

Daylighting in relation to the energy balance of buildings

Abstract. This article deals with analysis of the effect of the daylight openings on energy balance of buildings and meeting simultaneously the minimum hygienic demand on daylight component. By giving examples the article authors demonstrated possibility to achieve energy savings by number and orientation to cardinal point of daylight openings. Power savings are supported by regulation of daylight components. In this way gained results can be used by design proposal of existing objects revitalization and by design of new buildings as well. When designing the BIM system should be used.

Keywords: Daylighting Buildings, energy balance, life cycle of building, envelope of building, care and upkeep building, BIM (Building Information Management).

Úvod

Při navrhování osvětlovacích soustav pro vnitřní prostředí budov bývají zvažována různá hlediska:

- **technická** – kde se posuzuje účinnost, provozní spolehlivost a životnost osvětlovacích soustav včetně jejich nároků na údržbu;
- **bezpečnostní** – zahrnující např. i zajištění náhradního či nouzového osvětlení;
- **ekologická** – související s energetickou spotřebou či nebezpečným odpadem;
- **ekonomická** – kde kromě investičních nákladů je nutné vzít do úvahy i provozní náklady na osvětlování a souhrnnou energetickou bilanci budovy;
- **architektonická** – související s estetikou a komplexním řešením prostoru;
- **hygienická** - související s vlivem na lidské zdraví.

Spojovacím článkem pro všechna tato hlediska by mělo být **splnění daného účelu osvětlování** (přičemž hygienické požadavky by měly být zvažovány vždy).

Vliv světla na zdraví

Na **světlo** bývá často nahlíženo jen jako na energii nezbytnou pro přenos informací o našem okolí (*předpokládá se, že světlo nám zprostředkovává až 80 % informací z vnějšího prostředí*). Nicméně již byly ověřeny významné **fyzilogické a psychologické odezvy** člověka na světelný podnět, takže **světlo** zařazujeme mezi fyzikální faktory, které mají prokázáný **vliv na naše zdraví**.

Víme, že světlo působí na člověka **příznivě** i **nepříznivě**, a to:

- množstvím světla (energetické působení);
- spektrálním složením (barvou světla);
- dobou trvání (např. dlouhodobě, krátkodobě, trvale);
- časovým průběhem (např. míháním).

Za hygienicky nejvýznamnější lze považovat působení **přirozeného denního světla**, které na nás působí m. j. i svojí dynamickou **proměnlivostí** (nejen množství, ale i spektrálního složení světla). K dalším významným vlivům patří **střídání světla a tmy** v průběhu denního cyklu. Bylo ověřeno, že přirozené střídání denního světla a tmy synchronizuje naše vnitřní **biorytmy** (*mj. ztráta vnitřních biorytmů bývá považovaná za jednu z příčin psychogenních onemocnění*).

- **Nepříznivé účinky** lze rozlišit na **přímé** či **nepřímé**, a k přímým účinkům řadíme:
- **nedostatečné množství denního světla** v průběhu dne;
- **oslňování**, způsobující překročení adaptačních schopností lidského zraku;
- **rušení**, přičemž světlo interferuje s nějakou lidskou činností (pozorováním, spánkem apod.);

a do nepřímých účinků zařazujeme:

- **narušování pocitu pohody**, vznikající psychicky negativně vnímaným světlem dotčenou osobou (emoční stres; podíl mají i osobnostní rysy pozorovatele);
- **obtěžování**, představující nepříjemné ovlivňování našeho prostředí (popř. i osobních práv).

Příznivé účinky lze ztotožnit s naší fyziologickou i psychologickou potřebou přírodního denního světla, na jejichž základě potom formulujeme **hygienické požadavky**. *Poz. Pozn.: Přitom přímé nepříznivé účinky světla většinou objektivizujeme pro standardního pozorovatele (např. měřením) a nepřímé (zda obtěžuje či stresuje) se snažíme posuzovat pro konkrétní osoby (např. psychologickými dotazníky).*

Hygienické požadavky

Hygienické požadavky se stanovují:

a) pro pobyt ve vnitřním prostoru (pobytové místnosti); k zdravému pobytu ve vnitřním prostoru v průběhu dne potřebujeme především **dostatečné množství přirozeného denního světla** (*fyzilogická potřeba pro řízení našich biorytmů a k podpoře imunitního i reprodukčního systému*). Toho dosahujeme především celkovým rovnoměrným osvětlením daného vnitřního prostoru denním světlem s ohledem na předpokládanou délku pobytu.

b) k přijatelnému zrakovému rozlišování (pracovní prostředí); kdy světlo potřebujeme k **přenosu informací** o našem vnějším okolí pro **zrakové vnímání** (*vidění; což je dynamický proces celé řady složitých jevů, založených na systému průběžného porovnávání nejen v oku, ale i v nervové soustavě a ve zrakovém centru mozku a na vjemu se podílí i naše vědomí*). I zde preferujeme přirozené denní světlo, protože nám zajišťuje vyšší jasovou adaptaci zraku (*zvyšuje odolnost proti oslnění*) a jeho dynamická proměnlivost nám snižuje možnou zrakovou zátěž.

c) pro celkovou pohodu; k zachování pohody (*zrakové a psychické*) je m. j. potřeba, aby kromě již zmíněného přirozeného denního světla byly eliminovány světlem vyvolávané **rušivé vlivy** (*např. oslnění, míhání světla, nevhodné prostorové či časové rozložení*) popř. odstraněna nadměrná zraková zátěž. Současně mají být zajištěny i další související požadavky např. na **proslunění, vizuální kontakt** s venkovním prostředím a popř. u umělých zdrojů index barevného podání.

Osvětlovací soustavy

K zajištění hygienických požadavků bývají navrhovány různé druhy osvětlovacích soustav. Pro denní osvětlení se v zásadě používají tyto osvětlovací soustavy:

- boční - světlo dopadá z boku (osvětlovací otvor je v obvodové konstrukci budovy);
- horní - světlo dopadá shora (osvětlovací otvor je ve střešní konstrukci);

- kombinované - kombinace horního a bočního osvětlení.

U **bočních osvětlovacích soustav** denního osvětlení (zvláště při dopadu světla jen z jedné strany), je průběh denní osvětlenosti charakteristický, exponenciálně klesá ze vzdálenosti od oken a jako hygienické kritérium se zde používá **minimální činitel denní osvětlenosti** (D_{\min}).

Použití boční osvětlovací soustavy je omezené především hloubkou osvětlovaného prostoru a „světlou“ výškou místnosti (v nízkých prostorech se dá osvětlit pouze úzký pás v blízkosti oken). Nepříznivě se na osvětlování boční soustavou může projevit i tloušťka obvodové konstrukce (ostění). Důležitá bývá i výška parapetu, která by měla umožňovat dostatečný přímý výhled z okna (vizuální kontakt s okolím).

Výhodou boční soustavy je většinou snadná údržba (dostupnost oken) a možnost instalace regulačních zařízení (jak proti oslnění, tak i proti tepelné zátěži či unikům tepla; např. žaluzie, okenice apod.). Soustavy jednostranného bočního osvětlení se běžně používají u vícepodlažních budov, k osvětlování menších místností (např. byty, učebny ve školách, nemocniční pokoje v nemocnicích apod.).

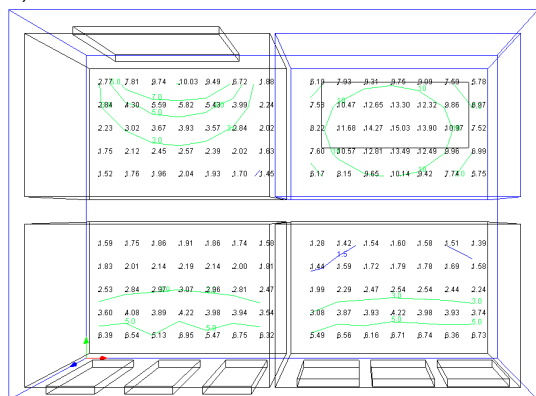
Pro používání **horní osvětlovací soustavy** denního osvětlení je typické rovnoměrné osvětlení celého osvětlovaného prostoru, bez ohledu na jeho velikost či vnější zastínění (např. jednopodlažní pavilony). Jako hygienické kritérium se zde používá **průměrný činitel denní osvětlenosti** ($D_{\text{prům}}$).

Pro úroveň osvětlení jsou rozhodující rozměry světlíků a jejich rozmístění. S rostoucí světloú výškou jejich účinnost částečně klesá. U horních osvětlovacích soustav je náročnější provádět dostatečnou údržbu (např. odstranění sněhu ze světlíků), a i zde mohou být požadována různá regulační zařízení (např. i pro omezení tepelné zátěže).

Při použití pouze horní soustavy k osvětlení pobytových prostorů je potřeba zajistit i vizuální kontakt s vnějším okolím (otvor v obvodové konstrukci budovy).

V praxi se lze setkat i s kombinací obou soustav, čili současné používání oken i světlíků - **kombinované soustavy**.

Příklady osvětlovacích soustav (stejná plocha osvětlovacích otvorů):



Obr.1.

a) boční soustava - s jedním oknem uprostřed; těsně dodržen požadovaný činitel D_{\min} , ale značná nerovnoměrnost osvětlení v prostoru;

b) horní soustava – jeden světlík; dodržen požadovaný průměrný $D_{\text{prům}}$ i rovnoměrnost, ale chybí vizuální kontakt s vnějším okolím;

c) boční soustava – s třemi okny na výšku (v 2,4 m), **splněny všechny hygienické požadavky**;

d) boční soustava – stejná tři okna na šířku (v 1,8 m); nedodrženy hygienické požadavky pro pracovní prostředí.

Architektonické hledisko

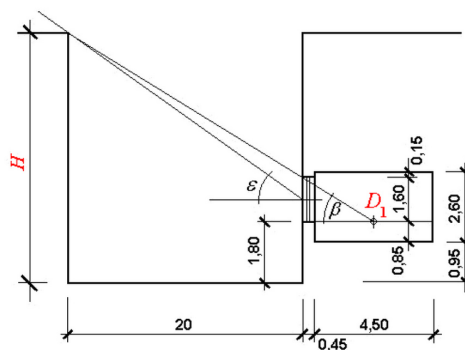
Od prvopočátku bydlení je možné sledovat důslednost našich předků řádně osvětlovat vnitřní dispozici bydlení.

Na denní osvětlení a proslunění vnitřních prostor má vliv šířka ulice, jednotlivé výšky budov, orientace oken ke světovým stranám a umístěním osvětlovací soustavy v prostoru. Důležitým aspektem je i výška, šířka okna, výška parapetu, výška nadpraží, světlá výška a hloubka místnosti. Denní výpočet osvětlení a proslunění je také ovlivněn, za jakým účelem bude vnitřní prostor užíván.

Marcus Vitruvius Pollio, římský architekt, inženýr a teoretik. Vitruvius provedl pokus pro obytnou místnost běžných půdorysných rozměrů 4,5 x 3,5 m, světloú výšky 2,6 m, okno v ose místnosti šířky 2,3 m, výšky 1,6 m, parapetu 0,85 m, nadpraží 0,15 m.

Uvažoval s ulicí širokou 20 m, okno je stíněno protější řadou domů výšky H (m). Posuzovaná obytná místnost je v nejnižším nadzemním podlaží. Parapet okna je 1,8 m nad úrovní chodníku.

Schéma uspořádání je na obr. 2. Přístup oblohového světla by neměl být rušen alespoň od středu obytné místnosti, čemuž odpovídá úhel $\beta = \arctg(1,6/2,7) = 30,65^\circ$. Maximální výška zástavby pro tento případ vychází. $H1 = 1,8 + 22,7 \cdot \text{tg}(30,65^\circ) = 15,25 \text{ m}$



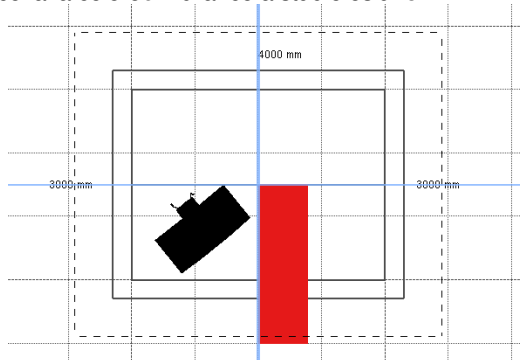
Obr.2.Geometrický model, deset knih o architektuře

Marcus Vitruvius Pollio žil v 1.století př.n.l. Z toho je patrné, že minimálně od tohoto století je snaha lidí se zabývat kvalitním osvětlením našeho obydlí.

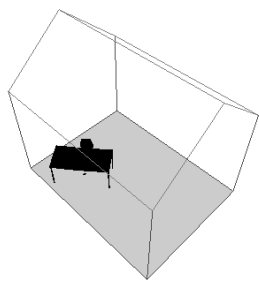
Osvětlení podkrovní

V současné době je snaha využívat podkrovní prostory jako půdní byty. Vybudovávat na vodorovné střeše střešní nástavby. I zde je zapotřebí navrhovat vnitřní prostory z hlediska osvětlení, oslnění místností.

Jednoduchý nástroj, VELUX Daylight Visualizer, vytváří fotometrické analýzy, stanovuje činitel denního osvětlenosti, zpracovává celoroční bilanci a studie oslnění.



Obr.3.půdorys podkrovní místnosti



Obr.4. Axonometrie podkrovní místnosti
Doporučené výpočetní simulační programy vyhovují požadavkům ČSN 73 0580-1

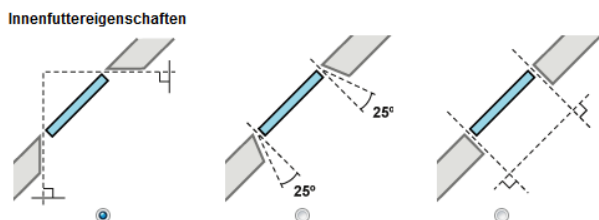
Při projekčním návrhu musíme zhodnotit, do jakého typu zastřešení střešní okna navrhujeme.

Jedná se především o vyhodnocení základních návrhových údajů

Střeška – je stavební konstrukce uzavírající zhora budovu a chránící budovu před nepříznivými povětrnostními vlivy.

Podle sklonu dělíme obecně střechy na

- Rovná střecha (jedná se o plochu střechu, úhel je minimální, střecha velmi nízkého sklonu)
- Pultová střecha
- Sedlová střecha (Tvoří ji **dvě šikmé roviny, které se protínají ve hřebenu střechy** a vycházejí z okapů).
- Sklon střešní krytiny
- Orientace budovy ve vztahu k světovým stranám
- Stanovení velikosti posuzované místnosti
- Navrhnout, kde se objekt nachází (zeměpisné údaje).

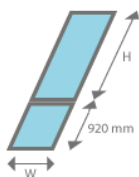


Obr.5. Typ umístění střešního okna

Fenstergröße wählen

Größe (W X H)

780 x 1800



Obr.6. VNávrh velikosti střešního okna

Tento program velice pomáhá architektům a projektantům, je doplňkem pro modelovací a vizualizační nástroje. Při vyhodnocení činitele denního osvětlení lze jednoduše zjistit, zda navržené prostory vyhovují normám.

Mezi kvalitní modelovací a vizualizační programy patří Rhinoceros 5.

<http://www.velux.cz/odbornici/architekti-a-projektanti/ke-stazeni/vizualizery>

Okna v energeticky efektivních domovech

Velikost okna, jeho styl, umístění na fasádě, rytmus, symetrie, estetický dojem umocňuje tvarosloví budovy.

Správnému návrhu velikosti a umístění otvorů pro truhlářské prvky musíme věnovat nutnou pozornost.

Okna vybírat s ohledem na koncept budovy, použitých materiálů v budově.

Nejslabším článkem obalové konstrukce jsou otvory pro truhlářské prvky. Okna jsou možnými místy pro tepelné ztráty místnosti, popřípadě pro přehřívání místnosti.

Revitalizace objektu

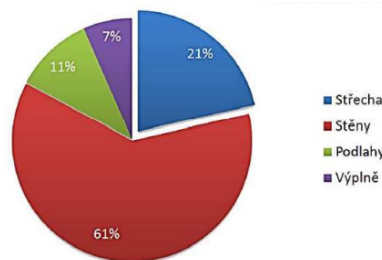
Cílem článku je seznámit se všemi hlavními činnostmi při projektové přípravě, projektu a při realizaci stavby, ukázat jak postupovat při návrhu revitalizace. Architekt, statik, profesionální stavitel se musí vyrovnat s podmínkami vlastního objektu, okolím budovy, s urbanistickými požadavky a architekturou budovy. Architekt musí hledat taková řešení, která nepočítají s nadměrně vysokými náklady na technická zařízení, ale nalezené řešení revitalizace budovy plně akceptuje současné ČSN a předpisy týkající se výstavby budov.

Mnohdy mají jiné představy vlastníci objektu na revitalizaci objektu ve vztahu k současným ČSN a jiným předpisům týkajících se výstavby, případně revitalizace budov. Při nekvalitně zhotoveném projektu, ale i při nedodržení návrhu kvalitního projektu, technologické nekázně stavební firmy, dochází na daném rekonstruovaném objektu k vzniku vad a poruch.

Jedním z nejdůležitějších kritérií je návrh okenních otvorů. Projekčním návrhem ovlivňujeme nejenom tvarosloví budovy, ale i energetiku vlastního objektu. V současné by jsme měli navrhovat revitalizace i nové budovy udržitelnou výstavbou. Předimenzováním okenních otvorů zvyšujeme energetickou spotřebu celého objektu. Jedná se o topení, chlazení, osvětlení, stínění atd.



Obr.7. Varianty umístění truhlářských prvků



Obr.8. Podíl ploch jednotlivých typů konstrukcí

Termín fyzikálně – energetické kvalifikace budov vyjadřují dvě související kategorie:

- Energetická kvalifikace budovy, kterou vyjadřuje měrná spotřeba tepla na větrání, chlazení, topení, přípravu teplé vody.
- Fyzikální kvalifikaci obalových konstrukcí.

Návrhem okenních otvorů má vliv na akumulaci teploty místností, průběhu teplot vnitřních stěn.

Sklo umožňuje vizuální propojení interiéru s exteriérem. Vliv prosklení fasády na udržitelnou výstavbu a návrh vhodného systému zasklení by měl vycházet z projekčního návrhu vnitřního prostoru budovy. Energetická propustnost $g > 0.50$, umožňující vstup slunečního záření do objektu. V současné době rozlišujeme několik kategorií energeticky úsporných domů:

- Nízkoenergetický dům (NED).
- Pasivní dům (PD).
- Nulový dům (ND).
- Aktivní dům (AD).

Energetický dům a pasivní dům spotřebují na vytápění oproti současným domům přibližně 1/3 energie. Zisky pocházejí především ze slunečního záření a vnitřních zdrojů tepla získaných z provozu budovy. V těchto domech se děje výměna vzduchu pomocí řízené ventilace.

Nízkoenergetický dům - NED

- Střecha < U 0.16 w (m²K).
- Okna < U 1.20 w (m²K).
- Stěna < U 0.20 - 0.25 w (m²K).
 - Podlaha na terénu < U 0.30 w (m²K).

Pasivní dům - PD

- Střecha < U 0.10 - 0.15 w (m²K).
- Okna < U 0.60 - 0.80 w (m²K).
- Stěna < U 0.12 - 0.18 w (m²K).
- Podlaha na terénu < U 0.15 - 0.22 w (m²K).

Stavebně fyzikální vlastnosti skla

Izolační skla v současné době splňují náročné požadavky:

- Zvýšení tepelné pohody uvnitř objektu.
- Zvukově izolační vlastnosti.
- Podstatné snížení energetických tepelných ztrát.
- Ochrana proti slunečnímu záření.
- Zamezení rosení skel.
- Solární faktor je jed z nejdůležitějších charakteristik zasklení.

složení	tl.	hm.	plyn	U _g EN 673 W/m ² K	R _w dB	korekce R _w			bezpečnost		g	Lt	Lr	stínící koeficient SC	UV
						C dB	Ctr dB	EN 12600	EN 356						
standart	24-36	20-50	Ar	2,6-2,7	30						69-78	77-82	14-15	0,79-0,89	33-44
bezpečnostní, vrstvené	27-30	25-30	Ar	1,1	37 až 39	-3 až -2	-7 až -5	1B1	P2A	55-58	77-79	12	0,63-0,67	0-3	
protihlukové	42-52	45-65	Ar	0,7	39-50	-2 až -1	-6 až -3	1B1	P2A	45-48	66-69	14-15	0,52-0,56	0-19	
bezpečnostní	43-53	35-40	Ar	0,5-0,6				1B1	P2A	34-47	56-70	15-31	0,39-0,54	0-2	
protisluneční	44	35	Ar	0,6						26-39	50-54	13-39	0,29-0,45	8-16	

Obr.9. Katalog izolačních skel

TECHNICKÉ ZKRATKY:

- Ug : součinitel tepelného prostupu skla.
- Rw : zvuková neprůzvučnost skla dálnice.
- g : prostup solární energie do interiéru.
- Lt : prostup světla do interiéru továrny s převážně středními a vysokými frekvencemi.
- Lr : světelná reflexe zpět do exteriéru.
- SC : stínící koeficient - městská doprava ochrana zdraví.
- UV: prostup UV záření do interiéru.

Výpočet součinitele prostupu tepla U_w okenních otvorů dle ČSN 73 0540-2.

Příklad využití moderních systémů

Jednotlivé stínící prvky jsou sestaveny na základě funkčnosti optické clony fotoaparátu. Podle intenzity venkovního osvětlení jednotlivé optické clony se uzavírají, otevírají. Při pohledu na venkovní fasádu optické clony působí velice plasticky.



Obr.10. Arabský institut, Paříž – pohled na venkovní fasádu

Závěr

Základním úkolem památkové péče je pečovat o celkový stav stavebního, architektonického anebo i jiného díla. Úkolem je obnova architektonického díla a jeho vrácení do života společnosti s možností nové náplně - zaměnění funkce staré za funkci novou. Návrh technického zabezpečení musí být pak plně svázán s architektonickým návrhem. V mnohých případech se jedná o nemalý zásah do podstaty objektu. Při rekonstrukci budov je nutno předně provést kompletní zmapování nosných a výplňových konstrukcí. Zaměřit se na zjištění možných poruch v budově, zjistit příčiny vzniku poruch a navrhnout opatření k odstranění příčin poruch v budově. Historická budova má velký význam pro dokonalost zpracování veškerých stavebních i uměleckých složek. Celkovým tvarem a v nemalé míře zvládnutím architektonické kompozice.

Jednotliví účastníci výstavby by se měli zamyslet nad tím, že architektura, technické a provozní vztahy mezi současností a minulostí se kvalitativně posouvají směrem dopředu. Důležité je provádět citlivě rekonstrukce budov tak, aby budovy si svou hodnotu zachovaly i přes staletí.



Fig.11.Návrh nové administrativní budovy

Budova je živoucí organismus, který v sobě ukrývá dispoziční vazby, provozní vazby, technologické vazby, důsledně by se měla budova integrovat v prostoru pro něj určeném. S ohledem na členitost stávajícího stavebního bytového fondu, jeho morální a fyzickou zastaralost vystupuje do popředí nutnost tento vzniklý stav řešit. Výpočetní programy na výpočet simulace osvětlení interieru budovy nám umožňují kvalitně navrhnout a posoudit historické budovy ve vztahu k budoucím uživatelům budovy. Vliv denního světla v budově má nezanedbatelný význam pro bilanci spotřeby energie v budově. Vliv světla na energetickou bilanci v průběhu slunečních dní je nezanedbatelný. Aby v důsledku slunečního záření nedošlo

k přehřívání budovy, je zapotřebí použít stínící techniku. Norma ČSN 73 0580 řeší souhrn stavebně – fyzikálních požadavků kladených na budovy z hlediska denního osvětlení.

References

REFERENCES

- [1] Sorenson, M.: Vitamin D3 and Solar Power for Optimal Health, 2008;
- [2] Vrbík, P.: Principles of the Hygiene of Lighting Technology, 12th European Lighting Conference, LUX EUROPA Kraków 2013, p. 357 – 360;
- [3] **VELUX Daylight Visualizer** je jednoduchým nástrojem, který umožňuje architektům a projektantům vytvářet vizualizace a fotometrické analýzy, stanovit činitel denní osvětlenosti a zpracovat celoroční bilance a studie oslunění,
http://viz.velux.com/Daylight_Visualizer/Download/default.aspx

[4] **VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer** je nástroj k vyhodnocení samostatně stojícího rodinného domu z hlediska energie, větrání a vnitřního prostředí. Intuitivní modelář umožní rychlou modelaci domu a zadání jeho parametrů, následná simulace vyhodnotí energetickou náročnost budovy. <http://eic.velux.com/>

[5] výpočetní program pro návrh a výpočet denního a umělého osvětlení **ASTRA**, <http://astrasw.cz/cs/wils-7>

[6] Rhinoceros 5, modelovací a vizualizační program

[7] Tepelné soustavy v budovách – dynamické stavy ČSN 06 0220

[8] Sdružené osvětlení ČSN 36 0020

Authors

Ing. arch. et Ing. Jiří Adámek, Ph.D., autorizovaná osoba pro pozemní stavby, ÚSI VUT Brno, e-mail: atelieraz@seznam.cz;

Doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D., Ústav elektroenergetiky FEKT VUT Brno, e-mail: baxant@feec.vutbr.cz;

Ing. Petr Vrbík, autorizovaná osoba pro hodnocení zdravotních rizik, CESA VUT Brno, e-mail: VrbikPetr@seznam.cz.