

COMPARATIVE STRUCTURAL FAÇADE DESIGN ACCORDING TO EUROCODE AND OLD STANDARDS

УПОРЕДНО ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ СТРУКТУРАЛНЕ ФАСАДЕ ПРЕМА ЕВРОКОДУ И СТАРИМ СТАНДАРДИМА

Milan Bursać¹

Paper type: Original scientific paper
Received: 27.10.2022.
Accepted: 6.11.2022.
Available online: 15.12.2022.

UDK: 624.042.41
DOI: 10.14415/JFCE-885
CC-BY-SA 4.0 license

Summary: Detailed analysis of wind induced loads on buildings façade is presented according to current SRPS EN 1991-1-4 and old SRPS U.C7.110 standards. After determining wind induced loads, aluminium vertical mullions of structural façade are designed according to SRPS EN 1999-1-1, for wind loads according to Eurocode, and according to ECCS-T2 for loads according to old standard. Bearing and serviceability limit capacity utilization are compared, as well as wind loads of buildings façade.

Keywords: aluminium mullions, wind induced loads, comparative analysis, structural façade

Резиме: Представљен је детаљан прорачун утицаја ветра на фасаду зграде према важећем SRPS EN 1991-1-4 и старом SRPS U.C7.110 стандарду. Након одређеног оптерећења ветра, алуминијумски вертикални носачи структуралне фасаде су димензионисани према SRPS EN 1999-1-1 за дејства ветра према Еврокоду и према ECCS-T2 за дејства према старом стандарду. Упоређена је искоришћеност носивости и употребљивости, као и дејства ветра на фасаду зграде.

Кључне речи: алуминијумски носачи, утицај ветра, упоредна анализа, структурална фасада

1. INTRODUCTION

Current SRPS EN 1991-1-4 [1] and old SRPS U.C7.110 [2] standards present significantly different calculation procedures of wind induced loads on structures [3]. In the wind load analysis of buildings, the greatest difference is present for those buildings that have a greater height than base dimensions. Considering the previous statement, a building with a ground floor + a mezzanine + nine floors is chosen. Approximate base dimensions of the

1. УВОД

Важећи SRPS EN 1991-1-4 [1] и стари SRPS U.C7.110 [2] стандард прописују значајно различит поступак прорачуна утицаја ветра на објекат [3]. У зградарству је највећа разлика присутна при прорачуну високих зграда код којих је висина објекта већа од димензија у основи. Имајући у виду претходно, изабран је објекат спратности приземље + мезанин + 9 спратова. Приближне димензије објекта у основи су 38,70 x 38,25 m, а његова висина је 42,55 m.

¹ Milan Bursać, mast. inž. građ., University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Bulevar kralja Aleksandra 73, Belgrade, Serbia, e-mail: bursacmilan4@gmail.com

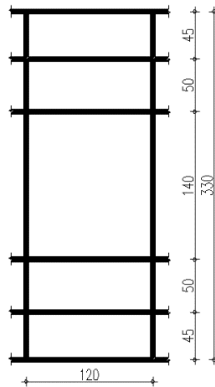
object are 38,70 m x 38,25 m, while its height is 42,55 m.

The building has a structural façade. It consists of vertical (columns) and horizontal (beams) aluminium mullions on which glass panels are mounted. The maximum distance between two beams is 1,40 m, whereas other spans are 0,50 m. The column span is 1.20 m. A column height in the ground floor is 3,60 m. Because of a longer span in the ground floor, horizontal bracing is provided by the project. It is a middle support for the columns, on 3,20 m from a ground floor plate. The height of other floor columns is 3,30 m. The spans are adopted considering [4].

Disposition of the aluminium mullions on the floors is shown in Figure 1.

Објекат је обложен структуралном фасадом. Структуралну фасадну чине вертикални (стубови) и хоризонтални (ригле) алуминијумски носачи на које се постављају стаклени панели. Максимални размак ригли је 1,40 м, а остали растери су 0,50 м. Растер стубова је 1,20 м. Висина стубова у приземљу је 3,60 м. Због велике спратне висине приземља, пројектом је предвиђен хоризонталан спрег, који је међуослонац стубова, на 3,20 м од плоче приземља. Висина стубова спратова је 3,30 м. Растери су усвојени имајући у виду [4].

Диспозиција алуминијумских носача фасаде спратова је приказана на слици 1.



Слика 1 - Диспозиција алуминијумских носача фасаде
Figure 1 – Disposition of aluminum façade mullions

In order to show a difference in methods of calculations, and not adopted a wind speed, a location with the same aforementioned wind speeds by both standards is chosen. Pristina is chosen as the location.

Section 3 presents a design of the aluminum vertical mullion of the structural façade of the last floor according to Eurocode 9 [5], [6], [7], [8], and ECCS-T2 [9]. ECCS-T2 recommendations are the first international document dealing with aluminum structures. It is published in

Да би при поређењу утицаја ветра до изражаја дошла сама метода прорачуна, а не усвојена брзина ветра, изабрана је локација која по оба правилника има исту претходно споменути брзину ветра. Усвојена локација објекта је Приштина.

У поглављу 3. приказано је димензионисање алуминијумског вертикалног носача структуралне фасаде последњег спрата према Еврокоду 9 [5], [6], [7], [8], као и према ECCS-T2 [9]. Препоруке ECCS-T2 су први интернационални документ који

1978 by European Convention for Constructional Steelwork (ECCS). Eurocode 9, as well as Eurocode 3 are based on the research from ECCS.

2. ANALYSIS OF WIND LOADS

2.1. Analysis of wind loads according to SRPS EN 1991-1-4

The first part of the wind load calculation, which follows, is determining the peak velocity pressure.

FUNDAMENTAL VALUE OF THE BASIC WIND VELOCITY

Acc. to SRPS EN 1991-1-4 tab. A.1: for Pristina

$$v_{b,0} = 23 \text{ m/s}$$

DIRECTIONAL FACTOR

Acc. to SRPS EN 1991-1-4 sec. 2.4

$$c_{dir} = 1,0$$

SEASONAL FACTOR:

Acc. to SRPS EN 1991-1-4 sec. 2.4

$$c_{season} = 1,0$$

BASIC WIND VELOCITY

Acc. to SRPS EN 1991-1-4 tab. A.1: for Pristina

$$v_b = 23 \text{ m/s}$$

TERRAIN CATEGORY

Acc. to SRPS EN 1991-1-4 tab. 4.1

IV terrain category

Roughness length

$$z_0 = 1,0 \text{ m}$$

Minimum obstacle height

$$z_{min} = 10,0 \text{ m}$$

Maximum obstacle height

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

Referent obstacle height

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

се бави носећим алуминијумским конструкцијама. Он је објављен 1978. године од стране Европске комисије за челичне конструкције (ECCS). Еврокод 9, као и Еврокод 3, базирају се на истраживањима ECCS-а.

2. АНАЛИЗА УТИЦАЈА ВЕТРА

2.1. Анализа утицаја према SRPS EN 1991-1-4

Први део прорачуна утицаја ветра, који следи, бави се одређивањем ударног притиска ветра.

ФУНДАМЕНТАЛНА ВРЕДНОСТ ОСНОВНЕ БРЗИНЕ ВЕТРА

Према SRPS EN 1991-1-4 таб. А.1 : за Приштину

$$v_{b,0} = 23 \text{ m/s}$$

КОЕФИЦИЈЕНТ ПРАВЦА

Према SRPS EN 1991-1-4 тач. 2.4

$$c_{dir} = 1,0$$

КОЕФИЦИЈЕНТ СЕЗОНСКОГ ДЕЛОВАЊА:

Према SRPS EN 1991-1-4 тач. 2.4

$$c_{season} = 1,0$$

ОСНОВНА БРЗИНА ВЕТРА

Према SRPS EN 1991-1-4 таб. А.1: за Приштину

$$v_b = 23 \text{ m/s}$$

КАТЕГОРИЈА ТЕРЕНА

Према SRPS EN 1991-1-4 таб. 4.1

IV категорија терена

Дужина храпавости

$$z_0 = 1,0 \text{ m}$$

Минимална висина препрека

$$z_{min} = 10,0 \text{ m}$$

Максимална висина препрека

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

Референтна висина препрека

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

TERRAIN FACTOR

$$k_r = 0,19 \times \left(\frac{Z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,23$$

TOPOGRAPHY FACTOR

Acc. to SRPS EN 1991-1-4 sec. 4.3.1
 $c_0(z) = 1,0$

TURBULENCE FACTOR

Acc. to SRPS EN 1991-1-4 sec. 4.4
 $k_t = 1,0$

AIR DENSITY

Acc. to SRPS EN 1991-1-4 sec. 4.5
 $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

КОЕФИЦИЈЕНТ ТЕРЕНА

$$k_r = 0,19 \times \left(\frac{Z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,23$$

КОЕФИЦИЈЕНТ ТОПОГРАФИЈЕ

Према SRPS EN 1991-1-4 тач. 4.3.1
 $c_0(z) = 1,0$

КОЕФИЦИЈЕНТ ТУРБУЛЕНЦИЈЕ

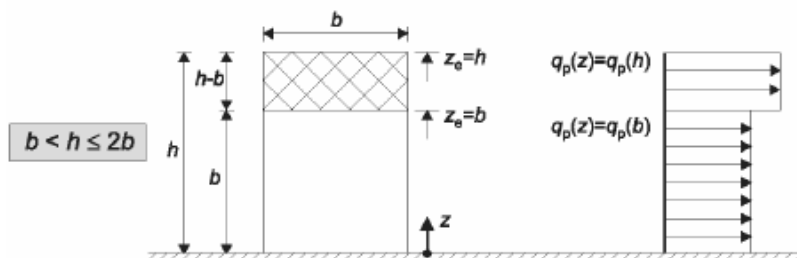
Према SRPS EN 1991-1-4 тач. 4.4
 $k_t = 1,0$

ГУСТИНА ВАЗДУХА

Према SRPS EN 1991-1-4 тач. 4.5
 $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

Considering that the buildings height is greater than its base dimensions, a different reference height is adopted for load calculation. Eurocode, in the case where $b < h \leq 2b$, defines that, for the part of a building that is up to the height of the base dimension that is perpendicular to the wind, the reference height of that base dimension is to be adopted. For the rest of the building, the reference height is equal to the real objects height (Figure 2).

С обзиром да је висина објекта већа од његових димензија у основи, усвајају се различите референтне висине за прорачун оптерећења. Еврокод за случај када је $b < h \leq 2b$ прописује да се за део објекта, који се налази на висини једнакој димензији управној на дејство ветра, усвоји референтна висина једнака тој димензији. За остатак објекта се за референтну висину усваја стварна висина објекта (Слика 2).



Слика 2 – Усвајање референтне висине за прорачун ударног притиска ветра [1]
Figure 2 – Adoption of referent height for calculation of peak velocity pressure [1]

Other parameters required for determination of peak velocity pressure are dependent on the reference height. For that reason, they are shown tabularly for clarity (Table 1).

Остали параметри потребни за одређивање ударног притиска ветра зависе од референтне висине. Из тог разлога су приказани табеларно због прегледности (Табела 1).

ROUGHNESS FACTOR

for $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

MEAN WIND VELOCITY

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b$$

TURBULENCE INTENSITY

for $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$I_V(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

PEAK VELOCITY PRESSURE

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_V(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z)$$

КОЕФИЦИЈЕНТ ХРАПАВОСТИ

за $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$C_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

СРЕДЊА БРЗИНА ВЕТРА

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b$$

ТУРБУЛЕНЦИЈА ВЕТРА

за $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$I_V(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

УДАРНИ ПРИТИСАК ВЕТРА

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_V(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z)$$

Табела 1 – Прорачун ударног притиска ветра
 Table 1 – Calculation of peak velocity pressure

етажа/floor	h_{lower} [m]	h_{upper} [m]	z [m]	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$I_V(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]
приземље/ ground floor	±0,00	+4,00	33,90	0,81	18,63	0,284	0,635
мезанин/ mezzanine	+4,00	+8,00					
1. спрат/floor	+8,00	+11,70					
2. спрат/floor	+11,70	+15,40					
3. спрат/floor	+15,40	+19,10					
4. спрат/floor	+19,10	+22,80					
5. спрат/floor	+22,80	+26,50					
6. спрат/floor	+26,50	+30,20	42,55	0,86	19,78	0,267	0,688
7. спрат/floor	+30,20	+33,90					
8. спрат/floor	+33,90	+38,00					
9. спрат/floor	+38,00	+42,55					

In order to get a wind pressure on the surfaces from the peak velocity pressure, it is necessary to determine coefficients of internal and external pressures. The coefficients of the interior pressure depend on the layout of façade openings. If their layout is unknown, then $c_{pi} = +0,2$ can be taken for the state of an overpressure in the building. For the state of the negative pressure, $c_{pi} = -0,3$ can be adopted.

The coefficient of the external pressure considers possibility of the wind acting under any angle in reference to the wall

Да би се од ударног притиска одредио притисак на површине објекта, потребно је одредити коефицијенте унутрашњег и спољашњег притиска. Коефицијенти унутрашњег притиска зависе од распореда отвора на фасади. Ако је њихов распоред непознат, за стање натпритиска у објекту може се усвојити $c_{pi} = +0,2$, а за стање потпритиска $c_{pi} = -0,3$. Коефицијенти спољашњег притиска узимају у обзир могућност деловања ветра под углом у односу на површину зида, као и појаву турбуленције око ивица објекта.

surface, as well as the effect of turbulence around buildings edges.

The coefficients of the external pressure for the considered building are listed in Table 2.

Wind pressures on the surfaces of the building are listed in Table 3. They are calculated according to the expression:

$$\omega = (c_{pe} - c_{pi}) \times q_p(z)$$

Коефицијенти спољашњег притиска за разматрани објекат наведени су у Табели 2.

Притисак ветра на површине објекта приказан је у табели 3, а одређује се према изразу:

$$\omega = (c_{pe} - c_{pi}) \times q_p(z)$$

Табела 2 – Коефицијенти спољашњег притиска

Table 2 – Coefficients of external pressure

A	B	C	D	E
-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,505
-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,504

Табела 3 – Притисак на површине у kN/m²

Table 3 – Pressure on surfaces in kN/m²

унутрашњи притисак/ internal pressure	z [m]	A	B	C	D	E
натпритисак/ overpressure	33,90	-0,889	-0,635	-0,444	0,381	-0,448
	42,55	-0,963	-0,688	-0,482	0,413	-0,485
потпритисак/ negative pressure	33,90	-0,571	-0,318	-0,127	0,698	-0,130
	42,55	-0,619	-0,344	-0,138	0,757	-0,140

2.2. Analysis of wind loads according to SRPS U.C7.110, SRPS U.C7.111 and SRPS U.C7.112

Determination of the peak velocity pressure and the pressure on the surfaces require a classification of the structure.

A detailed procedure of the classification is presented.

2.2. Анализа утицаја према SRPS U.C7.110, SRPS U.C7.111 и SRPS U.C7.112

Одређивање ударног притиска и притиска на површине захтева класификацију конструкције. Приказан је детаљан поступак класификације.

FUNDAMENTAL VALUE OF THE BASIC WIND VELOCITY

$$V_{m,50,10}^B = 23 \text{ m/s}$$

ФУНДАМЕНТАЛНА БРЗИНА ВЕТРА

$$V_{m,50,10}^B = 23 \text{ m/s}$$

ALTITUDE

$$h = 573 \text{ m}$$

НАДМОРСКА ВИСИНА

$$h = 573 \text{ m}$$

AIR DENSITY

$$\rho = 1,225 - \frac{h}{8000} = 1,153 \text{ kg/m}^3$$

ГУСТИНА ВАЗДУХА

$$\rho = 1,225 - \frac{h}{8000} = 1,153 \text{ kg/m}^3$$

TIME INTERVAL AVERAGING FACTOR

$$K_t = 1$$

ФАКТОР ВРЕМЕНСКОГ ИНТЕРВАЛА ОСРЕДЊАВАЊА

$$K_t = 1$$

RETURN PERIOD FACTOR $T = 50$ years

$$K_T = 1$$

BASIC WIND VELOCITY

$$v_{m,T,10} = v_{m,50,10}^B \times K_t \times K_T = 23 \text{ m/s}$$

BASIC WIND PRESSURE

$$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \times v_{m,T,10} \times \rho \times 10^{-3}$$
$$q_{m,T,10} = 0,305 \text{ kN/m}^2$$

TOPOGRAPHY FACTOR

$$S_z = 1$$

TERRAIN ROUGHNESS CLASSurban zone \rightarrow C

$$a = 0,41; b = 0,5; \alpha = 0,22$$

TERRAIN EXPOSURE FACTOR

$$K_z = \sqrt{b} \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha = 0,972$$

MEAN AERODYNAMIC WIND PRESSURE

$$q_{m,T,z} = q_{m,T,10} \times S_z^2 \times K_z^2$$
$$q_{m,T,z} = 0,289 \text{ kN/m}^2$$

RELATIVE STRUCTURES OSCILLATION ATTENUATION

$$\zeta = 0,015$$

WIND TURBULENCE INTENSITY FOR $h/2$

$$I_z = \sqrt{\frac{a}{b}} \left(\frac{10}{z} \right)^\alpha = 0,243$$

STRUCTURES SLENDERNESS CRITERION

$$b/h = 0,910$$

SPECTRAL ENERGY FACTOR

$$S = 0,024$$

WIND SPEED SPATIAL CORELATION COEFFICIENT

$$B = 0,750$$

1. MODE OF FREE OSCILLATION

$$n_1 = 1,624 \text{ Hz}$$

ФАКТОР ПОВРАТНОГ ПЕРИОДА $T = 50$ years

$$K_T = 1$$

ОСНОВНА ПРОЈЕКТНА БРЗИНА ВЕТРА

$$v_{m,T,10} = v_{m,50,10}^B \times K_t \times K_T = 23 \text{ m/s}$$

ОСНОВНИ ПРИТИСАК ВЕТРА

$$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \times v_{m,T,10} \times \rho \times 10^{-3}$$
$$q_{m,T,10} = 0,305 \text{ kN/m}^2$$

ФАКТОР ТОПОГРАФИЈЕ ТЕРЕНА

$$S_z = 1$$

КЛАСА ХРАПАВОСТИ ТЕРЕНАурбана зона \rightarrow C

$$a = 0,41; b = 0,5; \alpha = 0,22$$

ФАКТОР ЕКСПОЗИЦИЈЕ ТЕРЕНА

$$K_z = \sqrt{b} \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha = 0,972$$

ОСРЕДЊЕНИ АЕРОДИНАМИЧКИ ПРИТИСАК ВЕТРА

$$q_{m,T,z} = q_{m,T,10} \times S_z^2 \times K_z^2$$
$$q_{m,T,z} = 0,289 \text{ kN/m}^2$$

РЕЛАТИВНО ПРИГУШЕЊЕ ОСЦИЛОВАЊА ОБЈЕКТА

$$\zeta = 0,015$$

ИНТЕНЗИТЕТ ТУРБУЛЕНЦИЈЕ ВЕТРА ЗА $h/2$

$$I_z = \sqrt{\frac{a}{b}} \left(\frac{10}{z} \right)^\alpha = 0,243$$

КРИТЕРИЈУМ ВИТКОСТИ ОБЈЕКТА

$$b/h = 0,910$$

ФАКТОР СПЕКТРАЛНЕ ЕНЕРГИЈЕ

$$S = 0,024$$

КОЕФИЦИЈЕНТ ПРОСТОРНЕ КОРЕЛАЦИЈЕ БРЗИНЕ ВЕТРА

$$B = 0,750$$

ФРЕКВЕНЦИЈА СЛОБОДНИХ ОСЦИЛАЦИЈА 1. ТОНА

$$n_1 = 1,624 \text{ Hz}$$

REDUCED WIND SPEED

$$Q = 0,105 \text{ m/s}$$

STRUCTURES STIFFNESS

$$(R/B)^2 = 0,062 < 0,5$$

→ Structure is stiff.

MEAN WIND SPEED

$$v_{v,T,h} = v_{m,T,10} \times S_z \times K_z$$

$$v_{m,T,h} = 22,37 \text{ m/s}$$

REFERENT STRUCTURES HEIGHT

$$h = 42,55 \text{ m} > 15 \text{ m}$$

→ Big stiff structure.

COVERING HEIGHT

$$h_{cl} = 42,55 \text{ m} < 100 \text{ m}$$

→ Small stiff structure.

STRUCTURES HEIGHT

$$h = 42,55 \text{ m} > 15 \text{ m}$$

→ Big stiff structure.

TERRAIN TOPOGRAPHY

$$S_z = 1 \leq 1$$

→ Small stiff structure.

STRUCTURES PEAK EXPECTED DEFLECTION

$$u = \frac{L}{250} = 17,02 \text{ cm}$$

STRUCTURES SLENDERNESS

$$h/b = 1,10 < 4$$

→ Small stiff structure.

STRUCTURE IS:

Big stiff structure.

BUT BECAUSE OF:

$$(R/B)^2 = 0,062 < 0,5$$

→ Big stiff structure.

Similar to calculation according to Eurocode, it is necessary to adopt different reference heights for assessing aerodynamical (which is equivalent to the peak velocity pressure according to Eurocode) wind pressure (Figure 3). For the first 10 m of the structure, that referent height is adopted. For the rest of the building, the referent heights are

РЕДУКОВАНА БРЗИНА ВЕТРА

$$Q = 0,105 \text{ m/s}$$

КРУТОСТ КОНСТРУКЦИЈЕ

$$(R/B)^2 = 0,062 < 0,5$$

→ Конструкција је крута.

ОСРЕДЊЕНА БРЗИНА ВЕТРА

$$v_{v,T,h} = v_{m,T,10} \times S_z \times K_z$$

$$v_{m,T,h} = 22,37 \text{ m/s}$$

РЕФЕРЕНТНА ВИСИНА ОБЈЕКТА

$$h = 42,55 \text{ m} > 15 \text{ m}$$

→ Велика крута конструкција.

ВИСИНА ОБЛОГЕ

$$h_{cl} = 42,55 \text{ m} < 100 \text{ m}$$

→ Мала крута конструкција.

ВИСИНА ОБЈЕКТА

$$h = 42,55 \text{ m} > 15 \text{ m}$$

→ Велика крута конструкција.

ТОПОГРАФИЈА ТЕРЕНА

$$S_z = 1 \leq 1$$

→ Мала крута конструкција.

ОЧЕКИВАНИ УГИБ ВРХА ОБЈЕКТА

$$u = \frac{L}{250} = 17,02 \text{ cm}$$

ВИТКОСТ ОБЈЕКТА

$$h/b = 1,10 < 4$$

→ Мала крута конструкција.

КОНСТРУКЦИЈА ЈЕ:

Велика крута конструкција.

МЕЂУТИМ, ПОШТО ЈЕ:

$$(R/B)^2 = 0,062 < 0,5$$

→ Велика крута конструкција.

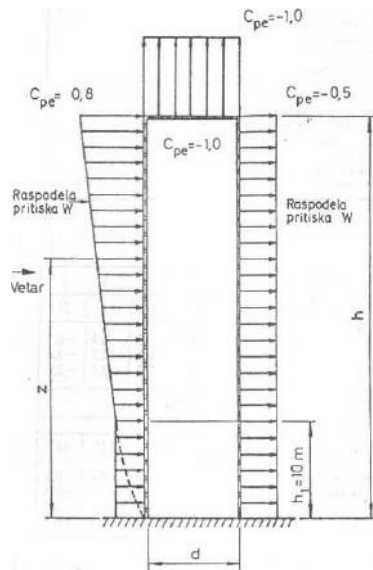
Слично као и у прорачуну по Еврокоду, потребно је усвојити различите референтне висине за прорачун аеродинамичког (који одговара ударном притиску по Еврокоду) притиска ветра (Слика 3). За првих 10 m објекта усваја се та референтна висина. За остатак објекта, референтне висине се

chosen so that they are equal to the upper level of the considered floor. The results of the aerodynamical pressure are listed in Table 4.

The standard defines different punching coefficients q . They are different for the primary and secondary structure. The façade is the secondary structure, so the proceeding calculation will be performed only for it.

усвајају тако да одговарају горњој коти етаже за коју се ради прорачун ударног притиска. Резултати прорачуна аеродинамичког притиска су приказани у Табели 4.

Стандардом се дефинишу различити ударни коефицијенти q , који зависе од тога да ли се прорачун ради за главну или секундарну конструкцију. Фасада је секундарна конструкција, па ће даљи прорачун бити рађен само за њу.



Слика 3 – Распоред спољашњег притиска на зидове зграде [5]
Figure 3 – Layout of external pressure on buildings wall surfaces [5]

An analysis of the local wind effects on the structure is significantly more complex than in Eurocode. It is necessary to perform independent calculations for different angles, in reference to the structure, in which the wind can affect it. In order to consider all cases, the angles with mutual difference of 15° are taken.

If it is assumed that openings on the façade are approximately equally distributed, for all cases of wind load, the coefficients of the internal pressure can be taken equal to $\pm 0,20$. The coefficients of external load are listed in Table 5.

Анализа локалних утицаја ветра на објекат значајно је сложенија у односу на Еврокод. Потребно је посебно урадити прорачуне притиска на површине у зависности од угла под којим ветар делује на објекат. Да би се обухватили сви случајеви, узимају се углови са међусобном разликом од 15° .

Ако се претпостави да су отвори на фасади приближно једнако распоређени, за све случајеве дејства ветра се коефицијенти унутрашњег притиска могу узети са вредношћу од $\pm 0,20$. Коефицијенти спољашњег притиска су приказани у Табели 5.

Табела 4 – Прорачун аеродинамичког притиска ветра
Table 4 – Calculation of aerodynamical wind pressure

етажа/floor	h_{lower} [m]	h_{upper} [m]	q	l_z	G_z	$q_{g,T,z}$ [kN/m ²]
приземље/ ground floor	±0,00	+4,00	4	0,334	3,0	0,46
мезанин/ mezzanine	+4,00	+8,00		0,334	3,0	0,46
1. спрат/floor	+8,00	+11,70		0,322	2,93	0,48
2. спрат/floor	+11,70	+15,40		0,303	2,82	0,52
3. спрат/floor	+15,40	+19,10		0,289	2,74	0,55
4. спрат/floor	+19,10	+22,80		0,278	2,67	0,59
5. спрат/floor	+22,80	+26,50		0,269	2,61	0,61
6. спрат/floor	+26,50	+30,20		0,262	2,57	0,64
7. спрат/floor	+30,20	+33,90		0,255	2,53	0,66
8. спрат/floor	+33,90	+38,00	0,249	2,49	0,68	
9. спрат/floor	+38,00	+42,55	0,243	2,46	0,71	

Табела 5 – Коefицијенти спољашњег притиска
Table 5 – Coefficients of external pressure

β [°]	A	B	C	D
0	0,90	-0,50	-0,60	-0,60
15	0,80	-0,50	-0,70	-0,50
45	0,50	-0,50	0,50	-0,50

The identical procedure is employed, as in previous case, to determine the pressure on the surfaces:

$$\omega = (c_{pe} - c_{pi}) \times q_{g,T,z}$$

Taking into account the wind loads at the angles, in reference to a perpendicular line to the structures surface, of 0°, 15° and 45°, as well as a possibility of the internal overpressure and the negative pressure, we get the pressures that are listed in tables 6, 7, 8, 9, 10 and 11.

На идентичан начин, као и у претходном прорачуну, одређује се притисак на површине:

$$\omega = (c_{pe} - c_{pi}) \times q_{g,T,z}$$

Узимањем у обзир дејства ветра при угловима у односу на нормалу на површину објекта од 0°, 15° и 45°, као и могућности појаве натпритиска и потпритиска у унутрашњости објекта, добијају се утицаји који су приказани у табелама 6, 7, 8, 9, 10 и 11.

Табела 6 – Притисак на површине за $\beta = 0^\circ$ за натпритисак у објекту
Table 6 – Pressure on surfaces for $\beta = 0^\circ$ for internal overpressure

етажа/floor	h_{lower} [m]	h_{upper} [m]	A	B	C	D
приземље/ ground floor	±0,00	+4,00	0,32	-0,32	-0,37	-0,37
мезанин/ mezzanine	+4,00	+8,00	0,32	-0,32	-0,37	-0,37
1. спрат/floor	+8,00	+11,70	0,34	-0,34	-0,38	-0,38
2. спрат/floor	+11,70	+15,40	0,36	-0,36	-0,42	-0,42
3. спрат/floor	+15,40	+19,10	0,39	-0,39	-0,44	-0,44
4. спрат/floor	+19,10	+22,80	0,41	-0,41	-0,47	-0,47
5. спрат/floor	+22,80	+26,50	0,43	-0,43	-0,49	-0,49
6. спрат/floor	+26,50	+30,20	0,45	-0,45	-0,51	-0,51
7. спрат/floor	+30,20	+33,90	0,46	-0,46	-0,53	-0,53
8. спрат/floor	+33,90	+38,00	0,48	-0,48	-0,55	-0,55
9. спрат/floor	+38,00	+42,55	0,50	-0,50	-0,57	-0,57

Табела 7 – Притисак на површине за $\beta = 0^\circ$ за потпритисак у објекту
 Table 7 – Pressure on surfaces for $\beta = 0^\circ$ for internal negative pressure

етажа/floor	h_{lower} [m]	h_{upper} [m]	A	B	C	D
приземље/ ground floor	±0,00	+4,00	0,51	-0,14	-0,18	-0,18
мезанин/ mezzanine	+4,00	+8,00	0,51	-0,14	-0,18	-0,18
1. спрат/floor	+8,00	+11,70	0,53	-0,14	-0,19	-0,19
2. спрат/floor	+11,70	+15,40	0,57	-0,16	-0,21	-0,21
3. спрат/floor	+15,40	+19,10	0,61	-0,17	-0,22	-0,22
4. спрат/floor	+19,10	+22,80	0,65	-0,18	-0,24	-0,24
5. спрат/floor	+22,80	+26,50	0,67	-0,18	-0,24	-0,24
6. спрат/floor	+26,50	+30,20	0,70	-0,19	-0,26	-0,26
7. спрат/floor	+30,20	+33,90	0,73	-0,20	-0,26	-0,26
8. спрат/floor	+33,90	+38,00	0,75	-0,20	-0,27	-0,27
9. спрат/floor	+38,00	+42,55	0,78	-0,21	-0,28	-0,28

Табела 8 – Притисак на површине за $\beta = 15^\circ$ за натпритисак у објекту
 Table 8 – Pressure on surfaces for $\beta = 15^\circ$ for internal overpressure

етажа/floor	h_{lower} [m]	h_{upper} [m]	A	B	C	D
приземље/ ground floor	±0,00	+4,00	0,28	-0,32	-0,41	-0,32
мезанин/ mezzanine	+4,00	+8,00	0,28	-0,32	-0,41	-0,32
1. спрат/floor	+8,00	+11,70	0,29	-0,34	-0,43	-0,34
2. спрат/floor	+11,70	+15,40	0,31	-0,36	-0,47	-0,36
3. спрат/floor	+15,40	+19,10	0,33	-0,39	-0,50	-0,39
4. спрат/floor	+19,10	+22,80	0,35	-0,41	-0,53	-0,41
5. спрат/floor	+22,80	+26,50	0,37	-0,43	-0,55	-0,43
6. спрат/floor	+26,50	+30,20	0,38	-0,45	-0,58	-0,45
7. спрат/floor	+30,20	+33,90	0,40	-0,46	-0,59	-0,46
8. спрат/floor	+33,90	+38,00	0,41	-0,48	-0,61	-0,48
9. спрат/floor	+38,00	+42,55	0,43	-0,50	-0,64	-0,50

Табела 9 – Притисак на површине за $\beta = 15^\circ$ за потпритисак у објекту
 Table 9 – Pressure on surfaces for $\beta = 15^\circ$ for internal negative pressure

етажа/floor	h_{lower} [m]	h_{upper} [m]	A	B	C	D
приземље/ ground floor	±0,00	+4,00	0,46	-0,14	-0,23	-0,14
мезанин/ mezzanine	+4,00	+8,00	0,46	-0,14	-0,23	-0,14
1. спрат/floor	+8,00	+11,70	0,48	-0,14	-0,24	-0,14
2. спрат/floor	+11,70	+15,40	0,52	-0,16	-0,26	-0,16
3. спрат/floor	+15,40	+19,10	0,55	-0,17	-0,28	-0,17
4. спрат/floor	+19,10	+22,80	0,59	-0,18	-0,30	-0,18
5. спрат/floor	+22,80	+26,50	0,61	-0,18	-0,31	-0,18
6. спрат/floor	+26,50	+30,20	0,64	-0,19	-0,32	-0,19
7. спрат/floor	+30,20	+33,90	0,66	-0,20	-0,33	-0,20
8. спрат/floor	+33,90	+38,00	0,68	-0,20	-0,34	-0,20
9. спрат/floor	+38,00	+42,55	0,71	-0,21	-0,36	-0,21

Табела 10 – Притисак на површине за $\beta = 45^\circ$ за натпритисак у објекту
 Table 10 – Pressure on surfaces for $\beta = 45^\circ$ for internal overpressure

етажа/floor	h_{lower} [m]	h_{upper} [m]	A	B	C	D
приземље/ ground floor	±0,00	+4,00	0,14	-0,32	0,14	-0,32
мезанин/ mezzanine	+4,00	+8,00	0,14	-0,32	0,14	-0,32
1. спрат/floor	+8,00	+11,70	0,14	-0,34	0,14	-0,34
2. спрат/floor	+11,70	+15,40	0,16	-0,36	0,16	-0,36
3. спрат/floor	+15,40	+19,10	0,17	-0,39	0,17	-0,39
4. спрат/floor	+19,10	+22,80	0,18	-0,41	0,18	-0,41
5. спрат/floor	+22,80	+26,50	0,18	-0,43	0,18	-0,43
6. спрат/floor	+26,50	+30,20	0,19	-0,45	0,19	-0,45
7. спрат/floor	+30,20	+33,90	0,20	-0,46	0,20	-0,46
8. спрат/floor	+33,90	+38,00	0,20	-0,48	0,20	-0,48
9. спрат/floor	+38,00	+42,55	0,21	-0,50	0,21	-0,50

Табела 11 – Притисак на површине за $\beta = 45^\circ$ за потпритисак у објекту
 Table 11 – Pressure on surfaces for $\beta = 45^\circ$ for internal negative pressure

етажа/floor	h_{lower} [m]	h_{upper} [m]	A	B	C	D
приземље/ ground floor	±0,00	+4,00	0,32	-0,14	0,32	-0,14
мезанин/ mezzanine	+4,00	+8,00	0,32	-0,14	0,32	-0,14
1. спрат/floor	+8,00	+11,70	0,34	-0,14	0,34	-0,14
2. спрат/floor	+11,70	+15,40	0,36	-0,16	0,36	-0,16
3. спрат/floor	+15,40	+19,10	0,39	-0,17	0,39	-0,17
4. спрат/floor	+19,10	+22,80	0,41	-0,18	0,41	-0,18
5. спрат/floor	+22,80	+26,50	0,43	-0,18	0,43	-0,18
6. спрат/floor	+26,50	+30,20	0,45	-0,19	0,45	-0,19
7. спрат/floor	+30,20	+33,90	0,46	-0,20	0,46	-0,20
8. спрат/floor	+33,90	+38,00	0,48	-0,20	0,48	-0,20
9. спрат/floor	+38,00	+42,55	0,50	-0,21	0,50	-0,21

2.3. Comparison of calculated loads

The loads calculated according to Eurocode, on the side of the building that is directly affected, are, for the state of the internal overpressure, in-between 0,38 and 0,41 kN/m². According to the old standard, the calculated loads are in-between 0,14 and 0,50 kN/m².

The state of the internal negative pressure, according to Eurocode, gives the pressures from 0,70 to 0,76 kN/m². The old standard gives the pressures in-between 0,14 and 0,78 kN/m².

The pressures on the rear side of the building are, according to Eurocode, from -0,45 to -0,48 kN/m² for the state of the internal overpressure, and according to the old standard from -0,32 to -0,50

2.3. Поређење добијених утицаја

Према Еврокоду се добијају притисци на страни зграде на коју директно делује ветар, који су, за натпритисак у објекту, у распону од 0,38 до 0,41 kN/m². Према старом правилнику се добијају притисци у границама од 0,14 до 0,50 kN/m². Стање потпритиска у објекту, према Еврокоду, даје притиске од 0,70 до 0,76 kN/m². Стари стандард даје притиске у границама од 0,14 до 0,78 kN/m².

Притисци на задњој страни зграде су, према Еврокоду, од -0,45 до -0,48 kN/m² за натпритисак у објекту, а према старом правилнику, од -0,32 до -0,50 kN/m². За потпритисак у објекту се, према Еврокоду, добијају

kN/m². For the internal negative pressure, according to Eurocode, the pressures are from -0,13 to -0,14 kN/m², and according to the old standard from -0,14 to -0,21 kN/m².

Eurocode, for the buildings sides, for the state of the internal overpressure, gives the pressures from -0,44 to -0,96 kN/m², and the old standard from +0,21 to -0,64 kN/m². For the internal negative pressure, Eurocode gives the pressures from -0,13 to -0,62 kN/m², and the old standard from +0,50 to -0,36 kN/m².

Based on the previous comparison, following can be stated:

- the pressures in edge zones, in which a turbulence occurs, are significantly greater according to Eurocode, and
- the pressures outside of the edge zones are approximately equal according to both standards.

3. DESIGN OF ALUMINUM MULLION

The calculation is conducted with maximum wind loads in order to show the difference in the standards. From those calculations, the aluminum mullions are adopted.

The design, in the case of a real project would be conducted with the wind loads outside of the edge zones. From those calculations, the aluminum mullions would be adopted. For the mullions in the edge zones, the same mullion would be adopted, but with an internal steel reinforcing profile.

The aluminum mullions from Raynaers company are adopted in the design. They are manufactured from the alloy EN AW – 6060 T66 (class A), with the characteristics:

$$\begin{aligned}f_0 &= 150 \text{ MPa} \\f_u &= 195 \text{ MPa} \\E &= 70 \text{ GPa} \\G &= 27 \text{ MPa} \\ \gamma &= 27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

притисци од -0,13 до -0,14 kN/m², а према старом од -0,14 до -0,21 kN/m². Еврокод за бочне стране објекта, за стање натпритиска у објекту, даје притиске од -0,44 до -0,96 kN/m², а стари правилник од +0,21 до -0,64 kN/m². За потпритисак у објекту се, према Еврокоду, добијају притисци од -0,13 до -0,62 kN/m², а по старом од +0,50 до -0,36 kN/m².

На основу претходног поређења, утврђује се следеће:

- притисци у зонама око ивица, у којима долази до турбуленције ветра, значајно су већи по Еврокоду и
- притисци ван ивичних зона су приближни по оба правилника.

3. ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ АЛУМИНИЈУМСКОГ НОСАЧА

Прорачун је урађен са максималним оптерећењима ветра, да би се приказала разлика у стандардима. На основу њега су усвојени алуминијумски носачи.

У пројекту стварног објекта би се прорачун радио са оптерећењем ван ивичних зона и на тај начин усвојили носачи. За ивичне зоне би се усвојио носач истог пресека са челичним ојачањем које се поставља унутар њега.

Алуминијумски носачи произвођача Раунаерс су усвојени за прорачун. Они су произведени од легуре EN AW – 6060 T66 (класа А) са карактеристикама:

$$\begin{aligned}f_0 &= 150 \text{ MPa} \\f_u &= 195 \text{ MPa} \\E &= 70 \text{ GPa} \\G &= 27 \text{ MPa} \\ \gamma &= 27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

3.1. Design according to Eurocode

Assumed mullions cross section:
RAYNAERS CW50 $h = 167,5$ mm

Cross sections can be more complex. The effect of the cross sectional shape on its bearing capacity is analyzed in [12].

In order to simplify the calculation, the equivalent section is adopted. For a more precise analysis, it is needed to perform more complex calculations as in [13], [14], [15], [16], and [17]. Since a bending moment is dominant, the equivalent cross section should possess a similar moment of inertia. The cross sections wall thickness is varied for the wall with channels for glass panels mounting. An iterative procedure is presented in Table 12.

3.1. Димензионисање према Еврокоду

Претпоставља се профил:
RAYNAERS CW50 $h = 167.5$ mm

Пресеци могу да имају и сложеније облике. Утицај облика пресека на његову носивост је анализиран у [12]. Ради поједностављења прорачуна, усваја се замењујући профил. За тачније анализе је потребно радити сложенији прорачун, као у [13], [14] [15], [16] и [17]. Пошто је доминантан утицај савијања, замењујући профил треба да има што сличнији момент инерције. Варирана је дебљина зида профила на којој се налазе каналице за постављање стаклених панела. Итеративни поступак одређивања замењујућег пресека је приказан у Табели 12.

Табела 12 – Одређивање замењујућег пресека
Table 12 – Calculation of equivalent cross section

t [mm]	I_y [cm ⁴]
10,0	543,82
9,0	519,68
8,0	494,50

By comparing the real moment of inertia and the moment of inertia of the equivalent cross section, it is obvious that the equivalent cross section is appropriate.

$$I_y = 494,50 \text{ cm}^4 \approx I_{y,real} = 500,67 \text{ cm}^4$$

Figure 4 shows the real and equivalent cross section that is assumed.

Load analysis

weight of façade.....0,40 kN/m²
selfweight.....not considered
wind (suction).....0,96 kN/m²

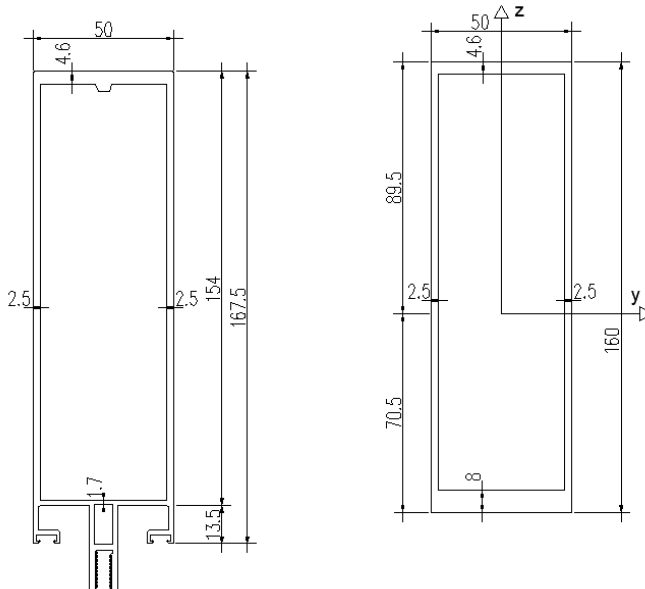
Упоредивањем стварног момента инерције и момента инерције замењујућег пресека, види се да је замењујући пресек одговарајући.

$$I_y = 494,50 \text{ cm}^4 \approx I_{y,real} = 500,67 \text{ cm}^4$$

На слици 4 су приказани стварни и замењујући попречни пресек претпостављеног профила.

Анализа оптерећења

тежина фасаде.....0,40 kN/m²
сопствена тежина.....занемарује се
ветар (сисање).....0,96 kN/m²



Слика 4 – Стварни и замењујући попречни пресек
Figure 4 – Real and equivalent cross section

Load combination

$$q_{Ed,v} = 1,35 \times 0,40 = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Ed,h} = 1,5 \times 0,96 = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,h} = 1,0 \times 0,96 = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

Комбинације оптерећења

$$q_{Ed,v} = 1,35 \times 0,40 = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Ed,h} = 1,5 \times 0,96 = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,h} = 1,0 \times 0,96 = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

Internal forces

$$N_{Ed} = 1,20 \times 3,30 \times 0,54 = 2,14 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1,20 \times 3,30 \times 1,44}{2} = 2,85 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1,20 \times 1,44 \times 3,30^2}{8} = 2,35 \text{ kNm}$$

Пресечне силе

$$N_{Ed} = 1,20 \times 3,30 \times 0,54 = 2,14 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1,20 \times 3,30 \times 1,44}{2} = 2,85 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1,20 \times 1,44 \times 3,30^2}{8} = 2,35 \text{ kNm}$$

Class of cross section according to SRPS EN 1999-1-1 sec. 5.4.3. and 5.4.4.

A thinner wall is compressed. A neutral axis is located in web. Cross sections are A class without welds.

Класа пресека према SRPS EN 1999-1-1 тач. 5.4.3. и 5.4.4.

Притиснута је тања ножица. Неутрална линија се налази у ребру. Пресеци су класе А без варова.

$$\beta_{flange} = \frac{b}{t} = \frac{50-2 \times 2,5}{4,6} = 9,78 < 11\varepsilon = 11 \times 1,29 = 14,19$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}} = \sqrt{\frac{250}{150}} = 1,29$$

Flanges are 1. class.

$$\beta_{web} = \eta \frac{b}{t} = 0,61 \times \frac{160-8-4,6}{2,5} = 35,97 > 22\varepsilon = 22 \times 1,29 = 28,38$$

$$\eta = \begin{cases} 0,70 + 0,30\psi, & -1 \leq \psi \leq 1 \\ \frac{0,80}{1-\psi}, & \psi < -1 \end{cases} =$$

$$0,70 + 0,30 \times (-0,31) = 0,61$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} Z = -\frac{2,14}{13,92} - \frac{2,35 \times 10^2}{494,50} \times 8,95 \times 10^{-1} = -0,59 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_2 = -\frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I_y} Z = -\frac{2,14}{13,92} + \frac{2,35 \times 10^2}{494,50} \times 7,05 \times 10^{-1} = 0,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{0,18}{-0,59} = -0,31$$

Webs are 4. class.

Cross section is 4. class.

Effective cross section per SRPS EN 1999-1-1 sec. 5.4.5.

$$\frac{\beta_{web}}{\varepsilon} = \frac{35,97}{1,29} = 27,88$$

$$\rho_{c,web} = \frac{10}{\frac{\beta_{web}}{\varepsilon}} - \frac{24}{\left(\frac{\beta_{web}}{\varepsilon}\right)^2} = \frac{10}{27,88} - \frac{24}{27,88^2} = 0,32$$

$$t_{eff,web} = 0,32 \times 2,5 = 0,8 \text{ mm}$$

$$I_{eff,y} = 395,93 \text{ cm}^4$$

$$A_{eff} = 8,66 \text{ cm}^2$$

Control of ultimate limit state

Bending per SRPS EN 1999-1-1 sec. 5.6.2.

$$M_{Ed} = 2,35 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = \frac{f_a \alpha_{3,u} W_{el}}{\gamma_{M1}} = \frac{150 \times 10^3 \times 0,80 \times 55,25 \times 10^{-6}}{1,1} = 6,03 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{3,u} = \frac{W_{eff}}{W_{el}} = 0,80$$

$$W_{el} = \frac{I_y}{z_{max}} = \frac{494,50}{8,95} = 55,25 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

Shear per SRPS EN 1999-1-1 sec. 5.6.4.

$$V_{Ed} = 2,85 \text{ kN} < V_{c,Rd} = \frac{A_v f_v}{\gamma_{M1}} = \frac{150 \times 10^3 \times 2,05 \times 10^{-4}}{1,1} = 27,95 \text{ kN}$$

$$\beta_{nož} = \frac{b}{t} = \frac{50-2 \times 2,5}{4,6} = 9,78 < 11\varepsilon = 11 \times 1,29 = 14,19$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}} = \sqrt{\frac{250}{150}} = 1,29$$

Ножице су класе 1.

$$\beta_{reb} = \eta \frac{b}{t} = 0,61 \times \frac{160-8-4,6}{2,5} = 35,97 > 22\varepsilon = 22 \times 1,29 = 28,38$$

$$\eta = \begin{cases} 0,70 + 0,30\psi, & -1 \leq \psi \leq 1 \\ \frac{0,80}{1-\psi}, & \psi < -1 \end{cases} =$$

$$0,70 + 0,30 \times (-0,31) = 0,61$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} Z = -\frac{2,14}{13,92} - \frac{2,35 \times 10^2}{494,50} \times 8,95 \times 10^{-1} = -0,59 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_2 = -\frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I_y} Z = -\frac{2,14}{13,92} + \frac{2,35 \times 10^2}{494,50} \times 7,05 \times 10^{-1} = 0,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{0,18}{-0,59} = -0,31$$

Ребра су класе 4.

Пресек је класе 4.

Ефективни пресек према SRPS EN 1999-1-1 тач. 5.4.5.

$$\frac{\beta_{reb}}{\varepsilon} = \frac{35,97}{1,29} = 27,88$$

$$\rho_{c,reb} = \frac{10}{\frac{\beta_{reb}}{\varepsilon}} - \frac{24}{\left(\frac{\beta_{reb}}{\varepsilon}\right)^2} = \frac{10}{27,88} - \frac{24}{27,88^2} = 0,32$$

$$t_{eff,reb} = 0,32 \times 2,5 = 0,8 \text{ mm}$$

$$I_{eff,y} = 395,93 \text{ cm}^4$$

$$A_{eff} = 8,66 \text{ cm}^2$$

Контрола носивости

Савијање према SRPS EN 1999-1-1 тач. 5.6.2.

$$M_{Ed} = 2,35 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = \frac{f_a \alpha_{3,u} W_{el}}{\gamma_{M1}} = \frac{150 \times 10^3 \times 0,80 \times 55,25 \times 10^{-6}}{1,1} = 6,03 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{3,u} = \frac{W_{eff}}{W_{el}} = 0,80$$

$$W_{el} = \frac{I_y}{z_{max}} = \frac{494,50}{8,95} = 55,25 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

Смицање према SRPS EN 1999-1-1 тач. 5.6.4.

$$V_{Ed} = 2,85 \text{ kN} < V_{c,Rd} = \frac{A_v f_v}{\gamma_{M1}} = \frac{150 \times 10^3 \times 2,05 \times 10^{-4}}{1,1} = 27,95 \text{ kN}$$

$$A_v = \sum_i^n (0.8D(t_w)_i - (1 - \rho_{haz})d_z(t_w)_i) = 2 \times 0,8 \times 16,0 \times 0,08 = 2,05 \text{ cm}^2$$

$\rho_{haz} = 1$ (without welds)

Bending and shear interaction per SRPS EN 1999-1-1 sec. 5.6.5.

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{2,85}{27,95} = 0,10 < 0,50 \rightarrow$$

There is no need to consider it.

Bending with normal force SRPS EN 1999-1-1 sec. 5.9.

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\kappa_y \omega_x N_{Rd}} \right)^{\psi_c} + \frac{1}{\omega_0} \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1,02} = \left(\frac{2,14}{1 \times 1 \times 118,09} \right)^{0,8} + \frac{1}{1} \left(\frac{2,35}{6,03} \right)^{1,02} = 0,43 \leq 1,00$$

$$N_{Ed} = 2,14 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 2,35 \text{ kNm}$$

$$\psi_c = 0,8 \text{ (for RHS)}$$

$$\omega_x = \omega_0 = 1 \text{ (without welds)}$$

$$\kappa_y = 1,0 \text{ (buckling is not relevant)}$$

$$N_{Rd} = \frac{A_{eff} f_0}{\gamma_{M1}} = \frac{8,66 \times 10^{-4} \times 150 \times 10^3}{1,1} =$$

$$118,09 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = 6,03 \text{ kNm}$$

Control od serviceability limit state with effective cross section

$$f = \frac{5}{384} \frac{q_k l^4}{E I_{eff}} = \frac{5}{384} \frac{0,963 \times 3,30^4}{70 \times 10^6 \times 395,93 \times 10^{-8}} =$$

$$5,37 \text{ mm} < f_{allowed} = \frac{L}{500} = \frac{3300}{500} =$$

$$6,6 \text{ mm}$$

The previous calculation is performed for the cross section with weaker characteristics RAYNAERS CW50 $h = 146,5 \text{ mm}$. It does not satisfy a serviceability limit state, that is it has too big deformations, so the assumed cross section is appropriate.

3.2. Design according to old standards

Assumed mullions cross section: RAYNAERS CW50 $h = 146,5 \text{ mm}$

Calculation of the equivalent cross section is presented in Table 13. Figure 5 shows the real and equivalent cross section. The equivalent cross section is

$$A_v = \sum_i^n (0.8D(t_w)_i - (1 - \rho_{haz})d_z(t_w)_i) = 2 \times 0,8 \times 16,0 \times 0,08 = 2,05 \text{ cm}^2$$

$\rho_{haz} = 1$ (нема варова)

Интеракција савијања и смицања према SRPS EN 1999-1-1 таč. 5.6.5.

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{2,85}{27,95} = 0,10 < 0,50 \rightarrow$$

Није је потребно узимати у обзир.

Савијање са нормалном силом према SRPS EN 1999-1-1 таč. 5.9.

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\kappa_y \omega_x N_{Rd}} \right)^{\psi_c} + \frac{1}{\omega_0} \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1,02} = \left(\frac{2,14}{1 \times 1 \times 118,09} \right)^{0,8} + \frac{1}{1} \left(\frac{2,35}{6,03} \right)^{1,02} = 0,43 \leq 1,00$$

$$N_{Ed} = 2,14 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 2,35 \text{ kNm}$$

$$\psi_c = 0,8 \text{ (за сандучасте пресеке)}$$

$$\omega_x = \omega_0 = 1 \text{ (нема варова)}$$

$$\kappa_y = 1,0 \text{ (није меродаван утицај, извијања)}$$

$$N_{Rd} = \frac{A_{eff} f_0}{\gamma_{M1}} = \frac{8,66 \times 10^{-4} \times 150 \times 10^3}{1,1} =$$

$$118,09 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = 6,03 \text{ kNm}$$

Контрола деформација са ефективним пресеком

$$f = \frac{5}{384} \frac{q_k l^4}{E I_{eff}} = \frac{5}{384} \frac{0,963 \times 3,30^4}{70 \times 10^6 \times 395,93 \times 10^{-8}} =$$

$$5,37 \text{ mm} < f_{dop} = \frac{L}{500} = \frac{3300}{500} = 6,6 \text{ mm}$$

Претходни прорачун је урађен и за профил слабијих карактеристика RAYNAERS CW50 $h = 146,5 \text{ mm}$. Он не задовољава гранично стање употребљивости, тј. има превелике деформације, па је усвојени профил одговарајући.

3.2. Димензионисање према старим правилницима

Претпоставља се профил: RAYNAERS CW50 $h = 146,5 \text{ mm}$

Одређивање замењујућег пресека је приказано у табели 13. На Слици 5 су приказани стари и замењујући попречни пресек. Пресек је

appropriate because the moments of inertia are approximate.

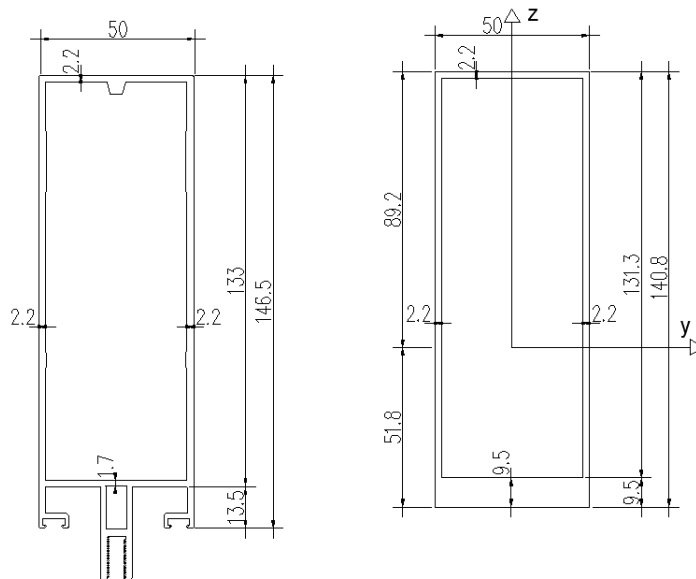
$$I_y = 297,52 \text{ cm}^4 \approx I_{y,real} = 297,49 \text{ cm}^4$$

одговарајући јер су моменти инерције приближни.

$$I_y = 297,52 \text{ cm}^4 \approx I_{y,stv} = 297,49 \text{ cm}^4$$

Табела 13 – Одређивање замењујућег пресека
Table 13 – Calculation of equivalent cross section

t [mm]	I_y [cm ⁴]
10,0	304,14
9,5	297,52



Слика 5 – Стварни и замењујући попречни пресек
Figure 5 – Real and equivalent cross section

Load analysis

weight of façade.....0,40 kN/m²
selfweight.....neglected
wind (pressure).....0,78 kN/m²

Анализа оптерећења

тежина фасаде.....0,40 kN/m²
сопствена тежина.....занемарује се
ветар (притисак).....0,78 kN/m²

Load combinations

$q_{Ed,v} = 1,35 \times 0,40 = 0,54 \text{ kN/m}^2$
 $q_{Ed,h} = 1,5 \times 0,78 = 1,17 \text{ kN/m}^2$
 $q_{k,h} = 1,0 \times 0,78 = 0,78 \text{ kN/m}^2$

Комбинације оптерећења

$q_{Ed,v} = 1,35 \times 0,40 = 0,54 \text{ kN/m}^2$
 $q_{Ed,h} = 1,5 \times 0,78 = 1,17 \text{ kN/m}^2$
 $q_{k,h} = 1,0 \times 0,78 = 0,78 \text{ kN/m}^2$

Internal forces

$$N_{Ed} = 1,20 \times 3,30 \times 0,54 = 2,14 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1,20 \times 3,30 \times 1,17}{2} = 2,32 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1,20 \times 1,17 \times 3,30^2}{8} = 1,91 \text{ kNm}$$

Yield strength

$$f_d = \frac{f_{02}}{\gamma_{M1}} = \frac{15}{1,0} = 15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Control of ultimate limit state

bending with normal force per ECCS-T2 recommendations

$$\sigma_1 = \frac{N_c}{A_{mer}} - \frac{M_y}{W_{y,mer}} = -\frac{2,14}{11,53} + \frac{1,91 \times 10^2}{297,52/8,92} = 5,54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_d = 15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_2 = -\frac{N_c}{A_{mer}} - \frac{M_y}{W_{y,mer}} = -\frac{2,14}{11,53} - \frac{1,91 \times 10^2}{297,52/5,18} = -3,51 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > f_d = -15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Global buckling is not relevant.

Local buckling control of flange in compression per ECCS-T2 recommendations

$$\lambda_{eq} = m \frac{b}{t} = 1,5 \times \frac{50-2 \times 2,2}{9,5} = 7,2$$

$$\lambda_{0,2} = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{02}}} = \pi \times \sqrt{\frac{70000}{150}} = 67,83$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{eq}}{\lambda_{0,2}} = \frac{7,2}{67,83} = 0,11 < \bar{\lambda}_0 =$$

0,22 (крива "a")

Slenderness is under the limit, so a detailed analysis is not necessary.

Local buckling control of part of the web in compression according to ECCS-T2 recommendations

$$\lambda_{eq} = m \frac{b}{t} = 0,45 \times \frac{131,3 - 2,2}{2,2} = 26,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{eq}}{\lambda_{0,2}} = \frac{26,4}{67,83} = 0,39 > \bar{\lambda}_0 =$$

0,22 (крива "a")

$\alpha = 0,159$ (крива "a")

$\beta = 0,083$ (крива "a" and $\bar{\lambda} < 1.1$)

$\gamma = 1.1$ (крива "a")

$\nu = 0.966$ (крива "a")

Пресечне силе

$$N_{Ed} = 1,20 \times 3,30 \times 0,54 = 2,14 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1,20 \times 3,30 \times 1,17}{2} = 2,32 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1,20 \times 1,17 \times 3,30^2}{8} = 1,91 \text{ kNm}$$

Граница развлачења

$$f_d = \frac{f_{02}}{\gamma_{M1}} = \frac{15}{1,0} = 15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Контрола носивости

Притисак и савијање према препорукама ECCS-T2

$$\sigma_1 = \frac{N_c}{A_{mer}} - \frac{M_y}{W_{y,mer}} = -\frac{2,14}{11,53} + \frac{1,91 \times 10^2}{297,52/8,92} = 5,54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_d = 15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_2 = -\frac{N_c}{A_{mer}} - \frac{M_y}{W_{y,mer}} = -\frac{2,14}{11,53} - \frac{1,91 \times 10^2}{297,52/5,18} = -3,51 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > f_d = -15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Утицај извијања се не анализира јер није меродаван.

Контрола избочавања притиснуте ножице према препорукама ECCS-T2

$$\lambda_{eq} = m \frac{b}{t} = 1,5 \times \frac{50-2 \times 2,2}{9,5} = 7,2$$

$$\lambda_{0,2} = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{02}}} = \pi \times \sqrt{\frac{70000}{150}} = 67,83$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{eq}}{\lambda_{0,2}} = \frac{7,2}{67,83} = 0,11 < \bar{\lambda}_0 =$$

0,22 (крива "a")

Виткост је испод граничне, па није потребно радити детаљнији прорачун.

Контрола избочавања притиснутог дела ребра према препорукама ECCS-T2

$$\lambda_{eq} = m \frac{b}{t} = 0,45 \times \frac{131,3 - 2,2}{2,2} = 26,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{eq}}{\lambda_{0,2}} = \frac{26,4}{67,83} = 0,39 > \bar{\lambda}_0 =$$

0,22 (крива "a")

$\alpha = 0,159$ (крива "a")

$\beta = 0,083$ (крива "a" и $\bar{\lambda} < 1.1$)

$\gamma = 1.1$ (крива "a")

$\nu = 0.966$ (крива "a")

$$\bar{N} = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \left(1 + \alpha \sqrt{\bar{\lambda}^2 - \bar{\lambda}_0^2} + \bar{\lambda}^2 \left(1 - 2\beta(\gamma - \bar{\lambda})^v \sqrt{\bar{\lambda}^2 - \bar{\lambda}_0^2} \right) - \sqrt{\left(1 + \alpha \sqrt{\bar{\lambda}^2 - \bar{\lambda}_0^2} + \bar{\lambda}^2 \right)^2 - 4\bar{\lambda}^2} \right) = 0,92$$

$$\sigma_{cr}^{loc} = \bar{N} f_{02} = 0,92 \times 15 = 13,8 \frac{kN}{cm^2} > |\sigma_2| = 3,51 \frac{kN}{cm^2}$$

Local buckling will not occur.

Control od serviceability limit state

$$f = \frac{5}{384} \frac{q_k l^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{0,81 \times 0,963 \times 3,30^4}{70 \times 10^6 \times 297,52 \times 10^{-8}} = 5,78 \text{ mm} < f_{allowed} = \frac{L}{500} = \frac{3300}{500} = 6,6 \text{ mm}$$

Serviceability limit state utilization is very high. That says that the assumed cross section is appropriate because the cross section with weaker characteristics would not satisfy that condition.

3.3. Comparison of design results

Serviceability limit state is relevant according to both standards. The difference in the standards for aluminum construction design for the serviceability condition is present because Eurocode checks it with the effective cross section and ECCS-T2 with the real one. The loads calculated according to the old standards are 81% of the loads according to Eurocode. Latter is manifested in possibility of adopting a cross section with weaker characteristics in design by the old standard.

An ultimate limit state control is done with different approaches by the two standards, but they prescribe the same checks. Both standards analyze the possibility of local buckling of slender cross-sectional elements.

$$\bar{N} = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \left(1 + \alpha \sqrt{\bar{\lambda}^2 - \bar{\lambda}_0^2} + \bar{\lambda}^2 \left(1 - 2\beta(\gamma - \bar{\lambda})^v \sqrt{\bar{\lambda}^2 - \bar{\lambda}_0^2} \right) - \sqrt{\left(1 + \alpha \sqrt{\bar{\lambda}^2 - \bar{\lambda}_0^2} + \bar{\lambda}^2 \right)^2 - 4\bar{\lambda}^2} \right) = 0,92$$

$$\sigma_{cr}^{loc} = \bar{N} f_{02} = 0,92 \times 15 = 13,8 \frac{kN}{cm^2} > |\sigma_2| = 3,51 \frac{kN}{cm^2}$$

Нема опасности од избочавања.

Контрола деформација

$$f = \frac{5}{384} \frac{q_k l^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{0,81 \times 0,963 \times 3,30^4}{70 \times 10^6 \times 297,52 \times 10^{-8}} = 5,78 \text{ mm} < f_{dop} = \frac{L}{500} = \frac{3300}{500} = 6,6 \text{ mm}$$

Искоришћеност граничног стања употребљивости је доста висока. То говори да је претпостављени профил одговарајући јер профил слабијих карактеристика не би испуњавао овај критеријум.

3.3. Поређење резултата димензионисања

При оба прорачуна је био меродаван критеријум граничног стања употребљивости. Разлика у стандардима за димензионисање алуминијумских конструкција се за критеријум употребљивости огледа у томе што се према Еврокоду провера ради са ефективним пресеком, а према ECCS-T2 са стварним. Утицаји по старом правилнику за дејство ветра износе у разматраном случају 81% од утицаја по Еврокоду. Претходно се испољило кроз могућност да се за утицаје по старом правилнику може усвојити профил слабијих карактеристика.

Гранично стање носивости, на нешто другачији начин, спроводи исте провере. Оба стандарда разматрају могућност појаве избочавања витких елемената пресека.

4. CONCLUSION

The comparative analysis showed that the loads on most surfaces is similar. The difference exists in the local effects around the buildings edges. Eurocode prescribes their more comprehensive analysis and gives the greater loads for those surfaces.

ECCS-T2 standard prescribes deformation control with the real cross-sectional characteristics, while Eurocode 9 with effective ones. This difference is present in analysis of the cross sections with the slender elements. Latter makes Eurocode the standard which, besides greater wind loads, additionally requires mullions with greater bearing capacity.

4. ЗАКЉУЧАК

Упоредном анализом ветра се примећује да је оптерећење на објекат за већину површина слично. Разлика настаје у локалним утицајима уз ивице објекта. Еврокод их детаљније разматра и даје веће вредности притисака за њих.

ECCS-T2 стандард проверу деформација ради са стварим пресеком, док Еврокод 9 са ефективним. Ова разлика долази до изражаја код пресека са витким деловима. Претходно чини Еврокод стандардом који, поред већих утицаја од ветра, додатно захтева носаче веће носивости.

REFERENCES

- [1] SRPS EN 1991-1-4 Еврокод 1 – Дејства на конструкције – Део 1-4: Општа дејства – Дејства ветра, Институт за стандардизацију Србије, 2012.
- [2] SRPS U.C7.110 Основе прорачуна грађевинских конструкција – Оптерећење ветром – Основни принципи и осредњени аеродинамички притисак ветра, Институт за стандардизацију Србије, 1992.
- [3] Marković, Z.; Dobrić, J.; Gluhovac, N.: Comparison od wind actions according to Eurocode and previous regulations, Građevinar, 2020.
- [4] Lee, A.; Shepherd, P.; Evernden, M.; Metcalfe, D.: Optimizing the architecture layouts and technical specifications of curtain walls to minimize use of aluminum, Structures, 2018.
- [5] SRPS EN 1999-1-1 Еврокод 9 – Пројектовање алуминијумских конструкција – Део 1-1: Општа правила, Институт за стандардизацију Србије, 2012.
- [6] Марковић, З.; Драгаш, Ј.: Савремени концепт пројектовања конструкција од алуминијумских легура према Еврокоду 9, Изградња, 2011.
- [7] Gligić, B; Budevac, D; Marković, Z.; Mišković, Z.: Aluminium alloy girders strengthened by steel elements, Građevinar, 2016.
- [8] Gligić, B; Budevac, D; Marković, Z.: Theoretical Analysis of the Possibilities for Aluminium Alloy Beam to be Strengthened Using Elements of Steel, Key Engineering Materials, 2016.
- [9] ECCS-T2-Committee: European Recommendations for Aliminium Alloy Structures, 1978.
- [10] SRPS U.C7.111 Основе прорачуна грађевинских конструкција – Оптерећење ветром – Динамички коефицијент и аеродинамички притисак ветра, Институт за стандардизацију Србије, 1992.
- [11] SRPS U.C7.112 Основе прорачуна грађевинских конструкција – Оптерећење ветром – Оптерећење ветром зграда, Институт за стандардизацију Србије, 1992.
- [12] Lee, A.; Shepherd, P.; Evernden, M.; Metcalfe, D.: Optimizing the Cross-sectional Shapes of Extruded Aluminum Structural Members for Unitized Curtain Wall Facades Structures, 2017.
- [13] Kesawan, S.; Mahendran, M.; Baleshan, B.: Section moment capacity tests of complex shaped aluminium mullions, Thin-Walled Structures, 2018.
- [14] Sivaprakasam, R.; Kesawan, S.; Mahendran, M.; Stringfellow, J.; Baleshan, B.: Full-scale tests of aluminum mullion couples in unitized facades under wind actions, Engineering Structures, 2020.
- [15] Lee, A.; Alimanza, J.; Shepherd, P.; Evernden, M.: Axial Rotation and Lateral Torsional Buckling of Extruded Aluminum Mullions in Curtain Wall Facades, Structures, 2019.

- [16] Su, M.; Young, B.; Gardner, L.: Deformation-based design of aluminum alloy beams, Engineering Structures, 2014.
- [17] Su, M.; Young, B.; Gardner, L.: Flexural response of aluminum alloy SHS and RHS with internal stiffeners, Engineering Structures, 2016.