



Qashmar, Dreen-Khraisat, Dema: Dynamic elevations

Citation: Metszet, Vol 13, No 6 (2022), pp 24-29,

<https://doi.org/10.33268/Met.2022.6.3>

Received: 30 September 2022

Accepted: 14 October 2022

Published: 22 November 2022

MASDAR INSTITUTE FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY, ABU DHABI, U.A.E., PEARL RIVER TOWER, GUANGZHOU, CHINA; ARCHITECTS: FOSTER AND PARTNERS and S.O.M

The concept often mentioned regarding multifunctional elevations is that of employing a technology that optimizes energy consumption. By examination of materials used, shading devices and ventilation methods a dynamic elevation can be developed that suits the climate needs of projects located in the U.A.E. Shading devices prove to be dominant in balancing solar gains in all the examples studied, when applied as a double skin method of construction. Likewise, the same concepts could be adjusted to suit alternative climatic requirements.

01



02

01-03 Masdar Tudományos és Technológiai Intézet, Abu-Dzabi, Egyesült Arab Emírátsok (Masdar Institute for Science and Technology, Abu Dhabi, U.A.E.)

## DINAMIKUS HOMLOKZATOK

### KÖRNYEZETIRÁNYÍTÁSI RENDSZEREK A FENNTARTHATÓ TERVEZÉSHEZ

ÉPÍTÉSZ | ARCHITECT

Foster and Partners; Skidmore, Owings & Merrill

FOTÓ | PHOTO

Szerzők, Wikimedia Commons

SZERZŐ | AUTHOR

Dareen Qashmar, Dema Khraisat

A globális energia- és környezetvédelmi vészhelyzet miatt az építőiparban új ötletekre van szükség, valamint arra, hogy energiahatékony stratégiákba fektessünk be. [1] A globális energiafelhasználás több mint 40%-a az építőiparban történik [2]. Ezenkívül az építőipar a világ teljes szén-dioxid-kibocsátásának csaknem 30 %-áért felelős, ezért alapvető a szerepe az energetikai és éghajlatváltozás globális problémáinak kezelésében. A rendszerintegráció és a dinamikus homlokzat gondolatát folyamatosan alkalmazzák a homlokzattervezésben a megfelelő hatékonyság elérése érdekében. [3] A homlokzattal kapcsolatban a közelmúltban új ötleteket és fejlesztéseket mutattak be, mint például az épületbe integrált fotovoltikus (BIPV) rendszer, az integrált szolárépület (BIST), az átlátszó napkollektorok (TSTC), a szerves polimer napelemek (OPV), a színezett üvegek és a cellás pigment napelemek (DSC) és más technológiák.



## 1. BEVEZETÉS

—A legújabb statisztikák azt mutatják, hogy a fejlett országokban élő emberek életük 90%-át zárt térben töltik, amit figyelembe kell venni. [4] Ez a tény nagymértékben befolyásolta a beltéri követelményeket, aminek folytán az épületeket komplex berendezésekké váltak, amelyek biztosítják a benne tartózkodók komfortját. Az ilyen komplex eszközök működéséhez szükséges energia az egyre növekvő energiaárak következtében megnövekedett üzemeltetési költségeket okoz.

—A globális klímaváltozás és az egyre kevesebb fosszilis tüzelőanyag miatt az Európai Unió, a világ különböző országaival együtt, igyekszik csökkenteni az építőipar energiafelhasználását. [5] Annak érdekében, hogy az EU-tagállamokban az új és felújított épületek energiaigényét a passzívházak, sőt a nettó nulla energiaigényű épületek szintjére csökkentsék, 2002-ben megjelent az épületek energiateljesítményéről szóló irányelv. [6] A két tényező – a költségek és a szabályozás – arra szorította a felhasználókat, hogy olyan új és hozzáférhető építőanyagokat keressenek, amelyek megfelelnek a törvényi követelményeknek, és minimalizálják az épületek üzemeltetési költségeit, miközben megőrzik a beltéri komfortot. [7]

—Az épület energiahatékonyságában az építészeti formálás és a homlokzat szerkesztése kritikus szerepet játszik. Az épület burkolatának legtöbb eleme a hőátbocsátás, valamint a fényátbocsátás, illetve a vizuális kapcsolatok szempontjából statikus, egyszerű felület. Ez alól a ferde felületek gyakran kivételt képeznek, mert árnyékoló eszközök befolyásolják ezeket a tulajdonságaikat, és ezeket az eszközöket gyakran a felhasználó szabályozza. Általánosságban elmondható, hogy az irodaházak teljesen üvegezett homlokzatai speciális esetek, amelyek az árnyékolástechnika hatásos alkalmazását kívánják meg, ilyenek például a kéthéjú klímahomlokzatok, az aktív homlokzatok, az interaktív homlokzatok és általában az átszellőztetett homlokzatok. [8] A műszaki fejlődés jelenleg hatékony eszközöket kínál sokféle szenzoros vezérlőrendszer és új anyagok biztosításával, amelyek tulajdonságaikat megfelelően módosítani tudják.

—Jelenleg nincsenek tanulmányok arról, hogy a teljesen dinamikus épületburok milyen általános hatást gyakorol az épület energiafogyasztására (ahol mind az árnyékolt, mind az átlátszó felületek dinamikus hőátbocsátással és fényáteresztéssel rendelkeznek).

## 2. A DINAMIKUS HOMLOKZATOK ÁTTEKINTÉSE ÉS OSZTÁLYOZÁSA

—Különböző szerzők vizsgálták a dinamikus homlokzat gondolatát. Mint ilyen, a koncepció több elnevezést vagy jelzőt kapott. Ide tartoznak a következők: dinamikus [9], adaptív [9] [10], rezponzív [11], automatikus [12], kreatív CABS [9] [10] [14] stb. Loonen [9] azt mondta, hogy bár ezek jelentése nagyon eltérő lehet, napi rendszerességgel használják őket összetett homlokzatokkal kapcsolatban. Ennek ellenére úgy tűnik, hogy a kutatók inkább a CABS-t (Climate-adaptive building shell, klímához alkalmazkodó épülethéj) használják a dinamikus homlokzatok meghatározására. Loonen szerint: „Az éghajlathoz alkalmazkodó épülethéj a változó teljesítmény-követelményekre és változó környezeti viszonyokra reagálva, időben visszafordíthatóan módosíthatja bizonyos funkcióit, értékeit és mozgását, és ezt azzal a szándékkal teszi, hogy általánosságban javítson az épület hatékonyságán.”

— Sok szakember fontos lépésnek tartja a nettó zéró energiájú, vagy akár energiapozitív épületek elérése felé a klímaadaptív épülethez. A gyakran emlegetett több-funkciós homlokzat koncepciója a homlokzatot minden esetben az energiafelhasználást optimalizáló technológiának tekinti, az épületek természetes megvilágításának javítása mellett. A koncepció meghatározza a beltéri energiahatékonyságot [9–16]. Francesco Goia és munkatársai [15] leírták az optimális épületburok szerkesztésének alapelvét, amely szerint a dinamikus épületburok úgy minimalizálja a statikus homlokzatokhoz képest az energiafogyasztást, hogy képesek minden termooptikai és fizikai tulajdonságukat intuitíven és folyamatosan változtatni. Baldinelli [16] Közép-Olaszország éghajlati adatait használta a téli és nyári energiateljesítmény észszerűsítését célzó kutatásokhoz. A modellezésnek három jellegzetes szakasza volt: az anyag optikai tulajdonságai, a kéthéjú homlokzat áramlásana és az épületenergetika egyensúlya. Fontos megjegyezni, hogy egy irodahelyiségben, összehasonlítva az olyan tipikus határolófelületekkel, mint az üvegezett vagy átlátszatlan falak, a homlokzati teljesítmény jobb energiaviselkedést mutat hasonló helyzetekben. Megállapították, hogy homlokzati négyzetméterenként évente akár 60 kWh energiamegtakarítást is el lehet érni egy átlátszatlan falhoz képest. Az üvegezett falhoz képest az energiafogyasztás jelentősen csökken, de a beltéri komfort jelentősen megnő. [16]

Az adaptív mechanizmusok kulcsfontosságúak az ideális hő-optikai adaptív teljesítmény kialakításához az üvegezett homlokzaton. Egy tanulmány [13] szerint minél rövidebb időközönként igazodik az üveghomlokzat adaptív homlokzati mechanizmusa az időjárási körülményekhez, annál nagyobb az energiamegtakarítási potenciál.

— Loonenék [14] azt vizsgálták, hogy a szimuláció hogyan mutatja meg előre, hogy egy új épülethomlokzati elem beépítésével előálló problémák hogyan küszöbölhetők ki egy kapcsolható üvegezés esetén. Az alternatív szimulációk értékelése során a kísérleti eredmények azt mutatják, hogy kulcsfontosságú a nagyobb valószínűséggel sikeres megoldások választása. Ugyanők [10] korábban feltárták a CABS lehetőségeit az épületteljesítmény-szimuláció, valamint a fejlett vezérlés és a többcélú optimalizálási stratégiák használata során. Az eredmények azt mutatták, hogy a CABS használata a legjobb statikus héjtervezésnél sokkal nagyobb mértékben javítja az épületek teljesítményét.

Kasinalis kutatócsoportja [12] a többcélú változtatásokat figyelembe vevő, ideális rendszeres kiigazítási eljárási módszert dolgozott ki a CABS teljesítményének tervezésére és elemzésére. A rendszerhez genetikai algoritmust használnak, épületenergetikai és természetes fény szimulációkkal kombinálva. Az eszközt egy hollandiai esettanulmányhoz használták egy irodaházban. Az eredmények azt mutatták, hogy hat homlokzati paraméter havonkénti változtatása 15–18%-kal több energiát takarít meg a statikus szerkezeti héjhoz képest, és javítja az beltéri komfortot (IEQ).

### 2.1. A mozgás jellegének besorolása

— Ebben az osztályozásban fogalmi konstrukcióként a félmobil (motion) vagy a mobil (structure) kifejezést használják. A „félmobil” jelentése olyan működésekhez kapcsolódik, mint a forgatás és az átkapcsolás, amelyek



04

leírják a morfológiai átalakulást. Míg a „mobil” kifejezés például teleszkópos, ollós és összecukható lapokat használó szerkezetek morfológiai átalakulásának jellemzésére szolgál. [17]

### 2.2. Osztályozás a fényáteresztő képesség alapján

— A felépítés és a tervezés tekintetében ezt a besorolást gyakrabban használják. Lai és Hoko [18] osztályozása alapján az épület homlokzata két részre osztható: tömör és üres. Más szakirodalomban a tömör kifejezést „átlátszatlanok”, míg az ürességet „átlátszóknak és áttetszőnek” értelmezik. A tömör komponens sűrű, szilárd, merev és vizuálisan nem átlátszó, például tömör falak, miközben az üres alkatrész könnyű és átlátszó, mint például az üvegek, ajtók és ablakok. A dinamikus homlokzatok építése során elengedhetetlen a tömör és üres elemek harmonikus elrendezése. Mindkét elemnek sajátos története és gyakorlata van az energiateljesítmény és a lehetséges dinamikus működés tekintetében. Az átlátszatlan alkatrészek beltéri környezetre gyakorolt fő hatása a hőki-egyenlítés szabályozása. Az ilyen épületelemek statikus viselkedése közvetlenül kapcsolódik ehhez a tulajdonsághoz. A statikus viselkedés gyakran káros hatással van az épület energiafogyasztására (leggyakrabban túlmelegedést okozva). Átlátszó felületek esetében nemcsak a hőterhelés (az üvegházhatásból és a napsugárzásból), hanem a hőveszteség (üvegezett felületek téli hővesztesége) és mindezek miatt a villamos energia igénye is terhelést okoz az épületenergetikai rendszereknek. Működésük egyre bonyolultabb nemcsak a hőtranszportban, hanem a napsugárzás szabályozásában és a belső környezet megfelelő vizuális komfortjában is.

— A javasolt kutatás összhangban van a jelenlegi globális fenntartható tervezési trenddel, optimalizálja a nappali fényt az épületekben és csökkenti az energiafogyasztást,



05

04 Széltorony Masdar városban

05-06 Pearl River Tower irodaház, Kanton, Kína (Guangzhou, China)



06

ugyanakkor hőkomfortot ér el. Ezen túlmenően a kutatás a közvélemény figyelmét a területre irányítja, és ösztönzi a fenntartható építési gyakorlatokat. Ezen túlmenően hasznos lehet a kutatás a jövőbeni oktatás és további kutatás számára. A kutatás fontos témára összpontosít az épületburkok területén. A dinamikus homlokzatok innovációja és az ilyen technológiákban rejlő potenciális kilátások miatt a vizsgálatot úgy alakítottuk ki, hogy a meglévő szoftverekhez illeszkedjenek a lehetséges szimulációk, és a kapott eredmények valóságosak, könnyen érthetőek legyenek. A kutatási módszertan szerves részét képezi a dinamikus homlokzat modelljének továbbfejlesztése a rendelkezésre álló energiaszimulációs eszközökkel.

### 3. DINAMIKUS HOMLOKZATOK ALKALMAZÁSA [21]

3.1. Masdar Institute for Science and Technology  
 \_\_A Masdar Initiative irányítása alatt a Masdar Intézet Masdar kerületben található. A mellékelt fotókon látható épületet a Foster + Partners tervezte. Abu-Dzabi éghajlata szubtrópusinak tekinthető, a hőmérséklet az év során a téli enyhétől a nyári melegig változik, nap-sütéses kék éggel, magas páratartalommal és ritka csapadékkal, ez befolyásolja az épület építészetének kialakítását, mely törekszik a környezeti és éghajlati feltételeknek való megfelelésre.

#### Árnyékolás

\_\_Azokat az ablakokat, amelyeket nem árnyékolnak be a környező szerkezetek, függőleges és vízszintes árnyékolók zárják le a napsugárzás ellen reggel és

délután, ugyanakkor lehetővé téve a természetes szellőzést. A tipikus arab széltornyot értelmezték újra, amely hűsítő szellőt irányít az udvarra. Ez a modern értelmezés 45 méterrel a terep felett áll, ezzel is landmarkot adva Masdar számára. Az acélváz tetején található nagy érzékenységű érzékelők a szél irányába nyitnak, és más irányokba zárnak, hogy a szelet a toronyba irányítsák.

04

#### Nedvességszabályozás

\_\_Egy erősen szigetelő és erősen tömített panel fedi a homlokzatot, fóliabevonattal. A homlokzat többi részét kilencven százalékban jól záródó, szigetelt és tömített ablakok képezik, újrahasznosított alumíniumlemezből, rózsaszínben.

#### Anyagok

\_\_Masdar város homlokzatai számos technológiát és anyagot vonultatnak fel a fenntartható építés érdekében. A laboratóriumi épületeket levegővel töltött ETFE párnák (30 cm vastagok) borítják, amelyek szinte semmilyen napsugárzást nem engednek át a szerkezeten, és korlátozzák az utcára visszasugárzott hőt.

#### Energiagazdálkodás

\_\_Több mint 5000 négyzetméternyi dinamikus fotovoltaikus tetőpanel áll rendelkezésre, amely energiát és további védelmet nyújt a közvetlen napsugárzás ellen. Az épület feletti fotovoltaikus park a város elektromos igényének 30%-át biztosítja. [19]

01  
02  
03

### 3.2. Pearl River Tower

—A Pearl River Tower a kínai Kantonban található, a CNTC Guangzhou Tobacco Company felügyelete alatt épült. A Skidmore Owings & Merrill tervezte és építette partnerével, Adrian Smith-szel és Gordon Gill-lel 2006 és 2010 között. Kanton (Guangzhou) Délkelet-Kínában található, forró, párás, heves esős éghajlat jellemzi, uralkodó északi, déli és délnyugati széllel. A nyári szezon hosszú, nedves, forró és párás, a tél enyhe, száraz és hómentes, átlagos középhőmérsékletű.

#### Árnyékolás

—Az épület a következőképpen integrálja a különböző technológiákat az épületburkolat tervezésébe: dupla üvegezésű klímahomlokzatot alkalmaz, azaz az északi és déli homlokzat kétrétegű függőfalrendszer, amely szigetelést kínál, csökkenti a hőnyereséget és a gépészeti rendszerek iránti igényt. A keleti és nyugati homlokzatokhoz külső árnyékolók és a két réteg között automata redőnyök kapcsolódnak.

#### Szellőzés

—A Pearl River elemei közül a leginnovatívabbak a függőleges tengelyű, épületbe integrált szél turbinák, amelyek az uralkodó déli és északi szelek minimális veszteséggel történő hasznosítására szolgálnak.

#### Energiagazdálkodás

—Vannak olyan fotovoltaikus panelek, amelyek a homlokzatokba vannak beépítve, hogy a napenergiát használható váltóárammá alakítsák át, ahol a PV cellák használata produktív lehet, ha az épület burkolatának elegendően nagy részén használják. [20]

### 4. KUTATÁSI EREDMÉNYEK

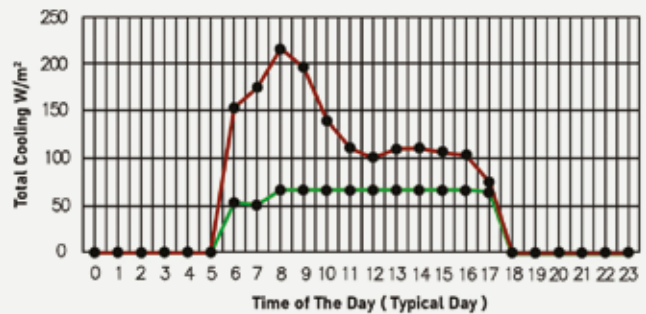
—Különböző céllal különböző kísérleteket végeztünk egy potenciális sematikus irodaépületen. Az első vizsgálat abból állt, hogy vajon a mért energiafelhasználásnál vagy az ehhez kapcsolódó tényezőknél az építész tervező figyelembe veszi-e az összetett homlokzatokat. Ezen túlmenően számos tanulmányt végeztünk az árnyékoló eszközöknek az egyes paraméterekre gyakorolt hatásáról, amelyek befolyásolják a teljes hűtési energiafogyasztást.

—Megvizsgáltuk a dinamikus homlokzatok elemzésének lehetőségét DesignBuilder környezetben. Ebből a szempontból elemeztük egy átlagos nyári nap energiafogyasztását a maximális hűtés meghatározása érdekében. Két, azonos jellemzőkkel rendelkező alternatívát vizsgáltunk: (a) a dinamikus homlokzattal szerelt épület és (b) az árnyékoló nélküli épületet. A homlokzat az épület egy tipikus emeletének minden tájolásán helyezkedett el. Egy tipikus nyári nap teljes hűtése a mellékelt ábrán látható a tipikus szint keleti és nyugati részén. Alapesetnek az árnyékolási funkció nélküli változatot tekintjük. Ennek megfelelően a dinamikus homlokzat energiateljesítményét összehasonlítottuk az alapesetével. Amint azt megfigyeltük, az alapeset keleti részén a kora reggeli napsütés nagyon magas energiafogyasztást eredményezett. A dinamikus homlokzat ugyanakkor az energiafogyasztás csökkenését mutatta ugyanabban az időszakban. Az alapesetekhez képest a dinamikus homlokzat 53 százalékkal

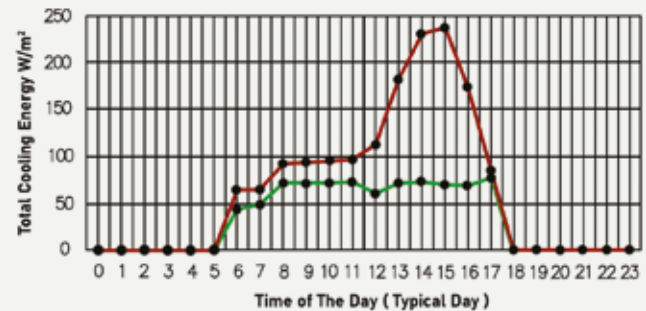
csökkentette az energiamegtakarítást a keleti zónában. A következő ábrán az láthatjuk, hogy a nyugati zóna késő esti napsütés okozta hűtési terhelését is csökkentette a dinamikus homlokzat. A nyugati zóna dinamikus homlokzata az alapesethez képest 48 százalékos energiamegtakarítást ért el. A DesignBuilder tehát felismeri és számításai során figyelembe veszi a dinamikus homlokzatot.

—A dinamikus homlokzat hatását a teljes szint teljes hűtési terhelésének éves további vizsgálata is kimutatta. A dinamikus homlokzat hűtési terhelése 35% volt az alapesethez képest. Az utolsó ábra a dinamikus homlokzat energiahatékonyságát szemlélteti egy tipikus szint összes területére vonatkozóan. A dinamikus homlokzatok működését tehát a DesignBuilderben igazoltuk.

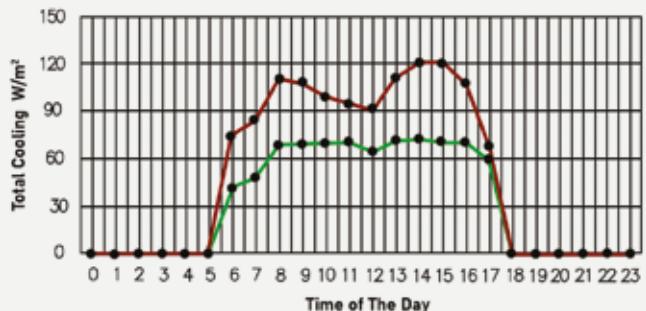
—A szimulációs folyamat során a második cél a hőkomfort elérése volt. A Fanger-féle PMV-index (Predicted Mean Vote) alacsonyabb hűtési terhelés mellett garantálja a hőkomfort elérését. A modellek grafikonon mutatták be, hogy a tipikus szint keleti és nyugati részei milyen hőkomfortot biztosítanak. A modellek a hűtési energia megtakarítása mellett is azt mutatják, hogy a tipikus szint keleti és nyugati részein a dinamikus homlokzatok esetében az értékek az elfogadható tartományban vannak, az egész nap (tipikus nyári nap) folyamán. Hasonlóképpen, a tipikus



07



08



09

szint keleti és nyugati részén egész nap nem jelentettek kényelmetlenséget.

—Az azonos elrendezésű keleti és nyugati zónákon tovább vizsgáltuk a dinamikus homlokzat hatását, de ezúttal fényvezérlés nélkül. Ez lehetőséget ad arra, hogy az összetett homlokzata használata mellett mesterséges világításra ne legyen szükség. A dinamikus homlokzat ezekben az esetekben a keleti és a nyugati területeken rendre 43 százalék, illetve 40 százalék hűtési költséget takarított meg az alapesethez képest.

## KÖVETKEZTETÉS

—Ez a kutatás különböző szinteken zajlott a kívánt célok elérése érdekében. A vizsgálat kezdeti szakasza egy rendszeres szakirodalmi áttekintés volt

- 07 Keleti zóna, napi hűtési energiafogyasztás
- 08 Nyugati zóna, napi hűtési energiafogyasztás
- 09 Teljes napi hűtési energiafogyasztás

## IRODALOM / REFERENCES

- [1] Janssens, B - Verbruggen, A: „Avoiding irrevocable investments in buildings' energy performance levels”, *Proceedings of Energy Forum*, 2012.
- [2] Braig, T - Utsch, R - Bruns, O: „Sustainable building today—energy efficiency through green construction”, *Proceedings of CESB*, 10, 2010, pp 243-246.
- [3] Konstantoglou, M - Tsangrassoulis, A: „Dynamic building envelope system: A control strategy for enhancing daylighting quality and reducing energy consumption”, *Proceedings of the Energy Forum Conference*, Dubai, UAE, 2012, October, pp 22-24.
- [4] Wu, F - Jacobs, D - Mitchell, C - Miller, D - Karol, MH: „Improving indoor environmental quality for public health: impediments and policy recommendations”, *Environmental health perspectives*, 115 (6), 2007, pp 953-957.
- [5] Heubaum, H - Biermann, F: „Integrating global energy and climate governance: The changing role of the International Energy Agency”, *Energy Policy*, 87, 2015, pp 229-239.
- [6] „Union, E Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC”, *Official Journal of the European Union*, 5, 2009.
- [7] Ridley, I - Clarke, A - Bere, J - Altamirano, H - Lewis, S - Durdev, M - Farr, A: „The monitored performance of the first new London dwelling certified to the Passive House standard”, *Energy and Buildings*, 63, 2013, pp 67-78.
- [8] Colombari, M - Kragh, M - Zobec, M: „Introduction of Advanced Facade Technology”, *7th World Renewable Energy Congress*, 2012.
- [9] Loonen, R - Trčka, M - Cóstola, D - Hensen, J: „Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges”, *Renewable and sustainable energy reviews* 25, 2013, pp 483-493.
- [10] Loonen, R - Trčka, M - Cóstola, D - Hensen, J: „Exploring the potential of climate adaptive building shells”, *Proceedings of building simulation*, 2011, pp 2148-2155.
- [11] Quesada, G, Rousse, D - Dutil, Y - Badache, M - Hallé, S: „A comprehensive review of solar facades, Transparent and translucent solar facades”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, no 5, 2012, pp 2643-2651.
- [12] Kasinalis, Ch, Loonen, R - Cóstola, D - Hensen, J: „Framework for assessing the performance potential of seasonally adaptable facades using multi-objective optimization”, *Energy and Buildings* 79, 2014, pp 106-113.
- [13] Favoino, F - Jin, Q - Overend, M: „The route to ideal adaptive glazing façade”, *Proceedings of the ICBEST*, Aachen, Germany, 2014, pp 9-12.
- [14] Loonen, R - Singaravel, S - Trčka, M - Cóstola, D - Hensen, J: „Simulation-based support for product development of innovative building envelope components”, *Automation in Construction* 45, 2014, pp 86-95.
- [15] Goia, F - Cascone, Y: „The impact of an ideal dynamic building envelope on the energy performance of low energy office buildings”, *Renewable Energy Research Conference*, RERC 2014, Energy Procedia 58, 2014, pp 185-192.
- [16] Baldinelli, G: „Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system”, *Building and Environment*, 2009, 44,6, pp 1107-1118.
- [17] Velasco, R - Bakke, A P - Chavarro, D: „Dynamic façades and computation: towards an inclusive categorization of high performance kinetic façade systems”, *International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2015, pp 172-191.
- [18] Lai, Ch-M - Hokoi, S: „Solar façades: A review”, *Building and Environment*, 2015, 91, pp 152-165.
- [19] Lee, S E, et al: „A comparison of energy systems in Birmingham, UK, with Masdar City, an embryonic city in Abu Dhabi Emirate”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 65, pp 1299-1309.
- [20] Dewidar, Kh, et al: „The role of intelligent façades in energy conservation”, *International Conference on Sustainability and the Future: Future Intermediate Sustainable Cities* (FISC 2010), 2010.
- [21] Nady, R: „Dynamic Facades, Environmental Control Systems for Sustainable Design”, *Renewable Energy and Sustainable Development* (RES D) Vol 3, No 1, Special Issue, March 2017, pp 123-125.