

ISTORIJSKI RAZVOJ, IZAZOVI I POTENCIJALI PRIMENE ZID ZAVESA

UDK : 692.232.45

Danijela Đurić Mijović¹, Jelena Savić², Danijela Milanović³

Rezime: Zid zavese pripadaju grupi lakih fasadnih sistema i sastoje se od laganih, multifunkcionalnih, najčešće transparentnih fasadnih membrana. S obzirom da fasada zgrade zauzima značajan deo troškova zgrade i da uključuje brojne heterogene materijale i elemente, ona je predmet stalnih istraživanja i usavršavanja, kako u tehnološkom tako i u konstruktivnom smislu. Ovaj rad daje istorijski prikaz nastanka i razvoja zid zavesa sa aktuelnim specifičnostima i problemima vezanim za njihovo projektovanje i izvođenje. Ponekad je njihova osnovna funkcija da zaštite korisnike, na neki način stavljena u drugi plan, dok samo oblikovanje, odnosno formiranje atraktivne i estetski dopadljive fasade, dolazi u prvi plan prilikom projektovanja. Obzirom na svoju kompleksnu funkciju, fasade i fasadne konstrukcije podležu mnogobrojnim kriterijumima zbog čega su predmet stalnih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja. Karakteristična opterećenja za ovu vrstu konstrukcija, pored sopstvene težine, su vetar, sneg, led, temperatura i zemljotres, a u nekim slučajevima treba uzeti u obzir i opterećenje koje bi nastalo tokom održavanja konstrukcije. Sagledavanjem svih parametara zid zavesa i njihovih međusobnih uticaja, uviđamo koliko je polje primene ovog tipa fasadnog omotača kompleksno, obimno i ozbiljno.

Ključne reči: Fasada, zid zavese, staklo, interakcija, veze, oštećenja

Abstract: Curtain walls belong to the group of lightweight façade systems and comprise lightweight, multifunctional, most frequently transparent building envelopes. Considering that the building façade occupies a considerable share of the building cost, and that it includes numerous heterogeneous materials and elements, it is a subject of continuing research and improvement both in technological and in structural senses. This paper provides a historical review of emergence and development of curtain walls with topical specifics and problems in relation with their designing and construction. Sometimes their basic function is to protect users, in a way put in the background, while only the design, or the formation of an attractive and aesthetically pleasing facade, comes to the fore when designing. Due to their complex function, facades and facade constructions are subject to numerous criteria, which is why they are the subject of constant theoretical and experimental research. Characteristical loads for such type of structures, in addition to their own weight are wind, snow, ice, temperature and earthquake, and in some cases one should take into consideration the load which would occur during structural maintenance. Considering all the parameters of the curtain walls and their mutual influences, we see how complex, extensive and serious the field of application of this type of facade cladding is.

Keywords: Façade, curtain wall, glass, interaction, connections, damage

¹ Asistent sa doktoratom, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

² Asistent sa doktoratom, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

³ Saradnik u nastavi, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

1 UVOD

Zid zavesa predstavlja fasadnu konstrukciju koja se može definisati kao laka, obodna konstrukcija sastavljena od industrijski proizvedenih elemenata, najčešće stakla i metala, a koja preuzima sve funkcije spoljašnjeg zida, izuzev noseće. Ispred noseće konstrukcije objekta formira se jedinstvena, uglavnom transparentna fasadna membrana koja se brzo gradi i ne zauzima koristan prostor objekta. Zid zavesa predstavljaju sintezu estetskih i tehničko-tehnoloških rešenja a kao materijal za izradu nosećih elemenata, stubića i prečki koriste se čelik, aluminijum i drvo, dok se za elemente ispune mogu koristiti razne vrste stakala i kamena ali i razne vrste panela, gde praktično nema ograničenja u estetskim i arhitektonskim rešenjima. S obzirom na njihove složene funkcije, fasadne konstrukcije podležu brojnim kriterijumima i kontinuiranom teorijskom i eksperimentalnom istraživanju. Konstrukcija zid zavesa, za razliku od noseće konstrukcije zgrade koja se odupire svim opterećenjima, mora da apsorbira, prenosi, ali i izdržava opterećenja koja na nju deluju, kroz pažljivo projektovane vertikalne i horizontalne noseće elemente fasade. U većini slučajeva problemi koji se javljaju na fasadama ovog tipa, direktna su posledica neadekvatnog projektovanja, izgradnje i nekompatibilnosti sa nosećom konstrukcijom zgrade.

Prvi deo rada predstavlja kratak osvrt na istorijski razvoj lakih fasadnih sistema sa posebnim osvrtom na pojavu i istorijski razvoj zid zavesa. Drugi deo rada bavi se prikazom, analizom i sistematizacijom problema koji se javljaju na ovoj vrsti fasada, kao i definisanje strategija za prevazilaženje ovih problema.

2 ISTORIJSKI RAZVOJ ZID ZAVESA

2.1 OSNOVNE KARAKTERISTIKE

Početkom 19. veka došlo je do postepene zamene uobičajenog masivnog konstruktivnog sklopa, skeletnim konstruktivnim sistemom čiji su elementi prvo bili izrađeni od čelika, a kasnije od betona. Ovo je stvorilo mogućnost da se klasični fasadni zid zameni laganom transparentnom fasadom. Fasada u okviru skeletnih konstruktivnih sistema više nema noseću ulogu, već fasadni zid dobija funkciju fasadnog prozora. Razvoj laganih fasadnih sistema

započeo je i razvijao se istovremeno sa razvojem skeletnog konstruktivnog sistema [1].

U nizu referenci preteča, zid zavesa kakve danas poznajemo, je zgrada koju je projektovao Džozef Pakston 1851. godine za Veliku izložbu industrijskih dostignuća svih nacija u Londonu. Ova izložbena hala, koja je popularno nazvana Kristalnom palatom (slika 1), proglašena je najvećom, najbolje osvetljenom i najtransparentnijom zgradom svih vremena. Ova velelepna građevina dugačka 555,3 metra, široka 122,4 metra i visoka 33 metra bila je u potpunosti sagrađena od gvožđa i stakla, a za njenu izgradnju korišćeno je 93000 m² stakla, ugrađenog u zidove, kupole i svodove ove zgrade.



Slika 1 - Crystal Palace, London 1851
(<https://blog.inoxstyle.com/en/crystal-palace/>)

Teško je utvrditi ko je prvi osmislio ovu vrstu fasada i na kom objektu je prvi put izvedena zid zavesa. Razlog uglavnom leži u velikoj popularnosti stakla na fasadama zgrada širom sveta i mnoštvu različitih postojećih sistema koji pripadaju grupi zid zavesa. Veruje se da je prvi ovakav fasadni sistem projektovao nemački arhitekta Valter Gropius (1883-1969), koji je bio nastavnik u čuvenoj nemačkoj umetničkoj školi Bauhaus (Mislin 2009) [1]. Kada se ova škola preselila iz Vajmara (Weimar) u Desau (Dessau) 1926. godine, Gropijus je osmislio i isprojektovao novi kampus jednostavnog, funkcionalnog i modernog dizajna. Njegov najvažniji doprinos dobio je naziv „zid zavesa“ i predstavljao je spoljni zid od stakla. Međutim, za prvu zid zavesu u SAD-u može se utvrditi da je isprojektovao arhitekta Luis Kurtis (Louis S. Curtiss) i da je fasada postavljena 1909. godine u Kansas Sijaju na zgradi Bouli Kloting kompanije (Boley Clothing Company) (slika 2). Ova zgrada je i dalje u upotrebi i nalazi se na spisku Nacionalnog registra važnih istorijskih lokacija u SAD-u. U San Francisku je 1918. godine na zgradu

Hallidie postavljena zid zavesa sa čeličnim stubićima. I ova zgrada je i dalje u upotrebi, a ona je centralna kancelarija Američkog instituta za arhitekturu. Međutim, u Njujorku se prva zid zavesa pojavila tek 1952. godine na zgradi Lever House (slika 3).



Slika 2 - Boley Clothing Company, Kansas City
(<https://sah-archipedia.org/buildings/MO-01-095-0001>)



Slika 3 - Lever House, New York City, 1952
(www.wikipedia.org)

Razvoj savremenih zavesnih zidova, kako navodi Vitomir [2], možemo podeliti u tri generacije. Prva generacija vezana je za početak sedamdesetih godina dvadesetog veka i odlikuje se jednostavnim dizajnom, čiji su noseći profili izrađeni od aluminijuma, ugradnja je izvedena na samoj zgradi - što je predstavljalo štapni sistem sa vidnim horizontalnim i vertikalnim podelama. Drugu generaciju zid zavesa (1980-1990) karakterisali su zaštićeni sistemi, dizajnirani prema preporukama proizvođača i standardnim modelima, uzimajući u obzir i većinom sisteme sa štapnim vidnim horizontalnim i vertikalnim podelama, dok su blok sistemi počeli da se pojavljuju. Montaža je, kao u slučaju prve generacije, izvođena pretežno na samoj zgradi. Oni koji su nastali posle 1990. godine nazivaju se trećom generacijom zid zavesa i njene glavne karakteristike su: uglavnom zaštićeni ili posebno projektovani sistemi za posebne namene, sa prevladavajućim blokovskim sistemima za veće objekte i sistemi za lepljenje za manje, sa konstrukcijom od aluminijumskih profila ili nerđajućeg čelika, velike zastakljene površine, sa posebnom opremom i delovima za zaptivanje, pri čemu se na objektu ugrađuju montažne jedinice.

Dugogodišnja težnja arhitekata da projektovane fasade od stakla imaju što manje netransparentne površine, odnosno da stakleni delovi budu što veći, a da se mesta oslanjanja svedu na najmanju moguću meru, polako ali sigurno se bližila realizaciji. Posle klasičnih zid zavesa pojavile su se polustrukturalne fasade, a nešto kasnije, šezdesetih godina prošlog veka, i strukturalne fasade, gde se metalna konstrukcija nalazi u potpunosti iza stakla.

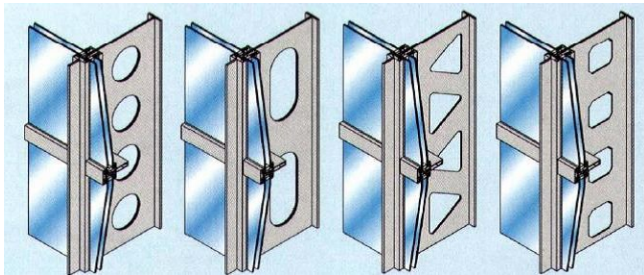
Sledeći korak je bio prelazak sa linijskog oslanjanja stakla, koji je do tada bio prisutan kod sve tri vrste zid zavesa (klasični, polustrukturalni i strukturalni), na tačkasti sistem oslanjanja u cilju potpunog oslobađanja fasadnog omotača metalnih nosećih elemenata. Prva fasada ove vrste, sa tačkastim sistemom nošenja stakla, kako navodi Čikić [3], urađena je na muzeju Wilhem u Duizburgu 1964. godine gde su ugrađeni stakleni paneli visine 4 metra.

3 KONSTRUKCIJA ZID ZAVESA I OPTEREĆENJA

Zid zavesa pripadaju grupi lakih fasadnih sistema nastalih sublimacijom svih zaštitnih funkcija zgrade u jednu laku, tanku opnu, propusnu samo za svetlost. Sama konstrukcija zid zavesa se sastoji od vertikalnih

nosećih elemenata, stubića i horizontalnih elemenata, prečki, koji su najčešće izrađeni od aluminijuma, čelika ili drveta i postavljeni su na odgovarajućem razmaku formirajući okvire za ugradnju elemenata ispunje koji su pretežno od stakla, od kamena, aluminijuma, bakra, kompozitnih materijala, itd.

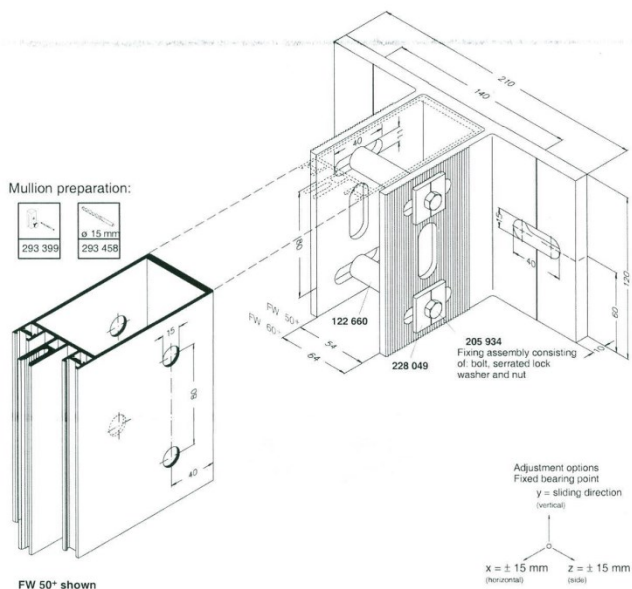
Poprečni preseći stubića i prečki mogu biti različiti ali najčešće su to cevasti, dvostruko ili monosimetrični I preseći, T preseći itd (slika 4).



Slika 4 - Klasična zid zavesa sa stubićima od čeličnih I profila

(<https://dokumen.tips/documents/zid-zavese.html>)

Ovi elementi mogu biti puni ili šuplji. Veze između elemenata ali i veze za samu noseću konstrukciju moraju biti takve da omogućue pomeranje usled dejstva spoljašnjih sila, a pre svega vetra i da omogućue dilatacije usled dejstva temperature i gravitacije, ali i zbog sleganja temelja. Projektovanju veza posvećuje se posebna pažnja (slika 5).

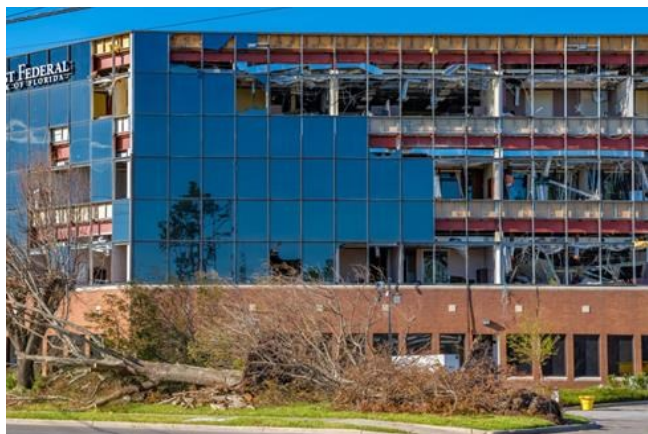


Slika 5 - Karakteristična veza stubića za međuspratnu konstrukciju (Schueco katalog)

Karakteristična opterećenja za takvu vrstu konstrukcija, pored sopstvene težine, su vetar, sneg, led, temperatura i zemljotres, a u nekim slučajevima treba uzeti u obzir i opterećenje koje bi nastalo tokom održavanja konstrukcije [4]. Važno je obratiti pažnju na temperaturno dejstvo, s obzirom na to da je podkonstrukcija često izrađena od aluminijuma, a koeficijent toplotnog širenja je tri puta veći od čelika, pa dilatacije koje se javljaju u elementima nisu male. Ovaj problem se obično rešava odgovarajućim izborom statičkog sistema, tj. primenom odgovarajućih kliznih veza. Treba naglasiti da je vetar dominantno opterećenje laganih fasadnih konstrukcija. Efekti vetra posebno su izraženi na uglovima zgrada i na delovima fasade blizu krova, kako se navodi i u detaljnoj analizi u [4]. Tamo se, s obzirom na stvaranje vrtloga, stvara jako sišuće dejstvo vetra, a koeficijenti pritiska su višestruko veći od onih na centralnim delovima područja opterećenih vetrom.

4 KARAKTERISTIČNI PROBLEMI FASADA TIPA ZID ZAVESA

U najvećem broju slučajeva problemi koji se javljaju na fasadama ovog tipa su direktna posledica neadekvatnog projektovanja, njihovog izvođenja i nekompatibilnosti sa nosećom konstrukcijom objekta. Iako zid zavesa nemaju ulogu kao glavna noseća konstrukcija koja prima sva opterećenja, one imaju zadatak da prime sva opterećenja koja deluju na nju i prenesu ih putem veza na glavnu noseću konstrukciju zgrade. Ako zid zavesa nije projektovana na adekvatan način i ako dođe do njenog oštećenja, dolazi do narušavanja fasadne opne i ulazak vetra sa kišom, snegom, ledom ali i letećim delovima krhotina (flying debris) u objekat. Na ovaj način dolazi do oštećenja ili pak potpunog uništavanja unutrašnjosti objekta. Cena koštanja oštećene fasade ali i unutrašnjosti objekta uvećana je i nemogućnošću korišćenja objekta ili dela objekta na određeno vreme. Prvi znaci oštećenja zid zavesa usled dejstva jakih vetrova jesu pre svega oštećenja elemenata za zaptivanje, potom se pojavljuju pukotine u samoj oblozi uz koje može doći do izvlačenja spojnih sredstava koja vezuju zid zavesu za noseće elemente konstrukcije, a konačno može nastupiti rušenje delova fasadnog omotača [5]. Dakle, jedan od osnovnih problema zid zavesa jeste njeno neadekvatno projektovanje za opterećenje vetrom (slika 6).



Slika 6 - Oštećenja zid zavesa usled dejstva jakih vetrova
(<https://oceanimpactwindows.com/blog/window-breaks-during-hurricane/>)

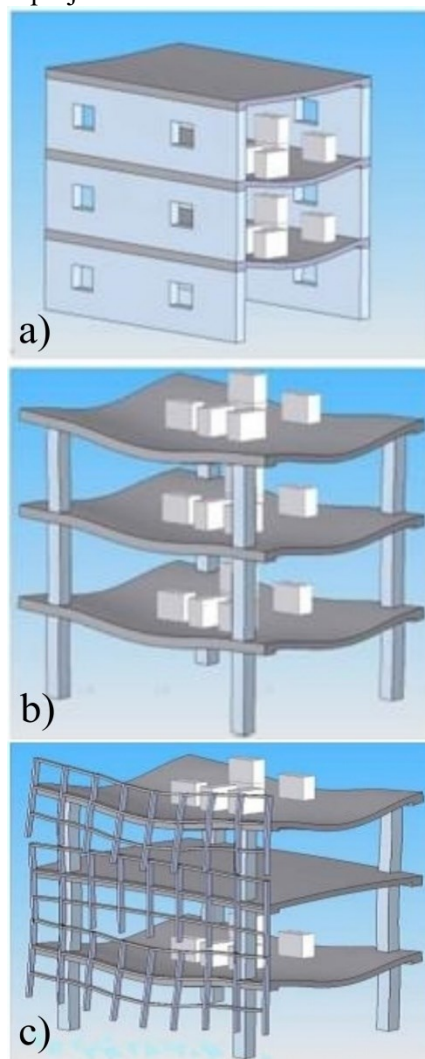
Pored savladavanja sila vetra i njihovog prenošenja na glavnu noseću konstrukciju zgrade fasada je izložena pomeranjima i deformacijama glavne noseće konstrukcije i njenih elemenata. Iz ovog razloga fasada mora biti tako projektovana da može da izdrži i pomeranja i deformacije glavne noseće konstrukcije zgrade. Ovo ponekad nije lako ostvariti obzirom na materijale koji se pojavljuju na fasadi zgrade, njihov broj, raznorodnost i karakteristike. Čest problem fasada tipa zid zavesa, kako navodi i Allana [5], jeste nekompatibilnost sa glavnom nosećom konstrukcijom objekta. Čak i kada je zid zavesa dobro projektovana, mora se na adekvatan način izvršiti integracija sa glavnim nosećim sistemom zgrade.

Povećana primena skeletnih sistema stvorila je potencijal za formiranje transparentne, lagane fasade, omogućujući brojne arhitektonske opcije povezane sa novom generacijom omotača zgrada. Porast duktilnih, skeletnih ramova doveo je do povećanja pomeranja (ugiba) same konstrukcije i njenih elemenata, u odnosu na, do tada poznate, sisteme masivnih zidova (slika 7.a.).

Pomeranja karakteristična za zavesu mogu se klasifikovati u tri grupe: vertikalna pomeranja, bočna pomeranja u ravni fasadnog zida i bočna pomeranja upravna na fasadni zid. Kod objekata gde se povećao raspon između nosećih elemenata, kao posledica se javlja porast ugiba koji moraju biti podržani fasadnom konstrukcijom (slika 7.b.). Maksimalne vrednosti dopuštenih ugiba u funkciji raspona, date su u brojnim propisima, a preporučene vrednosti su slične [6].

Kada zid zavesa ne može da izdrži pomeranja glavne konstrukcije (slika 7.c.), integritet same fasade postaje ugrožen. Oštećenja mogu biti različitih oblika i stepena, od čisto estetskih oštećenja do pucanja stakla i otkaza nosećih elemenata fasade i njihovih

spojeva. Zbog bočnih pomeranja izazvanih horizontalnim silama, ispunski paneli se često sudaraju, posebno na uglovima zgrada, i oštećuju se, pri čemu se uglovi ispunskih ploča prekidaju, pucaju ili u potpunosti ruše. Treba napomenuti da je u slučaju zid zavesa staklo najčešći materijal za ispunu i krhko je, pa ne može izdržati velike ugibe kao glavna noseća konstrukcija. Posebno su osetljivi, na ova pomeranja, uglovi zgrade u kojima se staklo spaja bez nosećeg okvira. Iz ovih razloga, ako pomeranja primarnog nosećeg sistema zgrade nisu usklađena sa pomeranjima koja zid zavesa može da izdrži, dolazi do oštećenja [6]. Stoga, u fazi projektovanja, kada su poznata pomeranja glavnog nosećeg sistema zgrade, sledeći korak treba da bude analiza pomeranja zid zavesa zbog svih uticaja kojima je izložena. Zato su za celovitost celokupnog sistema od najveće važnosti adekvatno isprojektovane i izvedene veze.



Slika 7 - Zidni noseći i uokvireni strukturalni sistemi, ponašanje zavesnog zida usled deformacije glavne noseće konstrukcije (Kazmierczak 2010) [6]

5 ZAKLJUČAK

Zid zavese predstavljaju multifunkcionalni omotač zgrade čiji trošak dostiže i do 40% cene celokupne konstrukcije, pa je usvajanje odgovarajućeg fasadnog sistema u najranijim fazama projektovanja od velike važnosti. Međutim, tačno je da je samo deo profesionalne zajednice upoznat kako sa njihovim projektovanjem i konstrukcijom, tako i sa problemima koji prate lagane fasadne sisteme, poput zid zavesa.

Trenutno važeći propisi, iako su modernizovani i ažurirani u prethodnoj deceniji, i dalje se mogu poboljšati uvođenjem specifičnih standarda za projektovanje lakih fasadnih konstrukcija.

Jedan od osnovnih problema zid zavesa je neadekvatno sagledavanje opterećenja vetrom. Razumevanje prirode ponašanja vetra je od ključne važnosti za adekvatno projektovanje laganih fasadnih konstrukcija kao što su zid zavese, a efekti dejstva vetra na objekat, moraju se analizirati u najranijim fazama projektovanja. Poželjno je analizirati numeričkom dinamikom fluida, što suprotno statičkoj analizi, daje preciznija dejstva na fasadu. Njegovom adekvatnom primenom mogu se prevazići nedostaci postojećih propisa, a efekti vetra na fasade zgrada mogu se realnije razmotriti.

U većini slučajeva problemi koji se javljaju na ovoj vrsti fasada direktna su posledica neadekvatnog projektovanja, izgradnje i nekompatibilnosti sa nosećom konstrukcijom zgrade. Analiza opterećenja, prenos opterećenja kroz veze, sa fasadne konstrukcije na glavnu, relativna pmeranja i koordinacija pomeranja glavne konstrukcije i fasadnog omotača moraju se uzeti u obzir u najranijim fazama projektovanja. Samo na taj način zid zavesa će pored estetske zadovoljiti i brojne druge funkcije koje su joj poverene.

LITERATURA

- [1] Mislin, M.: Annotations on the History of Curtain Walls an Industrial Buildings of the United States and Germany between 1890 and 1920, Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, 2009.
- [2] Vitomir, J.: Konstrukcija aluminijumskih fasada, AD ALPRO Vlasenica, Vlasenica (in Serbian), 2006.
- [3] Čikić, J.: Staklo i konstruktivna primena u arhitekturi, *Građevinska knjiga*, Beograd (in Serbian), 2007.
- [4] Đurić Mijović, D.: Architectonic - Structural Design of Steel and Aluminium Facade Systems, *Doctoral*

dissertation, University of Niš, Serbia (in Serbian), 2016.

- [5] Allana, K.P., Carter, D.: Curtain Wall Issues, Problems and Solutions, Building Envelope Technology Symposium, 2012.
- [6] Kazmierczak, K.: Review of curtain walls, focusing on design problems and solutions, Conference BEST 2 – Design and Rehabilitation, Session EE4-1, Portland, Oregon, 2010.