a vybavit mobilní experimentální laboratoř denního světla, která bude následně sloužit pro další výzkum a vývoj v oblasti denního osvětlení a oslunění. Unikátní mobilní měřicí zařízení umožní hodnotit kvalitu a kvantitu denního osvětlení uvnitř interiéru na základě mnoha okrajových podmínek a zadávacích parametrů, které lze díky mobilitě a variabilitě celé laboratoře nasimulovat. Laboratoř bude sloužit k výzkumným projektům, kde bude možné ověřit množství denního světla v interiérech a zhodnotit tak kvalitu vnitřního prostředí na základě odrazivosti různých typů fasád či interiérových stěn, propustnosti denního světla u progresivních typů zasklení, měření znečištění a jeho vliv na úroveň denního osvětlení v interiéru, vliv stínících prvků na množství a kvalitu denního světla, jejich barev a materiálových charakteristik ale i řídicích elektronických systémů osvětlenosti s vazbou na denní a sdružené osvětlení.

Mobilní laboratoř (Klemps, a další, 1982) přináší nové technologie pro ověřování denního světla v budovách, možnosti měřit a posuzovat kvantitativní a kvalitativní kritéria denního osvětlení, jelikož pro laboratoř bude možné nasimulovat mnoha okrajových podmínek, dle požadavků a konkrétních situací. V laboratoři bude možné ověřit kvantitu a kvalitu denního osvětlení na základě požadovaných okrajových podmínek, což využijí např. výrobci oken, světlovodů, stínící techniky ale i omítek a fasád. Laboratoř bude sloužit i pro kooperaci s výrobcí elektronických řídicích systémů osvětlenosti, které by laboratoř využili pro vývoj řídicích jednotek opět dle konkrétních požadavků a okrajových podmínek, tato oblast je pro nové inteligentní stavby velice žádaná. Laboratoř umožní studentům názorně provádět experimenty a prakticky se seznámit s podmínkami využívání denního světla a zařízení na regulaci denního světla v interiéru při vlivu venkovních podmínek, které díky mobilitě lze variovat.

V rámci návrhu interiérů a následných výpočtů denního světla vycházíme z tabulkami daných normových hodnot, které mnohdy neodpovídají skutečným okrajovým podmínkám konkrétního zadaného interiéru, proto by mobilní laboratoř měla lépe demonstrovat tyto podmínky a v návrhu osvětlení interiéru pak vycházet z těchto reálných hodnot a zpřesňovat tak návrhy nejen denního osvětlení, ale v konečném důsledku kvalitu vnitřního prostředí.

Důležitým prvek bude testování nových produktů a technologií s vazbou na elektronické řízení osvětlenosti, což bude mít velký význam pro firmy, jejichž výrobky či procesy ovlivňují denní osvětlení v interiéru budov. Laboratoř bude také schopna monitorovat rozdíly ve vnímání bočního, horního, ale i šikmého osvětlení denním světlem včetně světlovodů.

Pro tento projekt byl sestaven tým, který tvořili dva architekti – Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D. a Ing. arch. Martin Majna a odborník z oblasti světlené techniky Ing. Lenka Prokopová, Ph.D. Myšlenka projektu vzešla od autorky práce Ing. Lenky Prokopové, Ph.D., která zároveň vedla celý řešitelský tým. Cílem bylo navrhnout variabilní mobilní dřevěný objekt, který bude sloužit pro další výzkum a vývoj v oblasti světlené techniky. Unikátní dřevěný objekt v rámci své mobility nabízí mnoho okrajových podmínek a zadávacích parametrů, které jsou pro výzkumné prostředí jedinečnou prioritou. Variabilita bude možná v závislosti na možném využití okenních otvorů a jejich případném zaclonění, ale také na nepřeborném množství barev a materiálových charakteristik jednotlivých typů povrchových úprav stěn či typů fasád.

Předpokládá se, že mobilní objekt bude součástí již homologovaného tažného přívěsu, který je určený pro osobní (případně nákladní) automobil a jeho mobilita tak bude velice snadno zajištěna. Objekt tak bude možné použít pro testování nových produktů a technologií, které je potřeba in situ otestovat.

Konstrukční řešení objektu splňuje samozřejmě bezpečnostní kritéria pro převoz na pozemních komunikacích a nesmí svým provozem na komunikaci ohrozit své okolí. Proto i jeho architektonické, koncepční a statické řešení bylo od samého počátku systematicky navrhováno s možnými variantami a danými omezeními, tak aby vyhovovalo svému primárnímu účelu.

Řešitelský tým pod vedením Ing. Lenky Prokopové, Ph.D. si zvolil toto téma, které je určitě současné a využitelné v praxi, zároveň se dá do budoucna na nastolené téma navazovat a rozšiřovat výzkumnou otázku o další podtémata v oblasti světlené techniky. Návrh mobilního dřevěného objektu nemá nahrazovat stávající typy objektů, jako jsou karavany nebo mobilheimy, jelikož se nejedná o objekt určený pro bydlení, ale o objekt, který prvotně bude sloužit k výzkumným účelům. Objekt by tedy měl plnit funkci mobilního laboratorního zařízení,

kteřé dle svého zaměření bude možné dále dotvářet či upravovat dle potřeb a požadavků konkrétních měření a výzkumných záměrů.

Dalším přínosem výzkumného projektu je využití nástroje metody BIM pro návrh samotného objektu. Proces je podrobně zdokumentován a byl porovnán s tradičním CAD procesem se zaměřením na rozdíly při navrhování z masivních panelů.

Vědecký tým si při konzultacích s různými vědeckými institucemi, ale i se subjekty z praxe ověřil, že je o mobilní experimentální laboratoř tohoto typu zájem a že má jeho pole působnosti širokou míru využitelnosti nejen v experimentální sféře, ale i v oblasti vývojové a průmyslové.

Objekt měl prioritu být mobilní, být součástí běžné silniční dopravy a to vždy tak, aby jeho transport byl z provozního i ekonomického ohledu nejjednodušší. Proto jsme zvolili jeho nosnou konstrukci umístěnou na již předem homologovaném tažném přívěsu. K tomu byla zjištěna potřebná pravidla pro provoz na komunikacích. Důležité body, které pomohly pro rozhodování, jsou uvedeny v části: Příloha 1 – Hlavní parametry přívěsu a samotné laboratoře.

Finálně byl pro naši experimentální laboratoř zvolen přívěs typu TH 660 PLATEAU, jehož výrobcem je firma Vlemmix – viz.

Obrázek 13

Okenní otvory jsou nejdůležitější částí celé laboratoře, proto hlavní okenní otvor zaujímá maximální možnou plochu jedné obvodové stěny. Jeho maximální možná velikost byla zvolena dle konstrukčních a statických možností mobilního objektu. Okenní tvor je zasklený klasickou výplní a to izolačním dvojsklem, jedná se tedy o velmi těžký prvek laboratoře, se kterým bylo potřeba počítat hned od začátku. Otvor bude pro různá měření možné konstrukčně zmenšovat a v případě potřeby bude vytvořen např. parapet potřebné výšky, toto je další priorita experimentální laboratoře.

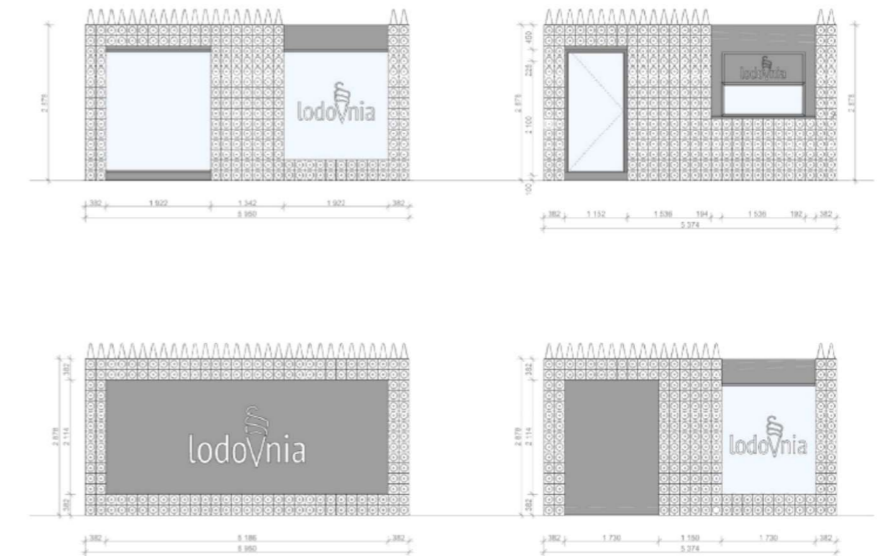
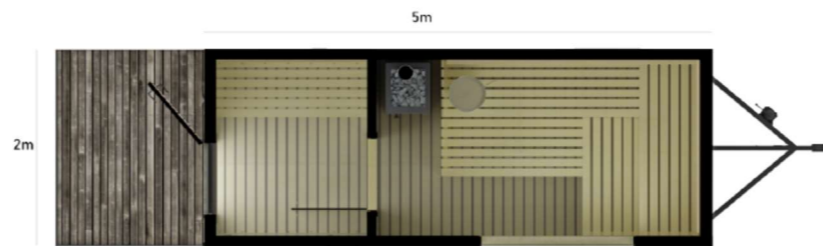
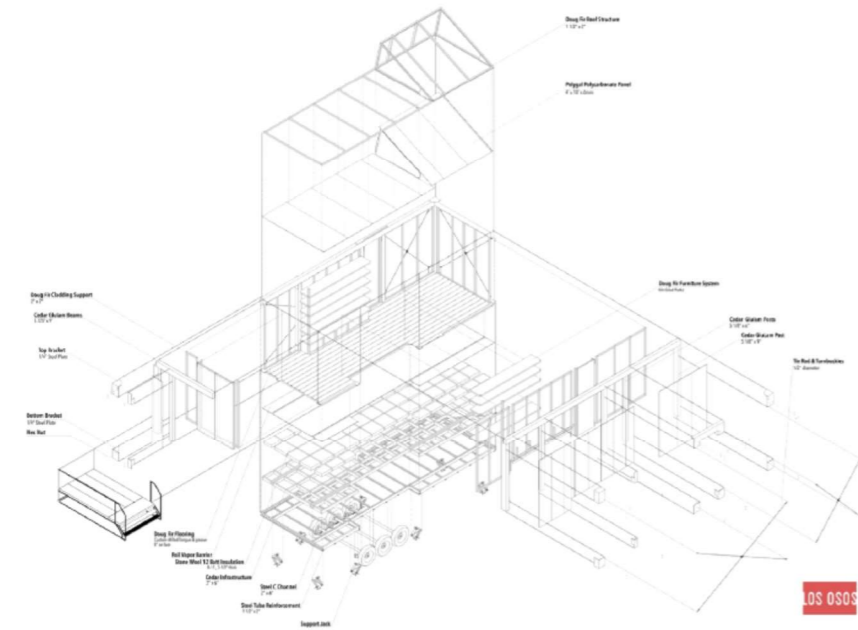
Navržen byl také střešní světlík a světlovod ve střešní rovině. Protože i měření horního a šikmého osvětlení bylo cílem experimentální laboratoře. Všechny otvory bude možné zaclonit tak, aby v případě nepotřebnosti neovlivňovaly měření a byla zajištěna potřebná variabilita mobilního objektu.

Dalšími zadávacími parametry pro návrh mobilního objektu, který má sloužit jako mobilní experimentální laboratoř byl vnitřní prostor, který simuluje obytnou místnost, proto jeho minimální vnitřní rozměry byly limitovány minimální plochou 8m² a světlou výškou 2,6 m. Pro možnost měření bez ovlivnění samotného měření přítomností osob, byla navržena vnitřní dělicí konstrukce, která oddělí měřený prostor od možného pracovního prostoru, který slouží k uložení datalogerů a dalších potřebných přístrojů a případně i jako prostor pro okamžité vyhodnocování výsledků měřicího týmu.



Obrázek 13: Vybraný přívěs od firmy TH 660 PLATEAU Vlemmix, zdroj www.vlemmixaanhangwagens.nl

4.2. Architektonický návrh mobilní experimentální laboratoře



Coroflot's Mobile Work Unit / LOS OSOS

Scandinavian Sauna / Native Narrative

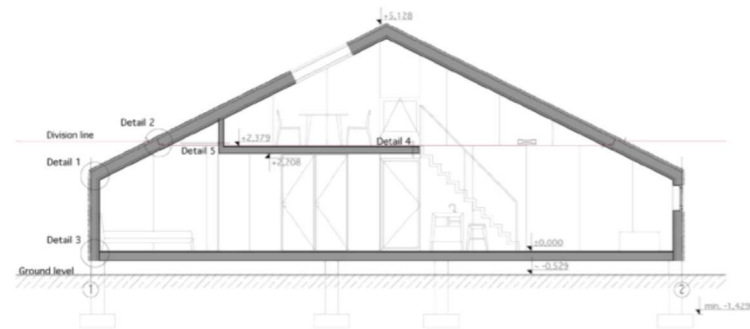
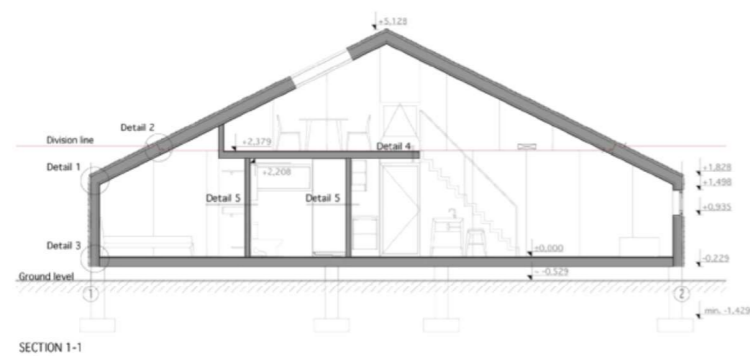
LODOVNIA Ice Cream Shop / mode:lina architektci



Autor návrhu:
Ing. arch. Martin Majna
Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D.

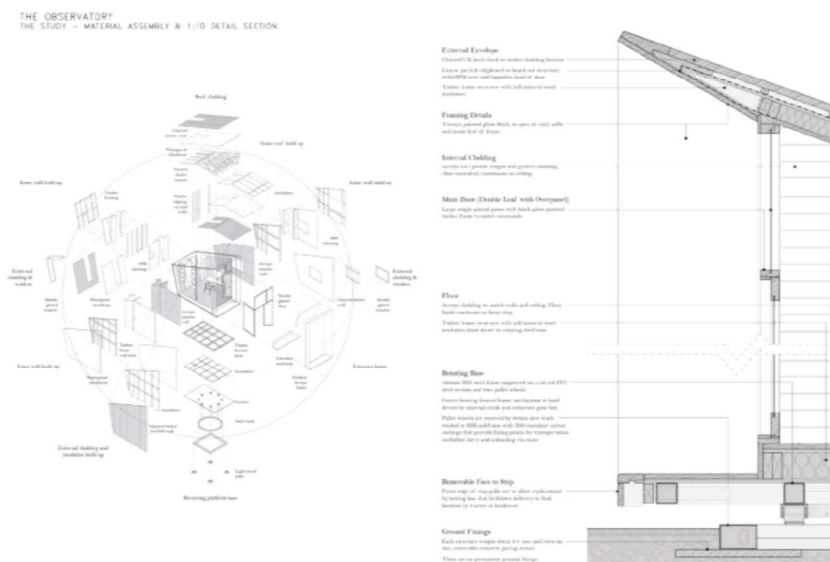
Technické požadavky:
Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

Mobilní dřevěný objekt řešený metodikou BIM
SGS ČVUT 2021
Inspirace



INTERIOR FINISHES
 External walls in axes 1-2 - painted plywood panels, W01
 Ceiling, external walls in axes A-B - veneered ash plywood, natural color
 Inner walls - laminated wall panel, white, art. WA

ESCLISE Mobile Design Home / Arhitektu Birojs Arhiidea



The Observatory / Feilden Clegg Bradley Studios



Airstream Globetrotter

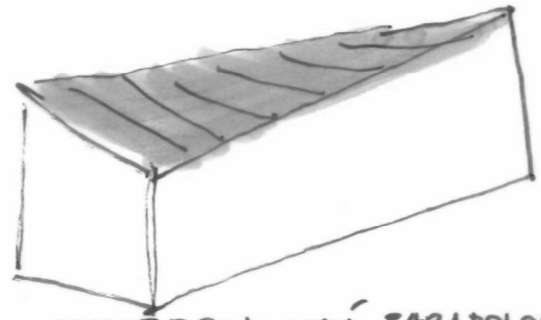
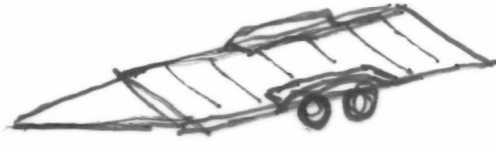


Autor návrhu:
 Ing. arch. Martin Majna
 Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D.

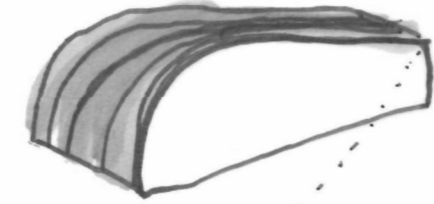
Technické požadavky:
 Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

Mobilní dřevěný objekt řešený metodikou BIM
 SGS ČVUT 2021
 Inspirace

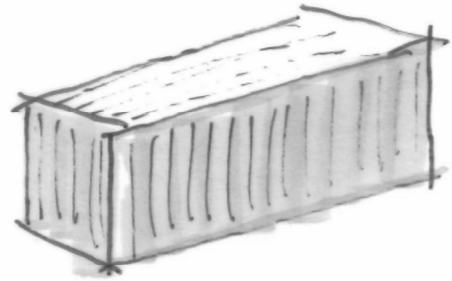
T. CVUT. CVU
 T. CVUT. CVU
 CVUT. CVU



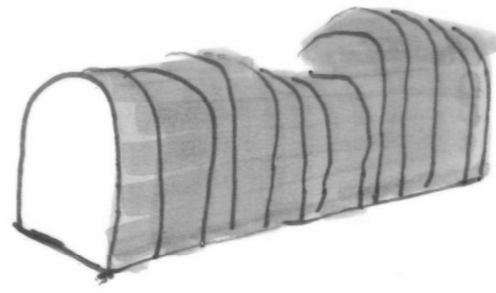
HYPERBOLICKÝ PARABOLOID
 STŘECHA



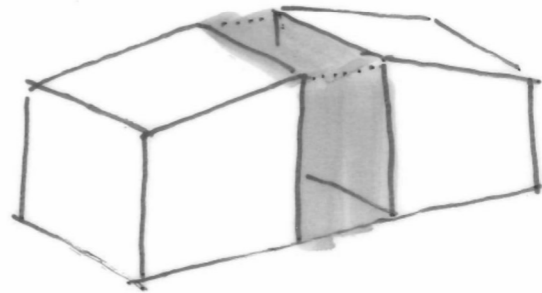
"AERODYNAMICKÝ
 TVAR" "ČÁST KVAPEK"



ŽAU JÍMAVÁ FASÁDA
 JEDNODUCHÝ OBJEM



PARAMETRICKÉ
 ROOF

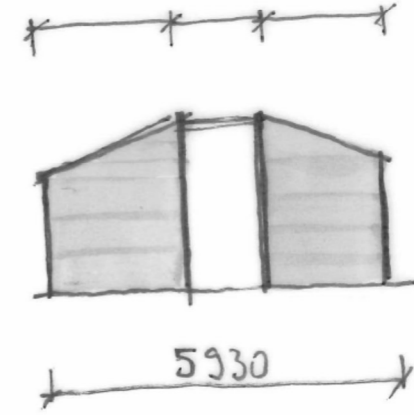
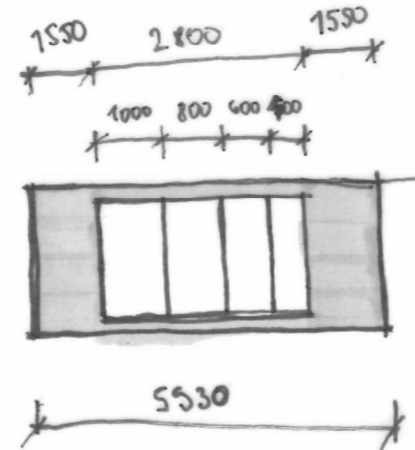


HRA DVŮH OBJEMŮ

ARCHITAVY "LODOVNIA"

REPETITIVNÝ PRŮKŘÍŽ - 3D TLAČ?
 - LOGO ČVUT?
 - NXPIS

- STŘECHA NA SVĚTLÍK
- STĚNY KOLMÉ - POTŘEBUJEME PŮSBE SIMULOVAT
- FASÁDA - ASPOŇ TROUHU AERODYNAMICKÁ
 - PŘEVŮZM

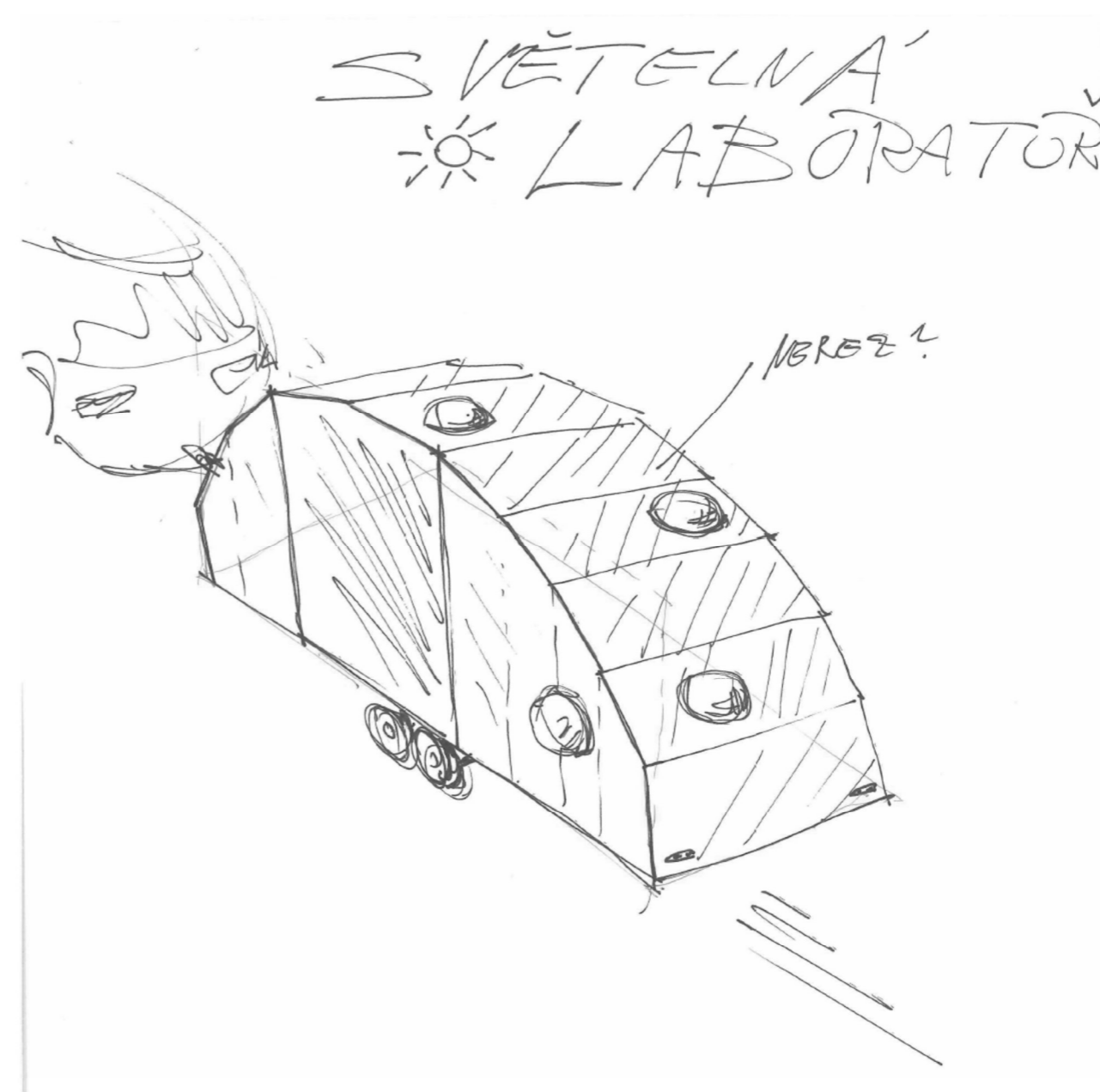
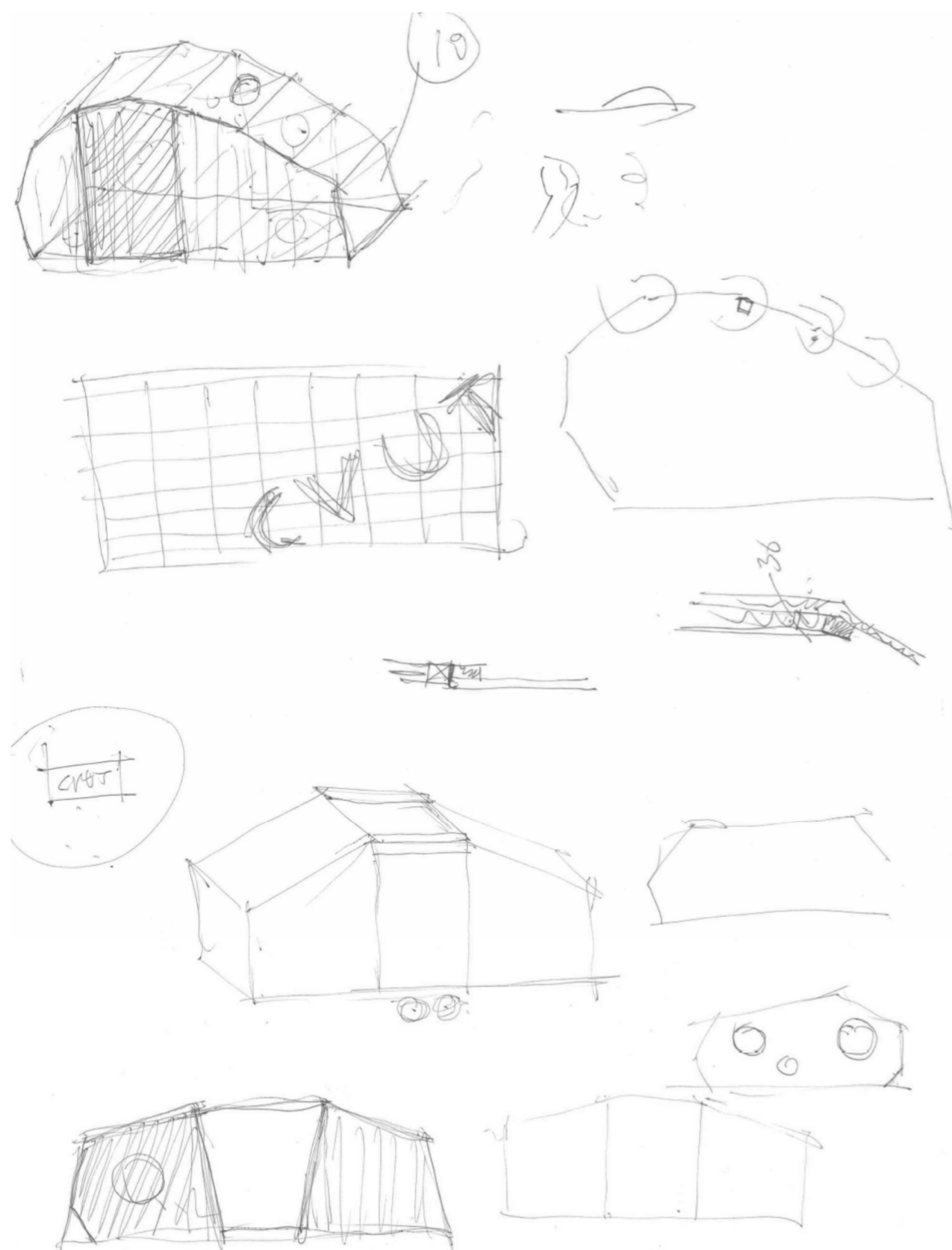


FAKULTA
 ARCHITEKTURY
 ČVUT V PRAZE

Autor návrhu:
 Ing. arch. Martin Majna
 Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D.

Technické požadavky:
 Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

Mobilní dřevěný objekt řešený metodikou BIM
 SGS ČVUT 2021
 Skice



Pro účel mobilního dřevěného objektu jsme se inspirovali estetikou karavanu a křídla letadla. Požadavky na mobilitu navrhovaného objektu a zároveň originalitu řešení nás motivovali hledat zajímavější řešení nežli "jenom" obalený lodní kontejner. Cíl projektu, vytvořit dokumentaci k mobilnímu objektu jenž by mohl sloužit pro další výzkum a měření bude naplněn do konce roku 2021.



**FAKULTA
ARCHITEKTURY
ČVUT V PRAZE**

Autor návrhu:

Ing. arch. Martin Majna

Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D.

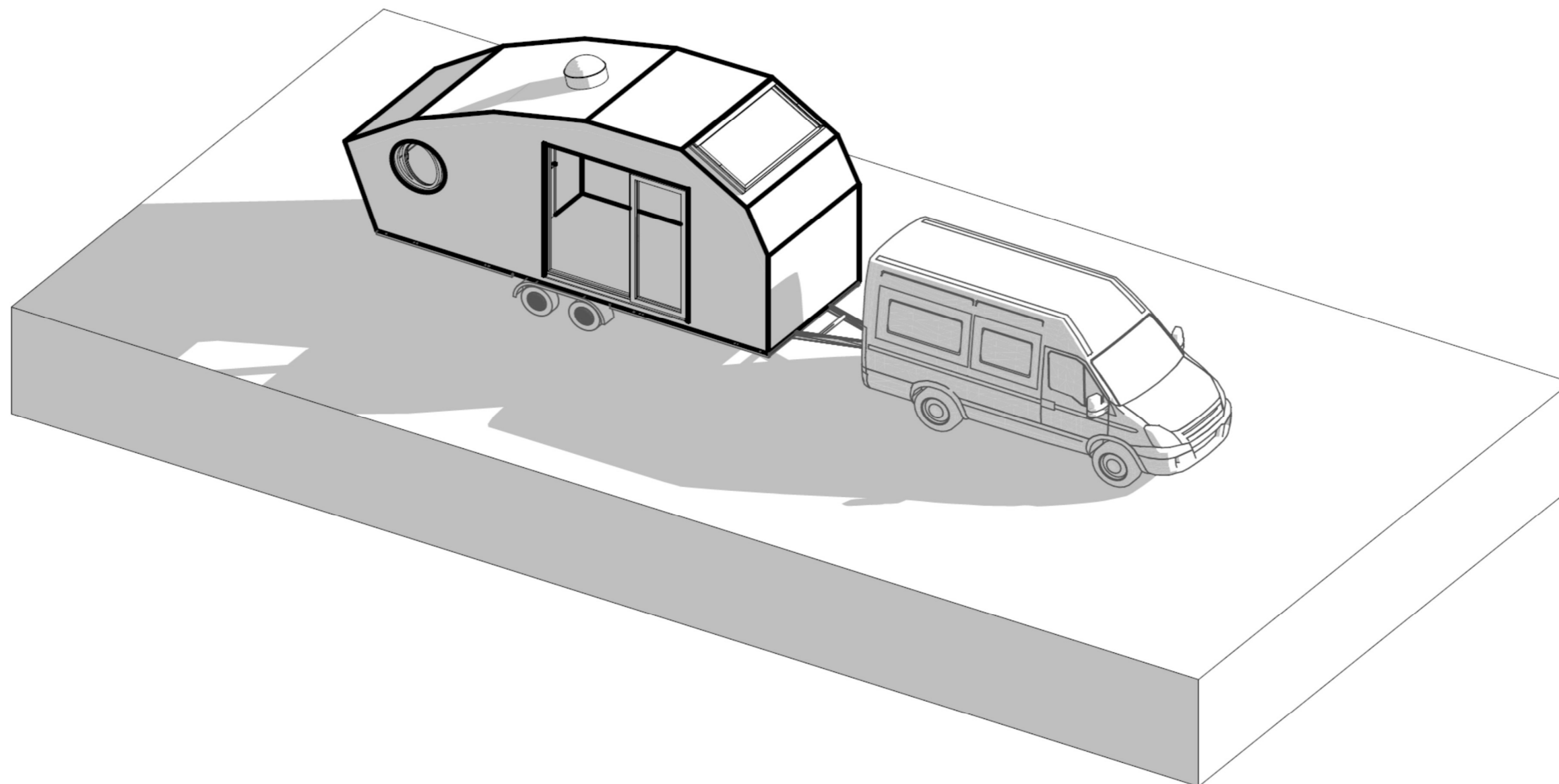
Technické požadavky:

Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

Mobilní dřevěný objekt řešený metodikou BIM

SGS ČVUT 2021

Skice



**FAKULTA
ARCHITEKTURY
ČVUT V PRAZE**

Autor návrhu:

Ing. arch. Martin Majna

Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D.

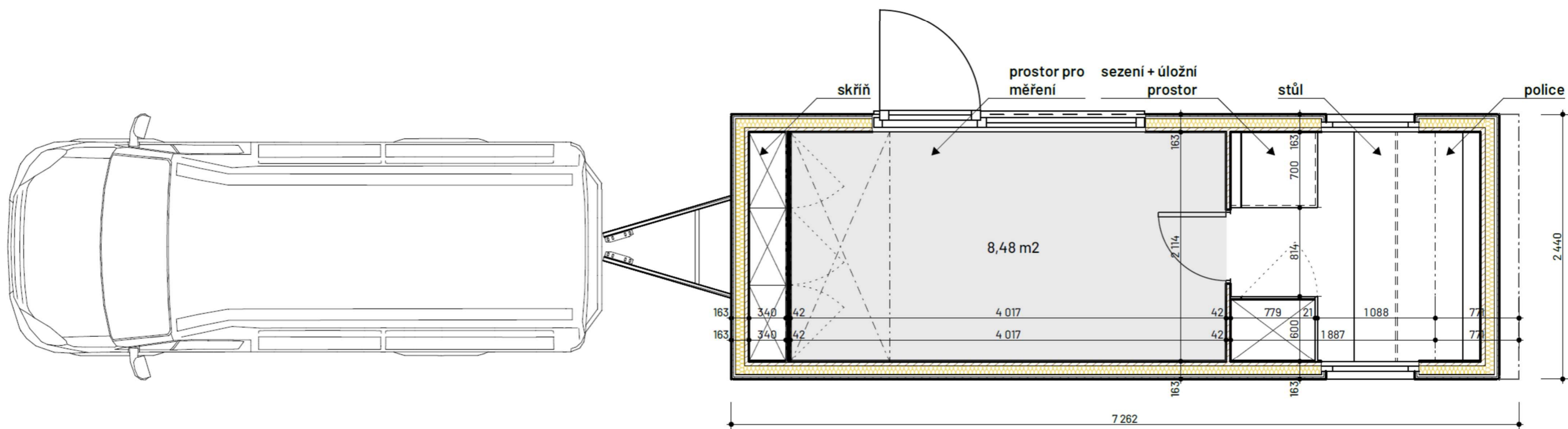
Technické požadavky:

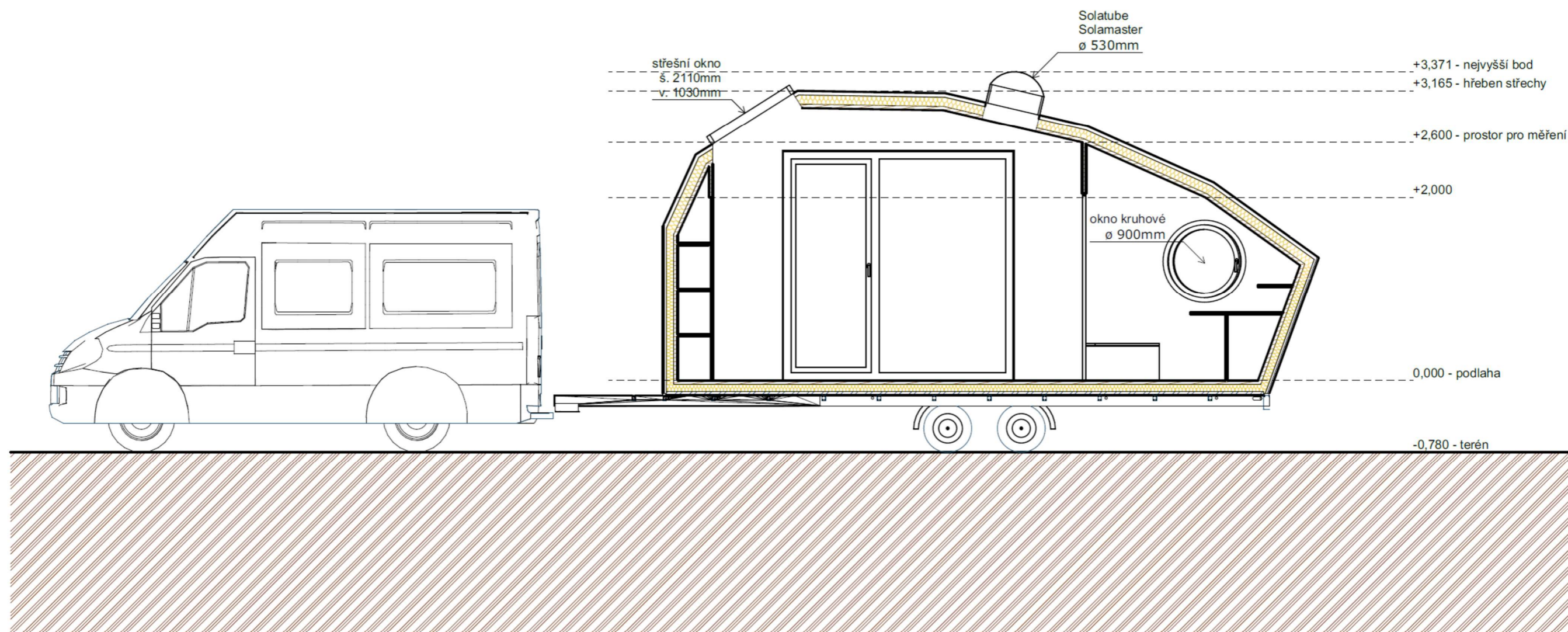
Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

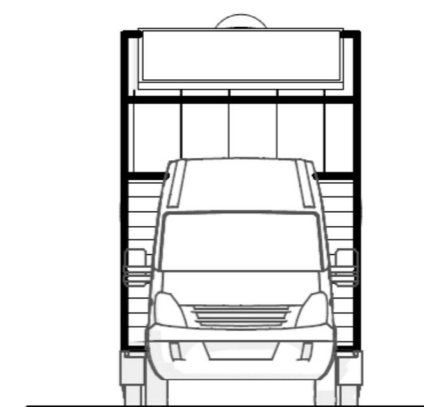
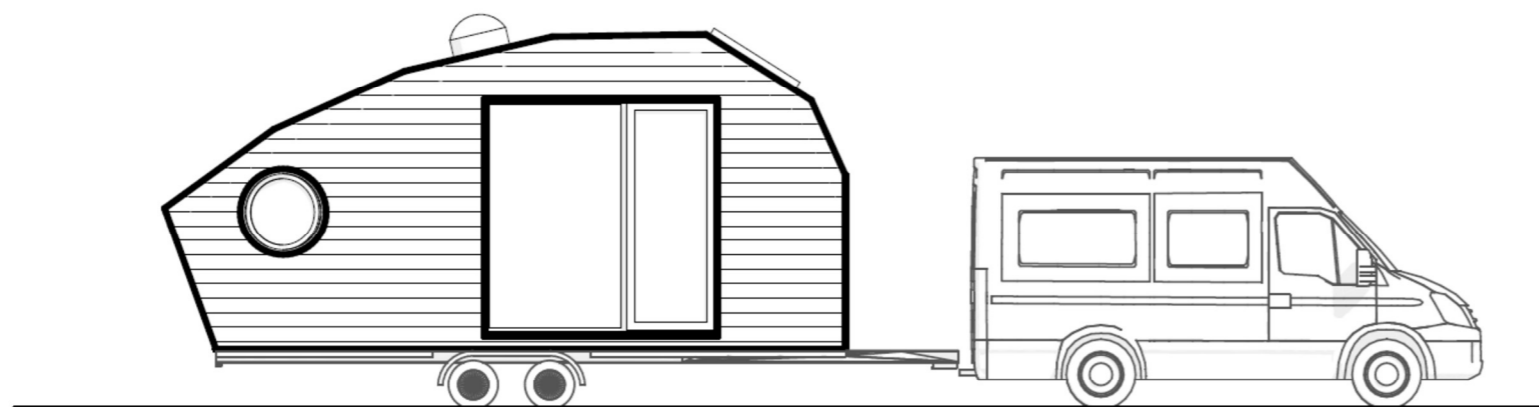
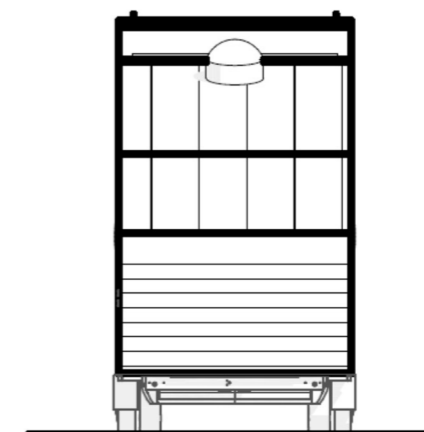
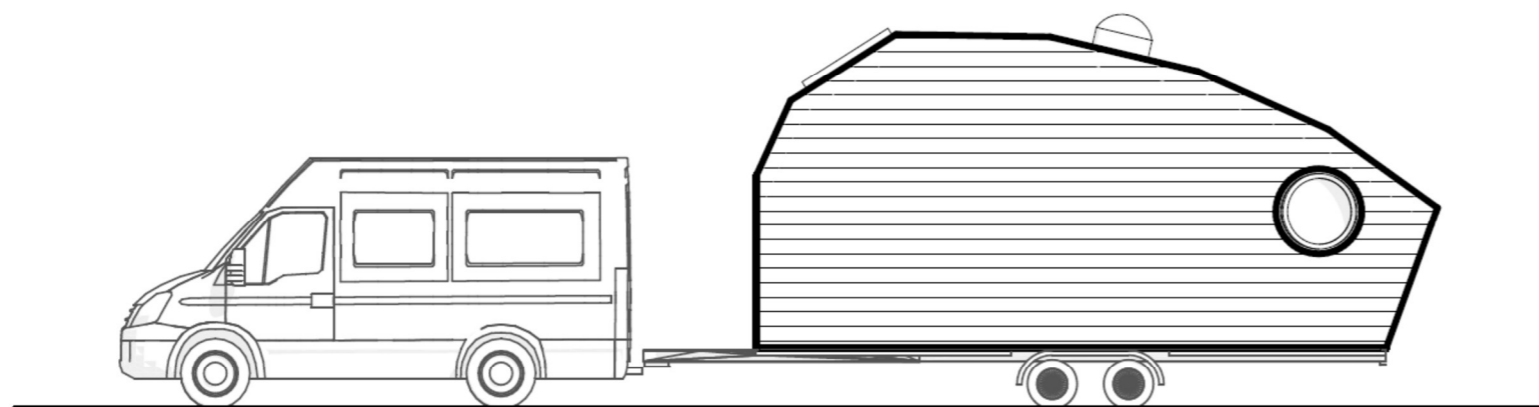
Mobilní dřevěný objekt řešený metodikou BIM

SGS ČVUT 2021

Návrh







**FAKULTA
ARCHITEKTURY
ČVUT V PRAZE**

Autor návrhu:
Ing. arch. Martin Majna
Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D.

Technické požadavky:
Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

Mobilní dřevěný objekt řešený metodikou BIM
SGS ČVUT 2021
Pohledy

| Biodesky Novatop SWP | | |
|-----------------------|---------------------|----------------|
| Část | Čistý objem | Tloušťka desky |
| Karavan obvodová zeď | 0,12 | 42 |
| Karavan obvodová zeď | 0,14 | 42 |
| Karavan obvodová zeď | 0,41 | 42 |
| Karavan obvodová zeď | 0,67 | 42 |
| | 1,34 m ³ | |
| Karavan vnitřní stěna | 0,17 | 42 |
| | 0,17 m ³ | |
| Podlaha | 0,59 | 42 |
| | 0,59 m ³ | |
| Police | 0,02 | 21 |
| | 0,02 m ³ | |
| Sedací lavice | 0,00 | 21 |
| Sedací lavice | 0,01 | 21 |
| Sedací lavice | 0,01 | 21 |
| Sedací lavice | 0,01 | 21 |
| | 0,02 m ³ | |
| Skříň laboratoř | 0,02 | 21 |
| Skříň laboratoř | 0,02 | 21 |
| Skříň laboratoř | 0,02 | 21 |
| Skříň laboratoř | 0,03 | 21 |
| Skříň laboratoř | 0,03 | 21 |
| Skříň laboratoř | 0,03 | 21 |
| Skříň laboratoř | 0,03 | 42 |
| | 0,16 m ³ | |

| | | |
|----------------|---------------------------|----|
| Skříň pracovna | 0,00 | 21 |
| Skříň pracovna | 0,00 | 21 |
| Skříň pracovna | 0,01 | 21 |
| Skříň pracovna | 0,01 | 21 |
| Skříň pracovna | 0,01 | 21 |
| Skříň pracovna | 0,01 | 21 |
| Skříň pracovna | 0,02 | 21 |
| Skříň pracovna | 0,03 | 21 |
| | 0,09 m ³ | |
| Střecha | 0,74 | 42 |
| | 0,74 m ³ | |
| Stůl | 0,03 | 21 |
| Stůl | 0,04 | 21 |
| | 0,08 m ³ | |
| | 3,21 m³ | |

| Tepelná izolace Isover Uni | | |
|----------------------------|---------------------------|----------|
| Část | Čistý objem | Tloušťka |
| Karavan obvodová zeď | 0,24 | 80 |
| Karavan obvodová zeď | 0,27 | 80 |
| Karavan obvodová zeď | 0,82 | 80 |
| Karavan obvodová zeď | 1,31 | 80 |
| | 2,64 m ³ | |
| Podlaha | 1,23 | 80 |
| | 1,23 m ³ | |
| Střecha | 1,77 | 100 |
| | 1,77 m ³ | |
| | 5,64 m³ | |

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Váha přivesu Tiny House 660 Plateu: | 680 kg |
| Nosnost přivesu: | 2820 kg |
| Váha konstrukce Novatop: 3,3 x 490= | 1617 kg |
| Váha T.I. - 5,8 x 100= | 580 kg |
| Ostatní: | max. 620 kg |

Nutná optimalizace návrhu konstrukce ve spolupráci se statikem.



**FAKULTA
ARCHITEKTURY
ČVUT V PRAZE**

Autor návrhu:
Ing. arch. Martin Majna
Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D.

Technické požadavky:
Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

Mobilní dřevěný objekt řešený metodikou BIM
SGS ČVUT 2021
Odhad váhy

4.3. Přístrojové vybavení experimentální mobilní laboratoře

Aby experimentální mobilní laboratoř splňovala svoji primární funkci, musí být vybavena funkčními měřicími přístroji, které jsou kalibrovány a svojí přesností měření určeny pro laboratorní měření. Orientovat se na současném trhu měřicích přístrojů nebylo vůbec jednoduché, fotometrických přístrojů je nabízena nepřehledná škála a ne všechny se řadí mezi kvalitní a ověřené přístroje vhodné pro experimentální výzkumná měření.

Proto byl pro výběr správných přístrojů osloven tým odborníků z Vysokého učení technického v Brně z fakulty elektrotechnické, kde je fotometrie na vysoké vědecké úrovni. Spolupráce byla domluvena na základě odborných konzultací a předání zkušeností v této oblasti s ing. Janem Škodou, Ph.D., který je zaměstnancem fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně se zaměřením na světelnou techniku. Je 7 let vedoucí laboratoře světelné a osvětlovací techniky a více než 11 let se podílí na vývoji a výzkumu v oblasti jasových analyzátorů. Má především mnoho zkušeností v oblasti analýzy fotometrických veličin.

Po finální dostavbě experimentální mobilní laboratoře bude potřeba laboratoř akreditovat. Akreditací se rozumí oficiální uznání, že subjekt akreditace (v našem případě mobilní experimentální laboratoř), je způsobilý provádět specifické činnosti. Formální podobou akreditace resp. jakýmsi pověřením je „Osvědčení o akreditaci“, vydávané národním akreditačním orgánem, kterým je v ČR Český institut pro akreditaci, o.p.s. (ČIA). Požadavky na proces akreditace vyplývají v tomto případě z Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 765/2008 ze dne 9. července 2008, kterým se stanoví požadavky na akreditaci a dozor nad trhem týkající se uvádění výrobků na trh.

Akreditace zkušebních laboratoří je prováděna podle normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005: „Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří“, a dále podle dokumentu MPA 10-01-05: „Metodické pokyny pro akreditaci, k aplikaci normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 v akreditačním systému České republiky“, vydaného prostřednictvím ČIA.

Finální akreditace zkušební laboratoře prokazuje odbornou způsobilost pro objektivní a nezávislé vykonávání zkoušek v předmětu akreditace. Celý proces akreditace je náročný, začíná předložením stanovené dokumentace a končí šetřením pracovníků ČIA v samotné

laboratoři, která je spojena s demonstrativní ukázkou prováděných postupů měření a zkoušek. Tento proces se následně opakuje každý rok formou pravidelné kontrolní návštěvy ČIA, z důvodu dodržení nestranností laboratoře, aby nebyla ohrožena její způsobilost, nezávislost jejího úsudku, věrohodnost ve vztahu k jejím činnostem a vyloučena možnost střetu zájmů. S tím souvisí i finanční náročnost celého akreditačního procesu.

Důležitým vybavením mobilní experimentální laboratoře jsou měřicí přístroje, jejichž většinu již máme připravenou, jedná se o luxmetry, jasoměr, jasový analyzátor, fotoaparát a ostatní potřebné příslušenství.

4.3.1. Luxmetry Radiolux 111 + příslušné fotometrické hlavy

Mezi základní vybavení fotometrické laboratoře patří luxmetr. Obecně lze říci, že luxmetr je měřicí přístroj k měření osvětlenosti a to jak exteriérové, tak interiérové. Zároveň je možné stejným luxmetrem měřit jak denní osvětlení tak umělé osvětlení a to vždy při dodržení konkrétních podmínek měření.

Luxmetry mají dvě základní části. První část tvoří čidlo, které se skládá z přijímače s fotočlánkem, druhou část tvoří systém pro měření a vyhodnocování, obvykle je opatřen displejem a ovládacími tlačítky. Konstrukce luxmetrů bývá různá a souvisí s metodou měření fotoproudu a principem samotného fotočlánku. Obvykle je měřen fotoproud vhodným obvodem s operačním zesilovačem.

Výrobci nabízejí luxmetry v různých kvalitách a s různými stupni přesnosti. Mají-li být námi vybrané luxmetry reprezentačními přístroji experimentální laboratoře, bylo potřeba vybrat laboratorní luxmetry, které je možné použít na měření světelně technických vlastností světla (přirozeného nebo umělého) v laboratoři, na posuzování osvětlení prostorů s vysokými nároky na zřetelnou práci a na experimenty v rámci výzkumných prací. Proto byly vybrány luxmetry německé firmy PRC Krochmann, které výše zmíněnou kvalitu a charakteristiku splňují. Jsou velice často používány právě pro laboratorní měření a díky svému možnému příslušenství ideální volbou. Doporučeny nám byly z několika výzkumných a odborných institucí – např. Skúšobné laboratórium svetelnotechnických zariadení - Fakulta elektrotechniky a informatiky ze Slovenské technické univerzity v Bratislavě, laboratoř umělé oblohy – Ústav stavebníctva a architektúry Slovenská akademie vied či laboratoř světelné a osvětlovací techniky fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně.

Do mobilní experimentální laboratoře budou využity již dříve zakoupené dva luxmetry typu RadioLux 111 – viz Obrázek 14. Jak již bylo výše uvedeno, pro měření denního osvětlení je potřeba souběžné měření osvětlenosti vnější nezacloněné horizontální roviny a vnitřní osvětlenosti v kontrolním bodě, proto je ideální k měření použít vždy dva totožné luxmetry, které mají stejnou spektrální citlivost, aby nedocházelo ke vzniku spektrálních chyb. Luxmetry bude potřeba před uvedením mobilní experimentální laboratoře nechat nově kalibrovat, aby nebyly vnášeny chyby v měření.



Obrázek 14: Luxmetr RadioLux 111, zdroj: fotoarchiv doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D.

Luxmetr RadioLux 111 třídy A (dle DIN 5032-7) je zařazen mezi laboratorní typy luxmetrů. Ve skutečnosti je tento přístroj luxmetr a radiometr² v jednom. Díky své optimální velikosti, kdy se jedná o ruční přístroj, je vhodný nejen na laboratorní měření, ale také pro měření v terénu. Inteligentní elektronika vždy identifikuje připojenou měřicí hlavici, kterou je možné vybrat z nabízeného příslušenství. Naměřená data dokáže fotonka měřicí hlavy okamžitě ukázat pomocí displeje luxmetru nebo pomocí počítačového rozhraní s USB adaptérem implementovat do připojeného PC.

Ukládání dat je vyřešeno buď interním čipem samotného zařízení luxmetru nebo je možné k přístroji přidružit další přípojné zařízení formou datalogeru, či ukládání dat přímo do PC. Integrovaný program v samotném přístroji luxmetru dokáže provést jednoduché

² Radiometr = přístroj k měření energie elektromagnetického záření, jehož princip je založen na tepelném působení tohoto záření, např. infračervené a sluneční záření

vyhodnocení naměřených dat – jako je průměrování, vyhodnocení maximální a minimální hodnoty měření, dále je možný export dat do MS Office Excel programů pro další vyhodnocování.

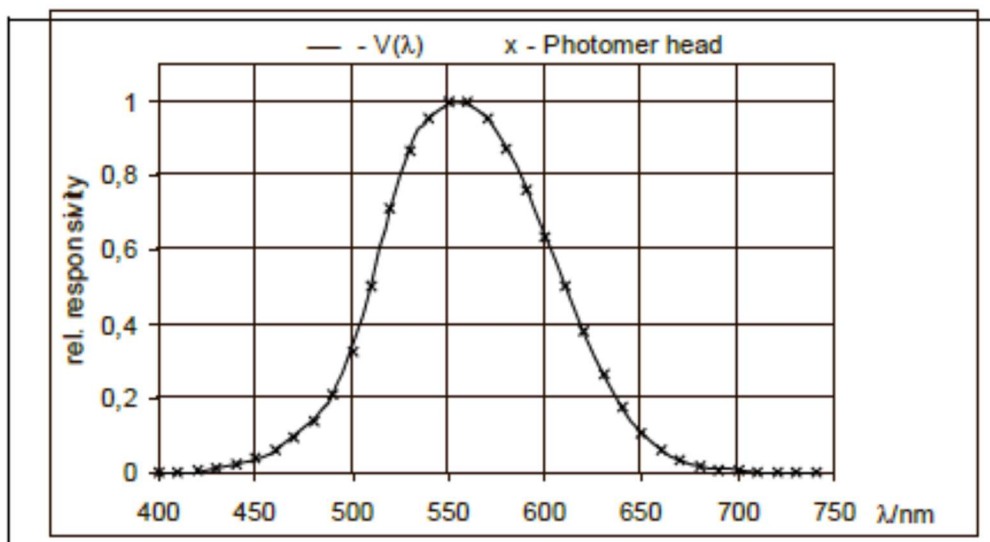
Základní vlastností luxmetru RadioLux 111 je jeho měřicí rozsah a to od 0,001lx až po 360 klx a pro funkci radiometru od 1 W/m² do 36 kW/m². Mezní hodnoty chyb zobrazuje Tabulka 2. Měřicí přístroj se sám dokáže vyrovnat s vlivem okolní teploty a to pomocí teplotní kompenzace. Má digitální zobrazovací jednotku (displej) s externí hlavicí fotometru či radiometru se standartním měřicím kabelem 3 m. Jeho alfanumerický displej má čtyřřádkové zobrazení po 20 znacích včetně možnosti podsvícení. Mimo měřené hodnoty displej zobrazuje teplotu okolního vzduchu a provoz baterie. Zobrazované hodnoty je možné ovládat pomocí jednoduché klávesnice s šesti klávesami. Dodané RS 232 umožňuje propojení a vzájemnou sériovou komunikaci včetně přenosu dat s počítačem. Funkčnost přístroje zajišťují dobíjecí baterie a síťová nabíječka.

| Parametr | označení | Advanced třída A |
|-------------------------------------|----------|------------------|
| odchylka od $V(\lambda)$ | f_1 | 3 |
| UV - odezva | u | 1 |
| IR odezva | r | 1 |
| směrová chyba | f_2 | 1,5 |
| chyba linearity | f_3 | 1 |
| chyba zobrazovací jednotky | f_4 | 3 |
| chyba nestability | f_5 | 0,5 |
| chyba při měření modulačního záření | f_7 | 0,2 |
| chyba při změně rozsahu | f_{11} | 0,5 |

Tabulka 2: Mezní hodnoty chyb podle DIN 5032, část 7, v %, zdroj: technické listy PRC Krochmann

Oba přístroje RadioLux 111 máme k dispozici na fakultě architektury, jejich kalibrace byla provedena před předáním přímo v laboratoři PRC Krochmann a tuto kalibraci jsme ověřili v roce 2015 – viz příloha 2. Před uvedením mobilní experimentální laboratoře do provozu je nutná nová kalibrace obou přístrojů.

Důvod, proč byly vybrány zrovna luxmetry/radiometry RadioLux 111 je jejich precizní přizpůsobení V-lambda křivce – viz Obrázek 15.



Obrázek 15: RadioLux 111 typická normalizovaná relativní spektrální citlivost $s_{rel}(\lambda)$ porovnaná s funkcí $V(\lambda)$ fotometrické hlavy vyrobené PRC Krochmannem, zdroj: technické listy PRC Krochmann

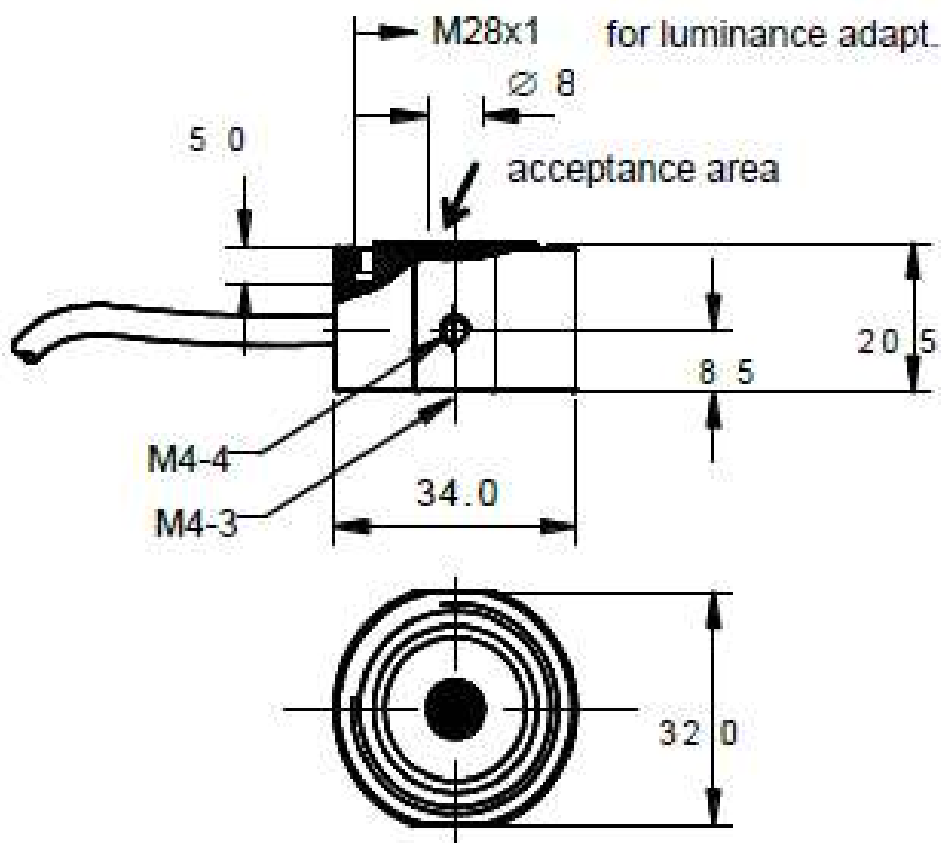
Mezi další vhodnou charakteristiku přístroje RadioLux 111 patří přesná kosinová korekce – viz

Obrázek 16.



Obrázek 16: RadioLux 111 typická odchylka ve směrové reakci na dopadající záření a hlavu fotometru korigovanou kosinem od společnosti PRC Krochmann, zdroj: technické listy PRC Krochmann

Výrobce PRC Krochamn dále nabízí rozsáhlou škálu příslušenství, od různých druhů měřících hlav, až po jasový nástavec, kterým lze díky luxmetru měřit i jas. Pro experimentální mobilní laboratoř budou opět využity již dříve pořízené fotometrické hlavy – 2 x standardní fotometrická hlava třídy A – viz. Obrázek 17. Jedná se o hlavy fotometru, které jsou používány jako senzory pro měření fotometrických veličin. Tyto hlavice samozřejmě poskytují odezvu na dopadající záření závislou na vlnové délce podle spektrální světelné účinnosti $V(\lambda)$ pro fotonické vidění, jak je požadováno pro fotometrické účely. Hlavice fotometru používané pro obecné měření osvětlenosti se světlem dopadajícím z různých směrů (kam spadá i měření denního světla) nutně vyžadují přesnou kosinovou korekci, přičemž světlo dopadající na přijímací oblast je dáno kosinusem úhlu dopadu. Této kosinové korekce je dosaženo pomocí difuzního krytu. Aby byla zajištěna kvalita každé kosinem korigované hlavy fotometru, jsou jednotlivě měřeny podle norem DIN nebo CIE. Výsledný parametr f_2 je vždy uveden na kalibračním listě.



Obrázek 17: Fotometrická hlava model ST od firmy PRC Krochmann, zdroj: technické listy PRC Krochmann

Hlavice fotometrů PRC Krochmann představují nejmodernější technologii a proto byla již v dřívější době, v roce 2013 společně se standardními čidly pořízena také speciální hlavice upravená pro měření na modelech. Jedná se o speciální fotometrické miničidlo model MI, které zobrazuje Obrázek 18.



Obrázek 18: miničidlo typ MI, od firmy PRC Krochmann,
zdroj: fotoarchiv doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D.

Toto miničidlo s označením MI, bude možné používat i pro laboratoř denního světla, kde např. na střeše objektu budeme moci měřit na modelech budov, kterými disponují studenti fakulty architektury. Bude tak možné na již vytvořených modelech ověřit kvantitu denního osvětlení.

Samotnou miniaturní fotometrickou hlavu, která má velmi malý a kompaktní design je možné připojit pomocí vestavěného konektoru se standardním měřicím kabelem 3 m k luxmetru RadioLux 111. Průměr samotného čidla je 6 mm a proto je vhodné ho využít pro měření modelované místnosti v měřítku 1 : 100. Rozměr celé fotometrické hlavice je 17 x 25 mm a výška hlavice je 7mm.

Žádné z těchto čidel nemá termostatickou kontrolu, jelikož hlavy fotometrů jsou kalibrovány při teplotě 25°C a většina laboratorních měření se provádí právě okolo této teploty. Proto jsou tato čidla určena pro vnitřní měření a během letního i zimního provozu bude potřeba hlídat teplotu okolního prostředí uvnitř experimentální mobilní laboratoře při kontrolním měření. Pro měření venkovní osvětlenosti a v odlišných teplotách je potřeba disponovat fotometrickými hlavami s termostatickou kontrolou a pro venkovní měření také čidly s odolností proto povětrnostním vlivům jako je déšť, přímé sluneční záření, vítr, zvýšená vlhkost či velké výkyvy teplot.

4.3.2. Photometer/Radiometer 211 + příslušné fotometrické hlavy

Pro experimentální mobilní laboratoř denního světla a oslunění je velkou výhodou využití Photometru/Radiometru 211 opět od firmy PRC Krochmann a to z toho důvodu, že bude možné kombinovat měřicí hlavy a ostatní příslušenství, jako jsou například stativy.

V případě Photometru/Radiometru 211 se jedná o precizní čtecí jednotku pro všechny druhy fotometrických a radiometrických měření. Přístroj má kalibrační data až pro 15 různých detektorů, které jsou v rámci všech výrobků od firmy PRC Krochmann kompatibilní – jedná se zejména o různé typy fotometrických hlav. Díky této databázi dokáže přímo odečítat a pomocí vakuového fluorescenčního alfanumerického displeje zobrazovat okamžitá měřicí data s dobrou viditelností v jakémkoliv okolním prostředí. Zobrazování funguje díky vestavěnému firemnímu softwaru a následné ovládání pak pomocí menu a funkčních kláves na přístroji. Dále má vysoké 16ti bitové rozlišení, dobrou čitelnost displeje, vysokou citlivost měřených dat. Pomocí kabeláže je přístroj schopný vysokorychlostního přenosu dat. Svoji velikostí se jedná už spíše o laboratorní přístroj, který je potřeba umístit např. na pracovní stůl, ale stále je možný jeho přenos, tzn., že není nutné jeho pevné umístění.



Obrázek 19: Photometer/Radiometer 211 od firmy PRC Krochmann, zdroj: technické listy PRC Krochmann

Základní vlastností Photometru/Radiometru 211 je jeho měřicí rozsah a to od 0,001 lx až po 200 klx a pro funkci radiometru od 0,001 W/m² do 200 kW/m². Mezní hodnoty chyb zobrazuje

Tabulka 3. Požadovaným vstupním signálem je fotoproud, který se měří ve zkratovém režimu. Proto je dosaženo nejlepší linearity.

| Parametr | označení | Class L |
|-------------------------------------|-----------------|---------|
| chyba linearity | f ₃ | 0,2 |
| chyba zobrazovací jednotky | f ₄ | 0,1 |
| chyba při měření modulačního záření | f ₇ | 0,1 |
| chyba při změně rozsahu | f ₁₁ | 0,1 |

Tabulka 3: Mezní hodnoty chyb Photometer 211 + fotometrická hlava typu L podle DIN 5032 a CIE publikace vol. 69, v %, zdroj: technické listy PRC Krochamnn

Rozměry Photometru/Radiometru 211 - samotného zařízení jsou 115 mm x 260 mm x 320 mm a má hmotnost cca 3 kg. Box zobrazovací jednotky je kompaktní včetně madla pro možný přesun přístroje. K dispozici je několik výstupů a to analogový výstup, sériové rozhraní RS 232, USB kabely a napájecí výstup pro termostaticky ovládané hlavice fotometrů, což jsme si daly do požadavků při objednání, jelikož jedna z hlavic fotometrů bude sloužit k venkovnímu měření, kde potřebujeme termostatickou kontrolu.

Před samotným měřením je nutné nejprve připojit zvolenou fotometrickou hlavu k zobrazovací jednotce. Dále musí být samostatně napájen termostat této jednotky. Až poté je možné přístroj připojit k hlavnímu napájení a tak je zařízení připraveno k použití a lze jej zapnout. Po krátké inicializační fázi je zařízení nastaveno do tohoto režimu, který byl nastaven před předchozím vypnutím. Navíc je zapnuta funkce automatického rozsahu měření, kterou je možné samozřejmě vypnout a rozsah měření nastavit ručně dle potřeb konkrétního typu měření.

Po zapnutí bude horní řádek na displeji indikovat hlavu foto/radiometru, o které se předpokládá, že je připojena. Pokud se tak nestane, je potřeba příslušnou hlavu připojit znovu, nebo nastavit požadovaný režim pomocí tlačítek. Druhý řádek ukazuje skutečné hodnoty buď s desetinnou čárkou, nebo v exponenciální hodnotě společně se správnou jednotkou SI.

Pro přesná měření je třeba nechat přístroj zahřát a aklimatizovat v konkrétním měřeném prostředí. To obvykle trvá přibližně 5 minut pro normální vnitřní prostředí a až 30 minut pro termostaticky ovládané hlavy fotometrů. Samostatná LED kontrolka monitoruje teplotní stav termostaticky ovládané hlavy fotometru. Tato kontrolka se sama vypne, pokud je dosaženo požadované teploty. LED kontrolka je umístěna poblíž výstupu pro napájení termostatu.

Přístroj Photometer/Radiometer 211 je plně funkční jen v případě, že je připojen napájecím kabelem do elektrické sítě. Předpokládáme, že mobilní laboratoř bude buď napojena k veřejné elektrické síti, nebo v případě umístění mimo osídlenou oblast, bude dovezen externí zdroj energie (baterie, generátor) pro provoz celé mobilní experimentální laboratoře. V případě potřeby by k přístroji mohla být pořízená vestavěná dobíjecí baterie, která by při plném nabití zajišťovala přibližně 8 až 10 hodin nepřetržitého používání.

Pro tento Photometer/Radiometer 211 je k dispozici fotometrická hlava třídy L neboli laboratorní s nižšími mezními chybami – viz



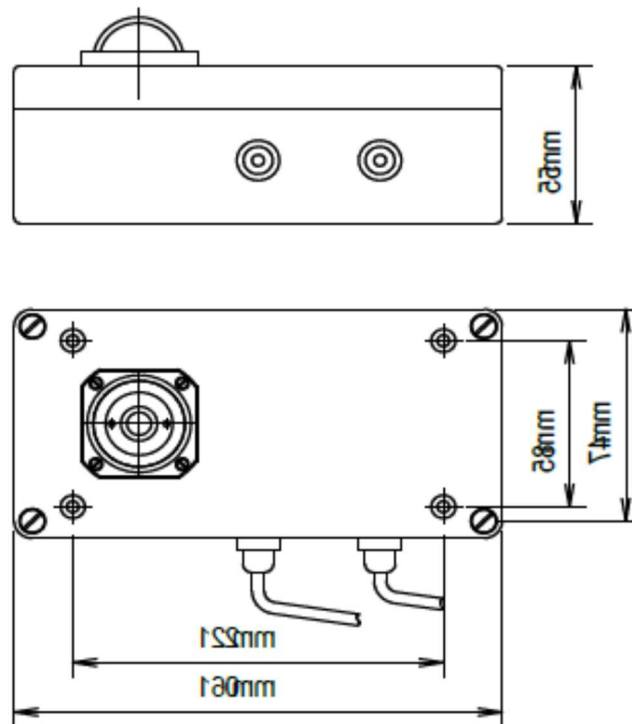
Obrázek 20. A to z toho důvodu, aby bylo možné provádět přesnější měření, než fotometrickými hlavami, které byly k dispozici již dříve k přístroji RadioLux 111.

I pro novou fotometrickou hlavu typu L předpokládáme kalibraci na Slovenské akademii věd po uvedení experimentální mobilní laboratoře do provozu, aby byla všechna zařízení připravena ke správnému měření a nebyly zanášeny chyby jednotlivých přístrojů, které budou důležitou součástí laboratoře.



Obrázek 20: Fotometrická hlava typu L pro Photometer/Radiometer 211 od firmy PRC Krochmann, zdroj: fotoarchiv autora

Dále disponujeme fotometrickou hlavou pro venkovní měření, typu FET30 – C15 – 01 – D8. Tu je možné napojit pouze na Photometer/Radiometer 211, jelikož má navíc termostatickou kontrolu, které má samostatné napájení a pro to nemá RadioLux 111 samostatný výstup.



Obrázek 21: Fotometrický hlava model FET30 – C15 – 01 – D8 pro Photometer/Radiometer 211 pro venkovní použití od firmy PRC Krochmann, zdroj: technické listy PRC Krochmann

Podle nabízených možností těchto hlav fotometrů se používá zabudovaný zesilovač poskytující jeden rozsah. Zvolen byl zesilovač s označením I, kdy se jedná o analogovou proudovou smyčku. S vhodným systémem sběru dat to umožňuje větší dosah čtení měřených hodnot.

Pro optimální využití rozsahu měřených dat dle horní hranice očekávané osvětlenosti byl vybrán rozsah od 0 - 20 klx nebo 0 - 200 klx. V případě kontrolních měření denního osvětlení se dříve pracovalo s rovnoměrně zataženou oblohou s venkovní osvětleností 5 klx, nyní dle platné evropské normy ČSN EN 17037 již při výpočtech pracujeme s venkovní horizontální osvětleností nezacloněné roviny dle mediánu, kdy byla pro Českou republiku stanovena hodnota 14,9klx. Takže v nižším rozsahu je v tomto případě pro experimentální laboratoř dostačující. Má-li být mobilní laboratoř využívána co nejefektivněji a i pro další výzkumné účely, je rozumnější, pro její multivariabilní použití zvolit vyšší rozsah, to znamená do 200 klx, kdy potom je možné měřit osvětlenost i během slunečných dnů v létě s jasnou oblohou.

Naprostou samozřejmostí je kosinová korekce hlavy fotometru. Navíc má tato fotometrická hlava skleněnou kopuli, která chrání čidlo fotometru před stříkající vodou, kdy zároveň je zabráněno rosení uvnitř kopule. Napájecí a signální kabely mají vodotěsné spoje. Jak již bylo výše zmíněno, kvůli venkovním teplotám byla zvolena hlavice s termostatickou kontrolou. A pro možnost vzdálenějšího měření venkovní horizontální osvětlenosti nezacloněné roviny byl do boxu implementován vestavěný zesilovač. Je totiž možné, že se najdou případy, kdy venkovní čidlo, jehož umístění je plánováno na střechu mobilní experimentální laboratoře, nebude v místě měření nezacloněné, proto bude nutné dané čidlo přemístit do větší vzdálenosti a je důležité, aby byl přenos dat funkční pro tyto specifické případy. V současné době je možné měřit na vzdálenost 10 m až 200 klx s rozlišením 2 lx.

Stabilní pozici bude mít fotometrická hlava na střeše mobilní experimentální laboratoře, kde bude fixně upevněná a v případě potřeby, ať během transportu laboratoře, tak ve výše zmíněné situaci zacloněné horizontální roviny, ji bude možno odmontovat a přesunout dle potřeby.



Obrázek 22: Fotometrická hlava typu FET30 – C15 – OI – D8 pro Photometer/Radiometer 211 pro venkovní použití od firmy PRC Krochmann, zdroj: fotoarchiv autora

4.3.3. Příslušenství pro luxmetry - stativy

Pro veškerá měření bude potřeba i dalšího příslušenství, kdy se jedná se především o stativy, díky kterým bude možno umístit fotometrické hlavy do požadovaných pozic. Je důležité potřebné půdorysné i výškové usazení hlavy fotometru, včetně přesného vodorovného umístění fotometrické hlavy.

Pro tyto účely budou používány stativy firmy Manfrotto, kdy máme k dispozici 2ks a jejich využití v experimentální mobilní laboratoři je žádoucí. Konkrétně se jedná o typ 055XB – Classic tripod Black s hlavou 410 junior geared head.

Foto hlava Manfrotto 410 junior geared head má rychloupínací destičky a možnost uchycení pomocí 3/8“ závitu, který je kompatibilní s hlavami fotometrů od firmy PRC Krochmann. Součástí hlavy je i vodováha, která umožní snadné nalezení vodorovné roviny a také možnosti otáčení hlavy o 360° a +90°/-30° čelního a bočního náklonu. Nosnost hlavy je až 5kg, což je pro fotometrické hlavy více než dostačující.

Stativ Manfrotto 055XB je všestranný 3-sekční hliníkový stativ určený pro všestranné použití. Jeho minimální pracovní výška je 70 mm a naopak jeho maximální pracovní výška je 1375 mm či 1780 mm s vytaženým středovým sloupkem.



Obrázek 23: Stativ 055XB + foto hlava 410 od firmy Manfrotto, zdroj: www.manfrotto.com

K fotometrické hlavě typu L (laboratorní) od firmy PRC Krochmann je k dispozici stativ s názvem Tripod. Jedná se o stativ firmy Cullmann. Je velmi lehký a zároveň kompaktní a díky své malé a přesto stabilní trojnožce velice prostorově nenáročný.

Jeho minimální pracovní výška je 550 mm a naopak jeho maximální pracovní výška je 1530 mm. Konstrukce je stabilní a hmotnost celého stativu je jen 810 g, což je pro měření in situ ideální.

Hlava stativu má opět 3/8" závit a také vodováhu pro správnou vodorovinu a je kompatibilní se všemi fotometrickými hlavami od firmy PRF Krochmann (mimo fotometrické hlavy typu FET a miničidla, ani jedna z těchto fotometrických hlav nebyla plánovaná pro měření na stativu).



Obrázek 24: Příslušenství PRC Krochmann, stativ Tripod 1747 od firmy Cullmann,
zdroj: fotoarchiv autora

4.3.4. Jasoměr Konica Minolta LS 110

Jasoměr funguje na podobném principu jako luxmetr, ale je již doplněn optikou, která vymezuje kolmý dopad světla na čidlo jasoměru v definovaném prostorovém úhlu, ve kterém je snímán jas integrován.

Princip měření jasu jasoměrem spočívá ve stanovení velikosti světelného toku procházejícího clonou. V rovině clony se zobrazí vyhrazená plocha zorného pole, ve které se určí střední hodnota jasu měřené plochy. Nezbytná je znalost vzdálenost jasoměru od měřené plochy. Velikost úhlu měření podmiňuje rozdělení jasoměrů na bodové (úhel $< 0,6^\circ$) a integrační (úhel $> 2^\circ$) (Rozman, 2000). Udává tedy jas v jednotkách cd/m^2 . Je možné s ním měřit povrchy, které vyzařují nebo odrážejí světlo.

Bodovými jasoměry je možné měřit jasy ploch v zorném poli uživatelů prostoru důležitých pro vidění a zrakovou pohodu. Měřit je možné dále například jas pozorovaného předmětu (či pozorovaného detailu), jas ploch bezprostředně obklopujících pozorovaný předmět, jas vzdálených ploch, mezi které patří podlahy, stěny, stropy, vnitřní zařízení, atd. a jas případných odrazů světla od velmi jasných ploch, které mohou vznikat na lesklém nebo pololesklém povrchu v zorném poli (na pozorovaném předmětu, na podlaze, na pracovní plošině, atd.)

Pro mobilní experimentální laboratoř bude použit jasoměr Konica Minolat LS 110 viz.

Obrázek 25.



Obrázek 25: jasoměr Konica Minolta LS 110, zdroj: fotoarchiv doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D.

Technické parametry jasoměru Minolta LS-110

| | |
|----------------------------|--|
| - výrobce: | Konica Minolta |
| - typ: | SLR - bodový měřič jasu pro měření jasu světelného zdroje a povrchu |
| - měřicí úhel: | 1/3° |
| - optický systém: | 85 mm f / 2.8 čočka, SLR viewing systém, faktor odlesku menší než 1,5% |
| - úhel pozorování: | 9° |
| - vzdálenost zaostřování: | 1014 mm až ∞ |
| - minimální měřicí plocha: | Ø 4,8 mm |
| - přijímač: | křemíkový fotočlánek |
| - doba odezvy: | Fast: měření 0,1 s; zobrazení 0,8 až 1,0 s Slow: měření 0,4 s; zobrazení 1,4 až 1,6 s |
| - jednotky měření | cd/m ² nebo fL (foot.Lambert) - možné přepínání |
| - rozsah měření | Fast: 0,01 až 999,900 cd/m ² Slow: 0,01 až 499,900 cd/m ² |

- přesnost měření Fast: 0,01 až 9,99 cd/m²: ± 2% ± 2 číslice hodnoty
 Slow: 10,00 cd/m² a více: ± 2% ± 2 číslice hodnoty
- provozní teploty/vlhkosti: 0 až 40 ° C, relativní vlhkost 85% nebo méně
- skladovací teploty/vlhkosti: -20 až 55 ° C, relativní vlhkost 85% nebo méně
- napájení: 1x x 9 V baterie
- rozměry: 79 x 208 x 154 mm
- hmotnost: 850 g bez baterie

4.3.5. Jasový analyzátor LDA - LumiDISP

Jasový analyzátor je měřicí přístroj, který umožňuje plošné měření a následné analyzování rozložení jasu na osvětlovaných plochách nebo přímo na světelných zdrojích. Největší uplatnění nalezne všude tam, kde je potřeba měřit jas L [cd/m²] nebo veličiny přímo spojené s jasnem, jako je například kontrast, apod. Ve skutečnosti se jedná o kvalitní digitální fotoaparát, jehož spektrální citlivost je softwarově přizpůsobena citlivosti lidského oka, normálního fotometrického pozorovatele. Běžným výsledkem měření pomocí jasového analyzátoru je tzv. jasová mapa. Jedná se o plošné vyjádření hodnot jasu pomocí barevné škály (palety), tzv. pseudobarev. Jednotlivým barvám odpovídá určitá hodnota jasu. Z jasové mapy je tak možné snadno odečítat hodnoty jasu jednotlivých bodů a pomocí jedné fotografie tak analyzovat celou zkoumanou scénu.

Jeho nejpřínosnější výhodou je okamžité zaměření řádově milionu bodů, oproti klasickému měření jasu jasoměrem, kdy je analyzovaná plocha měřená bod po bodu a tím dochází k výrazné časové úspoře. Tím, že je scéna zachycena v jeden okamžik, odpadá riziko spojené s nestabilní světelnou scénou, proto je možné vcelku bezchybně zachytit a analyzovat scény s relativně proměnlivými světelnými podmínkami, včetně scén osvětlených denním světlem.

Pro experimentální mobilní laboratoř máme již k dispozici konkrétní jasový analyzátor a to LDA – LumiDISP, který byl vyvinut na Vysokém učení technickém v Brně, na fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií na ústavu elektroenergetiky. Autorem jasového analyzátoru jsou doc. Ing. Petr. Baxant, Ph.D., Ing. Stanislav Sumec, Ph.D. a

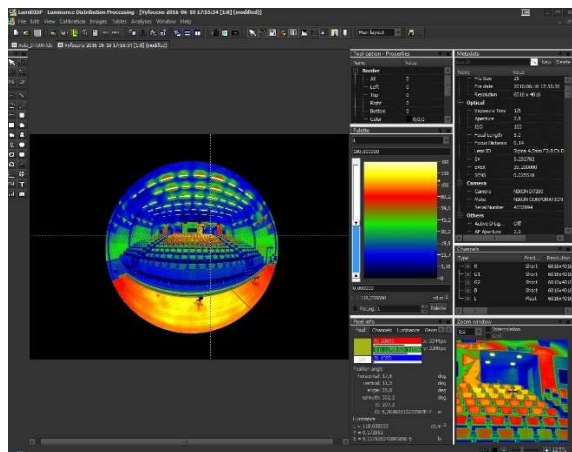
Ing. Jan Škoda, Ph.D.. Jedná se o vysoce kvalitní přístroj, který bude v rámci experimentální laboratoře denního světla a oslnění důležitým měřicím a analyzačním prvkem.

LumiDISP je počítačový program, který provádí analýzu jasových poměrů z digitální fotografie. Tento program je součástí celého produktu s označením LDA – Luminance Distribution Analyzer. Program zajišťuje proces vyfotografování pomocí fotoaparátu zn. Nikon D7500 s typem snímače CMOS Nikon DX 15.7 x 23.5 mm, dále načtení zachyceného snímku do databáze programu, jeho zpracování a vyhodnocení. Cílem je získat data o rozložení jasu v porovnané scéně. Program eviduje všechna měření a zpracované výsledky v záznamu měření a je možné data zpětně ověřit a znova zpracovat. (Baxant, a další, 2020)

Jasový analyzátor budeme primárně používat pro měření jasu. Vzhledem k tomu, že má tento přístroj velice široký měřicí rozsah, můžeme měřit jak nízké, tak velmi vysoké jasy a tím nám dokáže vytvořit vizualizaci jasových poměrů na jednotlivých plochách v jakémkoliv prostoru. Základní verze přístroje obsahuje objektiv s ohniskovou vzdáleností 50 mm a zorným úhlem přibližně 46°.

Vyhodnocení snímku je možné okamžitě a to připojením fotoaparátu k počítači pomocí propojovacího kabelu a USB. Konkrétní jasy je pak možné okamžitě pozorovat na obrazovce PC v příslušném softwaru. Nebo je možné fotografie ukládat na paměťovou kartu a poté načíst do programu. Oba postupy mají svoje výhody, buď máme k dispozici okamžité analýzy, nebo naopak je možno analyzovat již dříve nafocené fotografie, které byly například nafoceny v jedinečný okamžik či v terénu, kde nebylo možné mít nachystané propojení s příslušným počítačem.

Pomocí software lze zjišťovat statistické údaje, dále provádět jasové řezy a výpočty, včetně kontrastní analýzy. Z jasu můžeme získat i další údaje o osvětlenosti, např. svítivost I [cd]. Jasovým analyzátozem je možné měřit i polární souřadnice a úhlové vzdálenosti nebo hodnotit oslnění dle metodiky UGR a samozřejmostí je i ověření výpočtu osvětlovacích soustav ve všech směrech.



Obrázek 26: jasový analyzátor LumiDISP, zdroj: <http://www.lumidisp.eu/>

4.3.6. Fotoaparát Nikon D7500 s fish-eye objektivem

Fotoaparát Nikon D7500 s objektivem typu fisheye (rybí oko) Samyang 3,5/8 mm HOOD DETACHEABLE FISH-EYE CS II máme k dispozici již delší dobu a můžeme počítat s jeho využitím v rámci experimentální mobilní laboratoře, tentokrát pro posuzování doby proslunění in situ.

Projekční metoda ověřování doby proslunění se dle (ČSN EN 17037, 2019) doporučuje používat u složitých tvarů osvětlovacích otvorů nebo například je-li okenní otvor opatřen stínícím zařízením. Je-li objekt už realizován a má-li dojít k ověření doby proslunění, je jistě časově méně náročné pořídit snímek skutečného stavu, než přesně modelovat širší okolní výstavbu včetně modelace terénu navíc ve výše popsaném případě, kdy má okno složitější tvar a je ještě stíněno pevnými prvky stínícího zřízení.

Při generování zobrazení a orientování diagramu slunečních drah je důležité přesně určit severní směr. Střed fish eye objektivu fotoaparátu pro pořízení fotografie je dán pozicí kontrolního bodu a má ležet na svislici procházejícím tímto bodem a směřuje směrem k zenitu. Pomocí grafického programu je kruhové zobrazení pořízené z kontrolního bodu překryto diagramem slunečních drah. Nezakrytá dráha slunce pak jasně ukáže dobu proslunění daného kontrolního bodu.

V rámci mobilní experimentální laboratoře bude právě vliv prvků pro regulaci osvětlení jedním z důležitých měřených a analyzovaných výstupů ať už z hlediska denního osvětlení, tak právě uvedeného proslunění. Proto možnost vyhodnotit dobu proslunění z fotografií přinese časovou úsporu a větší flexibilitu při výzkumu dat.



Obrázek 27: fotoaparát Nikon D7500 a objektiv Samyang fisheye Hood detachable ,
zdroj: <http://www.nikon.co.uk> a <http://www.samyanglens.com>

4.3.7. Spektroradiometr

Spektroradiometr je prozatím jediný plánovaný přístroj pro naši mobilní experimentální laboratoř, který prozatím uzavře skupinu používaných přístrojů v experimentální laboratoři. Jeho pořízení plánujeme po dokončení konstrukční části laboratoře, aby bylo naše základní měřicí zařízení kompletní.

Spektroradiometr je referenční přístroj pro okamžité spektrální měření slunečního záření v celém rozsahu. Na základě měřeného spektra je možné dále vypočítat radiometrické, fotometrické, popřípadě kolorimetrické veličiny. Z přístrojů používaných k určení barevných parametrů světla je tím nejpřesnějším.

Klasické spektroradiometry se skládají ze vstupní štěrbinu, otočného rozptylového hranolu, popř. mřížky a výstupní štěrbinu, po které následuje jeden detektor. To vlastně znamená, že ze světla jsou postupně separovány jednotlivé vlnové délky a vzniklé monochromatické záření je přivedeno na detektor. Výhodou tohoto principu je vysoká citlivost a přesnost. Nevýhodou jsou velké rozměry zařízení, dlouhý čas měření a zařízení obsahuje pohyblivé části, čímž je náchylnější k poškození. Proto je klasická konstrukce v dnešní době nahrazována spektroradiometry se sensorovým polem. To znamená, že nemusí být měřena jedna vlnová délka po druhé, ale jsou měřeny všechny zároveň. Toto řešení je

časově úspornější, neobsahuje mechanicky pohyblivé části a umožňuje konstrukci kompaktních zařízení. Také se již dnes nepoužívají optické hranoly, ale rozptylové mřížky. Důvodem je nižší cena a zároveň lepší rozptylové vlastnosti.

Spektroradiometry se sensorovým polem, jak název napovídá, obsahují větší množství sensorických prvků seřazených za sebou. Jejich množství udává, jaké bude mít přístroj rozlišení. Jeho vlastnosti jsou potom dány tím, jaká technologie je použita. Existují tři možnosti (JETI Technische Instrumente GmbH, 2005)

- CCD pole – vysoká citlivost, nízký dynamický rozsah, vhodné pro měření nižších světelných úrovní,
- Pole fotodiod – rychlé měření, široký rozsah vlnových délek,
- Pole CMOS sensorů – široký dynamický rozsah, univerzální použití.

Od kolegy Ing. Jana Škody, Ph.D. z odborného týmu z laboratoře světelné a osvětlovací techniky fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně nám byl doporučen Spektroradiometr JeTi, typ scb 1211UV-2 s externím přípojným difuzorem, opatřeným skleněnou kopulí pro venkovní použití. Rozložení světla na jednotlivé vlnové délky je realizováno disperzní mřížkou a detekce je prováděna polem CCD sensorů o rozlišení 2048 pixelů. Jde o zařízení schopné měřit zářivé spektrum mezi 230 – 1000 nm. Rozlišení zařízení ve spektrální oblasti je 1 nm. Napájení je realizováno USB portem, který zároveň slouží ke komunikaci s počítačem.



Obrázek 28: Spektroradiometr JeTi, typ scb 1211UV-2 s přípojným difuzorem pro venkovní použití, zdroj: <http://www.jeti.com>

4.4. Možnosti využití experimentální mobilní laboratoře

Mobilní experimentální laboratoř přináší široké spektrum možných měření, kdy díky své variabilitě a zároveň možnosti měnit svoji polohu dokáže nasimulovat nepřeberné množství okrajových podmínek, které jsou pro další výzkum potřebné a díky všeobecnému vývoji jsou možnosti měření, dá se říci nevyčerpatelné. Přidanou hodnotou celé laboratoře je její mezioborový rozsah, který téma osvětlení spojuje. Jedná se o obory architektury, stavebního inženýrství, technologie v oblasti elektro, kam spadá umělé osvětlení, měření a regulace a velice důležitý obor zdravotnictví, kde se vlivem osvětlení zabývají v několika směrech (např. zrak, biorytmy, psychika člověka, atd.).

Laboratoř bude sloužit také pro demonstrativní výuku studentů, kde si budou sami moci ověřit správnost návrhu osvětlovacího otvoru v souvislosti s dispozičním uspořádáním vnitřního prostoru, poznají váhu vlivu okrajových podmínek na úroveň denního osvětlení, poznají systémy, které regulují osvětlení nebo se zaměří na vliv problematiky osvětlení na zdraví člověka. V rámci praktické výuky si vyzkoušejí měření, kde bude opět propojena výuka s ostatními fakultami a dokonce i univerzitami či výzkumnými ústavu. Praktické ukázky studentům napomáhají se v dané problematice lépe orientovat a přinášejí tak důležité ověření hypotéz v praxi a tím smysl pro další studium. Na fakultě architektury ČVUT v Praze plánujeme mobilní experimentální laboratoř zapojit do výuky předmětu Stavební fyzika I a s podporou Ústavu stavebnictví II pořádat pro studenty workshopy.

Vzhledem k tomu, že se jedná o mobilní laboratoř, je plánované ji využívat také pro ukázky a prezentaci probíhajících výzkumů na různých veletrzích, konferencích a výstavách, kde je možnost s problematikou seznámit i širší veřejnost. Jednotlivé projekty se tak mohou dostat do podvědomí uživatelů mnohem dříve a reagovat tak na aktuální problémy. Koncoví uživatelé budou během prezentací projektů vytvářet okamžitou zpětnou vazbu a výzkum na ně může reagovat. Tyto podněty se mohou stát důležitým faktorem pro vyhodnocování dané problematiky.

Cílem je nabídnout mobilní laboratoř i pro komerční účely firmám, které se problematikou denního osvětlení a proslunění zabývají. Je otevřená sofistikovaným projektům, které mohou přispět k dalšímu vývoji a mohou přinést zajímavé a podstatné výsledky. Už samotné propojení výzkumného prostředí s komerční sférou je žádoucí

spoluprací, kdy dochází k ideálnímu propojení výzkumné laboratorní činnosti s praktickými zkušenostmi.

Výzkum v mobilní experimentální laboratoři je možné rozdělit do dvou skupin měření a jejich dalších podkapitol, které je možné dále rozšiřovat dle směru výzkumu nebo poptávek z komerční sféry. Jednotlivé podkapitoly obou skupin je možné mezi sebou různě kombinovat, dle potřeb konkrétních měření. Prioritou mobilní experimentální laboratoře je právě její variabilita, ať už z hlediska změny okrajových podmínek, které jsou téměř neomezené, tak díky své mobilitě a dále z hlediska vlivů jednotlivých prvků, které samozřejmě svoje omezení již nesou.

1) Vliv jednotlivých prvků

- a) Osvětlovací otvory
- b) Povrchové úpravy
- c) Stínící prvky pro regulaci denního osvětlení a oslunění
- d) Sdružené osvětlení

2) Vliv okolního prostředí (vnější okrajové podmínky)

- a) Vnější stínící překážky
- b) Povrchové úpravy vnějších stínících překážek
- c) Míra znečištění
- d) Intenzity vnější osvětlenosti včetně závislosti na ročním období

V laboratoři pak přímým či nepřímým způsobem lze měřit tyto veličiny: intenzity osvětlení neboli osvětlenosti E [lx] a to ve vnitřním prostoru stavby E_i [lx] i venkovní nezacloněné roviny vodorovné E_h [lx]. V případě souběžného měření E_i [lx] a E_h [lx] můžeme vypočítat hodnotu činitele denní osvětlenosti D [%]. Další měřenou veličinou je vertikální osvětlenost na rovině vnějšího zasklení E_w [lx], která dále slouží k výpočtu činitele denní osvětlenosti D_w [%].

Kromě činitele odrazu světla důležitých povrchů (např. pracovních ploch, stěn, podlah, stropů, či vnitřního zařízení) můžeme měřením stanovit všechny dílčí činitele jako například činitele prostupu světla průsvitných materiálů kryjících průsvitné materiály, jedná se o činitele propustnosti difúzního světla a činitele normálové propustnosti. Dále činitele vnějšího, vnitřního a celkového znečištění průsvitných materiálů kryjící osvětlovací otvory.

Měření jasů ploch v zorném poli pozorovatele daného prostoru jsou důležitá pro vidění a zrakovou pohodu. Měří se zejména jas pozorovaného předmětu, případně jas pozorovaného detailu, jas ploch bezprostředně obklopující pozorovaný předmět, jas vzdálených ploch (například stěny, podlaha, strop, vnitřní zařízení, světelně aktivní plochy, atd.), jas případných odrazů světla od velmi jasných ploch, které mohou vznikat na lesklém nebo proskleném povrchu v zorném poli (na pozorovaném předmětu, na podlaze, na pracovní ploše, atd.), či měření jasu oblohy pro stanovení rozložení jasu oblohy, dále pak oslnění či proslunění, ale také další vizuální měření.

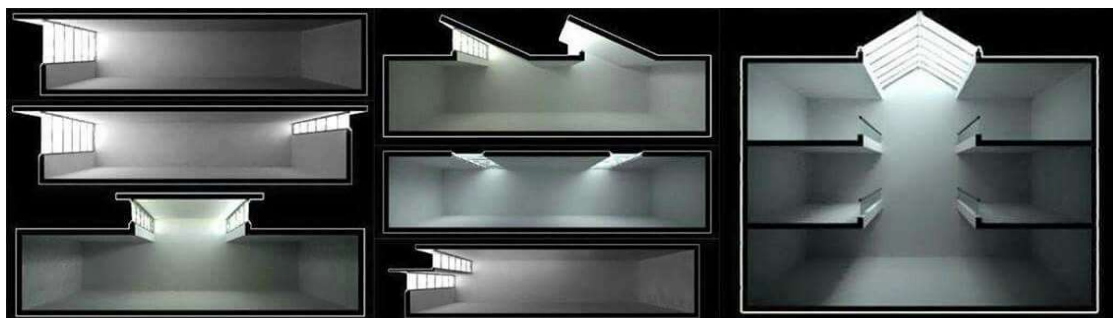
4.4.1. Vliv jednotlivých prvků na měřené veličiny

Variabilita míry vlivu jednotlivých prvků je samozřejmě omezena jejich maximálním rozměrem, prostorovým omezením celé laboratoře a technickými možnostmi. Přesto je možné jednotlivé prvky měnit, zmenšovat či různě upravovat, abychom vytvořily potřebné zadávací okrajové podmínky z hlediska interiéru.

Interiér mobilní experimentální laboratoře se tak bude pro každé měření přizpůsobovat, dle konkrétních požadavků a následně pomocí měření bude možné zkoumat vliv jednotlivých prvků na měřené a další následně stanové veličiny.

4.4.1.1. Osvětlovací otvory

Návrh osvětlovacího otvoru hraje z hlediska denního osvětlení nejdůležitější roli pro každý interiér. Jedná se jak o parametr jeho velikosti, tak o mnoho jeho dalších neméně důležitých parametrů, jako jsou propustnost denního světla, procento prosklené plochy, míra znečištění či clonící prvky, které mohou být součástí okenního otvoru. V tomto případě můžeme navázat na příkladové studie (Nguyen, a další, 2021), zabývající se poměrem velikosti okna k podlahové ploše ve vztahu k hodnocení denního osvětlení (Rusko, Vietnam).



Obrázek 29: Vliv okenního otvoru na denní osvětlení interiéru, zdroj: <https://www.urbearquitetonica.com/>

Mezi osvětlovací otvory nepatří jen klasické okenní otvory, ale patří sem i skupina různých druhů světlíků a světlovodů. Každý z těchto typů je zastoupený v mobilní experimentální laboratoři a je tedy možné s jeho vlivem počítat či nikoliv. Všechny tyto prvky je totiž možné zaclonit tak, aby jimi neprocházelo žádné denní světlo, a můžeme proto měřit vliv každého osvětlovacího otvoru samostatně nebo v různých kombinacích.

Laboratoř má jeden velký okenní otvor, který tvoří svislé okno o velikosti 2500 x 2500 mm. Otvor je rozdělený na dvě části, vstupní část má šířku 900 mm, zbylá část pak 1600 mm. Jeho velikostní parametry bude možno zmenšovat, například vytvořením parapetu o různých výškách, snížením nadpraží, zúžením jeho velikosti (symetricky i nesymetricky), zvětšováním tloušťky ostění či zvětšováním neprůsvitné části okna (rámu) formou dodatečně montované konstrukce. Křídla okna bude možné vyměnit a to v případě změny počtu skel (dvojsklo, trojsklo, atd.), druhu skel nebo doplněním o různé typy fólií či jiné speciální úpravy.

Střešní světlík má rozměry 2100x1020 mm a opět u něj bude možné zmenšení jeho parametrů formou dodatečně montované konstrukce – dokážeme tedy pak zmenšit jeho šířku, výšku, zvětšit tloušťku jeho ostění či zvětšovat neprůsvitné části okna (např. pomocí neprůsvitných fólií).

Ve střešní konstrukci je umístěný světlovod o průměru 530 mm, u této varianty osvětlovacího otvoru bude možno pro měření prodloužit délku tubusu či přidat koleno do trasy tubusu světlovodu a to vše z vnější strany mobilní experimentální laboratoře, dále pak vyměnit typ stropního difuzéru nebo typ nástřešní kopule.

Pro zázemí experimentální laboratoře byly navrženy ještě dva kruhové svislé otvory o průměru 900 mm, které slouží jako zdroj denního světla jen v té části laboratoře, kde je možné vyhodnocovat právě probíhající měření. Cílem bylo navrhnout pracovní místo, které bude sloužit k případným potřebám laboratoře, kde bude možné kontrolovat např. průběh měření a v průběhu dne bude osvětleno denním světlem. Tento prostor je konstrukčně oddělený od měřicí části, takže kruhové okenní otvory nebudou nijak světelně ovlivňovat měřený prostor laboratoře.

4.4.1.2. *Povrchové úpravy*

Návrh denního světla v interiéru nespočívá jen v tom, abychom zajistili jen jeho dostatek, ale záleží na mnoha dalších aspektech světleného vnitřního prostředí, ve kterém se jeho uživatel cítí dobře. Povrchové úpravy celého interiéru mají svůj význam a proto je potřeba řešit i odrazivost povrchových úprav interiéru a jejich barvu.

V interiéru potřebujeme správně stimulovat lidský zrakový systém, ale také nevizuální soustavu uživatelů. Lékařské objevy v oblasti světelného vlivu cirkadiánního systému, systému, který řídí naše každodenní tělesné rytmy, popsaly základní principy jeho fungování. Tyto pokročilé metody, můžeme dále využít k vyhodnocování vnitřního světleného klima v budovách. (Hartman, a další, 2014)

Posuzované místo v interiéru je osvětleno i světlem odraženým od vnitřních povrchů místnosti. Roli zde hraje mnohonásobný odraz světla od povrchů vnitřního prostoru v závislosti na jejich odraznosti. Přibližně je možno hodnotu činitele odrazu světla určit porovnáním povrchu s barevným vzorníkem. (Bošová, 2016)

V rámci laboratoře bude možné zkoušet nové materiály, odstíny barev a odrazivosti jednotlivých povrchů v závislosti na jejich světelně-technické vlastnosti.

Vnitřní povrchy experimentální mobilní laboratoře budou pro první měření nachystané ve standardním režimu, to znamená, že stěny i strop budou opatřeny bílou výmalbou a podlaha bude plovoucí laminátová v dekoru dřeva.

V případě požadavků konkrétních měření můžeme u vnitřních povrchů velmi jednoduše změnit barvu výmalby, případně i druh povrchu vytvořením předstěny z jiného materiálu. I podlahu bude možné díky demontovatelnému systému snadno vyměnit za jiný dekor či typ. Vždy bude záležet na požadavcích daného měření pro vytvoření vnitřních okrajových podmínek, tak aby korespondoval s požadavky výzkumu.

4.4.1.3. *Stínící prvky pro regulaci denního osvětlení a oslunění*

Stínící technika je neodmyslitelnou součástí architektury, jelikož během roku ovlivňuje vizuální podobu objektů. Zatímco během zimního období, kdy je denního světla méně, je větší množství slunečního světla v interiéru vítáno, ať z hlediska denního světla, tak z hlediska solárních zisků. Naopak je tomu v létě, kdy převážně kvůli velkým solárním ziskům, je potřeba okenní otvory stínit, stejně jako v případě problému s osluněním. Důmyslná stínící technika je

často zmiňována především v souvislosti s nízkoenergetickými a pasivními budovami, u kterých je kontrolováno využívání slunečního záření na jednom z prvních míst při hodnocení energetické bilance budovy.

Samostatným oborem je regulace a s tím související i regulace stínících prvků. V tomto směru je výzkum v současné době hodně otevřený, jelikož návrh denního osvětlení začíná směřovat k dynamickému hodnocení denního osvětlení. Modely vycházející pouze z rovnoměrně zatažené oblohy jsou pro roční bilance budov, pracující s energetickými hodnotami a náklady na spotřebu energie, v tomto směru nedostačující. Proto vhodné stínící prvky, jejich ovládání pomocí sofistikované regulace pro zajištění dostatečné kvality a kvantity denního osvětlení v kombinaci s energetickými bilancemi, je otázkou budoucího výzkumu, jakým se můžeme zabývat.

Svislý okenní otvor mobilní experimentální laboratoře bude opatřen vnějšími žaluziemi, které budou ovládané na základě automatické regulace. Regulaci bude možné nastavit vždy na základě požadavků konkrétních měření. Žaluzie bude možné vytáhnout do pozice, kde nebudou pro okenní otvor tvořit žádnou formu překážky.

V případě potřeby je možné k mobilní experimentální laboratoři přidat další exteriérové stínící prvky, jejichž vliv bude pro konkrétní výzkum potřebný. Jedná se například o markýzy, rolety, slunolamy, posuvné perforované stěny či stínění popínavými rostlinami. Pro výzkum jsou vhodné i méně známé typy zastínění, jako jsou světlené římsy, anidolické systémy, využití solárních článků, fasády s bioreaktivními panely, fasády s panely s vodní komorou nebo dokonce forma mechanické fasády ve stylu Jeana Nuovela použitá na Institut du Monde Arabe.

4.4.1.4. Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je pojem nesoucí souběžně denní a umělé osvětlení. Touto kombinací se mohou vytvářet příznivé podmínky vidění i zrakové a celkové pohody prostředí v případech, kdy samotné denní světlo je pro momentální nebo trvalé využití prostoru nedostatečné buď svou úrovní, nebo svým prostorovým rozložením. Zároveň však při něm spolupůsobí dvě složky s velmi odlišným charakterem a zákonitostmi, které je nutné uvést do vzájemného souladu. Složka denního osvětlení je neustále proměnlivá ve velmi širokých mezích svou úrovní, rozložením světelného toku i spektrálním složením světla, kdežto složka

doplňujícího umělého osvětlení je relativně konstantní a její spektrální složení se nemění. Výzkumy a pokusy jak v tuzemsku, tak v zahraničí bylo jednoznačně zjištěno, že při déle trvajícím pobytu je pro člověka dobře navržené a provozované sdružené osvětlení sice méně příznivé než vyhovující denní, ale je výrazně příznivější, než osvětlení pouze umělé.

Příznivý účinek denní složky sdruženého osvětlení je dán zejména vyrovnaným spektrálním složením denního světla, ale také jeho dynamikou, neustálou proměnlivostí, která byla dříve považována za nevýhodnou. Podle novějších výzkumů však na člověka tato dynamika v určitých mezích působí příznivě, stimulačně, neboť on jako jedinec je na denní světlo a jeho vnímání dlouhým vývojem přizpůsoben. Při posuzování tohoto působení je nutno mít na paměti, že jde jak o působení ve sféře podmínek vidění a zrakové pohody, tak o působení v oblasti mimozrakové.

Například se uvádí, že nejméně jedna desetina obyvatelstva v New Yorku trpí hlavně v zimním období s nízkými úrovněmi denního světla a při dlouhodobém používání vnitřních prostorů s nedostatečnou úrovní denního osvětlení syndromem označovaným jako SAD (seasonal affective disorder – sezónní rozladění organismu), který je charakterizován řadou obtíží, od poklesů fyzické i duševní výkonnosti, ospalosti a zvýšení únavy až po bolesti hlavy a další příznaky. (Matoušek, 2003)

V experimentální mobilní laboratoři bude možné navrhnout i umělé osvětlení a zajistit jeho instalaci. Důležité budou opět řídicí systémy, které budou intenzitu umělého osvětlení regulovat na základě požadavků v kombinaci s osvětlením umělým a případnou stínící technikou. I v této oblasti očekáváme široké možnosti výzkumu, kde tato jedinečná mobilní laboratoř dojde širokého uplatnění.

4.4.2. Vliv okolního prostředí (vnější okrajové podmínky)

Jedním z požadavků při urbanistickém návrhu je vytvořit příznivé podmínky pro přístup denního světla k průčelím s bočními osvětlovacími otvory vnitřních prostorů. Snaha je o vhodně navržené venkovního stínění, kde je podstatná okolní zástavba, ale také vystupující části vlastního objektu, vzrostlá zeleň či terénní úpravy. Samostatnou kapitolou je vzrostlá zeleň, kdy se jedná o proměnlivou venkovní překážku, která se i během jednoho roku může zásadně měnit.

Vliv okolního prostředí na světlené podmínky uvnitř interiéru, jsou z hlediska mobility experimentální laboratoře téměř nevyčerpatelné. Okrajové podmínky můžeme víceméně nastavit dle zaparkování mobilní experimentální laboratoře a „vytvořit“ si tak okrajové podmínky dle potřeb měření.

Úkolem proto bude, aby pro každé měření, byly vždy správně a podrobně popsané vnější okrajové podmínky a ty respektovaly tyto skutečnosti:

- vlastnosti zdroje světla tj. způsob rozložení jasů po obloze, který je dán skutečným stavem oblohy;
- vnější podmínky tj. zejména existence, tvar, velikost a jas stínících překážek

4.4.2.1. *Vnější stínící prvky*

Naplnění potřeby kontaktu s vnějším prostředím je důležitým psychologickým aspektem ve vztahu k dennímu světlu (Robbins, 1986). Samotný přísun denního světla nestačí k tomu, aby uspokojil potřebu lidí mít výhled do okolí včetně oblohy, obzoru a země (Boyce, a další, 2003). Nově budované interiéry je třeba navrhovat tak, aby mohly uspokojovat lidské potřeby a aby byly propojeny s přírodním prostředím tak, že minimalizujeme překážky ve výhledu a umožníme výhled do dálky.

Vnější stínící prvky tvoří jak hustota zastavění, tak terén, ale i další stínící prvky, které se nacházejí v celém zorném poli z uvažovaného kontrolního bodu. Kvalita a množství denního osvětlení závisí na mnoha faktorech včetně vzdáleností, výšek, tvarů stínících objektů. Vnější zastínění musí zachovat zrakovou pohodu při zatažené, jasné i polojasné obloze a při přímém slunečním světle, což není vždy jednoduchý úkol.

Za stínící překážky se zpravidla považují veškeré budovy, inženýrské stavby a terénní útvary. Uvažování vzrostlé zeleně jako překážky pro přístup denního světla je méně obvyklé, protože listnaté stromy jsou v zimním období bez listů, tudíž nestíní, a v letním období působí zeleň naopak spíše příznivě, protože brání nadměrnému přístupu slunečních paprsků. Vzdálenost sázené dřeviny (hlavně jehličnatých porostů) od obvodové zdi budov by měla být minimálně stejná, jako je její předpokládaná maximální výška. Vysazené rostliny a dřeviny musí být řádně udržovány, aby plnily svůj účel, zároveň je potřeba počítat s dlouhou dobou růstu do požadované velikosti. Poté navíc udržují příjemné klima prostředí a zlepšují vzhled měst.

Vnější stínící překážky můžeme konkrétně „namodelovat“ skutečnou zástavbou, terénem i případnou zelení tím, že mobilní experimentální laboratoř zaparkujeme v konkrétním vnějším prostředí. V případě potřeby bude možné samozřejmě dotvořit či upravit vnější prostředí opět dle konkrétních potřeb zadávacího měření.

Provádět bude možné například i dlouhodobá měření v procesu výstavby, kdy je možné dlouhodobě monitorovat právě prováděnou výstavbu s vlivem na měřenou místnost, kterou bude reprezentovat právě naše mobilní experimentální laboratoř. Zpracovávat a vyhodnocovat bude možné data během výstavby, kdy se bude měnit jak množství stínící hmoty, tak také povrchové úpravy jednotlivých částí stínící překážky a to v poměrně velkém měřítku.

S objemem stínících překážek samozřejmě souvisejí i další podkapitoly, uvedené níže, jelikož hmota jako taková nese světelně-technické vlastnosti stínících překážek, které jsou stejně důležité, jako samotná hmota.

4.4.2.2. *Povrchové úpravy vnějších stínících překážek*

Světelně technické vlastnosti stínících překážek – jas stínící překážky se vyjadřuje pomocí činitele jasu stínící překážky k [-]. Ten je definován jako podíl jasu stínící překážky L_e [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] a jasu L_s [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] oblohy, kterou překážka zakrývá.

$$k = \frac{L_e}{L_s} \quad [-] \quad [10]$$

kde: k je činitele jasu stínící překážky [-]

L_e je jas stínící překážky [-]

$\tau_{s,nor}$ je činitele prostupu světla sklem ve směru normály roviny skla [-]

Barva vnějších stínících překážek modifikuje spektrální složení vnější vzájemně se odrážející složky vnitřního denního osvětlení. To může hrát negativní roli pro cirkadiánní účinnost vnitřního denního osvětlení. (Hraška, a další, 2014)

Kvalita a množství denního osvětlení závisí na mnoha faktorech včetně vzdáleností, výšek, tvarů a odrazivosti okolních vnějších překážek a odrazivosti od země. (Gábrová, 2014). Pozor musíme dát na blízké objekty s lesklým povrchem, které nemají odrážet přímé sluneční

světlo směrem k osvětlovacím otvorům, aby nedocházelo k oslnění uživatelů ve vnitřním prostoru.

Pokud budeme chtít měnit povrchové úpravy vnějších stínících překážek, budeme muset najít vhodný objekt, u kterého budeme moci změnit jeho finální vrstvu fasády, nebo najít takové okolí, kde se nacházejí hmotově stejné objekty a mají například jinou barvu fasády, zde je potřeba ohlídat veškeré ostatní okrajové podmínky, aby nezkreslovali výzkumný záměr celého měření.

Pro výzkum se tak dají využít například i falešně vytvořené stínící objekty, resp. v rámci fasády jde vytvořit pouze předstěnu s jiným materiálem, barevným odstínem, strukturou či odrazivostí.

4.4.2.3. *Míra znečištění*

Je známo, že dostupnost denního světla ve městech je tlumena znečišťujícími látkami ze vzduchu a usazováním nečistot a prachu na površích budov. Atmosférický útlum odstraňuje část přicházejícího viditelného záření, zatímco usazování nečistot a prachu může snížit odrazivost vnitřních a vnějších povrchů budov a propustnost denního světla zasklenými prvky, jako jsou okna a střešní světlíky. Nárůst povětrnostních vlivů má za následek více reakcí probíhajících na povrchu skla, u nichž bylo dokázáno, že některé vytvářejí usazeniny podobné lepidlu a ty je následně obtížné odstranit běžnými metodami čištění z jeho povrchu. (Sharples, a další, 2001)

Jak ukazují jednotlivé studie, znečištění ovzduší ve městech je v současnosti jedním z 10 největších problémů znečištění v Číně. Může nejen zhoršit kvalitu vnitřního vzduchu, ale také podstatně snížit dostupnost denního světla v budovách, přičemž obě jsou přímo spojeny se zdravím a pohodou obyvatel. (Chen, a další, 2018)

Při šíření světla přes osvětlovací otvor vznikají světelné ztráty vlivem znečištění na obou stranách - v exteriéru i v interiéru. Charakteristickou veličinou pro popis světelných ztrát při průchodu světla přes osvětlovací otvor je činitel prostupu světla τ_z [-], který je dán poměrem prošlého světelného toku přes osvětlovací otvor a dopadajícího světelného toku na osvětlovací otvor. Prostup světla se snižuje v důsledku znečištění dané látky, jak na její vnější, tak i na její vnitřní straně. Činitel znečištění je dán součinem činitele znečištění na vnější straně osvětlovacího otvoru a činitele znečištění na vnitřní straně osvětlovacího otvoru. Tento

ztrátový činitel můžeme také změřit, jak je popsáno v kapitole 3. Měření v oblasti světelné techniky.

Abychom získali důkladnou datovou charakteristiku, obsahující informace o znečišťování okenních otvorů a jednotlivých povrchů, bude nutné provádět měření na stejné sadě oken delší dobu. Důležitý bude i dopad vlivů povětrnostních podmínek.

V tomto případě opět může posloužit mobilní experimentální laboratoř, kde je možné ji zaparkovat v potřebné oblasti, kde bude potřeba zkoumat znečištění okenních otvorů a usazování nečistot a prachu na površích budov. Bude se jednat o dlouhodobé měření, aby byla naměřená potřebná data, proto by bylo ideální tento výzkum skloubit i s dalšími světelně technickými měřeními, abychom efektivně využili větší škálu možných měření samotné laboratoře.

4.4.2.4. Intenzity vnější osvětlenosti včetně závislosti na ročním období

Ve skutečnosti se kvantitativní úroveň denního osvětlení v daném kontrolním bodě všeobecně mění v závislosti na daném ročním období, na denní době, na množství oblačnosti na orientaci okenního otvoru. Klasické návrhy denního osvětlení však pracují pouze s variantou rovnoměrně zatažené oblohy. V závislosti na trendu snižování náročnosti budov, je nutné se věnovat i dynamickým modelům denního osvětlení a to v souvislosti s možností energetických úspor umělého osvětlení při využití denního světla.

V současné době existuje celá škála inovativních řešení denního osvětlení, specifických materiálových a geometrických řešení prostorů a systémů denního osvětlení, které se nedají dostatečně dobře hodnotit běžnými metodami. Použití dynamických simulací v takovýchto případech významně pomáhá odpovědět na otázku, jak osvětlit vnitřní prostory s co největším využitím denního světla při zabezpečení vizuální kvality, tepelného komfortu a celkové energetické efektivnosti budovy. Aplikace dynamických simulací denní osvětlenosti budou více a více žádané při posuzování a optimalizaci tzv. inteligentních budov, v kterých se způsob regulace mnohých komponentů může optimalizovat na základě vnějších podmínek denního osvětlení.

Jsou již známy i porovnávací studie, kdy byly měřeny konkrétní místnosti a zároveň provedeny dynamické simulační metody DAYSIM založené na RADIANCE, která využívá

koncept koeficientů denního osvětlení a Perezův model oblohy k predikci krátkodobého vývoje vnitřního osvětlení (Reinhart, a další, 2001).

Mobilní experimentální laboratoř bude celoročně vystavena vnějším podmínkám, proto je dynamika denního osvětlení zajištěna. Bude jen na požadavcích konkrétních měření, jaké veličiny budeme měřit a vyhodnocovat v závislosti na vnějších podmínkách horizontální nezacloněné roviny. Měření lze dále přispívat i ke komparativním analýzám z výpočetních modelů, vycházejících ze souborů meteorologických dat a vytvářet další prediktivní simulace denního osvětlení uvnitř interiérů.

5. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout jedinečné zařízení, které reprezentuje laboratorní, experimentální a výukové prostředí v unikátním mobilním objektu, který bude možno osadit do různých prostředí a okrajových podmínek a dále převážet pomocí osobního automobilu. Experimentální mobilní laboratoř musela být tedy navržena v souladu s bezpečnostmi předpisy silničního provozu. Velkou výhodou je, že objekt této laboratoře bude svou velikostí splňovat minimální parametry požadované pro obytnou místnost, ve které bude reálné simulovat různé varianty vnitřní prostředí. Díky kumulaci a množství světelně technického vybavení (různorodost měřicí techniky) dokáže konkurovat statickým světelným laboratořím se svou přidanou hodnotou okamžité mobility.

Tato mobilní experimentální laboratoř skýtá nepřeborné množství využití pro základní výzkum, aplikovaný výzkum a vývoj v oblasti architektonického navrhování a světlené techniky. Veškerá měřicí zařízení, která jsou součástí této laboratoře, odpovídají přesností a kvalitou přesným až velmi přesným zařízením, tj. přístrojům pro laboratorní využití, to dává záruku kvalitních a přesných výsledků, které budou využitelné standardizačních, certifikačních a normalizačních měření.

Dokončení prováděcí dokumentace je plánováno na konec roku 2021, kdy od počátku roku 2022 se předpokládá samotná realizace. V současné době je prováděna rešerše možností grantových agentur, které by se mohli podílet na podpoře její realizace. Z důvodu zájmu o tato unikátní měření, jsou rozjednány dále různé varianty přímé spolupráce mezi FA ČVUT a realizačními a výrobními firmami v této oblasti. Díky jedinečnosti projektu je deklarována spolupráce s dalšími výzkumnými organizacemi a vysokými školami, jako Slovenská akademie věd, Vysoké učení technické v Brně a Slovenská technická univerzita v Bratislavě. Další expanze se předpokládá po zprovoznění a akreditaci mobilní experimentální laboratoře.

Na základě prezentace plánovaných cílů se jeví celá idea mobilní experimentální laboratoře jako realizovatelná a její provoz se plánuje pokrýt výzkumnými projekty širokého spektra. Zapojení studentů vysokých škol a to nejen fakulty architektury, ale v prolínajících se tématech i studenty ostatních fakult a univerzit s sebou nese propojení resp. přiblížení výuky k praxi a experimentálním poznatkům.

Seznam obrázků:

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Prvotní skici pro návrh mobilní laboratoře, výstup ze společného projektu tým autorů: Ing. arch. Martin Majna, Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D., Ing. Lenka Prokopová, Ph.D..... | 3 |
| Obrázek 2: Spektrum elektromagnetických záření s orientačním členěním podle kmitočtů a vlnových délek (HABEL, a další, 2013) | 6 |
| Obrázek 3: Rozložení barevných tónů ve spektrální oblasti viditelného záření (SOKANSKÝ, a další, 2011) | 7 |
| Obrázek 4: CIE 1960 UCS. MacAdamsův (u,v) diagram chromatičnosti..... | 8 |
| Obrázek 5: Poměrná světelná účinnost monochromatického záření (Bošová, 2016) | 9 |
| Obrázek 6: Distribuce jasů u jasné oblohy dle CIE (VAJKAY, František, 2014) | 11 |
| Obrázek 7: Znázornění přípustného výseku možnosti dopadu přímých slunečních paprsků pro hodnocení doby oslunění dle ČSN EN 17037 (ČSN EN 17037, 2019) | 12 |
| Obrázek 8: Prostup slunečního světla atmosférou během dne (SOKANSKÝ, a další, 2011) | 15 |
| Obrázek 9: Distribuce jasů u rovnoměrně zatažené oblohy s gradací jasu 1 : 3 dle CIE (VAJKAY, František, 2014)..... | 16 |
| Obrázek 10: Kalibrace luxmetru ve fotometrické laboratoři Slovenské akademie věd, zdroj: archiv autora | 23 |
| Obrázek 11: Hemisferická umělá obloha na Ústave stavebnictví a architektury SAV v Bratislavě..... | 27 |
| Obrázek 12: Ověření doby proslunění fotoaparátem s objektivem typu rybí oko a vloženým stereografickým diagramem (ČSN EN 17037, 2019) | 32 |
| Obrázek 13: Vybraný přívěs od firmy TH 660 PLATEAU Vlemmix, zdroj www.vlemmixaanhangwagens.nl | 40 |
| Obrázek 14: Luxmetr RadioLux 111, zdroj: fotoarchiv doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D. | 54 |
| Obrázek 15: RadioLux 111 typická normalizovaná relativní spektrální citlivost $s_{rel}(\lambda)$ porovnaná s funkcí $V(\lambda)$ fotometrické hlavy vyrobené PRC Krochmannem, zdroj: technické listy PRC Krochmann | 56 |
| Obrázek 16: RadioLux 111 typická odchylka ve směrové reakci na dopadající záření a hlavu fotometru korigovanou kosinem od společnosti PRC Krochmann, zdroj: technické listy PRC Krochmann | 56 |
| Obrázek 17: Fotometrická hlava model ST od firmy PRC Krochmann, zdroj: technické listy PRC Krochmann | 57 |
| Obrázek 18: miničidlo typ MI, od firmy PRC Krochmann, zdroj: fotoarchiv doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D..... | 58 |
| Obrázek 19: Photometer/Radiometer 211 od firmy PRC Krochmann, zdroj: technické listy PRC Krochmann | 59 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 20: Fotometrická hlava typu L pro Photometer/Radiometer 211 od firmy PRC Krochmann, zdroj: fotoarchiv autora..... | 62 |
| Obrázek 21: Fotometrický hlava model FET30 – C15 – 0I – D8 pro Photometer/Radiometer 211 pro venkovní použití od firmy PRC Krochmann, zdroj: technické listy PRC Krochmann | 62 |
| Obrázek 22: Fotometrická hlava typu FET30 – C15 – 0I – D8 pro Photometer/Radiometer 211 pro venkovní použití od firmy PRC Krochmann, zdroj: fotoarchiv autora | 64 |
| Obrázek 23: Stativ 055XB + foto hlava 410 od firmy Manfrotto, zdroj: www.manfrotto.com | 65 |
| Obrázek 24: Příslušenství PRC Krochmann, stativ Tripod 1747 od firmy Cullmann, zdroj: fotoarchiv autora | 66 |
| Obrázek 25: jasoměr Konica Minolta LS 110, zdroj: fotoarchiv doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D..... | 67 |
| Obrázek 26: jasový analyzátor LumiDISP, zdroj: http://www.lumidisp.eu/ | 70 |
| Obrázek 27: fotoaparát Nikon D7500 a objektiv Samyang fisheye Hood detachable , zdroj: http://www.nikon.co.uk a http://www.samyanglens.com | 71 |
| Obrázek 28: Spektroradiometr JeTi, typ scb 1211UV-2 s přípojným difuzorem pro venkovní použití , zdroj: http://www.jeti.com | 72 |
| Obrázek 29: Vliv okenního otvoru na denní osvětlení interiéru, zdroj: https://www.urbearquitetonica.com/ | 75 |

Seznam tabulek:

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Rozsah hodnot <i>DGP</i> – pravděpodobnost oslnění dením světlem dle (ČSN EN 17037, 2019) | 14 |
| Tabulka 2: Mezní hodnoty chyb podle DIN 5032, část 7, v %, zdroj: technické listy PRC Krochmann.. | 55 |
| Tabulka 3: Mezní hodnoty chyb Photometer 211 + fotometrická hlava typu L podle DIN 5032 a CIE publikace vol. 69, v %, zdroj: technické listy PRC Krochmann | 60 |
| Tabulka 4: Rozměry přívěsů od firmy Vlemmix..... | 93 |

Literatura:

- Aries, M.B.C., Aarts, M.P.J. a Van Hoof, J. 2015.** Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. *Lighting Research and Technology*. 2015, Sv. (1), 47.
- Baxant, P., Škod, J a Sumec, S. 2020.** *Jasový analyzátor: LDA LumiDISP (uživatelská příručka)*. Brno : Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2020.
- Bošová, D. a Prokopová, L. 2016.** Architectural models for measurement of Daylight Factor. *Applied Mechanics and Materials: Energy Saving and Environmentally Friendly Technologies - Concepts of Sustainable Building*. 2016, 824.
- Bošová, Daniela. 2016.** *Denní osvětlení budov*. Praha : Nakl. Informační centrum ČKAIT, s. r. o. , 2016. ISBN: 978-80-87438-70-1 .
- Boyce, P., Hunter, C. a .Howlett, O. 2003.** *The Benefits of Daylight through Windows*. místo neznámé : Rensselaer Polytechnic Institute, 2003.
- CIE. 1994. CIE 110-1994: Spatial distribution of daylight - Luminance distributions of various reference skies.** Austria : Commission Internationale de L'Eclairage, 1994. 9783900734527.
- CIE 108: 1994.** Vienna : Guide to recommended practice of daylight measurement. Technical Report, CIE Central Bureau, 1994.
- CIE 1955.** Natural Daylight, Official Recommendation. Compte Rendu CIE 13th Session, 2, part 3.2, p. 2–4, Paris: Central Bureau CIE.
- CIE 215:2014.** místo neznámé : CIE Standard general Sky Guide. Technical Report. Vienna: CIE Central Bureau, 2014.
- ČSN 360010. 1965.** *Měření světla (kmenová norma)*. Praha : Český normalizační institut, 1965.
- ČSN 360011-1. 2014.** *Měření osvětlení prostorů, část 1: Základní ustanovení*. Praha : Český normalizační institut, 2014.
- ČSN 360011-2. 2014.** *Měření osvětlení prostorů, část 2: Měření denního osvětlení*. Praha : Český normalizační institut, 2014.
- ČSN EN 17037. 2019.** *Denní osvětlení budov*. Praha : Český normalizační institut, 2019.
- ČSN IEC 50(845). 1996.** *Mezinárodní elektronický slovník*. Praha : Český normalizační institut, 1996.
- ČSN730580-1. Z3-2019.** *Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky*. Praha : Český normalizační institut, Z3-2019.
- ČSN730580-2. Z1-2019.** *Denní osvětlení budov. Část 2: Denní osvětlení obytných budov*. Praha : Český normalizační institut, Z1-2019.
- ČSN730580-3. Z3-2019.** *Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol*. Praha : Český normalizační institut, Z3-2019.
- ČSN730580-4. Z3-2019.** *Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov*. Praha : Český normalizační institut, Z3-2019.

- Deane, B. Judd a Gary, T. Yonemura. 1970.** CIE 1960 UCS Diagram and the Müller Theory of Color Vision. *J Res Natl Bur Stand A Phys Chem.* 1970.
- EN12464-1: 2012.** *Light and Lighting - lighting of work places - Part 1: Indoor work places.* Brusel : European Committee for Standardization, 2012.
- Gábrov, L. 2014.** Effect of light reflectance of external surfaces on daylight factor. *Advanced Materials Research.* 9th International enviBUILD 2014 ConferenceBrno, 2014, 1041.
- HABEL, Jiří, a dalř. 2013.** *Svtlo a osvtlovn.* Praha : FCC Public, 2013. str. 624. ISBN 978-80-86534-21-3.
- Hartman, P., a dalř. 2014.** The effect of the colour selection for internal surfaces on non-visual daylight. *Advanced Materials Research.* 2014, Volume 1057.
- Hauge, B. 2015.** Designing with daylight; The relationship between daylight and health. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design,.* 2015.
- Hrařka, J. a Hartman, P. 2014.** Colour of external shading obstacles and circadian stimulus of indoor daylighting. *Advanced Materials Research.* International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013, 2014, 899.
- Chen, X., Zhang, X. a Du, J. 2018.** Impact of urban air pollution on occupants' visual comfort, alertness, mood in an office with various glazing systems: An investigation in Beijing. *PLEA 2018 - Smart and Healthy within the Two-Degree Limit: Proceedings of the 34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture.* 2018, 2.
- ISO 15469:2004(E)/CIE S 011/E:2003.** msto neznámé : Spatial Distribution of Daylight – CIE Standard General Sky. Geneva: ISO, 2004/ , Vienna: CIE Cental Bureau, 2003.
- ISO. 2004.** *Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky* : International Organization for Standardization, 2004. ISO 15469:2004.
- . **1997.** *Spatial distribution of daylight – CIE standard overcast sky and clear sky. :* International Organization for Standardization, 1997. ISO 15469:1997.
- Janeřkov(Prokopov), L., Bořov, D. a Darula, S. 2014.** Influence of instantaneous measured data on evaluation interval of daylighting. *Advanced Materials Research.* 2014.
- Janeřkov(Prokopov), L., Darula, S. a Bořov, D. 2013.** Differences between 5- second and X-minute intervals of daylight measurements. *enviBUILD 2013 - International conference proceedings.* 2013.
- Jeanneret, CH.E.(Le Corbusier). 1943.** Atnsk charta. 1943.
- JETI Technische Instrumente GmbH. 2005.** *Basics of Spectral Measurement.* Jena, 2005. str. 53s.
- Kařka, Jan. 2021.** Minimln vřka slunce v SN EN 17037. *Svtlo.* 2021, 3, strnky 52-53.
- Kittler, R., Kocifaj, M. a Darula, S. 2012.** *Daylight science and daylighting technology.* New York : Springer, 2012.

- Klemps, J.H, Selkowitz, S. a Horowitz, S. 1982.** A mobile facility for measuring net energy performance od windows and skylights. *The third international symposium od Energy Conservation in the built environment*. April 1982.
- KÖSTER, Helmut. 2004.** *Dynamic Daylighting Architecture - basics, systems, projects*. Basel : Birkhäuser Verlag AG, 2004. str. 160.
- Lee, J. a Boubekrl, M. 2020.** Impact of daylight exposure on health, well-being and sleep of office workers based on actigraphy, surveys, and computer simulation. *Journal of Green Building*. 2020, 15.
- Maňák, V. 1976.** Několik poznámek o oslnění z hlediska psychofyziologického. *Centroprojekt - Věstník*. XV, 1976, 8-9.
- . 1969. Význam denního osvětlení z hlediska hygieny. 1969.
- Matoušek, Jiří. 2003.** Sdružené osvětlení a možnosti jeho využití v budovách. *Stavitel*. Měsíčník Hospodářských novin, 2003, 10.
- Moon, P. a Spencer, D. E. 1942.** Illumination from a non-uniform sky. *Illum. eng.* 1942, 37.
- Nařízení č. 10/2016 Sb. hl. m. Prahy. 2018.** *kterým se stanovují obecné požadavky na využívání území a technické požadavky stavby v hlavním městě Praze (pražské stavební předpisy) ve znění nařízení č. 14/2018 Sb. HMP*. Praha : Vláda České republiky, 2018.
- Nařízení vlády 361/2007Sb.,. 2007.** *kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*. Praha : Vláda České republiky, 2007.
- NAVRÁTIL, Zdeněk. 2006.** http://vnuf.cz/sbornik_old/Veletrh_11/11_17_Navratil.html. *Demonstrace skládání barev*. [Online] 2006.
- Nguyen, T. K.-P. a Korkina, E. V. Korkina. 2021.** Connectivity of the Window to Floor Area Ratio and the Daylighting. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*. September 2021, Sv. Volume 45, Issue 3, stránky 2035-2045.
- Prokopová, L., Bošová, D. a Darula, S. 2016.** Testing of illuminance meters. *Applied Mechanics and Materials. Energy Saving and Environmentally Friendly Technologies - Concepts of Sustainable Building*. 2016, 824.
- Reinhart, C.F. a Walkenhorst, O. 2001.** Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*. 2001, 33(7).
- Robbins, C.L. 1986.** *Daylighting Design* . New York : Van Nostrand Reinhold Company, 1986.
- Rozman, Jiří. 2000.** *Diagnostika životního prostředí*. místo neznámé : VUT v Brně, 2000. ISBN 80 214-1771-4.
- Sharples, Steve, Lorraine, Stewart a Tregenza, Peter R. 2001.** Glazing daylight transmittances: a field survey of windows in urban areas. *Building and Environment*. 2001, 36.
- SOKANSKÝ, Karel, a další. 2011.** *SVĚTELNÁ TECHNIKA*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. str. 256. ISBN 978-80-01-04941-9.
- Tregenza, P. a Wilson, M. 2011.** *Daylighting. Architecture and lighting design*. London : Routledge , 2011. ISBN :9780419257004.

VAJKAY, František. 2014. Stavební fyzika – Světelná technika v teorii a praxi. *oktaedr*. [Online] 2014. https://issuu.com/oktaedr/docs/oktaedr_sf_svetelna_technika/17. iISBN 978-80-214-4880-3.

Vyhláška 268/2009 Sb. 2009. *O technických požadavcích na stavby*. Praha : Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009.

Vyhláška 410/2005 Sb. 2005. *O hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*. Praha : Ministerstvo zdravotnictví, 2005.

WEIGLOVÁ, Jiřina, BEDLOVIČOVÁ, Daniela a KAŇKA, Jan. 2006. *Stavební fyzika 1 - Denní osvětlení a oslunění budov*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. str. 130. iISBN 80-01-03392-9.

Příloha 1 – Hlavní parametry přívěsu a samotné laboratoře

Objekt měl prioritu být mobilní, být součástí běžné silniční dopravy a to vždy tak, aby jeho transport byl z provozního i ekonomického ohledu nejjednodušší. Proto jsme zvolili jeho nosnou konstrukci umístěnou na již předem homologovaném tažném přívěsu. K tomu byla zjištěna potřebná pravidla pro provoz na komunikacích. Řešena byla také varianta tažného auta a taženého přívěsu s maximální hmotností 7 t a z toho vyplynuly dvě následující možnosti:

1) maximální hmotnost motorového vozidla je 3,5 t a maximální hmotnost přípojného vozidla je 3,5 t. Přívěs už samozřejmě musí být brzděný. Řidič, který tuto sestavu poveze, musí mít řidičské oprávnění typu B a k tomu ještě typ E.

Řidičský průkaz typu BE opravňuje možnost řidiče k řízení jízdní soupravy z motorového vozidla skupiny B a přípojného vozidla těžšího 750 kg, celková hmotnost jízdní soupravy může překročit 3,5 tuny, ale nesmí překročit 7 tun.

V řešení byla ještě varianta pouze řidičské oprávnění typu B v rozšířeném rozsahu „Harmonizační kód 96“, kdy postačuje složení tzv. „doplňovací zkoušky“ podle § 45b zákona č. 247/2000 Sb. Jedná o motorová vozidla, ke kterým smí být připojeno přípojné vozidlo převyšující 750 kg, pokud největší povolená hmotnost této jízdní soupravy převyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 4 250 kg. Tento limit byl pro experimentální mobilní laboratoř příliš nízký, proto jsme ho z možností vyřadili.

2) maximální hmotnost motorového vozidla je 3,5 t (jedná se stále o motorové vozidlo typu B) a maximální hmotnost přípojného vozidla je více jak 3,5 t. Řidič, který tuto sestavu poveze, musí mít řidičské oprávnění typu C1 a k tomu ještě typ E.

Řidičský průkaz typu C1E opravňuje možnost řidiče k řízení jízdní soupravy o nejvyšší povolené hmotnosti nepřevyšující 12 tun z motorového vozidla skupiny B a přípojného vozidla o největší povolené hmotnosti převyšující 3,5 tuny.

Řešením by bylo najít vhodné motorové vozidlo typu B, za které je možné připojit přípojné vozidlo o hmotnosti více jak 3,5 t. Takovým řešením je víceméně pouze Toyota Tundra, jehož celková hmotnost brzděného přívěsu může být až 4,5 t. V ostatních případech se musíme vázat na max. hmotnost 3,5 t a to v případě Audi SQ8 TDI quattro, Audi Q7 60 TFSI e quattro, Land Rover Discovery 2,0 I SD4, Porsche Cayenne S, Mercedes-Benz GLE kupé AMG 53 4MATIC+, BMW X6 xDrive40i (AT), BMW X5 M50i (AT), Volkswagen Touareg 3.0 TDI,

Mercedes-Benz GLE AMG AMG 53 4MATIC+, Volkswagen Touareg 3.0 TDI, Porsche Cayenne E-Hybrid, Land Rover Defender D200, Volkswagen Touareg 3.0 TSI, Land Rover Defender P400, Volkswagen Touareg R, Audi SQ7 TDI quattro, Jeep Grand Cherokee 3.0L V6 CRD, atd. tohle je jen omezený výčet možných vozidel.

Cílem bylo zhotovit přípojné vozidlo s minimální hmotností, abychom se do všech potřebných limitů vešli a neměli problémy s provozem na pozemních komunikacích. Hmotnost experimentální mobilní laboratoře se tedy stala velmi důležitým a limitním parametrem celého projektu.

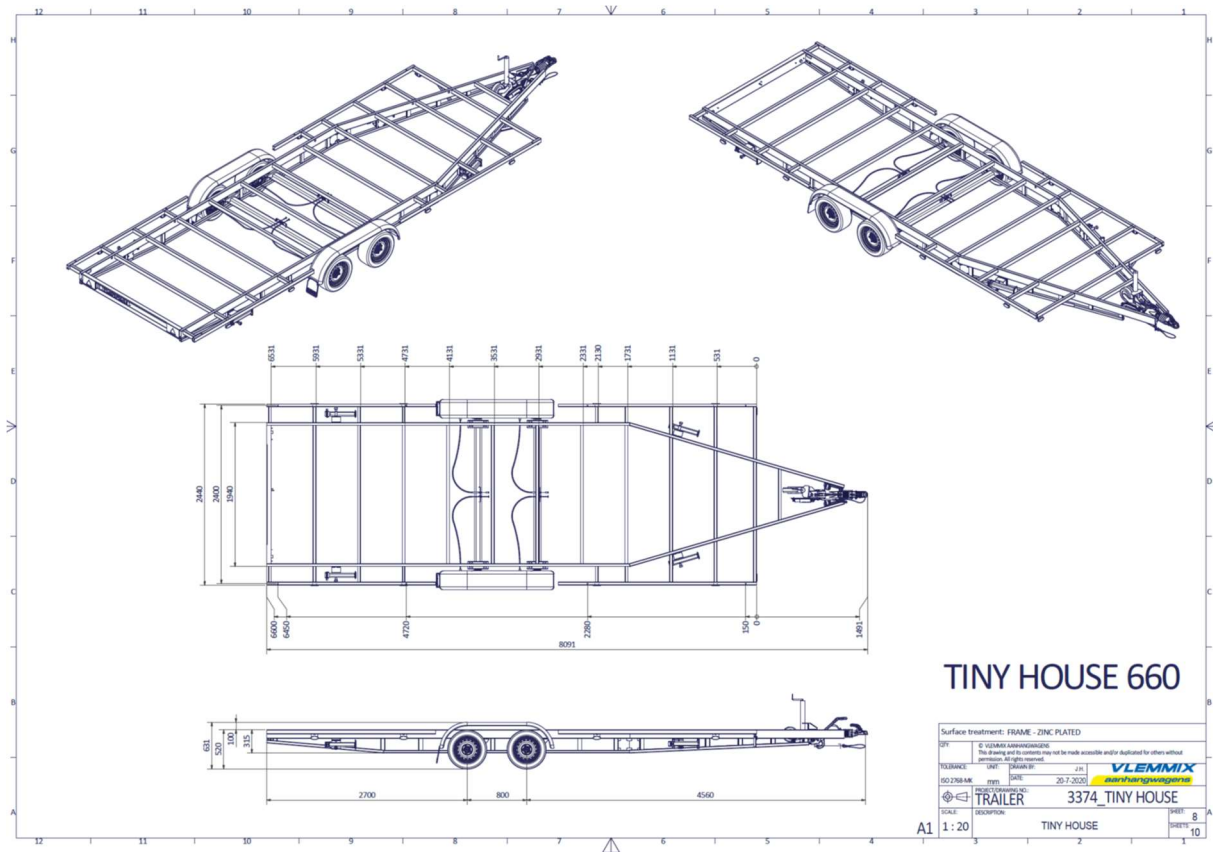
Variantou bylo si přívěs nechat vyrobit na míru, taková možnost je na českém trhu nabízena, ale narazili jsme na problém s homologací finálního přívěsu. Nehomologovaným přívěsem by nebylo možné mobilní experimentální laboratoř převážet na různá místa po veřejných komunikacích a tím by byl celý koncept projektu znehodnocen. Proto byla jasná volba zajistit homologovaný přívěs. Homologované přívěsy potřebného rozměru vyrábí nizozemská firma zn. Vlemmix nebo rakousko-německá firma ALKO. Tím se nám výběr velice zúžil a mohli jsme zajistit prvotní poptávky.

Pro výběr připadalo v úvahu několik velikostí homologovaných přívěsů, pro naši experimentální laboratoř byl nakonec zvolen přívěs typu TH 660 PLATEAU Vlemmix .

| | Model | celková hmotnost [kg] | počet náprav | rozměry [cm] | vlastní hmotnost [kg] | užitná hmotnost [kg] |
|----|---------------|-----------------------|------------------|--------------|-----------------------|----------------------|
| P | TH540 PLATEAU | 3500 | (2 X AS 1800 Kg) | 690x255x62 | 580 kg | 2920 kg |
| Q | TH600 PLATEAU | 3500 | (2 X AS 1800 Kg) | 750x255x62 | 610 kg | 2890 kg |
| R | TH660 PLATEAU | 3500 | (2 X AS 1800 Kg) | 810x255x62 | 620 kg | 2880 kg |
| S | TH720 PLATEAU | 3500 | (2 X AS 1800 Kg) | 870x255x62 | 660 kg | 2840 kg |
| T | TH780 PLATEAU | 3500 | (2 X AS 1800 Kg) | 930x255x62 | 690 kg | 2810 kg |
| U | TH840 PLATEAU | 3500 | (2 X AS 1800 Kg) | 990x255x62 | 700 kg | 2800 kg |
| V | TH720 PLATEAU | 3500 | (3 X AS 1350 Kg) | 870x255x62 | 700 kg | 2800 kg |
| W | TH780 PLATEAU | 3500 | (3 X AS 1350 Kg) | 930x255x62 | 730 kg | 2770 kg |
| X | TH840 PLATEAU | 3500 | (3 X AS 1350 Kg) | 990x255x62 | 750 kg | 2750 kg |
| Y | TH720 PLATEAU | 3500 | (3 X AS 1800 Kg) | 870x255x62 | 790 kg | 2710 kg |
| Z | TH780 PLATEAU | 3500 | (3 X AS 1800 Kg) | 930x255x62 | 820 kg | 2680 kg |
| ZZ | TH840 PLATEAU | 3500 | (3 X AS 1800 Kg) | 990x255x62 | 830 kg | 2670 kg |

Tabulka 4: Rozměry přívěsů od firmy Vlemmix

Oba výše uvedení výrobci nabízejí maximální hmotnost přívěsu s možnou nástavbou v podobě mobilní experimentální laboratoře 3,5 t, vždy jde jen o kombinaci, kolik váží samotný přívěs a jaká hmotnost je možná na následnou nástavbu mobilního objektu. To znamená, že zde máme opět stejný parametr maximální hmotnosti, který byl uveden jak u řídicího oprávnění typu BE, tak u konkrétních motorových vozidel typu B pro možné přípojné vozidlo.

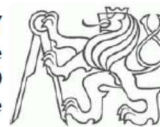


Příloha 2 – Protokol o kalibraci - Radiolux 111-01 a Radiolux 111-02



ÚSTAV STAVEBNÍCTVA A ARCHITEKTÚRY
Slovenská akadémia vied
Dúbravská cesta 9
845 03 Bratislava 45

FAKULTA ARCHITEKTURY
České vysoké učení technické v Praze
Thákurova 9
166 29 Praha 6 -Dejvice



PROTOKOL O KALIBRACI - Radiolux 111 -01

| | |
|---------------------------|--|
| Předmět testování: | Luxmetr |
| Typ: | Radiolux 111 |
| Výrobní číslo: | NO. 131115-01 |
| Výrobce: | PRC Krochmann |
| Místo kalibrace: | Laboratoř fotometrie Ústav stavebníctva a architektúry Slovenská akadémia vied |
| Datum kalibrace: | 22. 4. 2015 |
| Počet stran: | 2 |

Místo vydání: Bratislava
Datum vydání: 22. 4. 2015

Kalibrovala: Ing. Lenka Prokopová
Zodpovědná osoba: Doc. Ing. Stanislav Darula, CSc

Návaznost:

Luxmetr Radiolux 111 (131115-01) byl kalibrován referenčním luxmetrem Brüel & Kjaer se sondou 1301932.

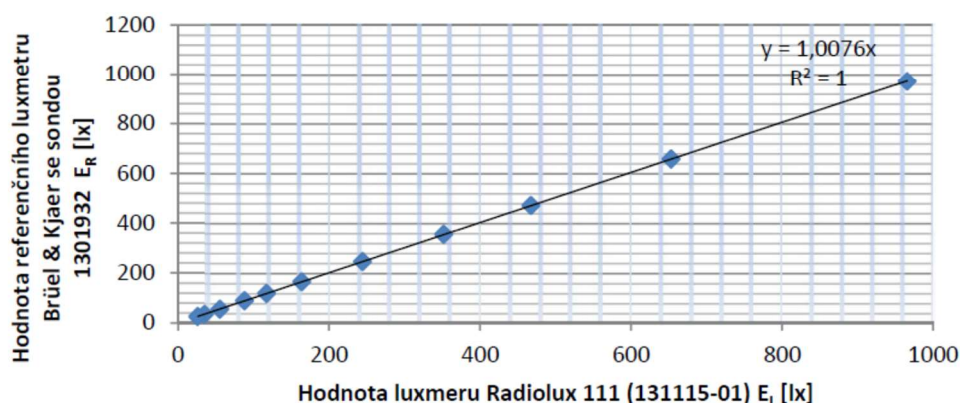
Postup kalibrace:

Luxmetr Radiolux 111 (131115-01) byl kalibrován ve fotometrické laboratoři v Ústavu stavebnictva a architektury Slovenské akademie vied na fotometrické lavici. Kalibrování sondy luxmetru bylo provedeno pro 11 různých vzdáleností od zdroje světla, kterým byla žárovka 200 W napojena na stmívací zařízení se stabilizátorem zn. Samo Automation s nastavenou intenzitou 90 %, veškerá měření byla pro kontrolu provedena třikrát. Výsledky kontrolního měření, včetně uvedených vzdáleností čidla od zdroje světla jsou uvedeny v Tab.1.

Výsledky kalibrace:

| Vzdálenost čidla od zdroje [cm] | Měření | | | Průměr Radiolux 111-01 E_L [lx] | Referenční luxmetr Brüel E_R [lx] |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---|---|
| | 1 [lx] | 2 [lx] | 3 [lx] | | |
| 52,5 | 968,5 | 962,6 | 965,4 | 966 | 972 |
| 62,5 | 650,4 | 655,0 | 653,4 | 653 | 658 |
| 72,5 | 470,0 | 466,0 | 465,5 | 467 | 472 |
| 82,5 | 353,1 | 351,9 | 349,9 | 352 | 355 |
| 97,5 | 243,1 | 244,6 | 244,7 | 244 | 246 |
| 117,5 | 163,0 | 164,0 | 164,1 | 163,7 | 165,1 |
| 137,5 | 117,3 | 116,3 | 116,9 | 116,8 | 117,7 |
| 157,5 | 88,31 | 87,89 | 87,45 | 87,9 | 89,0 |
| 197,5 | 55,64 | 54,69 | 55,11 | 55,1 | 55,6 |
| 247,5 | 34,71 | 34,78 | 34,82 | 34,8 | 34,9 |
| 287,5 | 25,66 | 25,45 | 25,66 | 25,6 | 25,8 |

Tabulka 1: Výsledek kalibrace z 22. 4. 2015, rozsah kalibrace 15-1000 lx



Graf 1: Lineární závislost mezi kalibrováním luxmetru Radiolux 111 (131115-01) a sondou referenčního luxmetru Brüel

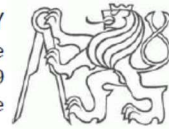
Kalibrační konstanta k dle provedené kalibrace je rovna: $k = 1,008$

$$\text{Brüel} = 1,008 \times \text{Radiolux 111 (131115-01)}$$



ÚSTAV STAVEBNÍCTVA A ARCHITEKTÚRY
Slovenská akadémia vied
Dúbravská cesta 9
845 03 Bratislava 45

FAKULTA ARCHITEKTURY
České vysoké učení technické v Praze
Thákurova 9
166 29 Praha 6 -Dejvice



PROTOKOL O KALIBRACI - Radiolux 111 -02

| | |
|---------------------------|--|
| Předmět testování: | Luxmetr |
| Typ: | Radiolux 111 |
| Výrobní číslo: | NO. 131115-02 |
| Výrobce: | PRC Krochmann |
| Místo kalibrace: | Laboratoř fotometrie Ústav stavebníctva a architektúry Slovenská akadémia vied |
| Datum kalibrace: | 22. 4. 2015 |
| Počet stran: | 2 |

Místo vydání: Bratislava
Datum vydání: 22. 4. 2015

Kalibrovala: Ing. Lenka Prokopová
Zodpovědná osoba: Doc. Ing. Stanislav Darula, CSc

Návaznost:

Luxmetr Radiolux 111 (131115-02) byl kalibrován referenčním luxmetrem Brüel & Kjaer se sondou 1301932.

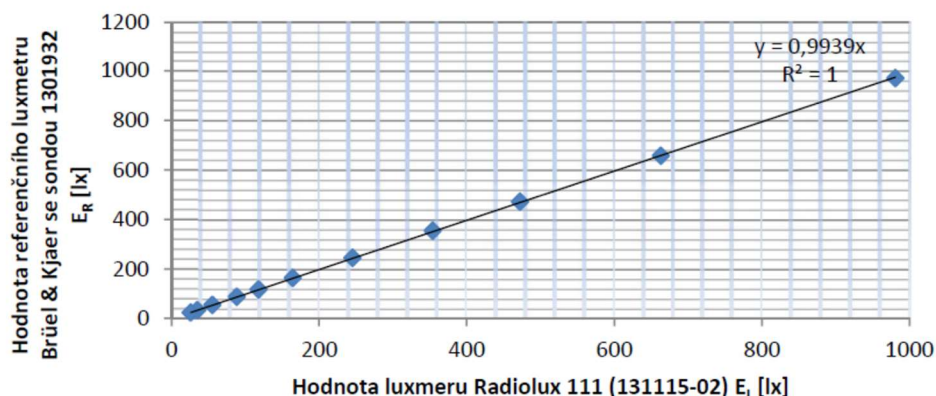
Postup kalibrace:

Luxmetr Radiolux 111 (131115-02) byl kalibrován ve fotometrické laboratoři v Ústavu stavebnictva a architektury Slovenské akademie vied na fotometrické lavici. Kalibrování sondy luxmetru bylo provedeno pro 11 různých vzdáleností od zdroje světla, kterým byla žárovka 200 W napojena na stmívací zařízení se stabilizátorem zn. Samo Automation s nastavenou intenzitou 90 %, veškerá měření byla pro kontrolu provedena třikrát. Výsledky kontrolního měření, včetně uvedených vzdáleností čidla od zdroje světla jsou uvedeny v Tab.1.

Výsledky kalibrace:

| Vzdálenost čidla od zdroje [cm] | Měření | | | Průměr Radiolux 111-02 E _L [lx] | Referenční luxmetr Brüel E _R [lx] |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--|--|
| | 1 [lx] | 2 [lx] | 3 [lx] | | |
| 52,5 | 979,6 | 977,7 | 984,9 | 981 | 972 |
| 62,5 | 668,9 | 661,3 | 659,1 | 663 | 658 |
| 72,5 | 475,4 | 470,0 | 471,2 | 472 | 472 |
| 82,5 | 355,8 | 352,1 | 353,6 | 354 | 355 |
| 97,5 | 246,1 | 244,4 | 245,2 | 245 | 246 |
| 117,5 | 164,4 | 164,5 | 164,0 | 164,3 | 165,1 |
| 137,5 | 117,1 | 117,3 | 118,6 | 117,7 | 117,7 |
| 157,5 | 88,48 | 87,67 | 88,75 | 88,3 | 89,0 |
| 197,5 | 55,18 | 55,02 | 55,53 | 55,2 | 55,6 |
| 247,5 | 34,51 | 34,56 | 35,05 | 34,7 | 34,9 |
| 287,5 | 25,63 | 25,58 | 25,86 | 25,7 | 25,8 |

Tabulka 1: Výsledek kalibrace z 22. 4. 2015, rozsah kalibrace 15-1000 lx



Graf 1: Lineární závislost mezi kalibrovaným luxmetrem Radiolux 111 (131115-02) a sondou referenčního luxmetru Brüel

Kalibrační konstanta k dle provedené kalibrace je rovna: $k = 0,994$

$$\text{Brüel} = 0,994 \times \text{Radiolux 111 (131115-02)}$$

Příloha 3 – Vědecké a odborné publikace

1. NOVOTNÝ, F., L. PROKOPOVÁ a D. BOŠOVÁ. *Aplikace inovativních průsvitných materiálů na konstrukce a jejich vliv na kvalitu vnitřního prostředí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2018. ISBN 978-80-01-06461-0.
2. PROKOPOVÁ, L. a D. BOŠOVÁ. *Stavební fyzika I – Osvětlení, oslunění, akustika budov*. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2017. ISBN 9788001061305.
3. VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. Research of thermal insulation properties of thin-layer insulating material on heat storage tanks. *Vytápění, větrání, instalace*. 2021, **2021**(6), 256-262. ISSN 1210-1389.
4. PROKOPOVÁ, L. a J. MOHELNÍKOVÁ. Evaluation of vegetation shading effect on sunlight exposure of a building. *Journal of Building Engineering*. 2021, ISSN 2352-7102.
5. VRBOVÁ, P. a L. PROKOPOVÁ. The use thin-layer insulation material in technical installations in building reconstructions. In: KOSTELECKÁ, M. a L. PROKOPOVÁ, eds. *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings V. 23rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS 2021*, Prague, 2021-11-11/2021-11-12. Durnten-Zurich: Scientific.net, 2021. s. 125-131. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-2754-8.
6. PROKOPOVÁ, L., M. KOSTELECKÁ a D. BOŠOVÁ. Comparison of confocal microscopy methods for determining the roughness of building materials. In: KOSTELECKÁ, M. a L. PROKOPOVÁ, eds. *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings V. 23rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS 2021*, Prague, 2021-11-11/2021-11-12. Durnten-Zurich: Scientific.net, 2021. s. 35-40. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-2754-8.
7. PROKOPOVÁ, L. a D. BOŠOVÁ. INFLUENCE THE OUTSIDE THERMAL INSULATION FROM GLASS MICRO BUBBLES ON DAYLIGHT. In: *18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018 - Nano, Bio, Green ans Space - Technologies for a Sustainable Future*. 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018, Albena, 2018-06-30/2018-07-09. Sofia: STEF92 Technology Ltd., 2018. s. 605-610. sv. 18. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7408-52-2. DOI 10.5593/sgem2018/6.3/S27.078.
8. PROKOPOVÁ, L. a D. BOŠOVÁ. GLASS MICRO BUBBLES ON POLYCARBONATE SKYLIGHT. In: *Proceedings of the 22nd International Conference Light 2017*. Light 2017, Podbánské, 2017-11-08/2017-11-10. Slovenská svetelnotechnická spoločnosť, 2017. s. 188-193. ISBN 978-80-972865-0-7.

9. SCHULZOVÁ, K., L. PROKOPOVÁ a D. BOŠOVÁ. EXPERIMENTAL SIMULATION OF DAYLIGHT FACTOR AND ITS PERCEPTION BY ARCHITECTS. In: *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019*. Albena, 2019-06-30/2019-07-06. Sofia: STEF92 Technology Ltd., 2019. s. 449-455. sv. 19. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7408-89-8. DOI 10.5593/sgem2019/6.2/S27.057.
10. PROKOPOVÁ, L., M. KOSTELECKÁ a D. BOŠOVÁ. Monitoring of the degradation processes of the textile fibers. In: KOSTELECKÁ, M. a L. PROKOPOVÁ, eds. *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings V*. 23rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS 2021, Prague, 2021-11-11/2021-11-12. Durnten-Zurich: Scientific.net, 2021. s. 47-52. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-2754-8.
11. NOVOTNÝ, F., L. PROKOPOVÁ a D. BOŠOVÁ. Glass micro-bubbles as additional thermal insulation/shielding for translucent and non-transparent materials. In: KOSTELECKÁ, M., ed. *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings*. 19th International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Buildings, Praha, Česká republika, 2017-11-23/2017-11-24. Zurich: Trans Tech Publications, 2018. s. 140-146. Key Engineering Materials. sv. Vol.776. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-1361-9. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.776.140.
12. PROKOPOVÁ, L., D. BOŠOVÁ a F. NOVOTNÝ. Glass micro bubbles like thermal insulation having influence on daylight in interior. In: *17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017*. Albena, 2017-06-27/2017-07-06. Sofia: STEF92 Technology Ltd., 2017. s. 615-620. Nano, Bio, Green and Space - Technologies for a Sustainable Future, Issue 62. sv. 17. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7408-13-3. DOI 10.5593/sgem2017/62/S27.078.
13. NOVOTNÝ, F., L. PROKOPOVÁ a D. BOŠOVÁ. Innovative coating materials for glass structures. *IJMMM - International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*. 2018, 6(3), 195-198. ISSN 1793-8198. DOI 10.18178/ijmmm.2018.6.3.375.
14. PROKOPOVÁ, L., F. NOVOTNÝ a D. BOŠOVÁ. The outside thermal insulation from glass micro bubbles with influence on Daylight Factor. In: *3rd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference Proceeding*. 3rd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, Miri, 2017-12-06/2017-12-08. Johor Darul Takzim: Universiti Teknologi Malaysia, 2017.

Příloha 4 – Vybrané příklady vědeckých a odborných publikací

Key Engineering Materials
ISSN: 1662-9795, Vol. 776, pp 140-146
doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.776.140
© 2018 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland

Submitted: 2017-12-15
Revised: 2018-05-04
Accepted: 2018-05-09
Online: 2018-08-23

Glass Micro-Bubbles as Additional Thermal Insulation/Shielding for Translucent and Non-Transparent Materials

František Novotný^{1,a}, Lenka Prokopová^{1,b}, Daniela Bošová^{1,c}

¹Czech Technical University, Institute of Building Technologies II, Thákurova 9, 160 00 Prague, Czech Republic

^anovotfr2@fa.cvut.cz, ^blenka.prokopova@fa.cvut.cz, ^cdaniela.bosova@fa.cvut.cz

Keywords: Hollow glass microspheres, Glass micro-bubbles, daylight, thermal insulation, thermal shield, indoor environmental quality, reflexive coating

Abstract: Our research is based on innovative use of the hollow glass micro-spherical material "Glass micro-bubbles" 3MTM. We apply this material as a thin-layer additional thermal coating onto polycarbonate and steel matrices. 3 identical cargo container units with polycarbonate roof skylight are used for the research:

A - without application, B - with the inner application of Glass micro-bubble coating and C - with outside application of Glass micro-bubble coating.

Measured parameters are: translucence of daylight through the layer of micro-glass bubbles through the skylight, the indoor temperature and humidity and the surface temperature of the outer and inner shell.

Introduction

A. Material

Glass Bubbles are currently used in a wide range of industrial sectors, solving design challenges and reach new levels of performance and productivity.

Glass bubbles are high-strength, low-density hollow glass microspheres made from soda-lime-borosilicate glass. They are nonporous, chemically stable and provide water and oil resistance. Glass bubbles are used in a variety of lightweight, high-build elastomeric coatings, anti-condensation coatings. Glass bubbles allow high filler loading at lower viscosities reduce shrinkage and offer solar reflective properties for paints and specialty coatings.

Glass Bubbles provide a high performance, cost-effective alternative to conventional fillers in a variety of paints and specialty coatings. These hollow glass microspheres are used as density-reducing additives, helping lower formulation weight and viscosity, adding a variety of functional benefits ranging from scratch resistance to solar reflectivity and thin-coating thermal isolation. [2]

B. Thesis

The monitored objects - containers A, B and C with different application of the coating are expected to have different thermal properties, at the same time we are interested in the changes of the daylight transmittance through the polycarbonate skylight with the applied layer.

Each unit represents the sample with a different application of the functional thermal coating. Container B is prepared by spraying the layer from the inside and a generally smoother thermal-technical (slower increase and a slower drop off in the indoor ambient temperature, behaviour is expected). [2,3,4,5] Container C is modified by spraying the layer from the outside and we expect a overall reduction of heat gains from the exterior.

In the meantime, we expect the loss of the daylight factor in the containers B and C, where the skylight is covered with the layer of glass microspheres. The daylight is measured recursively in the exterior and in container A, B, and C

The behaviour of the functional coating is considered linear within the monitored thermal range, i.e. from -20° C to +50° C

For this phase of the research plan, a measuring area was set up, serving the purpose of the data acquisition from the measurements. The base is located in Nová Ves, near Mělník, CZ. It is on AZ

Tech, Ltd. premises, a participant in this research project, that assists as a technical consultant, know-how provider, and material assurance provider.

C. Measuring base and subjects

The measuring base consist of three same container units located in a row, spaced about 20 m apart, as to minimize their thermo-technical interference. Containers are located and are faced towards the same cardinal points without being shaded by surrounding buildings. The cargo containers are made of galvanized trapezoidal sheet, dimension ca 6m / 2,2m / 2,6m (l / w / h), with an internal volume of about 34 m³. The containers are equipped with doors on the shorter wall and a luminaire/skylight window made of cellular polycarbonate in dimensions about 6m / 0,77 m located in the axis of the roof shell. Therefore, it was possible to measure translucence of daylight through the layer of Glass Micro Bubbles.

D. Parameters

The monitored parameters/quantities are; translucence of daylight through the skylight, indoor temperature and humidity - ambient, surface temperature of the shell inside and outside the container and external parameters - air temperature, air flow, solar radiation and total solar radiation over the monitored time interval.

When installing container units and at a period of monthly intervals, the sky light component was measured outside and in each of the containers, and a 360° reference capture was taken for measuring purposes. [7].

Current Research

For this measurement season, running from March 2017 until the end of 2017, container C is introduced. Data on daylight, ambient, and container thermal behaviour A, B and C are collected and compared with the data from the meteorological station in the district. They will be evaluated and processed into comparative graphs showing the different thermal behaviour of units A, B, and C.

Within the current research, a set of 3 containers is set up in the measuring area. On containers A, B, and C - with a different application of the functional layer - the coating layer is expected to cause different thermal-technical behaviour of the containers and drop of daylight factor inside. [4,5]

Research Question

A. Main Research question

Is it possible to use the 3M™ “Glass Bubbles” material to improve the thermal and optical parameters of building structures and to verify this improvement empirically? [1]

B. Research question for the 3rd research phase

Is the contribution of the glass micro-bubbles layer viable in comparison with the drop of daylight factor in the interior?

Problem

Each unit represents the examined sample with a different application of the functional thermal reflecting layer. Container unit A is left without modifications, without the coating layer, and is used as a reference unit of thermal-technical and translucency parameters of the container. Container B is modified by spraying the coating from the inside and we expect a generally smoother thermal-technical behaviour resulting in a slower increase and a slower drop of the ambient temperature (the changes in daylight transmission is not measured). Container C is altered by spraying the coating from the outside, in this case, an overall reduction of heat gains from the exterior and a decreased daylight factor is to be expected.

Methodic of the Research

A. Thermal data acquisition

Each container unit is equipped with an identical independent measuring system that collects ambient temperature and humidity data at a 10-minute interval. This unit is set up in the geometric centre of the container. Another unit collects the surface temperature data of each container sheet on both the inner and outer side. The measuring probes are located on the southern façade of the container. Data are recorded at 10-minute intervals. For outer environmental data collection, such as air temperature, wind strength and its velocity, solar radiation intensity and time course, a meteorological station is set up approximately 20 m from the containers.

The data collected from independent devices are progressively evaluated in a four-step sequence, where filtering by relevance, sorting per circumstances, and data comparison is gradually performed.

The expected outcome of the second phase of the research is a dataset containing the values measured during the relevant measurement days and suitable for the following statistical processing.

B. Optical data acquisition

Glass Bubbles were completely applied to the whole internal or external surface of one of the containers - including a roof skylight. Therefore, it was possible to measure translucence of daylight through the 2 mm layer of Glass Micro Bubbles on these three samples (containers).

Lux meter: two autonomous calibrated lux meters are used for the measurement of inside and outside illumination since as it is important to measure the inside and outside illumination at the same moment for the reason of the changeability of exterior light conditions.

Luminance meter: Uniformly overcast sky is controlled by the brightness measurement using a luminance meter.

Measuring of daylight translucence was conducted under the uniformly overcast sky on August 16, 2016, and on May 16, 2017. The uniformly overcast sky provided only the diffusion component of daylight, which was required for measuring.

Using two lux meters, the illumination was measured both in exterior and interior of each of the containers. In each of the containers, the illumination was measured in 5 points and compared with the corresponding external illumination. Measuring points were allocated in the centre of the container at a height of 850 mm above the floor.

C. Thermal data evaluation

Data collected from independent devices are thereupon progressively evaluated in a multi-step sequence. The first step is to identify windy days where measured parameters are potentially affected. Such data are unsuitable for further processing because of the air infiltration into the container's interior environment.

Fig. 1. The second step is the processing of sorted data into comparative graphs, which show the differences between individual containers, i.e. A, B and C - with a different application of the functional thermal reflecting layer. These charts are divided into measuring sequences from 00:00 to 23:50 hours, which we consider to be the reference day.

Fig. 1. The third step is to compare such comparison graph from the reference day with the solar radiation data and the duration of sunshine. Charts of comparatively sunny days are categorized into several groups.

Fig 2. The fourth step is the comparison of comparative graphs in groups per sunny days. We focus on two groups of sunny days - more or less full sun days when we want to read the temperature differences between individual containers and alternating cloudy days where we want to read from the comparison charts the delays between the temperatures of the individual containers

| Date | Time | Meters | | | | Ext temp ET °C | Measuring | | | Container A (CA), native | | | | Container B (CB), inner shield | | | | Container C (CC), outer shield | | | |
|------------|-------|----------------|------------------|--------------------|-----------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|--|--|
| | | Wind | | Solar rad Lux | Solar rad Lux | | Sunny day yes/no | Ext temp °C | Int temp °C | ET - CAIT | Int temp °C | ET - CBIT | CBIT - CAIT | Int temp °C | ET - CCIT | CCIT - CAIT | Int temp °C | ET - CCIT | CCIT - CAIT | | |
| | | min 0 max 5 | min 0 max 900 | min 0 max 10000 | more than 530 W/m2 | | min 0 max 50 | min 0 max 60 | min 0 max 60 | min -20 max +20 | min 0 max 60 | min -20 max +20 | min -20 max +20 | min 0 max 60 | min -20 max +20 | min -20 max +20 | min 0 max 60 | min -20 max +20 | min -20 max +20 | | |
| 23.08.2017 | 7:00 | 0,00 | 36 | 4557 | ND | 6,80 | 13,90 | 4,70 | -2,10 | 5,90 | -1,20 | 1,10 | -1,70 | -2,10 | 0,00 | -1,70 | -2,10 | 0,00 | | | |
| 23.08.2017 | 23:00 | 0,00 | 0 | 0 | ND | 14,30 | 9,80 | 17,20 | 2,70 | 14,30 | 3,60 | 12,20 | 1,90 | 12,20 | 1,10 | -2,10 | -2,10 | 0,00 | | | |

Figure 1. Reference day August 23rd 2017, Almost sunny day, columns from the left: Date and Time index, Wind speed [m/s], Solar radiation [Lux], Condition of sunny day[yes/no], Exterior temperature (ET) [°C], Container A interior temperature (CAIT) [°C], Comparison with ET [°C]; Container B interior temperature (CBIT) [°C], Comparison with ET [°C], Comparison with CAIT [°C], Container C Interior temperature (CCIT) [°C], Comparison with ET [°C], Comparison with CAIT [°C]

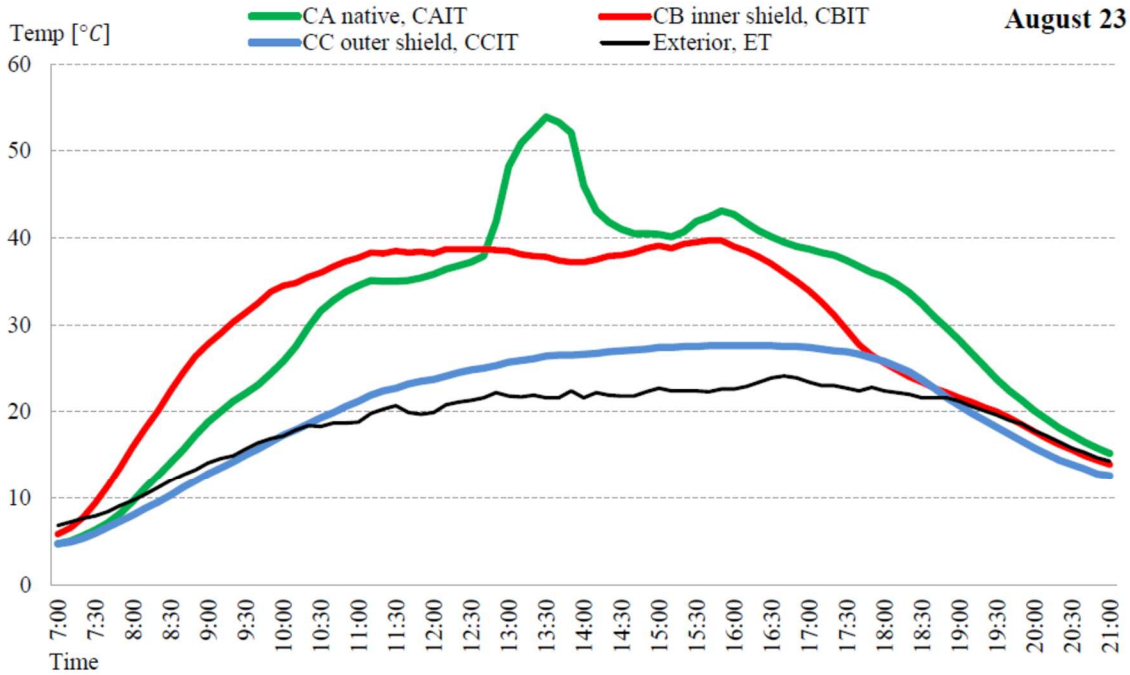


Figure 2. Comparative graph of Reference day August 23rd 2017, Almost sunny day, Green – CA native unit interior temperature [°C], Red – CB interior shield unit interior temperature [°C], Blue – CC exterior shield unit interior temperature, Black – exterior temperature

D. Optical data evaluation

Daylight factor D is the ratio of the light level inside a structure to the light level outside the structure. It is defined as:

$$D = \frac{E_i}{E_e} 100[\%] \tag{1}$$

where,

E_i is luminance due to daylight at a point on the indoors working plane,

E_e is simultaneous outdoor luminance on a horizontal plane from an unobstructed hemisphere of the overcast sky.

These ratios of internal and external illumination = Daylight Factor D:

- in the "A" container without the layer of Glass Bubbles (Tab. 1),
- in the "B" container with the internal layer of Glass Bubbles (Tab. 2)
- in the "C" container with the external layer of Glass Bubbles (Tab. 3)

were compared to each other to find out the deterioration of daylight through the 2 mm external layer of Glass Micro Bubbles.

Table 1. Daylight Factor in the "A" container without a layer of Glass Bubbles

| Checkpoint | Measuring 1 | Measuring 2 | Measuring 3 | Measuring 4 | Average |
|------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| | Daylight Factor D | | | | |
| 1 | 21% | 21% | 22% | 22% | 22% |
| 2 | 25% | 25% | 25% | 25% | 25% |
| 3 | 24% | 24% | 24% | 23% | 24% |
| 4 | 23% | 22% | 22% | 22% | 22% |
| 5 | 19% | 18% | 18% | 18% | 18% |

Table 2. Daylight Factor in the "B" container with an internal layer of Glass Bubbles

| Checkpoint | Measuring 1 | Measuring 2 | Measuring 3 | Measuring 4 | Average |
|------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| | Daylight Factor D | | | | |
| 1 | 10% | 8% | 9% | 8% | 9% |
| 2 | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% |
| 3 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% |
| 4 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% |
| 5 | 7% | 7% | 7% | 7% | 7% |

Table 3. Daylight Factor in the "C" container with an external layer of Glass Bubbles

| Checkpoint | Measuring 1 | Measuring 2 | Measuring 3 | Measuring 4 | Average |
|------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| | Daylight Factor D | | | | |
| 1 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% |
| 2 | 8% | 9% | 7% | 8% | 8% |
| 3 | 8% | 7% | 8% | 8% | 8% |
| 4 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% |
| 5 | 7% | 7% | 7% | 7% | 7% |

Conclusion

Evaluation of the ongoing phase of research

As the previous research proved our hypothesis with the expected results, the research continues in profoundly improved conditions, with correct datasets provided by all 3 containers and a recently introduced meteorological setup. After the evaluation of this data, according to the methodology mentioned above, the material properties can be certainly declared. Including the stability of the coating layer that is exposed to elements, on the matrix within a longer time period. On this basis, the differences in ambient temperatures of the environment that is contained within the structure of the alternated matrix can be acknowledged.

For the first time in our research, we are comparing the thermal technical benefits and the optical properties of the coating layer.

The main goal of our research is to determine if the widely beneficial thermal technical improvement is viable in comparison to the daylight factor loss as the negative outcome of the used coating.

We applied the Glass Bubbles to the external surface of one of the cargo containers and to the internal surface of the cargo containers to investigate the worsening of daylight translucence. In conclusion, it can be said that an external 2 mm layer Glass Bubbles has worsened daylight translucence by about 14 % - both the inside application and the outside application.

We can now discuss whether this deterioration is acceptable for certain interiors and will not lower the quality of the indoor environment. It would be appropriate for a particular application to compare the requirements for the amount of daylight in the interior and the thermal insulation of the glass structure. The following results are then to be published.

Acknowledgment

This work was supported by the Czech Technical University in Prague – Student Grant Competition under Grant SGS15/222/OHK1/3T/15.

The authors wish to thank Czech Technical University in Prague for technical support and cooperation, especially to Z. Vyoralová; to AZ-TECH Ltd. for consultancy, co-working and especially for the material support provided.

Copyright: Czech Technical University in Prague, Faculty of Architecture, Institute of Civil Engineering II

References

- [1] F. Novotný, L. Prokopová and D. Bošová, “Innovative coating materials for glass structures” published Proc. ICBMC Hanoi conference, Hanoi, VN, February 25-27, 2017.
- [2] Glass Bubbles - 3M (tm) glass microspheres, Prague, 2003
- [3] J. Zajíc, G. Kuncová, M. Bittner, T. Branyik, A. Solovyev, S. Šabata, M. Pospíšilová, “Repetitive inductions of bioluminescence of *Pseudomonas putida* TVA8 immobilised by adsorption on optical fibre”, *Chemical Papers*. vol. 70(7), pp 877-887, 2016, ISSN 0366-6352
- [4] S. N. Patankar, Y. A. Kranov, “Hollow glass microsphere HDPE composites for low energy sustainability,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, pp. 1361-1366, 2010.
- [5] A.S. Geleila, M. M. Hallb, J. E. Shelbyc, “Hollow glass microspheres for use in radiation shielding”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, New Functionality of Glasses — Proceedings of the 17th University Conference on Glass Science, vol. 352, Issues 6–7, pp. 620–625, 2006
- [6] L. Prokopová, D. Bošová, “Architectural models for measurement of Daylight Factor,” *Energy Saving and Environmentally Friendly Technologies - Concepts of Sustainable Building*, vol. 824, 2016.
- [7] L. Prokopová, D. Bošová, F. Novotný, “The Outside Thermal Insulation from Glass Micro Bubbles with Influence on Daylight Factor”, published in Proc. 3rd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC 2017

Comparison of Two Coating Material Reflections of Hollow Light Guide Tube

JANECKOVA Lenka^{1, a *}, DARULA Stanislav^{2, b} and BOSOVA Daniela^{1, c}

¹Faculty of architecture, CTU in Prague, Czech Republic

²Institute of Construction and Architecture Slovak Academy of Sciences, Slovakia

^alenka.janeckova@fa.cvut.cz, ^bstanislav.darula@savba.sk, ^cdaniela.bosova@fa.cvut.cz

Keywords: hollow light guides, light transmission, luminous fluxes, laboratory measurements

Abstract. This paper discusses tube transmission efficiency of two straight hollow light guides. Two samples with diameter of 530 mm and length 1170 mm were investigated under the artificial sky in the laboratory at ICA SAS in Bratislava. The entering luminous flux was calculated from measured illuminance in the point located on the top of light guide. Below the bottom of the light guide was located a set of measuring points on the special construction in the shape of a cross. In these points, one by one, the elementary illuminances were measured and the luminous fluxes leaving the light guide were calculated. Paper presents methodology for laboratory light transmission measurements and discusses effects of two various coating materials on light transmission efficiency of hollow light guides.

Introduction

Tubular light guides are used for transport of daylight from exterior to interiors, where is not possible to get daylight through windows. Tubular light guides can be usually used in underground rooms, in rooms in the core of buildings or in deep room parts. The entrance component comprises a cupola, which is collecting and reflecting daylight (skylight/sunlight) into the tube. The tubes are made from highly reflective material, which is able to transmit light rays. The end part of the tube is covered by diffuser with function to spreads light into the room, [1] and [2].

Description of the Samples

For testing of light efficiency of two sample of tubular light guides assembled from aluminium foil – two pieces of 600 mm with a diameter of 530 mm and total length 1170 mm were used. The aspect ratio $L/D = 1.95$ of the set up characterizes geometrical properties of guide tubes. Length of the guide was limited by the dimensions of the testing table and artificial sky. Each of samples was coated inside by different materials. Special polymer coating on the aluminium surface was applied in the first sample and the second had metal plated aluminium surface.

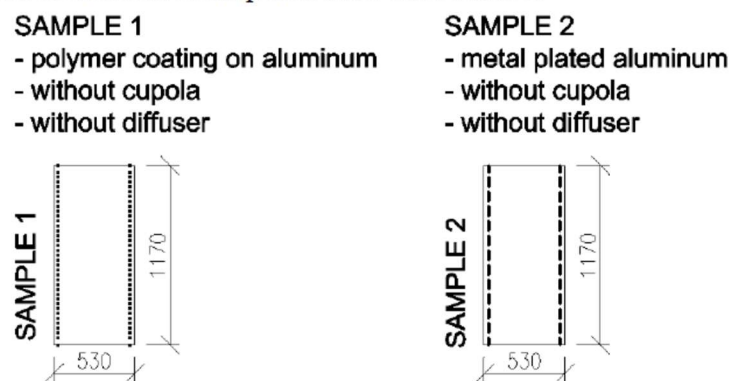


Fig. 1 – Schemes of tested samples of tubular light guides

The tubes were not assembled precisely into a circular cross-section due to lower stiffness materials, therefore the circular shape of the tubes was stabilized by plastic hoops, Fig. 2.



Fig. 2 – View on the sample of the light guide

Methodology of Measurement

Using illuminance meters were calibrated on the photometric desk in the illuminating engineering laboratory at the Institute of Construction and Architecture of Slovak Academy of Science (ICA SAS), Fig. 3.

The sky distribution according to the standard CIE overcast sky model for dark terrain was adjusted in the artificial sky at the ICA SAS.

The sky luminance distribution on the four orthogonal meridians at the elevations 0° , 4° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° and 90° was tested by the luminance meter Minolta Luminance Meter 1° to determine of exterior conditions, Fig. 4. The difference between CIE overcast model and sky simulator less than 4% was found, Fig. 5.



Fig. 3 – Sensor of illuminance meter Precision Photometer Bruel-Kjaer 1105 on photometric desk



Fig. 4 – Checking of luminance of artificial sky using Minolta luminance meter

Diffuse light incident into the external hole of the tube was measured simultaneously with the exiting light very close the tube end on the horizontal plane. As a source of diffuse light was used artificial sky of the hemispherical shape calibrated against the standard CIE overcast sky model with luminance gradation 1:3, the symmetry of sky luminance distribution to the zenith was assumed. The artificial sky cupola with a diameter of 8 m is located on ICA SAS in Bratislava. Perfect diffuse light under the cupola is created by the system of luminaries that illuminate its special light diffusing surface. The light guide was placed on the measuring table through the collar in the vertical position in the middle of the artificial sky.

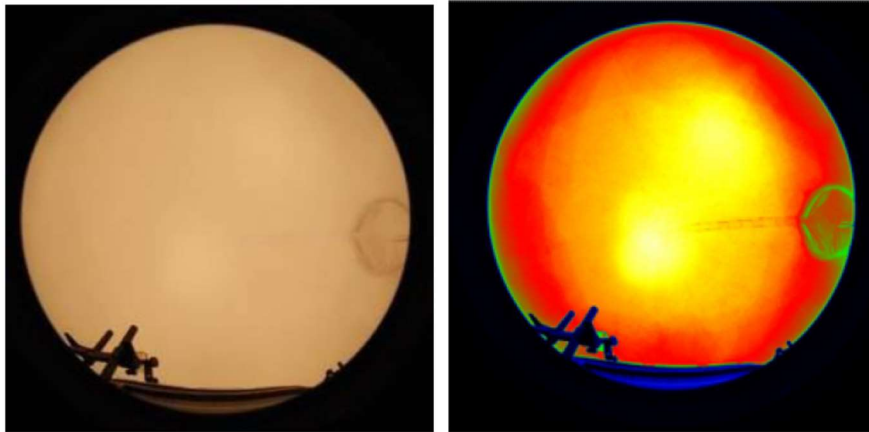


Fig. 5 – View from the light guide to the artificial sky (left); the luminance map of the sky pattern (right)

The entering and exiting light was measured by illuminance meters with the corrected spectral and directional heads. Sensor of the illuminance meter measuring the entering was in fixed position, Fig. 6. The sensor measuring exiting light was moved with constant step of 20 mm below bottom edge of the guide tube. Illuminance was measured from the axis of the light guide to a distance of 0.64 meters in four orthogonal directions according to the methodology [3]. Each test sample was measured three times, and each set of measurements was calculated as the average value of the luminous fluxes entering the light guide Φ_e and exiting from the light guide Φ_i . Thereafter, the value of the luminous efficacy of the light was determined by the equation:

$$E_{ff} = \frac{\phi_i}{\phi_e} \quad (1)$$

Values of the tube light transmission efficiency were determined for standardised daylighting D65. Because ICA SAS artificial sky is illuminated by the incandescent lighting system the correction factor k for daylighting was calculated as follows:

$$k = 1 + (1 - 0,97) = 1,03 \quad (2)$$

In terms of the evaluation of the light transfer backward luminous flux was also measured. At the same time the value of incident illuminance and illuminance of the backward reflected light was also measured, Fig. 6.



Fig. 6 - Measuring of the backward propagated light

Summary

Diffuse light transmission efficiency of light guide tubes (with 530 mm diameter and 1170 mm length) for two different materials, was determined by the measurements in the laboratory under the artificial sky. The achieved results are summarized in Table 1.

Table 1. Light transmission efficiency of the measured tube samples without cupola and without diffuser

| Parameter | Unit | SAMPLE 1* | SAMPLE 2** |
|---|------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Luminous flux entering into the light guide, Φ_e | [lm] | 114,662 | 111,574 |
| Luminous flux exiting from the light guide, Φ_i | [lm] | 103,011 | 96,195 |
| The measured transfer efficiency diffuse light, E_{ffv} | [-] | 0,8984 | 0,8622 |
| Diffuse light transmission factor, $E_{ffdif} \pm u$ | [-] | 0,8856 \pm 0,0557 | 0,8483 \pm 0,0557 |
| Measurement of backward light | | | |
| Incident luminous flux on the light guide, Φ_{e-ZO} | [lm] | 117,925 | 111,619 |
| Backward luminous flux exiting up from the light guide Φ_{ei-ZO} | [lm] | 0,883 | 1,207 |
| Backward light transmission factor E_{ffv-ZO} | [-] | 0,0075 | 0,0108 |
| Note: * polymer coating of aluminium, ** metal plated aluminium | | | |

As it is apparent, the diffuse light transmission efficiency of the light guide tube depends on the optical properties of the coating material of the inner tube surface. Measurements show that applying the polymer coating can achieve up to 4% higher diffuse light transmission efficiency than for metal plated aluminium solution. The higher backward luminous flux was measured in sample with the metal plated aluminium. Reason of this results can be scattering transmitted to all directions.

This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS13/105/OHK1/2T/11, as well as APVV-0118-12 and EU program LLP - Erasmus 2012-2013.

This research was carried out thanks help and support by company Solatube that lent us samples of tubular light guides.

References

- [1] Bracale G., Mingozzo A., Bottiglioni S.: The tubular skylight. Proc. Conf. LuxEuropa 2001, Reykjavik, p. 360-384.
- [2] CIE 173:2006 Tubular daylight guidance systems, Technical report, ISBN 978 3 901906 49 7
- [3] Darula S., Rybár P., Mohelníková J., Popeliš M.: Measurement of tubular light guide efficiency under the artificial sky. Electrical Review, 2010, vol. 86, no. 10, p. 177-180.

Influence of instantaneous measured data on evaluation interval of daylighting

Janeckova Lenka^{1, a}, Darula Stanislav^{2, b}, Bosova Daniela^{1, c}

¹Faculty of architecture, CTU in Prague, Czech Republic

²Institute of Construction and Architecture Slovak Academy of Sciences, Slovakia

^alenka.janeckova@fa.cvut.cz, ^b Stanislav.Darula@savba.sk, ^c daniela.bosova@fa.cvut.cz

Keywords: Daylighting, Daylighting measurement intervals, sunlight in interior

Abstract. Daylight varies during daytime and it is an important health aspect of indoor visual environmental quality. Measurements of daylighting are very complicated in natural conditions, therefore processing and evaluation of measured data requires special care. The instantaneous illuminances in one room and outside in Bratislava with 5 - second time step were measured by two illuminance meters with data loggers. The first illuminance meter registered indoor illuminance and was placed on the level of the working plane inside the room in its centre. The second illuminance meter with an unscreened sensor was placed on the roof and measured exterior global horizontal illuminance. Daily illuminance courses derived from 5 sec instantaneous data and 1 min and 1 hour averages were inspected and evaluated. This paper presents results of evaluations of real measurements and the discussion focus on the influence of evaluation interval on the accuracy of daily illuminance courses.

Introduction

Daylight changes are usually perceptible in every moment during a day, therefore daylight measurements of instantaneous illuminances and their evaluations are very realistic and important for indoor climate simulations. Data describing daylight climate are measured and recorded in CIE IDMP - stations. Within this program at 48 stations world-wide regular and high quality daylight and solar radiation measurements are performed. At stations can have operate measuring instruments using various sampling and recording intervals. The sampling interval indicates how often is scanned the signal and outputs from sensors. The recording interval indicates how often are written the output data on the disk. [1] Therefore either instantaneous measured data or average data for a defined interval can be collected and reported at the stations. In this paper the measured instantaneous data are compared with 1min and 1 hour averages. Presented study describes influences of sampling interval on the quality of evaluated data and shows more real daylighting daily changes demonstrated in the shorter 5 sec sampling interval.

Methodology

Illuminance was measured in situ using two illuminance meters Extech HD 450 equipped by data loggers. The first illuminance meter was placed in the room of Academy hostel in Bratislava. The room is located on the 5th floor, it has a L shape in plan, one window and a door to loggia with a south-west orientation. The sensor of this illuminance meter was situated in the centre of the room – see Fig. 1. The second illuminance meter was placed on the roof of the Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences (ICA SAS), where the CIE IDMP (International Daylight Measurement Programme) station is situated. During measurements on 17th July 2013 morning was a clear summer day and during cloudy afternoon several moving clouds randomly shaded sun disk. The 5 sec sampling interval was adjusted in both illuminance meters. From obtained data were calculated 1 min and 1 hour averages and found maxima which were compared with 5 sec data and evaluated differences between maximum values.

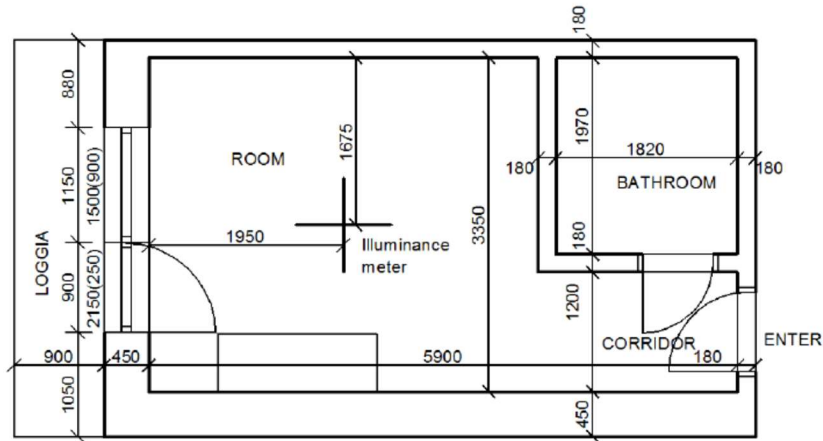


Figure 1 – Plan of the room with position of illuminance meter sensor

Results

Results of this study represents influence of evaluation data interval on the fluency and illuminance levels in daily courses, Fig. 2 and Fig. 3. The interior illuminances measured in the test room are documented in Fig. 2A while exterior illuminances are plotted in Fig. 3A. Values of interior illuminance is continually rising from morning up to 3:00 p.m. and then up to 6:00 p. m. it is influenced by clouds. Windows in tested room are North-West orientated, moreover they are shaded by 0.9 m deep loggia. Therefore lower indoor illuminances resulting from skylight are registered during revailing day time, as is shown in Fig. 2B and Fig. 2C. After 6:00 p.m. indoor illuminance is rapidly rising because direct sun rays strike the sensor of illuminance meter.

Maximum values of interior illuminance E_i and exterior illuminance E_e during this summer clear day for sampling intervals of 5 sec (taken as instantaneous data), 1min average data and 1 hour average data are documented in Table 1. The ratio of coincidence between maximal value of illuminance $\max E_i - 5 \text{ sec}$ and 1 min and 1 hour can be described by coefficient k in % and calculated after equation:

$$k = \frac{\max E_i}{\max E_{i,5\text{sec}}} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

where $\max E_i$ – maximum found out indoor illuminance in lx.

The ratio of coincidence $k = 98,6\%$ between maximal value of 5 sec sampling data and 1 min data was found. If 1 hour average data were compared with 5 sec instantaneous data this ratio is dropping to 68,5%, which indicates very different shape of daily illuminance course. Reason for changes of k – ration can be found in averaging data processing. There is opposite dependence between length of evaluation interval and sampling interval. If sampling interval is short and evaluation data interval is short, the k – ratio is high. If sampling interval is short and evaluation data interval is long, the k – ratio is lower due to smoothing of extremes in database.

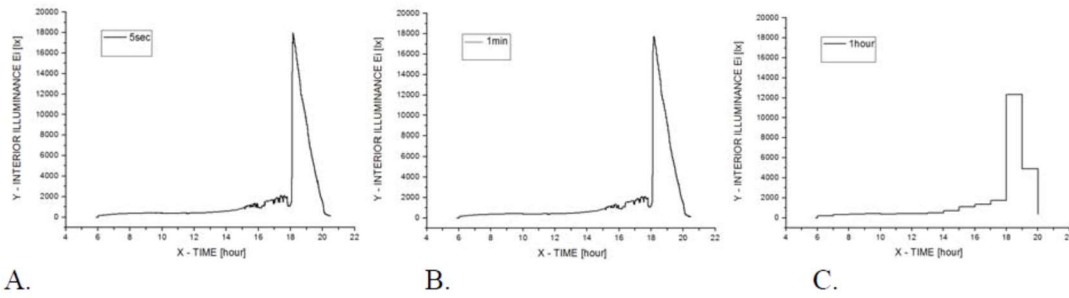


Figure 2. Daily interior illuminance courses.

A. Instantaneous 5 sec data, B. 1 min averages, C. 1 hour averages.

The measured exterior illuminances during this July day are documented in Fig. 3 in the same structure as in Fig. 2. Data from morning time are continually changing typical for a clear day, around noon are influenced by veiling clouds and in the afternoon by cumulus clouds. Differences between 5 sec sampling data and 1 min averages data are minimal, but using 1 hour average data it can be introduced substantial errors and results can not correspond to real illuminance conditions.

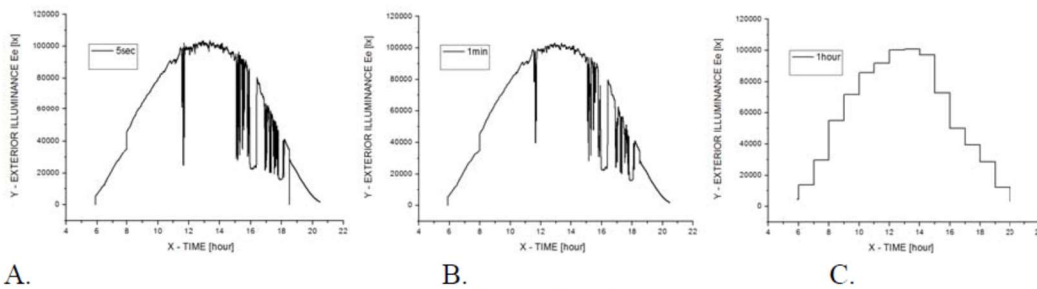


Figure 3. Daily exterior illuminance courses.

A. Instantaneous 5 sec data, B. 1 min averages, C. 1 hour averages

Table 1. Maximum values of interior and exterior illuminance

| Illuminance | Max. 5 sec | | Max. 1 min | | | Max. 1 hour | | |
|-------------|------------|-------------|------------|-------------|---------|-------------|-------------|---------|
| | Value [lx] | Time [hour] | Value [lx] | Time [hour] | k [%] | Value [lx] | Time [hour] | k [%] |
| Interior | 18012 | 18:09:31 | 17755 | 18:09:30 | 98,6 | 12344 | 18:30:00 | 68,5 |
| Exterior | 103574 | 12:56:18 | 103070 | 12:55:30 | 99,5 | 100741 | 13:30:00 | 97,3 |

Summary

This study focuses on discussion about influence of different evaluation data interval on the shape of daily illuminance courses. If instantaneous data recorded in 5 sec interval are used, the daily courses are fluent with original and real measured values. If these data are averaged in 1 min and 1 hour intervals, extremes are smooth, Daily illuminance courses plotted from such data are discrete for short evaluation interval (1 min) and stepped for longer interval (1 hour). Results show, that differences between 5 sec and 1 min data are minimal and therefore recordings of 1 min data are quite representative. For this reason instantaneous or averaged 1 min illuminance data could be used in simulations of dynamic daylighting. Moreover, these 1 min data can describe illuminance courses and changes in any sequence time and for quantifying visual requirements the 1 min database seems

to be optimal. As is documented above, the sequences derived from average 1 hour data can result substantial errors due to relevant differences between real and calculated maximal values and data smoothing and do not satisfactory characterize fluent changes of natural daylight illuminance.

Acknowledgement.

This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS13/105/OHK1/2T/11, as well as VEGA 2/0029/11 and EU programme LLP - Erasmus 2012-2013

References

- [1] Information on <http://idmp.entpe.fr/>
- [2] O. Walkenhorst, J. Luther, C. Reinhart, J. Timmer, Dynamic annual daylight simulations based on one-hour and one-minute means of irradiance data, *Solar Energy*, 72 (5), 2002, pp.385-395.
- [3] R. Perez, P. Ineichein, R. Seals, J. Michalsky, R. Stewart, Modelling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance, *Solar Energy*, 55 (5), 1990, pp.271-280
- [4] J. Mardaljevic, Simulation of annual daylight profiles for internal illuminances, *Light. Res. Technol.*, 32(3), 2000, pp.111-118
- [5] Kittler, R. - Kocifaj, M. - Darula, S.: *Daylight Science and Daylighting Technology*. Springer, N.Y., 2012, obr. 3.3, s. 56.

The use thin-layer insulation material in technical installations in building reconstructions

Pavla Vrbová^{1, a}, Lenka Prokopová^{2, b}

¹CTU in Prague, Faculty of Architecture, Thákurova 9, 166 34 Prague 6

²CTU in Prague, Faculty of Architecture, Thákurova 9, 166 34 Prague 6

^apavla.vrbova@fa.cvut.cz, ^blenka.prokopova@fa.cvut.cz

Keywords: building reconstruction, reconstruction of distribution systems, thin-layer thermal insulation material, hollow glass-ceramic microspheres

Abstract. This article is a part of a scientific work dealing with the research of thermal insulation properties of thin-layer insulation material made of hollow glass-ceramic microspheres in relation to technical equipment of buildings. Until now, there has been a lack of scientific studies describing the effectiveness of thermal insulation properties of thin-layer insulation materials on distribution systems or technical equipment. Thin-layer thermal insulation materials may have a great potential for use in building reconstructions and associated reconstruction of distribution systems, where there is often insufficient space for additional conventional thermal insulation and where energy savings of the whole system need to be addressed. For this reason, a series of laboratory measurements were made and in this particular case, the insulation material was applied in a 2 mm layer to the heat storage tank and the heat losses of two models of the heat storage tank (without insulation and with thin-layer insulation coating) were compared. In addition, for a more comprehensive view of the issue, the two models were compared in two situations that may occur in practice, which are the cases of free and forced convection.

Introduction

In the context of thermal insulation coatings, it was rather the ability to reflect thermal radiation leading to a reduction in surface temperatures of building envelopes that was investigated, which can be used, especially in warmer climates, to reduce energy consumption for the cooling of buildings [1,2,3]. In mid-climate conditions, this topic was addressed in a comparative study within the Czech-Slovak cooperation [4], which presented an assessment of the optical and thermodynamic properties of reflective coatings applied to vertical and opaque exterior building surfaces. The Faculty of Architecture of the Czech Technical University conducted research on the effectiveness of thermo-reflective coatings designed for glass facades of buildings concerning the adherence to the glass surface and the translucency of the coating through glass surfaces in relation to its impact on the indoor environment of buildings [5,6].

However, what has not yet been sufficiently scientifically evaluated are the thermal insulation properties of the insulation material on the ductwork and accessories of technical equipment of buildings. In practice, there are a number of specific situations in which a thin layer of insulation material in the order of mm could resolve the issue of space constraints of more complex piping routes or shape complex elements of technical systems such as valves or thermal expansion compensators. Particularly in the case of building reconstructions and the associated reconstruction of technical installations, space constraints for the additional application of conventional insulation materials sometimes create a very complicated situation.

Thin-layer insulation materials, which are applied with a thickness of several mm, are not yet supported by Decree No. 193/2007 Sb. and ČSN 75 5409 [7,8] within the requirements for the minimum thickness of the insulation layer, which is not the subject of this paper. If significant effects are demonstrated, it would be necessary to address the conflict with the legislative requirements within the prescribed thickness of thermal insulation.

For the experiment evaluating the contribution of the thermal insulation properties of the thin-layer insulation material, a heat storage tank was selected to which a 2 mm thick layer was applied by the insulation manufacturer. The research focused on evaluating the heat loss of two variants of the heat storage tank and the thermal insulation. Model A represents the reference heat storage tank without any thermal insulation and Model B represents the heat storage tank with a thermal insulation layer of hollow glass ceramic microspheres in a 2 mm thick applied layer. For more comprehensive input data to calculate the operational heat loss under the given conditions, measurements were made under forced and free air convection.

The Principle of Measuring and Determining Heat Loss

The research focused on the laboratory measurement of heat loss of the heat storage tank, as heat loss is a crucial parameter of any element of the thermal system that affects the energy consumption of the whole system. In the case of a heat storage tank, it is the efficiency of the total heat storage within it. The standby heat loss Φ [W] was experimentally measured for a given temperature difference between the fluid in the storage tank and the surroundings of the tank according to the procedure specified by the standard. The experimentally determined standby heat loss is used to classify heat storage tanks into energy classes within energy labels, where it is currently listed as the only parameter, just as heat loss is one of the parameters listed for water heaters.

In the case of experimental determination of heat loss of a heat storage tank, we can rely on several standards [9,10,11,12,13], which basically have the same testing method. The storage tank is equipped with an electric heating cartridge, placed at the lowest possible point in no more than 15 percent of the volume at the bottom of the tank so that the entire vessel is supplied with heat.

The storage tank shall be located in the laboratory approximately 50 mm above the floor and at least 250 mm from vertical structures behind the storage tank and 700 mm from other vertical structures.

The temperature of the liquid in the storage tank is maintained at a set point of $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ K}$ by electronically regulating the power supply to the heating element (with a hysteresis of $\pm 1\text{ K}$). This energy is measured with an electric meter or wattmeter with an uncertainty of less than 0,01 kWh. The ambient air temperature around the tank is maintained at about $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ K}$. In addition to the electrical energy consumption of the heating element, the temperature at the top of the tank and the air temperature around the shell shall be measured. Once the temperature in the tank stabilizes, the measurement cycle starts and continues until the daily power consumption varies by no more than 3 %. If this cannot be achieved, the test is run for at least 168 hours and the values for the last 3 days are taken for evaluation [14]. In the case of this particular experiment, the other inputs were blinded in order to prevent any influence by thermal bridges.

In practice, it is important to know the value of the total specific heat loss $U \cdot A$ [W/K] of the tank, which is a complex parameter characterizing the heat loss of the tank, in order to calculate the heat loss under specific operating conditions. The specific heat loss $U \cdot A$ [W/K] can be determined from the average daily electricity consumption Q_{24} [kWh/day] to cover the heat loss and the average difference between the water temperature in the storage tank during the test in the measurement cycle $t_{\text{aku,m}}$ [$^{\circ}\text{C}$] and the ambient air temperature during the test $t_{\text{amb,m}}$ [$^{\circ}\text{C}$] according to the relation

$$U \cdot A = Q_{24} \cdot 1000 / 24 \cdot (t_{\text{aku,m}} - t_{\text{amb,m}}), \quad (1)$$

where:

$t_{\text{aku,m}}$ - water temperature in the storage tank during the test in the measurement cycle [$^{\circ}\text{C}$]

$t_{\text{amb,m}}$ - ambient air temperature during the test [$^{\circ}\text{C}$] [14].

For a more comprehensive view of the heat loss of the heat storage tank under different conditions, a complementary experimental evaluation of the heat loss was carried out, in which, compared to the original measurement with free air convection around the heat storage tanks, a measurement with forced air convection provided by added fans was carried out. The procedure and evaluation of the heat loss measurement was the same as in the previous experiment, but this time the water temperature in the heat storage tanks was kept at around 50 °C and the ambient temperature was kept at around 18 °C. The fans providing airflow around the heat storage tanks were placed at a distance of about 1.6 m from the heat storage tanks. The fans were set so that the ambient air velocity at a distance of 100 mm in front of the storage tanks at their centre was approximately similar. The air velocities at the surface of the storage tanks in their different parts and also around the tanks can be seen in the following figure (see Fig. 1).

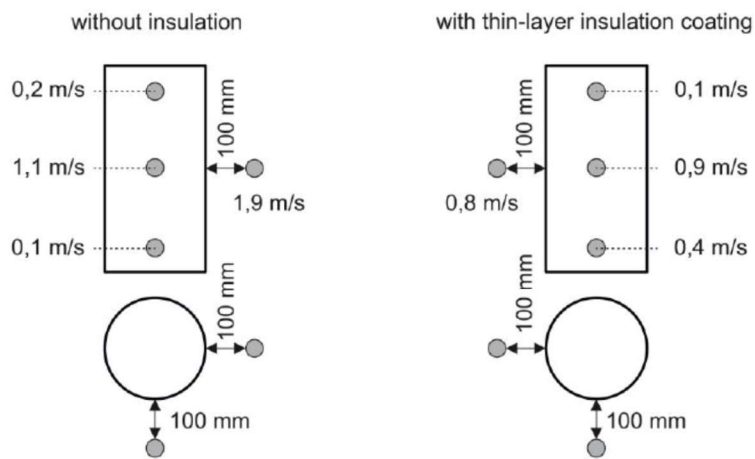


Fig.1: Distribution of air velocities measured around the storage tanks

Additionally, it was necessary to measure the thickness of the applied layer of insulation coating. Under the supervision of a Gamin company representative, calibration and measurement was carried out using an Elcometer 456/4 with an F2 probe, which can be used to measure coatings up to 5mm thick on ferromagnetic and non-ferromagnetic surfaces. The average thickness of the insulation coating layer was measured to be 1949 μm .

Experimental Route Assembly

For the experiment, a PS 500 E+ heat storage tank with a total volume of 473 l from the supplier Regulus, s.r.o. was used. The tank without and with an insulation coating is shown below (see Fig. 2). In order to measure the energy consumption to cover the heat loss of the heat storage tank in these variants, an experimental track was set up to measure two tanks simultaneously. Each storage tank was equipped with a 2 kW electric heating cartridge installed at the bottom of its volume (see Fig. 2 and Fig. 3), a 300 kPa safety valve and a 50 L expansion tank. A digital thermostat switched the electric heating element based on the desired temperature in the tank (set at 65 °C in the first experiment and 50 °C in the second). The thermostat switching hysteresis was set to 0.1 K. The thermostat sensor was of the NTC type. The temperature in the laboratory was maintained by the air conditioning unit at approximately 20 °C in the first experiment and 18 °C in the second experiment. The electrical power was measured with a Maneler 9901D meter (5 - 45 A) with a pulse output of 1000 pulses / kWh. The temperature measurement in the upper and lower part of the tank was performed using Pt100 temperature sensors. The air temperature around the storage tanks was measured with an Ahlborn ALMEMO FHAD464AGL05 sensor. All sensors were connected to an Ahlborn ALMEMO 5690-2 measuring panel. The measured data were stored at 15-minute intervals.

Air velocities in the second experiment were measured with an ALMEMO FVAD35TH4 hot-wire thermoanemometric probe.



Fig. 2: Measurements of a heat storage tank without thermal insulation (left) and a heat storage tank with thermal insulation coating (right) under conditions of free air convection, Source: UCEEB



Fig. 3: Additional heat loss measurements of heat storage tanks with and without thermal insulation with added fans, Source: UCEEB

Results of the Measurements

For each storage tank model at the specified conditions, the electricity consumption to cover the heat losses during the daily period in steady state was evaluated (after the storage tank has been heated to the desired temperature). For the first experiment, 4 consecutive days were always evaluated and for the second experiment with the added fans, 7 consecutive days were evaluated. Tables 1 to 4 show the following results: average daily temperatures in the upper t_U [°C] and lower t_L [°C] parts of the volume of the tank, average ambient air temperature t_{amb} [°C], daily electricity consumption Q_{24} [kWh], heat loss Φ [W] and specific heat loss $U \cdot A$ [W/K].

Table 1: Measurement results of a heat storage tank without thermal insulation under the conditions of free convection of the ambient air

| Day | t_{amb} [°C] | t_U [°C] | t_L [°C] | Q_{24} [kWh/day] | Φ [W] | $U \cdot A$ [W/K] |
|-----|----------------|------------|------------|--------------------|------------|-------------------|
| 1 | 20,5 | 66,1 | 65,8 | 42,0 | 1749 | 38,5 |
| 2 | 20,5 | 66,1 | 65,8 | 41,8 | 1741 | 38,3 |
| 3 | 20,6 | 66,1 | 65,8 | 41,9 | 1747 | 38,5 |
| 4 | 20,7 | 66,1 | 65,8 | 42,1 | 1754 | 38,8 |

Table 2: Measurement results of the heat store with thermal insulation coating under the conditions of free convection of the ambient air

| Day | t_{amb} [°C] | t_U [°C] | t_L [°C] | Q_{24} [kWh/day] | Φ [W] | $U \cdot A$ [W/K] |
|-----|----------------|------------|------------|--------------------|------------|-------------------|
| 1 | 19,9 | 66,1 | 65,8 | 31,1 | 1297 | 28,2 |
| 2 | 19,9 | 66,1 | 65,8 | 31,1 | 1295 | 28,1 |
| 3 | 20,0 | 66,1 | 65,8 | 31,0 | 1290 | 28,1 |
| 4 | 20,0 | 66,1 | 65,8 | 31,2 | 1301 | 28,3 |

Table 3: Measurement results of a heat storage tank without thermal insulation under the conditions of forced convection of the ambient air

| Day | t_{amb} [°C] | t_U [°C] | t_L [°C] | Q_{24} [kWh/day] | Φ [W] | $U \cdot A$ [W/K] |
|-----|----------------|------------|------------|--------------------|------------|-------------------|
| 1 | 17,8 | 50,6 | 50,2 | 44,9 | 1871 | 57,4 |
| 2 | 17,9 | 50,6 | 50,2 | 44,7 | 1864 | 57,3 |
| 3 | 18,0 | 50,5 | 50,3 | 44,5 | 1854 | 57,1 |
| 4 | 18,0 | 50,6 | 50,3 | 44,6 | 1858 | 57,3 |
| 5 | 17,9 | 50,6 | 50,3 | 44,9 | 1872 | 57,5 |
| 6 | 17,9 | 50,6 | 50,2 | 44,8 | 1866 | 57,4 |
| 7 | 18,0 | 50,6 | 50,2 | 44,5 | 1852 | 57,2 |

Table 4: Measurement results of heat storage tank with thermal insulation coating under forced convection of ambient air

| Day | t_{amb} [°C] | t_U [°C] | t_L [°C] | Q_{24} [kWh/day] | Φ [W] | $U \cdot A$ [W/K] |
|-----|----------------|------------|------------|--------------------|------------|-------------------|
| 1 | 17,8 | 50,5 | 50,3 | 30,0 | 1250 | 38,4 |
| 2 | 17,9 | 50,4 | 50,3 | 29,9 | 1244 | 38,3 |
| 3 | 18,0 | 50,5 | 50,3 | 29,7 | 1239 | 38,2 |
| 4 | 18,0 | 50,5 | 50,3 | 29,7 | 1239 | 38,3 |
| 5 | 17,9 | 50,5 | 50,3 | 30,0 | 1249 | 38,4 |
| 6 | 17,9 | 50,4 | 50,3 | 29,8 | 1241 | 38,2 |
| 7 | 18,0 | 50,5 | 50,3 | 29,6 | 1233 | 38,1 |

Conclusion

The measurements show that under the given conditions, the specific heat loss $U \cdot A$ of the storage tank without any insulation is 38.5 W/K and the specific heat loss $U \cdot A$ of the storage tank with a 2 mm thick thermal insulation coating is 28.2 W/K, which means that the application of a 2 mm thick thermal insulation layer reduces the heat loss of the storage tank without thermal insulation by 27 %.

In the second experiment, it is evident that due to the transition from free air convection to forced convection, the heat losses of both heat storage tanks were increased. Under the specified conditions, the experimentally determined specific heat loss $U \cdot A$ for the tank without any insulation was 57.3 W/K and for the tank with an insulation coating was 38.3 W/K, which means that the 2 mm thick insulation layer reduces the heat loss of the tank in this case by 33 % compared to the uninsulated variant.

This shows that thermal insulation coatings applied in the order of mm can reduce the heat loss of uninsulated surfaces to a certain extent, and the considerations for use on complex routes of distribution lines and individual shaped complicated elements of technical equipment of buildings are legitimate. Classical thermal insulation materials have a justified function and will certainly not be massively replaced by thin-layer thermal insulating materials, but in the case of more complex routes, solutions for visible distribution lines, or reconstruction of technical equipment of buildings where space problems arise, these thin-layer thermal insulations may find their application.

Acknowledgement

This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS21/073/OHK1/1T/15

References

- [1] H. Shen, H. Tan and A. Tzempelikos: The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption—An experimental study. *Energy and Buildings*. Vol. 43 (2011), p. 573-580
- [2] H. Akbari, S. Konopacki and M. Pomerantz: Cooling energy savings potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States. *Energy*. Vol. 24 (1999), p. 391-407
- [3] H. Akbari: Measured energy savings from the application of reflective roofs in two small non-residential buildings. *Energy*. Vol. 28 (2003), p. 953-967

- [4] M. Čekon, M. Kalousek, J. Hraška and R. Ingeli: Spectral optical properties and thermodynamic performance of reflective coatings in a mild climate zone. *Energy and Buildings*. Vol. 77 (2014), p. 343-354
- [5] L. Prokopová and D. Bošová: Glass micro bubbles on polycarbonate skylight. *Proceedings of the 22nd International Conference Light*. 2017, p. 188-193
- [6] F. Novotný, L. Prokopová and D. Bošová: Glass micro-bubbles as additional thermal insulation/shielding for translucent and non-transparent materials. *Sanace a rekonstrukce staveb 2017*. 2017, p. 110-111
- [7] ČSN 75 5409: Vnitřní vodovody. Praha, ÚNMZ, 2013
- [8] Vyhláška č. 193/2007 Sb. kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu
- [9] ČSN EN 12897+A1: Zásobování vodou – Nepřímo ohřívané tlakové (uzavřené) zásobníkové ohřívače vody. Praha, ÚNMZ, 2020
- [10] ČSN EN 60379: Metody měření funkce elektrických akumulčních ohřívačů vody pro domácnost a podobné účely. Praha, ÚNMZ, 2004
- [11] ČSN EN 15332: Kotle pro ústřední vytápění – Stanovení energetické náročnosti zásobníků na teplou vodu. Praha, ÚNMZ, 2020
- [12] ČSN EN 12977-3: Tepelné solární soustavy a součásti – Soustavy stavěné na zakázku – Část 3: Metody zkoušení parametrů solárních zásobníků pro ohřev vody. Praha, ÚNMZ, 2018
- [13] ČSN EN 12977-4: Tepelné solární soustavy a součásti – Soustavy stavěné na zakázku – Část 4: Metody zkoušení parametrů solárních kombinovaných zásobníků. Praha, ÚNMZ, 2018
- [14] Information on <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/16177-zkouseni-tepelne-ztraty-zasobniku>

Testing of illuminance meters

PROKOPOVA, Lenka^{1, a*}, DARULA, Stanislav^{2, b} and BOSOVA, Daniela^{3, c}

¹Faculty of architecture, CTU in Prague, Czech Republic

²Institute of Construction and Architecture Slovak Academy of Sciences, Slovakia

³Faculty of architecture, CTU in Prague, Czech Republic

^alenka.prokopova@fa.cvut.cz, ^bstanislav.darula@savba.sk, ^cdaniela.bosova@fa.cvut.cz

Keywords: Illuminance Meter, Photometric Heads, Daylight Factor

Abstract. If researchers measure illuminance with illuminance meters, they should apply meters appropriate quality, with known accuracy and type of uncertainties. Therefore the test measurements should be performed before carrying out experiments. Illuminance measurements applied in research require using calibrated photometric heads because sensors measure various illuminance levels due to degradation in time. Accuracy of every measurement is influenced by errors of instrument construction and of measuring procedure. During preparation of experiment and its carrying out should be these errors reduced at the most. This paper discusses influence of illuminance quality, importance of the photometric heads calibration on the Daylight Factor measurements.

Introduction

High-quality of measuring instruments is very important for accuracy of measurements and for follow-up research [1]. This is connected not only with quality or price of instruments but also with the age of instruments and with degradation of sensor material in time. It was reason why we firstly focused on the testing of illuminance meters before start of Daylight Factor measurements in the particular research. We had available three types of photometric heads for calibration and testing. Each meter of this group had different age and was of different quality.

Description of illuminance meters

First group of instruments was represented by precise illuminance meter Brüel & Kjaer - Precision Photometer Type 1105 equipped by the photometric head Type 8600 - Fig. 1.

This measuring instrument was the oldest from testing instruments, with very high-quality, and regularly calibrated by national authority in the photometric laboratory of SUTN in Bratislava. Last its certification was arranged in November, 2011.

Precision Photometer Type 1105 is a versatile photometer offering high accuracy and precision together with ease and flexibility of operation.

A feature of the Precision Photometer is that there is no need adjustment to zero between measurements this is done automatically before each measurement. This is extremely convenient in field measurements and is especially important in solutions of low lighting levels. The illuminated digital display of the Photometer Type 1105 makes it easy to read the results also in low light conditions.

Illuminance Transducer Type 8600 is sensing device equipped by a silicon photodiode of high thermal stability. The geometry of the transducer is carefully designed for a cosine response to incident light and the excellent spectral match of less than 2% is provided by a multilayer absorbance filter.

The spectral match is defined according to the method described in CIE Publication [2]. With this calculation, all deviations from the $V(\lambda)$ curve are integrated and therefore a value as low as 2% means that there is an excellent spectral match across the entire visible spectrum. This is a more stringent definition than another common definition which is based on the difference in areas of the

transducers spectral response and $V(\lambda)$ and which allows negative deviations to cancel positive deviations. According to this definition, the spectral match error is in the order of 0,5%. The Photometer Type 1105 was used as reference meter in the illuminance meter testing process.

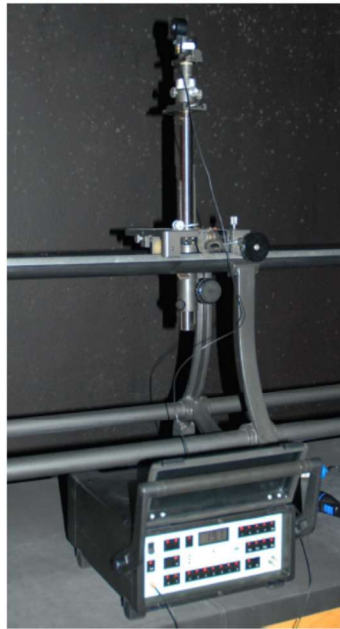


Fig. 1 – Referenced illuminance meters Brüel & Kjaer

Second illuminance meter Extech HD 450, which was tested, can be categorized into a low cost group with less quality and measuring precision, Fig. 2.

The HD450 can measure illuminance in lux [lx] and foot candles [Fc]. The HD450 is a datalogger and includes a PC interface and Windows™ compatible software for downloading data. Up to 16,000 readings can be stored in the meter memory and download to a computer, and 99 readings can be stored and viewed directly on the meter's LCD display. The supplied software allows the user to view readings in real-time on the PC monitor. The obtained data can be analyzed, zoomed, stored, and printed.



Fig. 2 – Testing illuminance meters Extech HD 450

The latest illuminance meter PRC Krochmann – RadioLux 111 was bought in the year of the testing procedure. It is high-quality hand-held instrument for illuminance and irradiance measurements. It can be equally used for laboratory and field applications, Fig. 3. It is equally served for laboratory and field applications.

Instrument can be connected different kinds of measuring heads to this handy body. The data scanned by detectors are saved in their heads and can be checked on the display unit. For easy data acquisition, data can be saved on an internal chip and then used for different calculations like averaging or statistical processing.

Thanks to the simple handling also inexperienced users can successfully use the RadioLux 111 at once. The instrument is completed by an extensive range of accessories for practically all measuring tasks. Accordingly, luminance measurements are possible with an adapter.



Fig. 3 – Testing illuminance meters PRC Krochmann – RadioLux 111

Certified calibration

On November 9th, 2011 was carried out calibration of the photometric head 1301932 of the illuminance meter Brüel & Kjaer in the Slovak Metrological Institute in Centre of Thermometry, Photometry and Radiometry. Photometric head of this illuminance meter was calibrated with photometric head P30FOT corrected to the $V(\lambda)$ function, which belongs to the national system by the standard luminous intensity NE012. Certified calibration results are documented in Fig. 4 and in Tab. 1 for the calibration range 2 - 10000 lx.

The calibration constant $k = 1,026$ by the officially calibrated illuminance meter Brüel & Kjaer was calculated from certification protocol and for practical illuminance measurements is valid:

$$E_{Etalon} = 1,026 \times E_{Brüel} [\text{lx}] \quad (1)$$

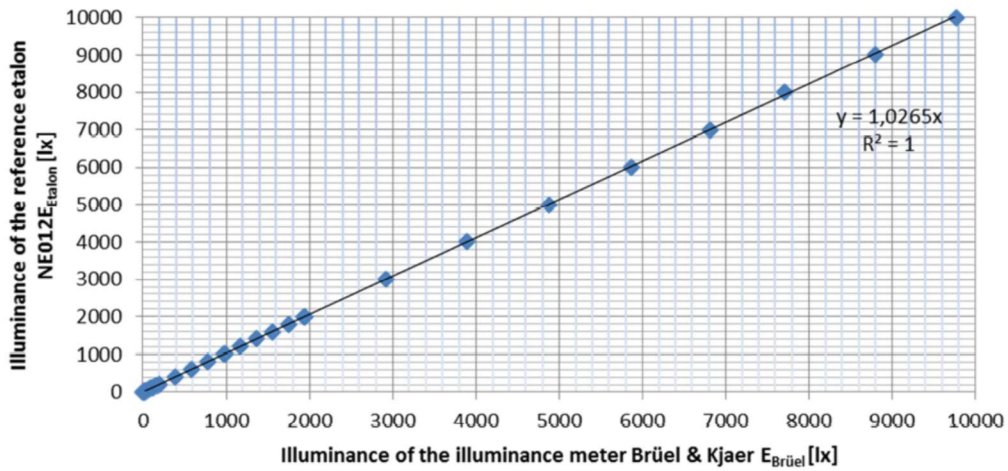


Fig. 4 – Relation of illuminance levels between the photometric head Brüel & Kjaer and the etalon NE012

Table 1: The results of certified calibration on 9. 11. 2011

| Number of measurements | Illuminance | | Number of measurements | Illuminance | |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| | Brüel E _{Brüel} | Etalon P30FOT E _{Etalon} | | Brüel E _{Brüel} | Etalon P30FOT E _{Etalon} |
| [-] | [lx] | [lx] | [-] | [lx] | [lx] |
| 1 | 1,90 | 2 | 21 | 193 | 200 |
| 2 | 3,90 | 4 | 22 | 385 | 400 |
| 3 | 5,78 | 6 | 23 | 579 | 600 |
| 4 | 7,71 | 8 | 24 | 775 | 800 |
| 5 | 9,65 | 10 | 25 | 969 | 1000 |
| 6 | 11,61 | 12 | 26 | 1164 | 1200 |
| 7 | 13,51 | 14 | 27 | 1358 | 1400 |
| 8 | 15,51 | 16 | 28 | 1558 | 1600 |
| 9 | 17,39 | 18 | 29 | 1748 | 1800 |
| 10 | 19,35 | 20 | 30 | 1940 | 2000 |
| 11 | 19,2 | 20 | 31 | 986 | 1000 |
| 12 | 38,6 | 40 | 32 | 1944 | 2000 |
| 13 | 58,0 | 60 | 33 | 2921 | 3000 |
| 14 | 77,2 | 80 | 34 | 3897 | 4000 |
| 15 | 96,4 | 100 | 35 | 4876 | 5000 |
| 16 | 116,0 | 120 | 36 | 5864 | 6000 |
| 17 | 135,1 | 140 | 37 | 6817 | 7000 |
| 18 | 154,4 | 160 | 38 | 7716 | 8000 |
| 19 | 173,9 | 180 | 39 | 8799 | 9000 |
| 20 | 193,1 | 200 | 40 | 9770 | 10000 |

Testing procedure

Illuminance meters were tested on the photometric bench in the photometric laboratory at the Institute of Construction and Architecture Slovak, Academy of Sciences in Bratislava. Photometric heads were embedded for 11 different distances from the light source, which was a 200 W incandescent lamp connected to the dimmable device with voltage stabilizer Samo Automation, which was adjusted to own intensity of 90%. All measurements were done three times to cover uncertainties of electricity supply. The illuminances measured by the illuminance meter Brüel & Kjaer were used as reference values to which other illuminance meters were calibrated – Tab. 2. The achieved results are documented in Fig. 5 and Tab. 3 for illuminance meter Extech 450 and in Fig. 6 and Tab. 4 for illuminance meter RadioLux 111. Using linear regression the slope of a straight line expressing measured differences of illuminance levels between reference and tested illuminance meters. Application this values and calibration constant of the illuminance meter Brüel & Kjaer were determined calibration constants of both tested illuminance meters.

Table 1: The results of the measurements valid for luminance meter Brüel & Kjaer

| Distance of the sensor from the light source | Measurement | | | |
|---|-------------|-------|-------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | Average |
| [cm] | [lx] | [lx] | [lx] | [lx] |
| 52,5 | 918 | 916 | 915 | 916 |
| 62,5 | 600 | 600 | 599 | 600 |
| 72,5 | 413 | 412 | 416 | 414 |
| 82,5 | 302 | 303 | 301 | 302 |
| 97,5 | 205 | 204 | 205 | 205 |
| 117,5 | 134,6 | 134,0 | 133,0 | 133,9 |
| 137,5 | 95,0 | 94,4 | 94,3 | 94,6 |
| 157,5 | 70,4 | 70,4 | 70,2 | 70,3 |
| 197,5 | 43,6 | 43,4 | 42,7 | 43,2 |
| 247,5 | 26,9 | 26,5 | 26,4 | 26,6 |
| 287,5 | 19,9 | 19,1 | 19,4 | 19,5 |

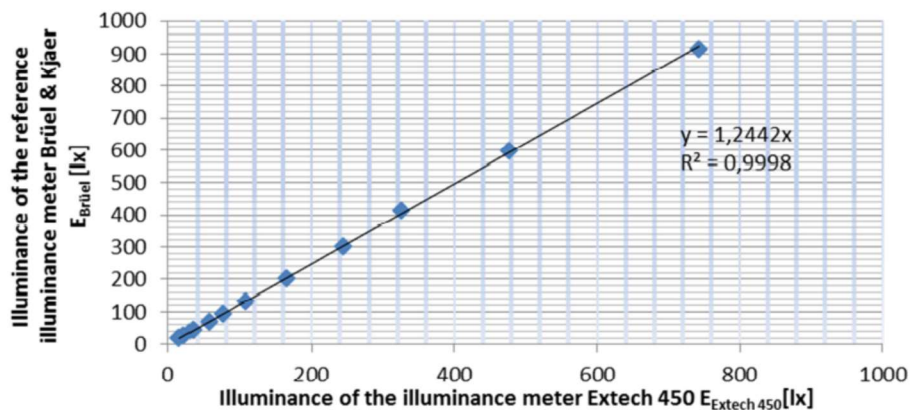


Fig. 5 –Linear illuminance dependence between illuminance meter Extech 450 and the reference illuminance meter Brüel & Kjaer

Table 3: The results of testing procedure of the meter Exttech 450 done on 6. 6. 2013, the calibration range 15 -1000 lx

| Distance of the sensor from the light source [cm] | Range [lx] | Measurement | | | Average Exttech $E_{Exttech}$ [lx] | Reference illuminance meter Brüel $E_{Brüel}$ [lx] |
|--|---------------|-------------|-----------|-----------|--|--|
| | | 1 [lx] | 2 [lx] | 3 [lx] | | |
| 52,5 | from 4000 | 743 | 745 | 740 | 743 | 916 |
| 62,5 | | 474 | 478 | 477 | 476 | 600 |
| 72,5 | | 327 | 327 | 322 | 325 | 414 |
| 82,5 | to 400 | 245,1 | 244,7 | 244,2 | 245 | 302 |
| 97,5 | | 165,4 | 163,9 | 165,3 | 165 | 205 |
| 117,5 | | 107,4 | 106,8 | 107,6 | 107,3 | 133,9 |
| 137,5 | | 75,7 | 75,7 | 76,3 | 75,9 | 94,6 |
| 157,5 | | 56,1 | 56,2 | 56,5 | 56,3 | 70,3 |
| 197,5 | | 34,1 | 34,1 | 34,5 | 34,2 | 43,2 |
| 247,5 | | 21,0 | 21,0 | 21,3 | 21,1 | 26,6 |
| 287,5 | | 15,3 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 19,5 |

For illuminance meter Exttech 450 was found relation of illuminance as follows

$$E_{Brüel} = 1,244 \times E_{Exttech\ 450} \text{ [lx]} \tag{2}$$

Then the calibration constant $k = 1,277$ is valid for illuminance meter Exttech 450, because for reference illuminance meter after considering its official calibration is:

$$E_{calibrated} = 1,244 \times 1,026 \times E_{Exttech\ 450} = 1,277 \times E_{Exttech\ 450} \text{ [lx]} \tag{3}$$

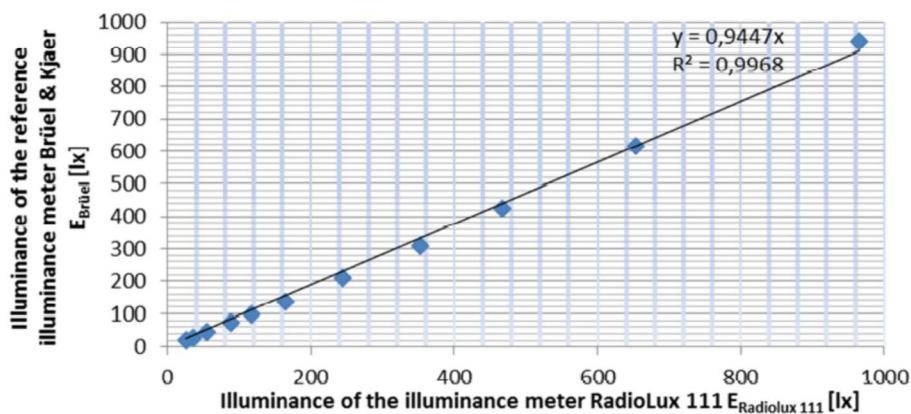


Fig. 6 – Linear illuminance dependence between illuminance meter Radiolux 111 and the reference illuminance meter Brüel & Kjaer

Table 4: The results of testing procedure of the meter RadioLux 111 done on 6. 6. 2013, the calibration range 15 -1000 l

| Distance of the sensor from the light source | Measurement | | | Average RadioLux111 | Reference illuminance meter Brüel |
|--|-------------|-------|-------|---------------------|-----------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | $E_{RadioLux111}$ | $E_{Brüel}$ |
| [cm] | [lx] | [lx] | [lx] | [lx] | [lx] |
| 52,5 | 968,5 | 962,6 | 965,4 | 966 | 941 |
| 62,5 | 650,4 | 655,0 | 653,4 | 653 | 616 |
| 72,5 | 470,0 | 466,0 | 465,5 | 467 | 425 |
| 82,5 | 353,1 | 351,9 | 349,9 | 352 | 310 |
| 97,5 | 243,1 | 244,6 | 244,7 | 244 | 210 |
| 117,5 | 163,0 | 164,0 | 164,1 | 163,7 | 137,4 |
| 137,5 | 117,3 | 116,3 | 116,9 | 116,8 | 97,1 |
| 157,5 | 88,31 | 87,89 | 87,45 | 87,9 | 72,2 |
| 197,5 | 55,64 | 54,69 | 55,11 | 55,1 | 44,4 |
| 247,5 | 34,71 | 34,78 | 34,82 | 34,8 | 27,3 |
| 287,5 | 25,66 | 25,45 | 25,66 | 25,6 | 20,0 |

The same procedure for determination of the calibration constant for the illuminance meter RadioLux 111 was applied. It was found relation between illuminances obtained by illuminance meter RadioLux 111 and illuminance meter Brüel & Kjaer as follows

$$E_{Brüel} = 0,920 \times E_{RadioLux\ 111} \text{ [lx]} \tag{4}$$

Then the calibration constant $k = 0,945$ calculated for illuminance measured by illuminance meter RadioLux 111, because it is valid:

$$E_{calibrated} = 0,920 \times 1,026 \times E_{RadioLux\ 111} = 0,945 \times E_{RadioLux\ 111} \text{ [lx]} \tag{5}$$

Summary

Calibration of the illuminance meters before regular or experimental measurements is very important for correct interpretation of achieved results. Presented tests of accuracy measurements of three illuminance meters show high differences in measured values. If user will engineer and will use illuminance meter Extech 450 without calibration its values will differ 24,4 % from real values. Illuminance differences up to 5 % between measurements of Brüel & Kjaer and RadioLux 111 were found which are in the range of precise measurement category.

Of course, measured illuminance values depend on the quality of measuring instruments and their age. But if engineers have not information about photometric properties of measuring devices, then their measurements could not be correct. Therefore, it is very useful to do a similar test measurements, compare the results with certified calibration protocols and evaluate these illuminance meters, which will be used for further regular or experimental measurements.

Acknowledgement. This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS15/222/OHK1/3T/15 as well as APVV-0118-12 and EU program LLP - Erasmus 2012-2013.

References

- [1] CIE 041-1978. Light as a True Visual Quantity: Principles of Measurement.
- [2] CIE Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers pub. 53 (TC 2.2)1982
- [3] Hovila, J., Mustonen, M., Kärhä, P., Ikonen, E., Determination of the diffuser reference plane for accurate illuminance responsivity calibrations, 2005, Applied Optics, 44 (28), pp. 5894-5898
- [4] López-Ramírez, R., González-Galván, L.P., Estrada-Hernández, A., Rosas, E., Effective detection plane location uncertainty component in luxmeters calibration, 201, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8287
- [5] Janeckova, L., Bosova, D., Darula, S.: Comparison of Two Coating Material Reflections of Hollow Light Guide Tube. Envibuild 2014 - International Conference Buildings and Environment 2014, Czech Republic, 2014, vol. 1, p. 412-418. ISBN 978-3-03826-664-8.

Architectural models for measurement of Daylight Factor

BOSOVA, Daniela^{1, a*} and PROKOPOVA, Lenka^{2, b}

¹Faculty of architecture, CTU in Prague, Czech Republic

²Faculty of architecture, CTU in Prague, Czech Republic

^adaniela.bosova@fa.cvut.cz, ^blenka.prokopova@fa.cvut.cz

Keywords: Daylight, Measurement, Architectural Models, Daylight Factor, Inner Boundary Conditions

Abstract. Daylight factor is one of the physical parameters affecting indoor environmental. We can determine this factor in many ways. The main ways are computational methods, in situ measurements and finally measurements in architectural models. Measurements in models enable us comparison both measurements under real sky and under artificial sky. We can study changes in internal conditions - the colors and variability of the interiors and potential variability of window openings. Using of mini - photometer head in measurements enable us to give precision quality of design daylight in interior and validate computational methods for the real space.

Introduction

One of the parameters describing daylight of the internal environment is Daylight Factor, it can be determined by calculation methods or by measurement. Measurements can be carried out in real conditions in the already completed building, or in model. The model can be placed in real conditions, or in laboratory conditions - measuring under an artificial sky.

Daylighting is measured under the CIE standard overcast sky with dark surface of terrain. Different types of sky can also be measured for special purposes, but this must be clearly defined.

We can divide measurement according to the purpose of measurement:

- Accurate measurement: for assessment of demanding space or measurement for research purposes with the uncertainty of measurement to 8% inclusive
- Operating measurement: for assessing the correctness of lighting design and visual comfort, with the uncertainty of measurement from 8% to 14% inclusive
- Indicative measurement: for indicative checking of daylight with the uncertainty of measurement from 14% to 20%.

Measurement devices

Illuminance and luminance meters are used for measurement:

- Illuminance meter: used for measurement of light intensity, Fig. 1. The device is calibrated in units of intensity in [lx].
- Luminance meter - used for measurement of brightness, Fig. 2. The device is calibrated in units of brightness [cd / m²].

Two illuminance meter or a one illuminance meter with two photometric heads are needed for simultaneous measurement of daylighting on the reference surface in the interior and outdoor measurement of illuminance on a horizontal plane. Illuminance meter for measuring outdoor illuminance must have a range of at least 100 000 lx with max. 60 mm diameter of photometric head. For measurement in models is given max. 30mm diameter of photometric head.

Furthermore, measuring devices require periodic calibration by an authorized workplace for a range of light intensity or brightness and kind of light, which will be measured.



Fig. 1 – Illuminance meter RadioLux 111 with photometric heads – first is for common measurement and second for measurement in models

Illuminance meter PRC Krochmann – RadioLux 111 was bought in the year 2014. It is high-quality hand-held device for illuminance and irradiance measurements. It can be equally used for laboratory and field applications, Fig. 1.

The RadioLux 111 is a precision hand held instrument for photometric and radiometric measurement. It equally serves for laboratory and field applications.

You can connect different kinds of measuring heads to this handy instrument. The data of the detectors are saved in their heads and can be identified by the display unit.

For easy data acquisition, data can be saved on an internal chip and be used for different calculations like averaging.

Thanks to the simple handling also inexperienced users can successfully use the RadioLux 111 at once. The measurement device is completed by an extensive range of accessories for practically all measuring tasks. Accordingly, luminance measurements are possible with an adapter.



Fig. 2 Luminance meter Konica Minolta LS 110

Luminance Meter LS 110 is lightweight, compact meter for taking luminance of light sources or reflective surfaces. Using advanced optics and electronics, this meter is extremely accurate, completely portable, and easy to operate.

The LS 110 has a $1/3^\circ$ acceptance angle. It has a TTL (through-the-lens) viewing systems which accurately indicates the area to be measured, and an in-viewfinder display to allow measurements to be seen along with the measurement subject. The optical reduces flare, so that measurement are virtually unaffected by light sources outside the indicated measurement area. The silicon photocell measures light received by the lens, and is filtered to closely match the CIE Relative Photopic Luminosity Response. The signal from the sensor is processed by the built-in microcomputer, and measured values are displayed in 4 digits in both the external display and the viewfinder display.

The meter can measure over a wide range of luminance levels - from 0,01 to 999 900 cd/m^2 . Absolute luminance can be measured in both cd/m^2 and ft-L (foot Lambert) percent luminance can also be measured to compare the luminances of two subjects. Either of two calibration standards can be used for measurements: PRESET for measurements based on factory calibration standards VARI for measurements based on a user-selected standard. The peak measurement taken while the trigger was held in can be displayed, and a color-correction factor can be used to automatically adjust the response of the meter when measuring colored subjects or using close-up lenses to measure small subjects. In additional, the LS 110 have digital data-output terminals for sending data to the Data Printer or a separate computer.

Measured quantities

Measured quantities are divided into main quantities (illuminance and brightness) and additional quantities (transmittance, reflectivity, temperature).

The main measured quantities:

- Internal illuminance in measurement points E_i [lx] for calculating the Daylight Factor DF [%]
- Outdoor horizontal illuminance E_h [lx] or brightness of sky
- The vertical illuminance on the outer plane glazing windows E_w [lx] for calculating the Daylight Factor DF_w [%]

A daylight factor is the ratio of internal light level to external light level and is defined as follows:

$$DF = (E_i / E_h) \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

where, E_i = illuminance due to daylight at a point on the indoors working plane [lx],

E_h = simultaneous outdoor illuminance on a horizontal plane from an unobstructed hemisphere of overcast sky [lx]

In order to calculate E_i , one must establish the amount of light received from the outside to the inside of a building. There are three paths along which light can reach a point inside a room through a glazed window, rooflight, or aperture, as follows:

- Direct light from a patch of sky visible at the point considered, known as the sky component,
- Light reflected from an exterior surface and then reaching the point considered, known as the externally reflected component,
- Light entering through the window but reaching the point only after reflection from an internal surface, known as the internally reflected component.

Methodology of measurements

The daylight factor - a condition for its measurement is CIE standard overcast sky, simultaneous measurement of illuminance internal checkpoint and outdoor illuminance of horizontal plane. Measurements should take place between 11.00 and 14.00 pm, when the spectral composition of light is stable.

Brightness of sky - is checked using a luminance meter. The brightness of the sky are checked for accurate and operational measurement in elevation angles - 15° , 30° , 45° , 60° , 90° above the horizon in four vertical planes.

Outdoor horizontal illuminance - is measured on the outside horizontal plane, usually on a roof of the highest building. The level of illumination outdoor horizontal plane is determined at time intervals of not more than 30 sec.

Interior illuminance is measured in checkpoints on the reference surface arranged at regular rectangular network in the entire considered space or in a functionally defined part. Reference surface may be inclined, horizontal or vertical. The height of the horizontal reference surface is 0,85 meters above the floor. Measured points are usually placed 1 m from interior walls, other points must be arranged at regular intervals. In smaller areas are usually the distance between measured points ranging from 0.5 m to 2 m, in large indoor areas with high ground clearance can be up to 6 m, Fig. 3.

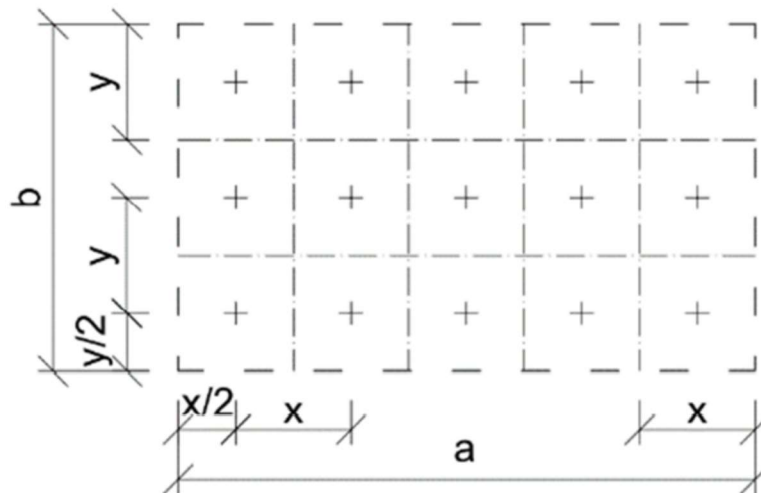


Fig. 3 - Distribution of checkpoints a) on general reference plane b) on model plane.

Measurement in architectural models

Daylight Factor measurement in architectural models enables to verify the quality of building design in terms of the internal environment at the design stage. This way the specific architectural designs can be verify, or the model can be adjusted so that we can be altered various parameters - for example an internal reflectivity of surface, transmittance of daylight through different windows or design of shading elements. The model is usually made in the scale 1:10, but for large structures can be scale larger, see Fig. 4.



Fig. 4 – Architectural model of residential building is ready for measuring and for adjusting the reflectivity of internal surfaces, reflectivity of outdoor terrain and various window glazing.

The individual architectural model with frame of window was made for one of room. The construction of a model must be preceded by the determination of the appropriate scale, which is directly related to the model's particular purpose. That is why we choose scale 1:10. The room is wide 3,0m, length 4,0m and high is 3,0m. – Fig.5. The room has white walls, white ceiling and light green floor.



Fig. 5 – The individual architectural model - one of room with frame of window

This frame has rabbets for two window panes – Fig. 6. Because we would like to research different types of window panes and their influence on Daylight Factor.

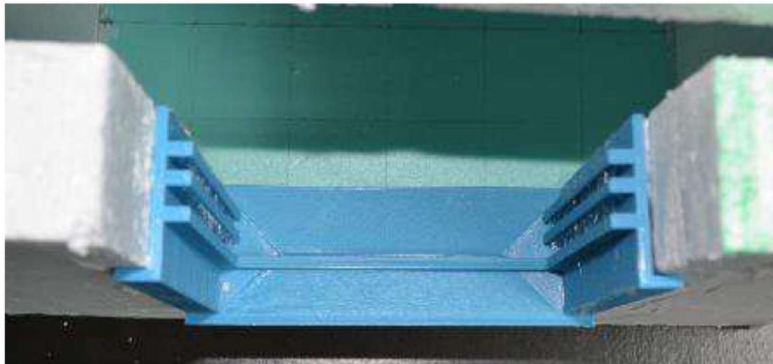


Fig. 6 - The model of frame of window with rabbets for two window panes

The model must be placed on location without shadow with the correctly distribution of brightness and under CIE standard overcast sky - Fig. 7 in real conditions.

CIE overcast sky, this sky model has been widely used to calculate daylight factor. Many designers and users have used this model to calculate the worse of case scenario. There is used this sky model as a default in the Czech Republic.

For measurements in the laboratory must be available artificial sky of sufficient size. It is recommended that the diameter of the artificial sky was at least 5 - times greater than the largest dimension of the model.



Fig. 7 – Fisheye picture of CIE standard overcast sky

We must find place without shading and wait for uniformly overcast sky for measurement under real sky. That is why we chose meadow on the edge of small village and there we placed our model. For calculation of Daylight Factor you need measure E_i [lx] indoor illuminance at a point on the indoor working plane in the same time like E_h [lx] simultaneous outdoor illuminance on horizontal plane from an unobstructed hemisphere of overcast sky.

Therefore, we had to use two luminance meters for simultaneous measurement. One of them was placed inside model at a point on the indoor working plane and second illuminance meter was placed on a tripod. Second tripod was used for camera with fish-eye lens or for illuminance meter Konica Minolta LS-110 – Fig. 8.

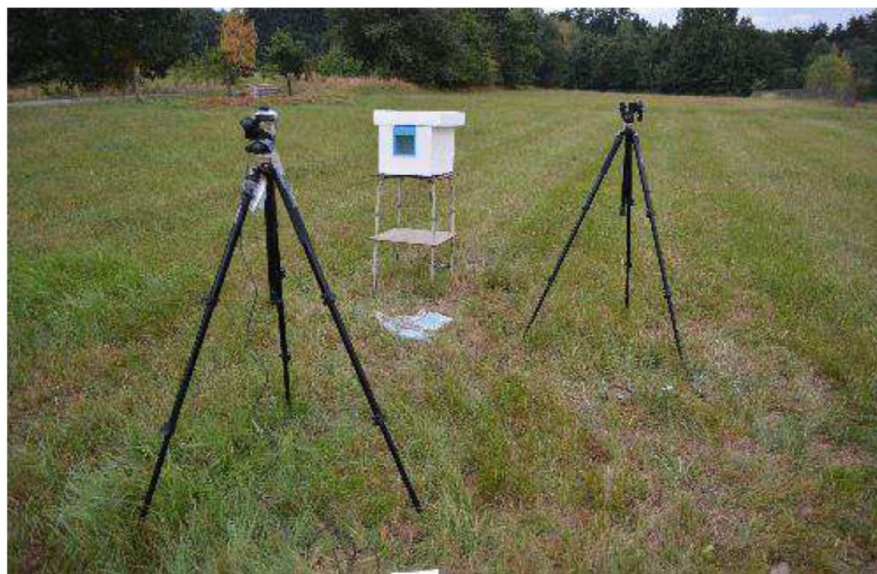


Fig. 8 – Measurement under real sky

Summary

After evaluation of the measurement are determined Daylight Factors in the checkpoints and are determined points with a minimum DF_{\min} [%] and the maximum DF_{\max} [%] value, and then is also calculated the average value DF_m [%] and even distribution daylighting R [%]. Measurement errors are reported in the relative values [%]. The protocol of the measurement is composed with respect to the specified level of accuracy.

Measurements in architectural scaled models represent one possibility of improving the building design and is commonly used for the comparison of preliminary designs using numerical methods.

Therefore, our research will be focused on the Daylight Factor measurement in architectural models under real sky. Firstly we started with calibration and testing measurement devices [6], now we make architectural models and next year we will measure Daylight Factors in those architectural models.

Acknowledgement. This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS15/222/OHK1/3T/15.

References

- [1] CIE 041-1978. Light as a True Visual Quantity: Principles of Measurement.
- [2] Tregenza, P.R., Daylight measurement in models: New type of equipment, *Lighting Research and Technology* December 1989 21: 193-194
- [3] Tregenza, P.R., Guide to recommended practice of daylight measurement: general class stations, *Supplement to CIE Journal*, vol 6, no. 2, 1987
- [4] Baker N., Fanchiotti A., Steemers K., *Daylighting in architecture; a European Reference Book*, James and James, London, 1993.
- [5] Bosova, D.: *Building Physics 10, Daylight Illumination and Solar Radiation in Buildings*. Prague: CTU, 2006. 130 s. ISBN 978-80-01-03392-0
- [6] Prokopova, L., Darula, S., Bosova, D. Testing of illuminance meters for Daylight Factor measurements, *EnviBUILD 2015 - International conference proceedings*, STU in Bratislava, 2015
- [7] Kittler R., An historical review of methods and instrumentation for experimental daylight research by means of models and artificial skies, *Proceedings of the 14th CIE session*, Brussels: Commission Internationale de l'Eclairage, 1959.