

МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА КОЛИЧЕСТВЕНИТЕ И КАЧЕСТВЕНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ДНЕВНАТА ЕСТЕСТВЕНА СВЕТЛИНА

Ива Петринска, Дилян Иванов

Резюме: Настоящата публикация представлява литературен обзор методите за количествена и качествена оценка на дневното естествено осветление. На база на разгледаните литературни източници е избран подход за оценка на качеството и количеството на естествената светлина, навлизаща в помещения със странични светлинни отвори. Поради динамиката на дневната светлина и необходимостта от поне едногодишни измервания на хоризонтална и вертикална естествена осветеност, в доклада са публикувани частични резултати за избраните количествени и качествени показатели, заснети със специално окомплектован лабораторен стенд.

Ключови думи: количествена и качествена оценка на естествено осветление, вертикална осветеност, коефициент на естествено осветление, отношение вертикална – хоризонтална осветеност

Abstract: The current publication presents the methods for qualitative and quantitative estimation of daylight in buildings' interiors. Based on literature overview an approach for daylight quality estimation in side lit rooms is chosen. Because of the dynamic character of the natural light and the necessity of at least yearlong measurement of the horizontal and vertical illuminance from daylight, the paper presents only partial results on the qualitative and quantitative characteristics of daylight, taken with specialized laboratory equipment

1. Въведение

Дневната светлина е единственият естествен светлинен източник и има динамичен характер. С времето се променят нивото на осветеност, създадена от нея, посоката ѝ на разпространение и спектралният ѝ състав, което оказва положително влияние върху хората - както визуално така и невизуално. Визуално разпределението на естествената светлина в дадено вътрешно пространство влияе не само върху видимостта, но и върху възприятието на дадено пространство. Посредством оптимизиране на използването на естествената светлина като основен светлинен източник е възможна значителна икономия на електрическа енергия за изкуствено осветление. Максималното използване на естествената светлина в сгради, обаче не трябва да води до визуален или топлинен дискомфорт. Ето защо е необходимо да се оцени оптималното съотношение на проникващата в помещенията естествена светлина и използването на слънцезасенчващи устройства. С цел максимално използване на наличната дневна светлина, архитектите интегрират слънцезащитни устройства още при проектирането на сградни фасади. Освен

изследванията по отношение възможностите за икономия на електрическа енергия за осветление е необходимо да се обърне внимание и на индивидуалните светлинни предпочитания на обитателите на сградното пространство по отношение на светлинните нива и проникването на директна слънчева светлина.

Настоящата публикация се занимава с литературен обзор на методите за оценка и определяне на качеството на дневната естествена светлина и приложението им за конкретни експериментални изследвания, извършени в ТУ – София. Целта на изследването е да се отговори на три основни въпроса а именно:

- Какви са преимуществата на дневната естествена светлина?
- Кои характеристики на естествената светлина оказват влияние върху методите за оценка на качеството ѝ?
- Какви изчислителни методи и методи за оценка на качеството на дневното естествено осветление съществуват и служат за изучаването му.

2. Литературен обзор

2.1. Преимущества на естествената светлина спрямо изкуственото осветление

Съществуват изследвания, показващи, че естествената светлина е предпочитана от хората [1], [2], тъй като тя е по – „удобна“ от изкуственото осветление и води до намаляване на стреса от работата. Според [3] хората предпочитат наличието на прозорци в работната им среда, като 73% от запитаните отбелязват, че наличието на осветителни отвори е важно и само 4% показват предпочитание на изкуствената пред естествена светлина. Според [4] болшинството офис служители и студенти вярват, че работата им е най-ползотворна, когато се намират в помещения, в които е налична естествена светлина.

Въпреки, че изкуственото осветление може да осигури добра видимост на зрителната задача, добавката на естествена светлина прави помещенията по-атрактивни. Според [5] кратковременните промени на естествената светлина водят до разнообразие по начин, който не може да се постигне с изкуствено осветление. Основната причина, поради която хората предпочитат естествената светлина, обаче е факта, че тя е полезна за здравето [6], [7], [8]. В мащабно проучване [9] е установено, че офис служители, които не са изложени на достатъчно дневна светлина страдат по-често от умора, болки в главата или очите. Понастоящем голям интерес представляват изследванията на влиянието на светлината върху циркадните ритми на човека [2].

2.2. Оценка на естественото осветление

Посредством постоянни промени в зрителния анализатор и адаптационната способност на мозъка, хората имат огромен естествен капацитет да променят чувствителността си към светлина [10], [11]. Освен това светлинните възприятия и предпочитания варират в широки граници от човек до човек [10], [2]. Това прави качеството на естествената светлина трудно за оценяване. Когато става въпрос за оценка на естествената светлина, навлизаща през прозоречни площи е необходимо да се обърне внимание на два допълнителни критерия: естествената светлина се променя динамично и е необходимо дълготрайно изследване; яркостта на

прозоречните площи не може да бъде разграничена от съдържанието и приятността на гледката. Психологическият аспект на възприятието на естествената светлина не може да бъде пренебрегнат. Той може да бъде изследван с помощта на субективни критерии за оценка [12]: колко естетична е компонентната на естествената светлина (прозорец, щори, материали); колко привлекателни са светлинните ефекти в помещенията (разпределение на светлината, светлинни лъчи, отражения, цветове); доколко приятна и необходима е гледката навън.

2.3. Осветеност на работното място и равномерност на осветеността

Осветеността е оценка за количеството светлина, което попада на дадена площ от определена повърхност. Обикновено стандартите за осветление поставят изискване за определено минимално ниво на хоризонталната осветеност на работната повърхност. В европейския стандарт EN 12464-1 [13] са оказани минимални нива на хоризонталната осветеност за различни типове помещения. Тъй като нивата на естествена осветеност варират с времето, тези изисквания важат основно за изкуственото осветление. В помещения с налична дневна светлина, предпочитаните нива на осветеност от електрическото осветление зависят от разстоянието на работната повърхност до прозоречните площи [2]. Съществуват множество изследвания, които показват, че като цяло в работните пространства се предпочитат по-високи нива на осветеност от предписаните в стандарта [16], [14], [15]. Според [17] ако слънцезащитните устройства се контролират автоматично, минималното ниво на осветеност в офис помещения трябва да бъде 650 lx на нивото на работната повърхност. Освен това вариацията на светлинните нива трябва да бъде в рамките на 40% от нивото на осветеността на работната повърхност.

Въпреки, че различни автори в разработките си показват предпочитания към по-високи нива на осветеност, според изследване на осветлението на съвременни офиси в Европа, повечето хора са доволни от светлинните условия на работните си места [11]. В същото изследване оценката на осветлението показва, че то почти не зависи от нивата на осветеност. Според [9] нивото на хоризонтална осветеност има незначително влияние върху представянето на работещите - те са по-чувствителни към промяната на нивата на естествената осветеност.

Резултатите в съществуващите литературни източници по отношение равномерност на осветеността и предпочитани светлинни нива не се съгласуват и не водят до единствен извод. Като цяло стандартите предписват минимално ниво на осветеност на работната повърхност, като предпочитанията на хората са към по-високи от предписаните осветености. Също така са приемливи по-високи отношения между осветеността на работната повърхност и обкръжението ѝ, отколкото стандарта предписва [18], [19], [14]..

2.4. Вертикална осветеност

Понастоящем се правят множество проучвания на възможността за използване на вертикална, а не хоризонтална осветеност като основна количествена оценка на осветлението. Това се налага от факта, че офис работата е свързана с използването на компютъри и човешките невизуални нужди от естествена светлина изглежда се отнасят по-скоро за нивата на вертикалната осветеност, отколкото на хоризонталната такава [20], [21], [22], [23]. Литературата все още не дава

ясно и изчерпателно обяснение на въпроса какви трябва да бъдат нивата на вертикалната осветеност. Европейският стандарт EN 12464-1 [13] поставя изискване за средна цилиндрична осветеност, която представлява средна вертикална осветеност на повърхността на цилиндър, която трябва да бъде поне 50 lx с минимално ниво на неравномерността на осветеността $U_0 > 1,10$. В [20] е установено, че вертикална осветеност на нивото на око от 1000 до 2000 lx се приема нормално и не води до заслепяване, но такива високи нива на осветеност не се постигат през целия ден.

2.5. Коефициент на естествена осветеност (КЕО), Автономност на естествената светлина (DA) и полезна естествена осветеност (UDI)

КЕО е много използвана мярка за определяне нивата на естествена осветеност в помещения. КЕО представлява отношение между осветеността в помещението и дифузната съставка на осветеността навън в същото време [24], [25]. Разпределението на яркостите при тези условия се дефинира по формулата на Муун и Спенсър [26]:

$$L(\alpha) = L_z \frac{1+2\cos\alpha}{3} \quad (1)$$

където $L(\alpha)$ е яркостта на небосвода, L_z е яркостта при зенит и α е ъгъл на издигане на слънцето.

Небесната компонента е най-важната компонента на КЕО. Други фактори, които му влияят са компонентите на вътрешно и външно отражение и светлинните загуби в прозорците. КЕО може да бъде определен по изчислителен и експериментален начин. Най-често този показател се изчислява по формулата [25]:

$$КЕО = (SC + ERC + MF \cdot IRC) C_g \quad (2)$$

където КЕО е коефициента на естествена осветеност SC е небесната компонента, ERC е компонентата на външното отражение, MF е експлоатационен фактор, IRC е компонентата от вътрешно отражение и C_g е коефициент, зависещ от остъклеността.

В много държави стандартите за естествено осветление предписват минимална стойност на коефициента на естествена осветеност в помещението или на височината на работната повърхност [27]. Минималните нива варират от 0.75% до 2%. Коефициент на естествено осветление от 1% е минималното ниво при което естествената осветеност се възприема като преобладаваща от хората [28], [18]. Когато КЕО е по-голям от 3%, съответното работно място се възприема като много добре осветено с естествена светлина. В [18] е доказано, че при стойности на КЕО по-големи от 5% може да има заслепяване, особено при работа с компютър. Според [28] при стойности на КЕО над 10% се появяват и проблеми с инфрачервената компонента на слънчевата радиация. Научна обосновка на гореспоменатите стойности и адекватността на показателя КЕО за описание на качеството на естественото осветление е дадена от [29]. Недостатъците на този показател са, че: по дефиниция не би следвало до работната повърхност, на която се прави измерването на осветеността да достига пряка слънчева светлина, а навън се отчита само дифузната съставка на осветеността; измерените стойности на този показател варират значително при условия на плътна облачност; той се определя трудно при

ясно небе, тъй като се променя с позицията на слънцето; осветлението на повърхности, различни от работната оказва решаващо влияние върху възприятието на пространството като осветено. Това налага търсенето на допълнителни критерии за оценка на количеството и качеството на дневното естествено осветление. Според [20] такъв индикатор е отношението на вертикалната и хоризонтална осветеност (ВХ) за дадено работно място. Той може да се използва като показател за оценка на естественото осветление тъй като: вариациите на КЕО в дадено пространство при определени условия са значително по-големи от тези на ВХ; ВХ дава информация за посоката на разпространение на навлизащата в помещението светлина; ВХ носи информация за качеството на осветлението по отношение на заслепяването; вариацията на ВХ с времето дава информация за промяната на разпределението на светлината в пространството; върху промяната на ВХ по-голямо влияние има вида на прозоречните площи, отколкото атмосферните условия. По абсолютните стойности на показателя ВХ може да се съди за наличие или отсъствие на директна слънчева светлина, заслепяване, контраст и баланс на естествената осветеност в пространството.

Като алтернатива на коефициента на естествена осветеност е възприето да се използват и базирани на климата измерватели за естествена осветеност. Най-често използваните такива величини са автономност на естествената светлина (DA) [30] и полезната естествена осветеност (UDI), [31]. DA се дефинира като процента часове от годината, през които прага на минимална осветеност се осигурява само от естествената светлина [30]. Прага на осветеността, който се използва при изследванията е 500 lx. Dietrich предлага да се изисква стойност на DA от 30% за офиси. UDI използва два прага за определяне на времето от годината, през което има прекомерно големи и съответно малки количества естествена светлина [31]. Горният праг е определен като 2000 lx, а долният – 100 lx.

2.6. Абсолютни яркости и яркостни отношения

Яркостта е мярка за количеството светлина, излъчвана от дадена повърхност в определена посока. Хората най-общо предпочитат вътрешни пространства с ярко осветени стени и тавани, с висока стойност на яркостта [32], [18], [19]. Абсолютната стойност на яркостта, определена в различни експерименти варира, което показва, че тя не е добра мярка за определяне на визуалния комфорт. Яркостните отношения описват по-добре възприеманата от човека яркост на околното пространство. Няколко стандарта препоръчват яркостно отношение между зрителната задача (компютърен екран или лист хартия) и непосредственото ѝ обкръжение от 3:1 (ергорама) и отношение на яркостите от 10:1 между задачата и по-широкото обкръжение (панорама) [18], [33]. При естествено осветление тези стойности често се надвишават, тъй като хората толерират по-високи светлинни нива от естествена светлина, отколкото от електрическо осветление [34], [35], [36]. Остава неясно до какво ниво яркостният контраст е приемлив [18], [35]. В [20] е определено, че отношението между ярки източници и околните повърхности не трябва да е повече от 40:1, но е за предпочитане да бъде 20:1.

Съществуващите стандарти и препоръки за осветление се базират основно на визуални критерии. Резултати от изследване на влиянието на светлината върху

циркадните ритми все още не са интегрирани в нормите. Изискванията за поддържане на определени светлинни нива се базират на статични ситуации, докато естествената светлина има динамичен характер, който е приятен за хората. В [21] е направено заключението, че целта за поддържане на постоянно ниво на осветеност (от естествена и изкуствена светлина) на работната повърхност в офиси с налично естествено осветление не е подход, който отговаря на човешките нужди от светлина. Вероятно е невизуалните ефекти да бъдат включени в стандартите в бъдеще, като вертикалната осветеност на нивото на окото е най-значимата оценка за тяхното действие. Според [20], [37] експозицията на по-високи нива на вертикалната осветеност през деня от характерните днес нива, а именно 1000-2000 lx вместо 200 до 500lx имат положителен ефект върху качеството на нощния сън. Според [23] спектралното разпределение на светлината също трябва да бъде измервано, тъй като светлинната чувствителност на циркадната система е различна от тази на зрителния анализатор (480 nm срещу 555nm пик). В [37] е установено, че цвета на светлината влияе върху качеството на съня.

2.7.Заслепяване от естествена светлина

Един от основните недостатъци на естествената светлина е, че тя може да причини заслепяване, което от своя страна може да повлияе негативно работоспособността на хората [9]. Могат да бъдат разграничени два типа заслепяване: дискомфорт и физиологично заслепяване. За разлика от дискомфорта, заслепяването прави виждането невъзможно [38], [18]. Съществуват много модели за оценка на заслепяването от изкуствено осветление. Заслепяването от естествената светлина, обаче изглежда по-лесно за прогнозиране, отколкото са моделите на заслепяване от електрическо осветление [2]. Именно затова са създадени няколко метода за оценка на заслепяването от естествена светлина, най-използваните от които са DGI [26], DGIN [39], PGSV [40], and DGP [41]. За да се определи възможността за поява на заслепяване може да се използват и яркостния контраст и яркостните отношения в помещенията. За този тип анализ могат да бъдат използвани яркостни хистограми [42], [43]. Този вид хистограми могат да се базират на снимки от HDR камера. За обработка на снимките може да се използва специализиран софтуер Radiance.

3.Методи за оценка на естествената светлина

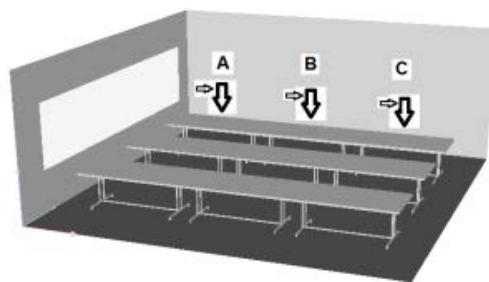
Съществуват много инструменти за оценка или измерване на светлинните нива във вътрешни пространства. Използват се програми за светлинни симулации за изчисляване на нивата на естествена осветеност в новостроящи се сгради. Такива са Radiance, Desktop Radiance, Adeline, DAYSIM, Dialux, ReluxSuite, Daylight Visualizer. Тези програми имат недостатъка, че не включват възможността за анализ на гледката навън и визуалните качества на прозорците. Преди бързото развитие на компютърните технологии, проектантите и изследователите са използвали числови методи, диаграми и/или таблици. В [44] тези похвати са разделени на следните категории: уравнения, прости стъпкови методи; луменови методи, таблици, номограми, протрактори, точкови диаграми, диаграми на Уолдрам, методи за градски анализ, контрол на заслепяването. В гореизброените методи за оценка не са включени слънчевите диаграми, които дават яснота за периода от време,

през който в дадено пространство би навлиerala естествена светлина в условия на ясно небе [34]. Не са разгледани и методите за оценка чрез интервюта и въпросници по отношение на предпочитанията на хората за светлинната ситуация в различни помещения (Post Occupant Evaluations POE).

4.Подход за експериментално изследване на качеството на дневната светлина и експериментални изследвания

Фокусът на настоящото изследване е насочен към работата на хората през светлата част от денонощието. Според [20] светлинният поток, попадащ върху ретината е определящата величина за оценка на светлинната експозиция на човешкото око. Тази величина, обаче не може да бъде директно използвана, тъй като е невъзможно коректното ѝ измерване и определяне. Универсално измеримата и директно свързана с проектирането на осветителни уредби величина е вертикалната осветеност пред окото. Посредством измерване на хоризонтална осветеност на нивото на работната повърхност и вертикалната осветеност на нивото на окото при различна посока на наблюдение и позиция на наблюдателите в лабораторни условия при дневно естествено и смесено осветление се получава триизмерна карта на помещението, която показва като визуалните, така биологичните „тъмни и светли“ петна. Това е достатъчна информация за проектиране на здравословна светлинна среда.

В настоящото изследване са включени четири помещения – учебни лаборатории съответно със северно, южно, западно и източно географско изложение със странично естествено осветление фиг. 1. Във всички тях са разположени системи за измерване на хоризонтална осветеност – в три точки в дълбочина на помещението, разположени на най-задния ред работни места и измерване на вертикална осветеност за три ъгъла на наблюдение (напред и на 45 градуса наляво и надясно) на нивото на човешкото око (1.25 м) при седнал наблюдател. Зад датчиците за осветеност са поставени плоскости, които служат за симулация на засенчването от човешкото тяло над работната повърхност. Вертикалната и хоризонтална осветеност са извършени с калибрирани датчици с косинусна корекция. Разглежданите помещения се характеризират с бели стени и тавани и сив под. Столовете са бежови, масите – светло-зелени. Изкуственото осветление е изпълнено с Т8 люминесцентни лампи, монтирани по 4 в осветители с двойно параболична огледална решетка. Освен хоризонталната осветеност в помещението, системата за измерване включва и датчик, отчитащ дифузната съставка на осветеността навън. Заснемането на гореизброените стойности на естествената осветеност става на всеки 5 минути. Целта на изследването е измерването на хоризонтални и вертикално осветености в помещения с различно географско изложение за период от поне една година. Посредством тази информация могат да бъдат определени средни стойности на показателя КЕО, както и отношението $E_{\text{верт}}/E_{\text{хор}}$. Резултатите от извършените изследвания са показани в таблица 1.



Фиг. 1 Общ изглед на контролните помещения и точки

Таблица 1 Резултати от измерванията на хоризонтална и вертикална осветеност и ВХ отношение

Ориентация	Точка 1=0,5м от прозорците						Точка 2=1,5м от прозорците						Точка 3=3м от прозорците						Забележка			
	Ех, lx	Ев 0°, lx	Ев 0°/Ех	Ев 45°, lx	Ев 45°/Ех	Ев-45°, lx	Ев-45°/Ех	Ех, lx	Ев 0°, lx	Ев 0°/Ех	Ев 45°, lx	Ев 45°/Ех	Ев-45°, lx	Ев-45°/Ех	Ех, lx	Ев 0°, lx	Ев 0°/Ех	Ев 45°, lx		Ев 45°/Ех	Ев-45°, lx	Ев-45°/Ех
Исток	6400.00	2400.00	0.38	2800.00	0.44	1925.00	0.30	1700.00	1.03	2075.00	1.22	1027.50	0.60	540.00	415.00	0.77	1557.50	2.88	312.50	0.58	Смесен ден	
Запад	2740.00	1340.00	0.49	2820.00	1.03	790.00	0.29	584.00	380.00	0.65	802.50	1.37	243.50	0.42	160.00	111.00	0.69	290.50	1.82	103.00	0.64	
Север	1650.00	660.00	0.43	1405.00	0.91	605.00	0.39	603.00	360.00	0.72	740.00	1.47	225.00	0.45	120.00	130.00	1.08	245.00	2.04	85.00	0.71	
Юг	2840.00	1730.00	0.61	3070.00	1.08	1025.00	0.36	500.00	420.00	0.84	705.00	1.41	258.50	0.52	204.00	130.00	0.64	315.00	1.54	110.00	0.54	
Исток	2230.00	1960.00	0.88	3715.00	1.67	1075.00	0.48	670.00	1640.00	2.45	1980.00	2.96	888.00	1.33	255.00	220.00	0.86	305.00	1.20	198.50	0.78	Мрачен ден
Запад	3850.00	2320.00	0.60	3945.00	1.02	1271.50	0.33	662.00	330.00	0.50	780.00	1.18	230.00	0.35	242.00	160.00	0.66	395.00	1.63	142.50	0.59	
Север	4260.00	1808.00	0.42	3814.00	0.90	1068.00	0.25	1245.00	820.00	0.66	1790.00	1.43	480.00	0.39	420.00	250.00	0.60	664.00	1.58	172.50	0.41	
Юг	6050.00	1730.00	0.29	3070.00	0.51	1025.00	0.17	550.00	370.00	0.67	725.00	1.32	235.00	0.43	240.00	180.00	0.75	350.00	1.46	136.50	0.57	
Запад	1200.00	1400.00	1.17	2475.00	2.06	935.00	0.78	566.00	650.00	1.15	1235.00	2.18	425.00	0.75	275.00	260.00	0.95	585.00	2.13	218.00	0.79	Слънчев ден
Север	1528.00	1330.00	0.87	1915.00	1.25	765.00	0.50	507.00	380.00	0.75	880.00	1.74	240.00	0.47	280.00	170.00	0.61	385.00	1.38	130.00	0.46	
Юг	2600.00	2330.00	0.90	3305.00	1.27	1480.00	0.57	775.00	660.00	0.85	1105.00	1.43	417.50	0.54	400.00	420.00	1.05	605.00	1.51	290.00	0.73	
Запад	1150.00	1400.00	1.22	2135.00	1.86	805.00	0.70	530.00	700.00	1.32	1245.00	2.35	435.00	0.82	265.00	360.00	1.36	625.00	2.36	260.00	0.98	Слънчев ден
Север	1385.00	900.00	0.65	1675.00	1.21	555.00	0.40	485.00	420.00	0.87	880.00	1.81	270.00	0.56	230.00	135.00	0.59	347.50	1.51	127.50	0.55	
Юг	2370.00	2600.00	1.10	3690.00	1.56	1510.00	0.64	682.00	600.00	0.88	990.00	1.45	390.00	0.57	385.00	290.00	0.75	525.00	1.36	220.00	0.57	

5. Заключение и бъдеща работа

Естествената светлина, навлизаща в затворени помещения посредством странични светлинни отвори е източник на значителна вертикална компонента на осветеност, за разлика от осветителните уредби за общо осветление. Отношението $E_{\text{верт}}/E_{\text{хор}}$ в зоната на прозорците е определящо в случай на естествено осветление. Независимо от посоката на наблюдение и позицията на наблюдателя в условия на изкуствено осветление $E_{\text{верт}}/E_{\text{хор}}$ остава почти постоянно докато при естествено осветление се променя чувствително. Интерес представлява и сравнението на отношението $E_{\text{верт}}/E_{\text{хор}}$ в случай на естествено осветление и смесено такова, което е обект на бъдеща работа. След едногодишни изследвания на хоризонталната и вертикална осветености в помещения с различно географско изложение се предвижда статистическа обработка и обобщение на резултатите, на базата на които да се разработи алгоритъм за управление на изкуственото осветление в сгради.

6. Благодарности

Показаните в настоящата публикация резултати са свързани с разработка по договор 152ПД0065-01.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bodart, M., Deneyer, A., Analyse of the survey on the office workers' interest in windows, IEA 31, Subtask A, working document, 2004
- [2] Galasiu, A.D., Veitch, J.A., Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review, Energy and Buildings, Vol. 38, No. 7, 2006, p. 728-742
- [3] Roche, L., Dewey, E., Littlefair, P., Slater, A., Daylight in offices: occupant assessments, Proceedings of Lux Europa 2001, Reykjavik, Iceland, 2001, p. 435-440

- [4] Veitch, J.A., Gifford, R., Assessing beliefs about lighting effects on health, performance, mood, and social behavior, *Environment and Behavior*, Vol. 28, No. 4, 1996, p. 446-470
- [5] Collins, B.L., Review of the psychological reaction to windows, *Lighting Research and Technology*, Vol. 8, No. 2, 1976, p. 80-88
- [6] Edwards, L., Torcellini, P., A literature review of the effects of natural light on building occupants, National Renewable Energy Laboratory, 2002
- [7] Van den Beld, G. Van Bommel, W., Industrial lighting, productivity, health and well-being, 2001 Van der Linden, A.C., *Bouwfysica*, Utrecht/Zuthpen: ThiemeMeulenhoff, 2006
- [8] Figueiro, M.G., Rea, M.S., Stevens, R.G., Rea, A.C., Daylight and productivity – a possible link to circadian regulation, *Light and Human Health*, Proceedings of EPRI/LRO 5th International Lighting Research Symposium, Palo Alto, 2002, p. 185-193.
- [9] Heschong Mahone Group, Windows and offices: A study of office worker performance and the indoor environment, Technical Report for the California Energy Commission, 2003
- [10] Boyce, P.R., Human factors in lighting, 2nd edition, Lighting Research Center, London: Taylor & Francis, 2003
- [11] Nicol, F., Wilson, M., Chiancarella, C., Using field measurements of desktop illuminance in European offices to investigate its dependence on outdoor conditions and its effect on occupant satisfaction, and the use of lights and blinds, *Energy and Buildings*, Vol. 38, No. 7, 2006, p. 802-813
- [12] Fontoynt, M., Perceived performance of daylighting systems: lighting efficacy and agreeableness, *Solar Energy*, Vol. 73, No. 2, 2002, p 83-94 (www.sciencedirect.com)
- [13] European Standard EN 12464-1 Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places, 2011
- [14] Veitch, J.A., Newsham, G.R., Determinants of lighting quality 2: Research and recommendations, National Research Council of Canada, 1996
- [15] Logadottir, A., Christoffersen, J., Fotios, S.A., Investigating the use of an adjustment task to set preferred illuminances in a workplace environment, *Lighting Research and Technology*, Vol. 43, NO. 4, 2011, p. 403-422
- [16] Fleischer, S., Krueger, H., Schierz, C., Effect of brightness distribution and light colours on office staff: Results of the 'Lighting Harmony' project, Lux Europa 2001, Proceedings of the Ninth European Lighting Conference, Reykjavik, June 18-20, 2001, p. 76-80
- [17] Kim, S.-Y, Kim, J.-J., Influence of light fluctuation on occupant visual perception, *Building and Environment*, Vol. 42, No. 8, 2007, p. 2888-2899
- [18] Dubois, M., Impact of shading devices on daylight quality in offices; Simulations with Radiance, Lund University, Lund Institute of Technology, Department of Construction & Architecture, 2001
- [19] Newsham, G.R., Marchand, R.G., Veitch, J.A., Preferred surface luminances in offices, by evolution, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Vol. 33, No. 1, 2004, p. 14-29
- [20] Ariès, M.B.C., Human lighting demands: Healthy lighting in an office environment Eindhoven: Technical University of Eindhoven, Faculty of Architecture, Building and Planning, 2005
- [21] Begemann, S.H.A., Van den Beld, G.J., Tenner, A.D., Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 20, No. 3, 1997, p. 231-239
- [22] Cuttle, C., Towards the third stage of the lighting profession, *Lighting Research and Technology*, Vol. 49, No. 1, 2010, p. 73-93
- [23] Heschong, L, Roberts, J.E., Linking daylight and views to the reduction of sick building syndrome, Proceedings of Healthy Buildings 2009, paper 797
- [24] Van der Linden, A.C., *Bouwfysica*, Utrecht/Zuthpen: ThiemeMeulenhoff, 2006
- [25] Robbins, C.L., *Daylighting: Design and Analysis*, New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1986
- [26] Hopkinson, R.G., Glare from daylighting in buildings, *Applied Ergonomics*, Vol. 3, No. 4, 1972, p 206-215

- [27] Tiimus, P., Daylighting standardisation in northern Europe, MSc report, University College London, The Barlett School of Graduate Studies, 2007
- [28] Dietrich, U., Daylight - Characteristics and Basic Design Principles, Lighting Design: Principles, Implementation, Case Studies, 2006, p. 16-41
- [29] Roche, L., Dewey, E., Littlefair, P., Occupant reactions to daylight in offices, Lighting Research and Technology, Vol. 32, No. 3, 2000, p. 119-126
- [30] Reinhart, C.F., Walkenhorst, O., Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds, Energy and Building, Vol. 33, No. 7, 2001, p.683-697
- [31] Nabil, A., Mardaljevic, J., Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors, Energy and Buildings, Vol. 38, No. 7, 2006, p. 905-913
- [32] Wright, M.S., Hill, S.L., Cook, G.K., Bright, K.T., The perception of lighting quality in a nonuniformly lit office environment, Facilities, Vol. 17, No. 12/13, 1999, p. 476-484
- [33] Andersen, M., Light distribution through advanced fenestration systems, Building Research & Information, Vol. 30, No. 4, 2002, 264-281
- [34] Hopkinson, R.G, Bradley, R.C., Glare from very large sources, Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol. 55, No. 5, 1965, p. 288-297
- [35] Veitch, J.A., Psychological processes influencing lighting quality, Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol. 30, No. 1, 2001, p. 124-140
- [36] Parpaire, K., Baker, N.V., Steemers, K.A., Compangon, R., The luminance differences index: a new indicator of user preferences in daylight spaces, Lighting Research and Technology, Vol. 34, No. 1, 2002, p. 53-66
- [37] Hubalek, S., Brink, M., Schiertz, C., Office workers' daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood, Lighting Research and Technology, Vol. 42, No. 1, 2010, p. 33-50
- [38] Tuaycharoen, N., Tregenza, P.R., View and discomfort glare from windows, Lighting Research and Technology, Vol. 39, No. 2, 2007, p. 185-200
- [39] Nazzal, A.A., A new daylight glare evaluation method, Journal of Light and the Visual Environment, Vol. 24, No. 2, 2000, p. 19-27
- [40] Tokura, M., Iwata, T., Shukuya, M., Experimental study on discomfort glare caused by windows: Development of a method for evaluating discomfort glare from a large light source, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering – Transactions of Architecture Institute (Japan), No. 489, 1996, p. 17-25
- [41] Wienold, J., Christoffersen J., Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras, Energy and Buildings, Vol. 38, Issue 7, 2006, p. 743-757
- [42] Davies, M., Raynham, P., Osterhaus, W., Curtis, S., A different toolbox for glare studies – can new techniques improve our understanding of glare, LUX-Europa 2005, Proceedings of the Tenth European Lighting Conference, Berlin, 2005, p. 452-456
- [43] Osterhaus, W., Analysis of luminance histograms for the assessment of discomfort glare in daylight offices, Proceedings of Balkan Light, 2008, p. 155-164
- [44] Baker, N.V., Fanchiotti, A., Steemers, K., Daylighting in Architecture: A European Reference Book, London: CEC DGII/James & James, 1993 (Chapter 9: Evaluation and design tools, and Appendix F: Review of design tools)
- [45] Hygge, S., Löfberg, H.A., Post occupancy evaluation of daylight in buildings, Report of IEA Task 21/Annex 29, 1999
- [46] Meerdink, G., Rozendaal, E.C., Witteveen, C.J.E., Daglicht en uitzicht in kantoorgebouwen, DGMR, ISBP, 1988