

ÉPÜLETBURKOLAT TÖBBSZEMPONTÚ OPTIMALIZÁLÁSA A MEGVILÁGÍTÁS MINŐSÉGÉNEK FÜGGVÉNYÉBEN AZ ENERGIAHATÉKONYSÁG NÖVELÉSE ÉRDEKÉBEN

Szerző: **Dr. HARMATHY Norbert**, norbert.harmati@gmail.com

Intézmény: Újvidéki Egyetem, Műszaki Tudományegyetem, Építészmérnöki Kar, Újvidék

Témavezető: **Dr. MAGYAR Zoltán**, egyetemi docens

Intézmény: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

REZÜMÉ

A beltéri megvilágítás minősége jelentős téma az irodaházak burkolatának a tervezésében, mivel nagymértékben befolyásolja a felhasználók komfortérzetét és munkaképességét az irodai környezetben. A kutatás tárgya a beltéri fény teljesítményének a vizsgálata dinamikus fényszimulációval (Radiance programban) hatékony megoldások meghatározása céljából. A megfogalmazott módszer alkalmazható lesz az épületburkolatok felújításában, továbbá új irodaházak korai tervezési szakaszaiban. Az alaphipotézis kérdése, hogy lehetséges-e megfogalmazni és kifejleszteni egy numerikus modellt, amely hatékonyan javíthatja az irodaépületek energetikai jellemzőit többszemponútú optimalizálással és komparatív elemzéssel. A vizsgálat kiterjed a beltéri megvilágítás minőségének részletes elemzésére két érdekből:

- 1) Az irodákban levő beltéri fény minőségének a növelése és
- 2) A burkolat termikus tulajdonságainak a javítása az üvegezési arány csökkentésével.

A kutatás meghatározza az üvegezési arány, ablakgeometria és ablaktípus hatását az energiaigényletre a beltéri fényintenzitás, naptényező és térbeli fényszórás függvényében. Végül, egy összehasonlító elemzés lett elvégezve az összegyűjtött éves energetikai költségek és szimulált többzónás EnergyPlus termikus modell fűtési és hűtési igényei között. A dinamikus szimuláció eredményeiből meg lett állapítva az üvegezés paramétereinek a befolyása az épületmodell éves energiaigényeire mely elérte a közel 80%-os fűtési energiamegtakarítást.

Kulcsszavak: fényszimuláció, épületburkolat optimalizálás, energiahatékonyság

1. BEVEZETŐ

E kutatás egy részletes elemzést mutat be az épületek energetikaihatékonyságának javítása érdekében. Elemezve és optimalizálva lett az irodaépületek burkolatszerkezete és üvegezése az éves energiaigények függvényében. A kutatásnak két célja volt:

- 1) Egy hatékony módszer kifejlesztése az épületburkolat teljesítményének fokozása érdekében, és
- 2) Javaslatok megfogalmazása a tervezési döntéshozatal korai szakaszában új épületeknél vagy felújításra kényszerülő irodaépületeknél.

A kutatásban többszemponútú optimalizálási módszer lett alkalmazva az épületburkolat teljesítményének fokozása céljából. A három definiált kritérium szerinti többszemponútú


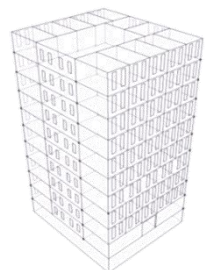
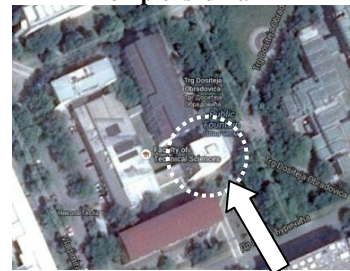
optimalizálás a beltéri fény minőségének a vizsgálatát foglalja magába, amely kihatással van az épületburkolat tervezésére. A beltéri fényszórás dinamikus szimulációval lett lefuttatva Radiance programban a részletes fényelemzés céljából. A vizsgálat kiterjed a beltéri megvilágítás minőségének részletes elemzésére két érdekből; az irodákban levő beltéri fény minőségének a növelése és a burkolat termikus tulajdonságainak a javítása, az üvegezési arány csökkentésével. E elemzések rávilágítanak a burkolaton tervezendő üvegezés tulajdonságaira mely segítségével hatékony alkalmazási lehetőségek fogalmazhatók meg az épületburkolat felújításában, továbbá új irodaházak korai tervezési szakaszaiban.

A kutatás célja egy numerikus modell megfogalmazása/kifejlesztése, amely hatékonyan javíthatja az irodaépületek energetikai jellemzőit. Az éves fűtési és hűtési energiaigény három fő üvegezési paraméter függvényében lett megállapítva: burkolatüvegezési arány (ÜA), ablakgeometria (AG) és anyagtulajdonságok (U-érték, napenergia nyereségi együttható (NENyE) és fényáteresztőképesség (FÁ)). A burkolatoptimalizálást követően egy összehasonlító elemzést végeztünk el a referencia épület energiaigényei és a újonnan tervezett többzónás termikus modell szimulált fűtési és hűtési energiaigénylete között, EnergyPlus programot alkalmazva. A dinamikus energia szimulációból meg lett állapítva az optimális burkolatüvegezés karakterisztikája az éves energiaigényletek függvényében.

2. ANYAGOK ÉS MÓDSZERTAN

A beltéri világítás, a napfény minősége, majd a felhasználók vizuális és termikus komfort elemzése számos kutatás témájának a része melyek az épületek energiahatékonyságára alapulnak [1-7]. Korábbi energia modellezésen alapuló kutatások kimutatták, hogy lehetséges termikus és világítási szimulációk segítségével megvizsgálni az épületek energiaigényleteit [8]. Az energiahatékonyság a burkolatüvegezés paramétereinek és a napsugárzás intenzitásának az elemzésében is megközelítendő témák voltak egyaránt [9, 10].

Az éves fűtési és hűtési energia terhelések meghatározásának érdekében egy többzónás tízemeletes termikus modell lett megszerkesztve az Újvidéken elhelyezkedő Műszaki Tudományegyetem központi irodaházáról, amelynek urbanisztikai és tájolási karakterisztikái az 1. Táblázatban láthatók.

Táblázat 1. Referens épület urbanisztikai és tájolási tulajdonságai			
Város: Újvidék Ország: Szerbia Vajdaság	Újvidék térképe Meteonorm-ból	3D termikus modell 10 emeletes irodaház	Műszaki Tudományegyetem kompleksza
Éghajlati övezet = III, 3 Szélesség = 45.333° Hosszúság = 19.850° Magasság = 84 m			
Az épület tájolása 30°-al Északtól az óramutató járásával ellentétes.	Műszaki Tudományegyetem kompleksza		Referens irodaház

A dinamikus szimulációhoz szükséges részletes éghajlati adatok a globális Meteonorm [11] adatbázisból lettek letöltve, melynek a kivitelező formátuma „epw” amely importálható a Radiance és az EnergyPlus dinamikus szimulátorba. Az éves éghajlati adatok 15 perces időintervallumokban vannak kivitelezve a Meteonorm programból.

Elsősorban a referens épület ki lett modellezve egy többzónás termikus modell formátumában. E termikus zónák szerkezete és megnevezése a szerepükhöz megfelelően pozicionáltak az épületben. Igénybevéve a kutatás fázisait, majd a modell összetettségét és szimulációs folyamatokat, öt program lett alkalmazva a vizsgálatban, amelyek a következők:

1. **Autodesk Revit Architecture** – geometriai modell szerkesztése [12]
2. **Autodesk Ecotect Analysis** és **Radiance** – szoláris analízis és dinamikus fényvizualizáció [13, 14]
3. **Sketchup Make** – többzónás termikus modell szerkesztése [15]
4. **NREL Open Studio** – többzónás termikus modell paramétereinek az adatbevitel és koordinálása [16]
5. **EnergyPlus** – dinamikus energiaszimuláció [17]

A referens épület energiafelhasználásának 12 hónapi költségei össze lettek gyűjtve az elmúlt 2012-es évből. E információk alapján komparatív elemzéssel lehetséges volt felmérni az optimalizált modell éves energiamegtakarítását minden szegmensben.

3. ÉPÜLETBURKOLAT OPTIMALIZÁLÁSA AZ FÉNYINTENZITÁS, NAPTÉNYEZŐ ÉS FÉNYSZÓRÁS FÜGGVÉNYÉBEN

3.1. Burkolatüvegezési arány (ÜA) és ablakgeometria (AG)

A természetes fény minősége befolyásolja a felhasználók komfortérzetét és javítja a beltér minőségét. Egyben a természetes fény pozitív hatással van az egészségre és az alkalmazottak termelőképességére. A burkolatüvegezési arány (ÜA) nagy mértékben befolyásolja az éves energiaigényletet fűtésre és hűtésre. Továbbá a kutatás magába foglalja az ablakgeometria (AG) elemzését és befolyását a beltéri fényszórásra. Az alkalmazott AG és ÜA az alábbi 2. Táblázatban van bemutatva.

Táblázat 2. AG, ÜA és üvegezési felület

AG	ÜA [%]	Iroda üvegezési felülete [m ²]	Ablak felülete [m ²]	Ablak mérete [m x m]
	20	1.79	0.89	0.94 x 0.94
	25	2.24	1.12	1.05 x 1.05
	30	2.68	1.34	1.16 x 1.16
	20	1.79	0.89	0.60 x 1.49
	25	2.24	1.12	0.60 x 1.86
	30	2.68	1.34	0.60 x 2.20
	20	1.79	0.89	1.40 x 0.64
	25	2.24	1.12	1.40 x 0.80
	30	2.68	1.34	1.40 x 0.96


3.2. Részletes fényvizualizáció adatbevitel Radiance programban

A fényvizualizáció betelepítése és a képkötés részletes adatbevitel és beállítása a Radiance Vezérlőablakban (eng. Radiance Control Panel) lett végrehajtva. A fényvizualizáció tulajdonságait a 3. Táblázat mutatja be. A futtatásban háromszoros fényvisszaverődés lett alkalmazva közepes fényszórás részletességgel és közepes képminőséggel. A elemző fényerősség skála 0-1000 lux.

A fényerősség és fényszórás elemzése számos szimulációt vett igénybe, melyek függenek a vizsgált dátumtól, időpontjától, égbolt tulajdonságaitól és az orientációtól. A

futtatás dátumai kéthavi időközökben a hónap közepét igénybevéve, 4 órás időpontokban (8.00h, 12.00h és 16.00h) lettek szimulálva.

Táblázat 3. Fényszimuláció beállítása a Radiance Vezérlőablakban

Fényerősség skála	Képkalkotás beállítása
	Run identifier: RCP
	Display type: Illuminance [lx]
	Max. Reflections: 3
	Lighting detail: Medium
	Lighting variability: Medium
	Image quality: Medium
	Scale: 1000
	Scale division: 10

Az első feltétel a vizuális komfort teljesítése és fenntartása volt, a beltéri fényerősség állandó határértékeken belüli tartása (350 és 500 lux). A fény minősége elemezve lett a fényszórási feltétel alapján is. Éves szinten összesen 720 szimuláció lett lefuttatva majd az eredmények részletes elemzésen mentek keresztül. Néhány fényszimulációból kiválasztott fényszórás és fényerősség kimeneteli Radiance program adatait a 4. Táblázat ábrázolja. A szimulációk során az ablakkeretek nem lettek igénybevéve.

Táblázat 4. Fényszimuláció eredményei (beltéri fényszórás és fényerősség szintek)

Date/time Sky condition	Orient.	20%	25%	30%	Base Case 50%
Sept/12h Sunny Sky	E				
	S				
	W				
May/8h Sunny Sky	E				
	S				
	W				
Jul/16h Sunny Sky	E				
	S				
	W				

Komparatív elemzéssel meglett állapítva, hogy a függőleges téglalapalakú ablakok beltéri fényszórásának a teljesítménye a legnagyobb, mivel az ablakmagasság elősegíti a mélyebb fénybehatolást a beltérbe, identikus üvegezési arányhoz és másik ablakformához viszonyítva.

A következő kritérium a naptényező számítása volt a termikus zónák térbeli középpontjában. A számítás a már említett üvegezési arányokra lett lefuttatva 20%, 25%, 30%, és referens modell esetén 50%. Összesen 16 szimulációt volt szükséges elvégezni és a kiszámított naptényező által meglehetett határozni a leghatékonyabb épületburkolati üvegezési arányt. Az beltéri vizuális komfortot telyesítő naptényező optimális értéke 2.0. A 16 szimulációból meghatározott értékekből az optimálistól a legkisebb eltéréssel való értékek lettek elfogadva. Az elfogadott üvegezési arányok és naptényezők az alábbi 5. Táblázatban vannak bemutatva.

Táblázat 5. Üvegezési arányok és naptényezők

Keleti irodák		Déli irodák	
30 %	Üvegezési arány	25 %	Üvegezési arány
1.97	Naptényező	2.05	Naptényező
Nyugati irodák		Északi folyósó	
30 %	Üvegezési arány	20 %	Üvegezési arány
1.78	Naptényező	1.89	Naptényező

Az elfogadott üvegezési arány tájolásonként a naptényező függvényében 30%-os a keleti és nyugati burkolaton és 25%-os a déli burkolaton ahol irodák helyezkednek el.

4. ENEGYPLUS ENERGIASZIMULÁCIÓ ADATBEVITELE

4.1. Épületszerkezet, kihasználtság, működési menetrend

A szimulációban alkalmazott épületburkolat a hőátbocsátási tényező (U-faktor) épületenergetikai előírásait igénybevéve lett kiválasztva a megfelelő hőszigetelés. A jelenlegi referens épület U-faktora $2.32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ szigetelés nélkül. E U-faktor nem telyesíti az épületenergetikai előírásokat emiatt a külső falak 140 mm-es ekspanált polisztirol lemezekkel lettek beborítva majd portland cementel befedve amely jelentősen csökkentette a külső falak U-faktorát $0.22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ -re. E hőszigetelés megfelel az előírt szerbiai követelményeknek és az európai normáknak [18, 19, 20].

A felhasználók által leadott belső energiaterhelések a következő lépések szerint lettek betáplálva az OpenStudio programban, melyet az energiaszimuláció követ:

1. Várható felhasználók száma - prediktív elemzés,
2. Foglalt irodaterületek kiszámításra,
3. Szabad irodaterületek meghatározása.

4.2. Alkalmazott üvegeztípusok és szerkezeti paraméterek

Üvegezés típusok szerint alkalmazott ablakparaméterek (U-faktor, napenergia nyereségi együttható (NENyE) és fényáteresztőképesség (FÁ)) a 6. Táblázatban vannak bemutatva. Az üvegezési típusok U-faktorának a választása $1.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ és $0.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ között volt. Nagy teljesítményű három-rétegű Pilkington Low-E üvegepanellszerkezetek is alkalmazva lettek a szimulációban [21]. A Low-E bevonat visszaveri az infravörös sugarakat melyek energiahordozók. Az épületben keletkezett energia ezúttal nem távozik jelentős

mennyiségben az üvegen keresztül. Az energia szimuláció futtatásával felmérhetők a fűtési és hűtési energiaigények és elemezhető az üvegezési paraméterek befolyása az éves energiaigényekre.

Táblázat 6. Ablaktípusok és paraméterek

Termikus modell	Ablakok
A1	két-rétegű, Pilkington Optifloat clear
A2	három-rétegű, One pane with Sun-Stop coating and Ag
A3	három-rétegű, Pilkington Planar + Optifloat + Optitherm
Termikus modell	Paraméterek
A1	U-faktor 1.3 W/(m ² K); NENyE 0.50; FÁ 0.73
A2	U- faktor 1.056 W/(m ² K); NENyE 0.338; FÁ 0.63
A3	U- faktor 0.7 W/(m ² K); NENyE 0.26; FÁ 0.52

5. EREDMÉNYEK ÉS DISZKUSSZIÓ

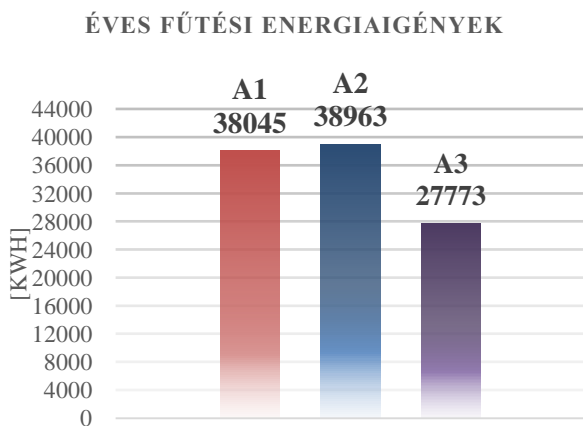
5.1. Éves energiahatékonyság

A fűtési és hűtési energiaigények meghatározását megelőzően az épületburkolat a következő három kritérium szerint lett kimodellezve:

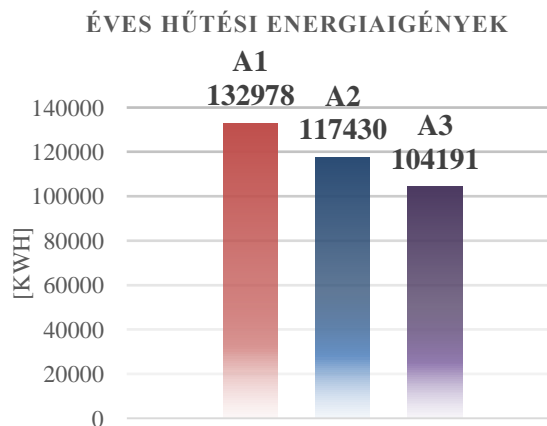
1. Beltéri fényszórás,
2. Beltéri fényintenzitás,
3. Naptényező.

A már bemutatott fényszimulációból kapott eredmények szerint atéglalap alakú függőleges ablakok hozzájárultak a nappali fény legmélyebb behatolásához és szórásához az irodákban. A keleti és a nyugati tájolású irodák 30%-os üvegezési arányt mutattak a fényintenzitás és naptényező függvényében, amíg a déli irodák 25%-os majd a folyosó 20%-os üvegezési arányt mutattak. Végül, a mesterséges automata-világítás szimuláció alkalmazásával meg lett állapítva az a éves villamosenergia követelménye, mely éves átlagban 70%-os energiacsökkentést érhet el, megfelelő üvegezés alkalmazásával.

A három termikus modellen elvégzett EnergyPlus szimuláció éves fűtési és hűtési energiaigényeit az 1. és 2. Ábra mutatja be. A legmagasabb éves energiaigényt az A1 modell magas NENyE koeficiense valósította meg, összesen 50 kWh/m²/év. Az A2-es modell valamivel alacsonyabb energiaigényt produkált 46 kWh/m²/év. Végleg az A3-as modell összesen 38 kWh/m²/év energiát igényel.



Ábra 1. Éves fűtési energiaigények



Ábra 2. Éves hűtési energiaigények

Az éves energiaigény csökkentése a három identikus energiaterhelésű, egy ugyanaz burkolat üvegezési arányú és épületszekezeti modellnél, a szimulációból produkált energiaigények az üvegezés paraméterek függvényében jelentősen változnak. Az éves energiaigények az A3-as modellnél 17% -kal voltak alacsonyabbak az A2-es modellhez hasonlítva és 24% -kal mutattak kevesebb mint az A1-es modellnél. Igénybe lett véve, hogy mindhárom ablaktípus megfelel a szerbiai épületenergetikai előírásoknak.

A legelőnyösebb energiaigénylet az A3-as modellnél lett kimutatva. A teljes éves energiamegtakarítás érdekében és a referens tízemeletes irodaépület energetikai felújítását sürgetően az optimalizált épületburkolatú modell energiateljesítménye összeletten hasonlítva a referens épület 2012-es energiafelhasználásával, melyet az alábbi 7. Táblázat mutat be.

Táblázat 7. Energiahatékonyság összehasonlítása

Referens irodaépület energiahatékonysága (2012-es energetikai költségek)			
	Fűtési energia [kWh/év]	Hűtési, világítási és elektromos berendezési energiaigénylet [kWh/év]	
Összes	378784	203810	
[kWh/m²/év]	110	59	
Felhasználói komfort	Nem teljesített	Nem teljesített	
Optimalizált burkolatú A3-as termikus modell			
	Fűtési energia [kWh/év]	Hűtési energia [kWh/év]	Világítási és elektromos berendezési energiaigénylet [kWh/év]
Összes	27773 EN 15251; Aneksz B, légcseré[20] + 37325 (fűtés) + 7330 (hűtés)	104191	106330
[kWh/m²/év]	19	32	31
Felhasználói komfort	Teljesített	Teljesített	Teljesített

A teljes energiaigény a legkedvezőbb A3-as esetben csökkenthetné az éves fűtési energiaigényletet mintegy 83%-kal. A szimulált hűtési energiaigénylet viszont 40%-kal magasabb az éves fűtési energiaigénylettől a belső karakterisztikus hőnyereség miatt, amely felhasználóktól és az elektromos berendezésektől adódik le.

6. ÖSSZEFOGLALÓ

A kutatás bemutatta az épületburkolat és az üvegezés karakterisztikáinak a jelentőségét az éves energiaigénylet csökkentésében és a felhasználói vizuális és termikus komfort elérhetőségében. Az üvegezési arány és ablakgeometria elemezhető a fényintenzitás, fényszórás és naptényező szempontjából az energiahatékonyság növelése céljából. A végeredmények kimutatták, hogy az többszempontból optimalizált burkolat 50%-ról 30 és 25%-ra csökkenthető a külső üvegezési arány. E optimalizált burkolatot követően kulcsfontosságú a épületszerkezet tulajdonságainak, majd a felhasználók és az elektromos berendezések belső energiaterhelésének a betáplálása az éves energiaigénylet meghatározása érdekében. Mivel számos paraméter szerepel az energiakövetelmények megállapításában, elkerülhetetlen a dinamikus szimulációs programok alkalmazása, mely segítségével

mindegyik paraméter befolyása elemezhető. Az optimalizált A3-as modell fűtési energiaigénylete mintegy 83%-kal alacsonyabb a referens épület éves igényitől.

A komfortparaméterek szerepe az energiahatékonyságban a további kutatási irányokhoz tartoznak az éves fűtési és hűtési terhelés csökkentése céljából.

REFERENCIA LISTA

- [1] D.H.W. Li, "A review of daylight illuminance determinations and energy implications," *Applied Energy*, vol. 87, pp. 2109–2118, 2010.
- [2] I.T. Dogrusoy, M. Tureyen, "A field study on determination of preferences for windows in office environments," *Building and Environment*, vol. 42, pp. 3660–3668, 2007.
- [3] K. Konis, "Evaluating daylighting effectiveness and occupant visual comfort in a side-lit open-plan office building in San Francisco, California," *Building and Environment*, vol. 59, pp. 662–677, 2013.
- [4] A. Roetzel, A. Tsangrassoulis and U. Dietrich, "Impact of building design and occupancy on office comfort and energy performance in different climates," *Building and Environment*, vol. 71, pp. 165–175, 2014.
- [5] A. Nabil, J. Mardaljevic, "Useful daylight illuminance: a replacement for daylight factors," *Energy and Buildings*, vol. 38, pp. 905–913, 2006.
- [6] N. Harmati, Z. Magyar, "Energy consumption monitoring and energy performance evaluation of an office building," *Proceeding of the Fifth German-Austrian IBPSA Conference BauSim*, Aachen, pp. 115–122, 22–24.09.2014.
- [7] N. Harmati, Z. Magyar and R. Folić, "Building energy performance evaluation from the comfort aspect," *Proceedings of the International Congress E-nova on FH Burgenland*, Pinkafeld, 13–15.11.2014.
- [8] F. Goia, M. Haase and M. Perino, "Optimizing the configuration of a facade module for office buildings by means of integrated thermal and lighting simulations in a total energy perspective," *Applied Energy*, vol. 108, pp. 515–527, 2013.
- [9] J.T. Kim, M.S. Todorovic, "Tuning control of buildings glazing's transmittance dependence on the solar radiation wavelength to optimize daylighting and building's energy efficiency," *Energy and Buildings*, vol. 63, pp. 108–118, 2013.
- [10] M.S. Mayhoub, D.J. Carter, "The costs and benefits of using daylight guidance to light office buildings," *Building and Environment*, vol. 46, pp. 698–710, 2011.
- [11] Meteonorm 7, 2014, <http://meteonorm.com/en/downloads>
- [12] Autodesk Revit Architecture, 2013, <http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview>
- [13] Autodesk Ecotect Analysis, 2013, <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>
- [14] Desktop Radiance, 2013, <http://radsite.lbl.gov/deskrad/download.htm>
- [15] Sketchup Make, 2013, <http://www.sketchup.com/buy/education-licenses>
- [16] NREL Open Studio, 2013, <http://openstudio.nrel.gov>
- [17] Energy Plus, 2013, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>
- [18] Official gazette RS no. 61/2011, Rules on conditions for the contents and manner of certificate issuance of energy performance for buildings, 2011.
- [19] Directive 2012/27/EU of 25 October 2012 on Energy Efficiency (amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC (1)), Official Journal of the European Union No. L 315, vol. 55, pp. 1–56, 2012.

- [20] European Standards: EN 15251 Annex B; Basis for the criteria for indoor air quality and ventilation rates; Recommended design ventilation rates in non-residential buildings, pp. 32-35, 2007.
- [21] Pilkington, 2014 <http://www.pilkington.com/de-de/de/architects>