

MOGUĆE POSLEDICE OD OPTEREĆENJA USLED NALETA VETRA NA PRIMERU OBJEKTA CENTRA OBLASNE KONTROLE LETENJA U BEOGRADU

Miroslav Bešević¹
Danijel Kukaras²
Aniko Tešanović³
Dragana Nadaški⁴

UDK: 725.39 : 624.042.41

DOI: 10.14415/zbornikGFS22.012

Rezime: Vetar kao opterećenje spada u najznačajnija opterećenja na lake konstrukcije i njihovu oblogu, naročito na krovni pokrivač. Zanimarivanje njegovog uticaja pri proračunu i dimenzionisanju krovnih pokrivača može uzrokovati veoma velike materijalne štete. Čak i pri striktnoj primeni standarda prilikom dimenzionisanja, veoma često dolazi do odizanja i oštećenja krovnog pokrivača prilikom naleta vetra, kao što je to bio slučaj na objektu Centra oblasne kontrole letenja u krugu aerodroma "Nikola Tesla" u Beogradu prilikom olujnog vetra koji se desio 16.06.2010. Kasnijim kontrolnim proračunom sprovedenim na osnovu anemografskog zapisa brzina vetra sa lokacije, dokazalo se da i proračun nedvosmisleno iskazuje da pokrivač, tj. njegova veza sa krovnom konstrukcijom ne može da izdrži realno opterećenje koje se desilo. Postavlja se pitanje, da li kod objekata od značaja, naročito na čijim lokacijama se konstantno vrši merenje brzine vetra i ti podaci su dostupni, projektovanje treba vršiti na osnovu podataka o osrednjenim brzinama vetra datih u standardu ili na osnovu realnih dostupnih merenja i realnog trajanja ekstremnih vrednosti brzina vetra, kojima se tačnije može simulirati uticaj naleta vetra.

Ključne reči: Nalet vetra, opterećenje, sišuće dejstvo, lokalno dejstvo, krovni pokrivač, havarija.

1. UVOD

Vetar kao opterećenje spada u najznačajnija opterećenja na lake konstrukcije i njihovu oblogu, naročito na krovni pokrivač. Zanimarivanje njegovog uticaja pri proračunu i dimenzionisanju krovnih pokrivača može uzrokovati veoma velike materijalne štete.

¹ Prof. dr Miroslav Bešević, dipl.ing.građ., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 554-300, e-mail: miroslav.besevic@gmail.com

² Doc. dr Danijel Kukaras, dipl.ing.građ., Građevinski fakultet u Subotici, Kozaračka 2a, tel: 554-300, e-mail: danijel.kukaras@gmail.com

³ Asistent mr Aniko Tešanović, dipl.ing.građ., Građevinski fakultet u Subotici, Kozaračka 2a, tel: 554-300, e-mail: misan.dag@gmail.com

⁴ Dragana Nadaški, dipl.inž.građ., stručni saradnik, Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 554-300

Prema podacima o materijalnim štetama uzrokovanim prirodnim katastrofama, čak 80 do 85% je izazvano ekstremnim dejstvom vetra [1].

Čak i pri striktnoj primeni standarda prilikom dimenzionisanja, veoma često dolazi do odizanja i oštećenja krovnog pokrivača prilikom naleta vetra, kao što je to bio slučaj na objektu Centra oblasne kontrole letenja u krugu aerodroma "Nikola Tesla" u Beogradu prilikom olujnog vetra koji se desio 16.06.2010. kada se sa dela krova odigao deo krovnog pokrivača i praktično postao neupotrebljiv, čime je izazvana materijalna šteta od oko 21.800.000,00 dinara.

Kasnijim kontrolnim proračunom sprovedenim na osnovu anemografskog zapisa brzina vetra sa lokacije [5] u sastavu dokumentacije [6], dokazalo se da i proračun nedvosmisleno iskazuje da pokrivač, tj. njegova veza sa krovnom konstrukcijom ne može da izdrži realno opterećenje koje se desilo.

Postavlja se pitanje, da li kod objekata od značaja, naročito na čijim lokacijama se konstantno vrši merenje brzine vetra i ti podaci su dostupni, projektovanje treba vršiti na osnovu podataka o osrednjenim brzinama vetra na dejstvo od sat vremena datih u standardu ili na osnovu realnih, dostupnih merenja i realnog trajanja ekstremnih vrednosti brzina vetra, kojima se tačnije može simulirati uticaj naleta vetra.

Neki od karakterističnih oštećenja krovnih pokrivača usled ekstremnog dejstva vetra, prikazani su na slikama 1, 2, 3 i 4



Slika 1.



Slika 2.



Slika 3.



Slika 4.

2. OBJEKAT CENTRA OBLASNE KONTROLE LETENJA U BEOGRADU

Objekat se nalazi na rubnim delovima kompleksa Aerodroma „Nikola Tesla“ u Beogradu što može da se vidi iz snimaka pribavljenih preko internet stranice „Google Maps“, (sl. 5 i 6).

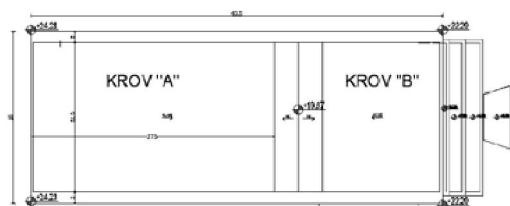


Slika 5. Satelitski snimak objekta (desni deo snimka)



Slika 6. Snimak gotovog objekta, pogled sa javnog parkinga Aerodroma "Nikola Tesla" u Beogradu

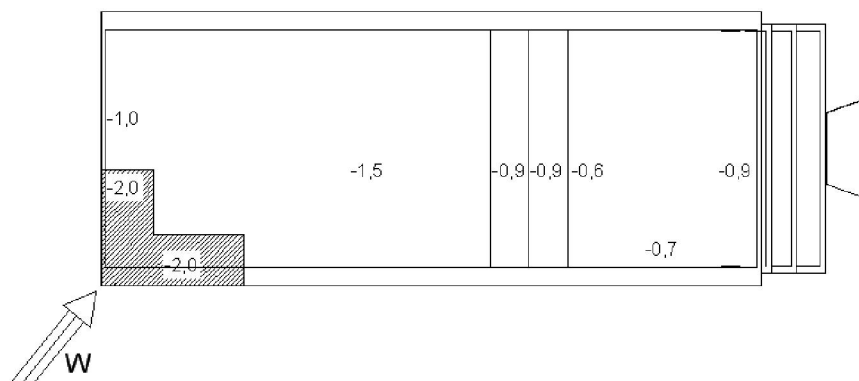
Dana 16.06.2010. godine, prilikom olujnog vetra, na objektu je došlo do odizanja krovnog pokrivača, t.j. tačnije gornjeg pokrivnog aluminijumskog lima, koji je praktično uništen do neupotrebljivosti. Snimci havarisanog krova pronađeni u dokumentaciji [2], sa pokidanim i pugužvanim limom u dijagonalnom pravcu, tačno prikazuju pravac iz kog je duvao vetar, koji se u ovom slučaju poklopio sa kritičnim pravcem vetra za ovakav oblik krova, pri kom se baš na delovima krova na kojima je došlo do havarije, pojavljuje pojačano lokalno dejstvo vetra (sl. (7, 8 i 9). Da bi se ustanovilo da li je uzrok havarije samo takozvana "viša sila" ili se uzroci mogu naći i u projektno tehničkoj dokumentaciji, pristupilo se pregledu i analizi iste.



Slika 7. Osnova krova objekta



Slika 8. Silueta objekta



Slika 9. Šema koeficijena spoljašnjeg pritiska vetra na krov za slučaj kritičnog pravca vetra sa označenom zonom pojačanog dejstva u kojoj je i došlo do havarije

Tokom analize projektne dokumentacije utvrđeno je da je u tehničkom opisu arhitektonsko građevinskog projekta [3], na strani 1.6, krovni pokrivač definisan na sledeći način: „Finalno pokrivanje kosog dela krova je aluminijumskim profilisanim sendvič limom, tipa „Riverclack“ na metalnoj potkonstrukciji sa mineralnom vunom kao termoizolacijom...” dok je u okviru opisa krovnog pokrivača za statički proračun [4] navedeno sledeće: „Za usvojeno opterećenje i kontinualni statički sistem rožnjača kao donji noseći lim odgovarao bi čelični lim Lemind TR 60/175/0.7 ili lim drugog proizvođača odgovarajućih karakteristika.“, a da gornji lim nije posebno pomenut.

U okviru Projektnog zadatka za izradu građevinskog projekta [4], nisu posebno definisane karakteristike krovnog pokrivača osim što je u delu gde je definisano opterećenje od vetra dato: „Opterećenje od vetra (Projektna brzina vetra je prema zahtevu Investitora 27,0 m/s) i seizmike uzeti na osnovu vežećih pravilnika i standarda.“. Kako nije bilo dodatnog objašnjenja ovo bi, prema važećim standardima za proračun opterećenja od vetra u R Srbiji (SRPS U. C7. 110) značilo da je brzina vetraosrednjena na vremenski interval od 3600 sekundi mereno na visini od 10 m iznad terena i da ona iznosi 27,0 m/s.

Upoređujući tehnički opis koji je dat u [3] sa opisom datim u [4], može se zaključiti da delovi projekta nisu u potpunosti usaglašeni jer termin „sendvič lim“ podrazumeva gotov panel kod koga su spoljašnji i unutrašnji lim od istog materijala, a između njih je termoizolacija. Odnosno, primena krovnog pokrivača datog u tehničkom opisu projekta [3] podrazumeva da se umesto montaže donjeg čeličnog lima, distancera, termoizolacije

i gornjeg lima primenjuje gotov sendvič panel koji je u potpunosti od aluminijumskog lima.

Nakon tehničkog opisa u projektu [3] sledi „Projektni zadatak za izradu arhitektonsko građevinskog projekta objekta centra oblasne kontrole letenja Beograd“ gde nije posebno definisan krovni pokrivač.

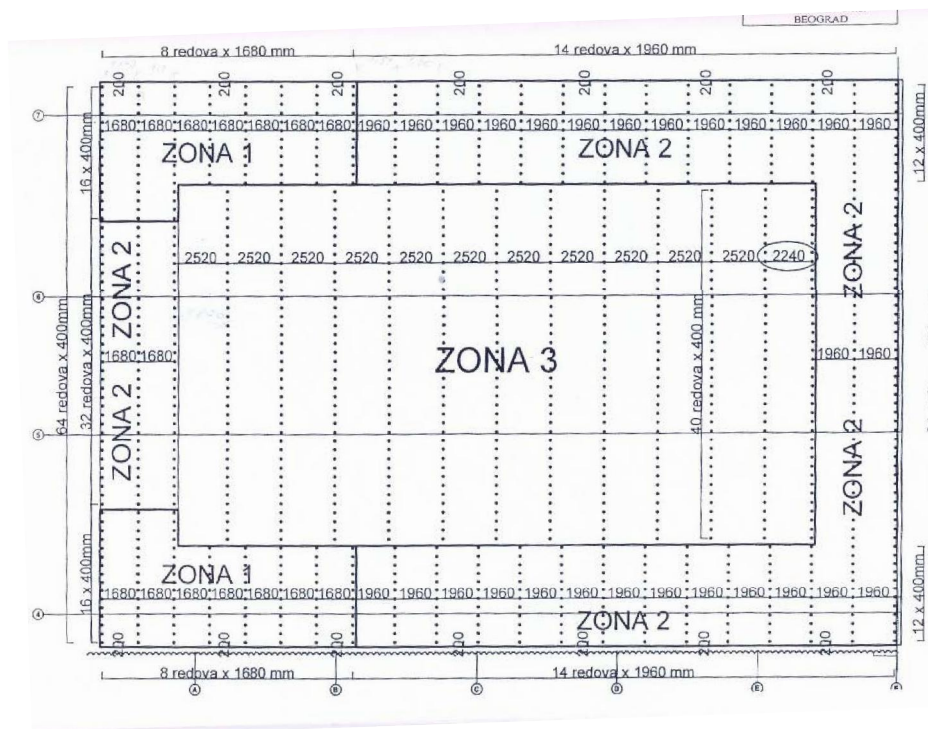
Statički proračun u okviru projekta [4] počinje sa analizom opterećenja u kojoj se za sopstvenu težinu krovnog pokrivača uzima „- težina krovnog pokrivača (Fe-sendvič) ... 0,50 kN/m²“ zatim se, između ostalog, nastavlja sa proračunom opterećenja od vetra, nakon čega sledi proraču (dimezionisanje) rožnjače, odnosno nema posebnog proračuna, t.j. dimezionisanja krovnog pokrivača.

Na osnovu napred iznetog se može zaključiti da u samim projektima i projektnom zadatku postoji niz neusklađenosti, kao i to da projektant nije tretirao krovni pokrivač posebno već ga je samo proizvoljno naveo u okviru tehničkih opisa, iako krovni pokrivač, kao deo noseće konstrukcije objekta, trpi najveće udare vetra pa mora da bude propisno i pravilno dimezionisan i on i spojna sredstva koja obezbeđuju njegovu vezu sa rožnjačama. Prilikom ovog dimezionisanja objekat mora da bude pravilno razvrstan u odgovarajuću kategoriju po krutosti i za realne gabarite i siluetu objekta, mora da se odredi, na osnovu važećih standarda za proračun opterećenja vetrom, merodavan pravac dejstva vetra na objekat (ovde ceo krov) i zone na krovu u kojima se javlja pojačano lokalno dejstvo vetra koje je merodavno za dimezionisanje i pravilan izbor krovnog pokrivača i njegove veze sa potkonstrukcijom. Pregledom projekta [4] je takođe ustanovljeno da je opterećenje vetrom koje je uzeto u obzir za proračun i dimezionisanje čelične konstrukcije i celog objekta uzeto pogrešno (pogrešno je uzeta visina objekta, silueta nije uzeta u obzir, pogrešno je izvršena kategorizacija objekta po krutosti i nameni, pogrešno je usvojena klasa hrapavosti terena, pogrešno su usvojeni koeficijenti spoljašnjeg pritiska vetra). Dakle, može se zaključiti da je analiza opterećenja, a samim tim i kompletan proračun na dejstvo vetra za ceo objekat u odobrenom projektu [4], na osnovu kog je izdata građevinska dozvola, pogrešan.

U sastavu dokumentacije [2], priložen je Projekat za izvođenje krova od 14. 9. 2009. godine izrađen je od strane „Armort sp“ d.o.o. U projektu su dati izvođački detalji za montažu krovnog pokrivača i opšivki iz kojih se vidi da je za krovni pokrivač usvojen donji noseći čelični trapezasti lim, distanceri (aluminijumski nosači – „klipići“) termoizolacija i gornji aluminijumski lim „Kalzip“ 65/400/0.8 mm. U [2] je priložen i statički proračun za ovaj usvojeni lim i njegov sistem pričvršćivanja koji je izradio proizvođač lima. Proračun je na nemačkom jeziku i sačinjen je prema nemačkim standardima. Ovaj statički proračun je u pogledu gabarita i siluete objekta tačan, za razliku od proračuna u projektu [4] i u njemu je stvarno izvršeno dimezionisanje lima i njegove veze sa distancerima što u [4] nije urađeno. Na osnovu ovoga, proračunom je dokazano da lim i njegova veza mogu da podnesu opterećenja vetrom čija je brzina 27,0 m/s, što je Investitor zahtevao kroz projektni zadatak. Raspored izvedenih distancera („klipića“) na objektu je dat na sl. 10. Izvođač radova je vezu distancera za donji noseći lim i vezu gornjeg lima za distancer uradio prema datim detaljima u izvođačkom projektu ali je distancere rasporedio po pravim linijama (sl. 10), a ne dijagonalno kako je

to dato u statičkom proračunu proizvođača. Pri tome je u zonama krovne površine u kojima je prema našim važećim standardima izraženo pojačano spoljašnje totalno dejstvo vetra progustio distancere u odnosu na zone korva u kojima je smanjeno spoljašnje dejstvo vetra.

U sastavu dokumentacije [6] veštaci su izradili tačan proračun opterećenja (sile čupanja lima sa distancera) za najviše opterećen distancer prema izvedenom rastojanju za dve varijante: projektim zadatkom zadatu brzinu vetra od 27 m/s i nalet vetra u trajanju od 50 sekundi brzine 36,3 m/s mereno na visini od 10 m po našim važećim standardima. Pri tome je uzeto da na spoljašnji lim utiče samo spoljašnje dejstvo vetra, a merodavan slučaj za sistem „Kalzip“ je sila čupanja lima sa distancera.



Slika 10. Izveden raspored "kliča" na delu krova A

3. PRORAČUN PREMA SRPS U.C7. 110, 111 i 112

a) Proračun prema zahtevu iz projektnog zadatka (brzina vetra 27 m/s):

- lokacija: Surčin (Beograd)
- klasa hrapavosti terena B (otvoreni – ravni tereni)
- vrsta objekta: objekat od značaja, $T = 100 \text{ god.}$ $k_T = 1,06$
- $v_{m,50,10}^B = 27,0 \text{ m/s}$
- vreme osrednjavanja: $t = 3600 \text{ s}$, $k_t = 1,0$

- visina objekta iznad terena $+ 24,23 \text{ m} > 20 \text{ m}$, objekat spada u velike krute zgrade

- intenzitet turbulencije $I_z = 0,15277$

- faktor ekspozicije $k_z^2 = 1,28$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{b}{h} = \frac{25,76}{24,23} \\ \frac{h}{2L} = \frac{24,23}{120} \end{array} \right\} \rightarrow B = 0,8$$

- za oblogu $g = 4$ dinamički koeficijent

$$G_z = 1 + 2 \cdot g \cdot I_y \cdot B = 1 + 2 \cdot 4 \cdot 0,15277 \cdot 0,8 = 1,98$$

- gustina vazduha $\rho = 1,225 - \frac{132}{8000} = 1,2085$

- osnovni pritisak vetra

$$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \rho (v_{m,50,10}^B \cdot k_t \cdot k_T)^2 = \frac{1}{2} 1,2085 (1 \cdot 1,06 \cdot 27)^2 \cdot 10^{-3} = 0,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

- osrednjeni aerodinamički pritisak vetra

$$q_{m,T,z} = q_{m,T,10} \cdot K_z^2 \cdot S_z^2 = 0,5 \cdot 1,28 \cdot 1 = 0,64 \text{ kN} / \text{m}^2$$

- aerodinamički pritisak vetra

$$q_{g,T,z} = q_{m,T,z} \cdot G_z = 0,64 \cdot 1,98 = 1,2672 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Opterećenje vetrom

- uglovi krova sa strane dijagonalnog dejstva vetra $C_{pi} = -2,0$

$$w = C_{pi} \cdot q_{g,T,z} = -2,0 \cdot 1,2672 = -2,5344 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ - merodavno dejstvo za lim i}$$

za vezu lima sa distancerom (sišuće dejstvo).

Opterećenje na najviše opterećen distancer u zoni „1“ (sa merenim rastojanjima na objektu, prema [2])

- od težine lima $g_1 = 0,05 \text{ kN} / \text{m}^2$ -vertikalno
 - od vetra $w = -2,5344 \text{ kN} / \text{m}^2$ -upravno na lim
- $$q = 0,05 \cdot \cos 6^\circ - 2,5344 = -2,485 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ -upravno na lim}$$

Sila čupanja koja deluje na distancer

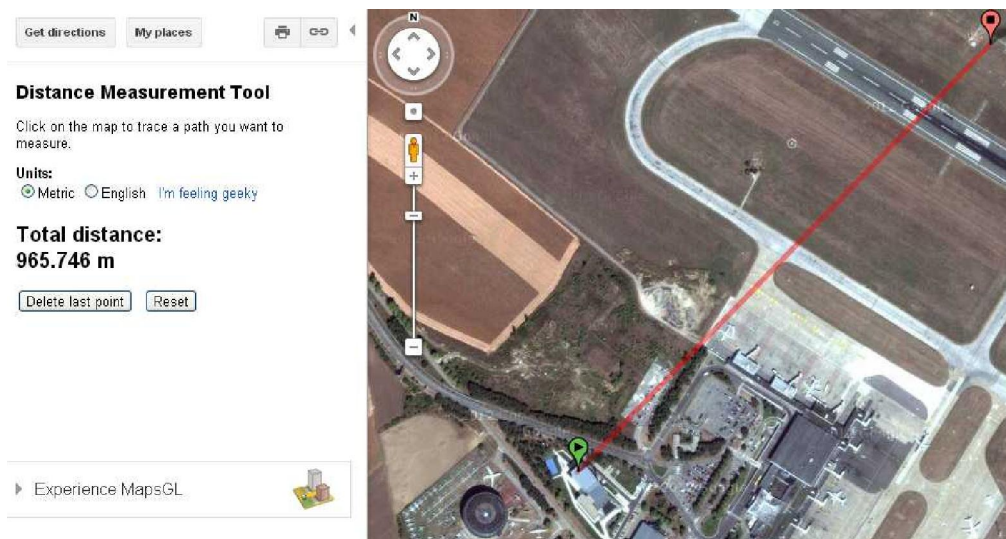
$$N_1 = 2,485 \cdot 0,4 \cdot \frac{1,64 + 1,7}{2} = 1,66 < 2,1 \text{ kN} \text{ (sila čupanja lima na distanceru iz}$$

kataloga proizvođača)

b) Proračun **za** kombinaciju opterećenja: stalan teret + spoljašnje dejstvo vetra usled maksimalnog udara vetra koji se desio 16. 6. 2010. godine.

Napomena:

- nalet vetra za vreme oluje koji je pogodio lim brzinom od 36,3 m/s u 15:05:48 (+2h) je u 15:06:48 (+2h) opao na 34,0 m/s, u 15:07:38 (+2h) je opao na 29,0 m/s, a sve ostalo vreme pre i posle maksimalne zabeležene brzine, brzina veta je bila manja od 27,0 m/s (što je projektnim zadatkom zahtevana brzina veta) [5]. Na sl. 11 je prikazan položaj anemometra u odnosu na predmetni objekat.
- trajanje naleta vetra brzine 36,3 m/s je iznosilo najviše 50 sekundi dok je ukupno trajanje dejstva vetra brzine veće od 27,0 m/s bilo oko 120 sekundi
- u proračunu se neće izvršiti osrednjavanje brzine vetra od 36,3; 34,0 i 29,6 m/s za interval od 120 sekundi, već će se računati sa brzinom vetra od 36,3 m/s u trajanju od 50 sekundi, što je realnije i na strani je sigurnosti
- u proračunu će se računati samo oni parametri na koje ima uticaj promena brzine vetra i vrem trajanja tog dejstva vetra u odnosu na slučaja „a“, dok će parametri koji se menjaju biti korišćeni kao i za slučaj „a“.



Slika 11. Položaj anemometra u odnosu na predmetni objekat

Proračun vetra:

- za nalet vetra u trajanju od 50 sekundi, brzinu $v_{m,50,10}^B = 36,3 \text{ m/s}$ i klasu hrapavosti terena B, faktor osrednjavanja je $k_t = 1,6509 \cdot t_s^{-0,0645} = 1,6509 \cdot 50^{-0,0645} = 1,283$
- visina na kojoj je merena brzina vetra iznosi 10,0 m
- vrsta objekta: objekat od značaja, $T = 100 \text{ god.}$ $k_T = 1,06$
- teren je ravničarski $S_z = 1,0$
- visina objekta iznad terena $+ 24,23 \text{ m} > 20 \text{ m}$, objekat spada u velike krute zgrade
- intenzitet turbulencije $I_z = 0,15277$

- faktor ekspozicije $k_z^2 = 1,28$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{b}{h} = \frac{25,76}{24,23} \\ \frac{h}{2L} = \frac{24,23}{120} \end{array} \right\} \rightarrow B = 0,8$$

- za oblogu $g = 4$ dinamički koeficijent

$$G_z = 1 + 2 \cdot g \cdot I_y \cdot B = 1 + 2 \cdot 4 \cdot 0,15277 \cdot 0,8 = 1,98$$

$$\text{- gustina vazduha } \rho = 1,225 - \frac{132}{8000} = 1,2085$$

- osnovni pritisak vetra

$$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \rho (v_{m,50,10}^B \cdot k_t \cdot k_r)^2 = \frac{1}{2} 1,2085 (1,283 \cdot 1,06 \cdot 36,3)^2 \cdot 10^{-3} = 1,473 \text{ kN} / \text{m}^2$$

- osrednjeni aerodinamički pritisak vetra

$$q_{m,T,z} = q_{m,T,10} \cdot K_z^2 \cdot S_z^2 = 1,473 \cdot 1,28 \cdot 1 = 1,885 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{- aerodinamički pritisak vetra } q_{g,T,z} = q_{m,T,z} \cdot G_z = 1,885 \cdot 1,98 = 3,7323 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{- uglovi krova sa strane dijagonalnog dejstva vetra } C_{pi} = -2,0$$

$$w = C_{pi} \cdot q_{g,T,z} = -2,0 \cdot 3,7323 = -7,4646 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ - merodavno dejstvo za lim i za vezu lima sa distancerom (sišuće dejstvo)}$$

Opterećenje na najviše opterećen distancer u zoni „1“ (sa merenim rastojanjima na objektu)

$$\text{- od težine lima } g_1 = 0,05 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ - vertikalno}$$

$$\text{- od vetra } w = -7,4646 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ - upravno na lim}$$

$$q = 0,05 \cdot \cos 6^\circ - 7,4646 = -7,4149 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ - upravno na lim}$$

Sila čupanja koja deluje na najopterećeniji distancer

$$N_1 = 7,4149 \cdot 0,4 \cdot \frac{1,64 + 1,7}{2} = 4,953 > 2,1 \text{ kN}$$

4. ZAKLJUČAK

Iz prethodno prikazanih proračuna se može zaključiti da usled dejstva vetra na objekat intenziteta prema zahtevu Investitora iz projektnog zadatka, nije moglo doći do čupanja lima sa klipača za primenjeni lim i raspored klipača na objektu, ali je usled naleta vetra na objekat koji se desio dana 16.06.2010. godine, višestruko prekoračena nosivost veze na čupanje između gornjeg lima i distalncera, te je to uzrok havarije koja se desila. Čak i u slučaju da Izvođač nije promenio raspored distancera na objektu u odnosu na predložen

raspored u statičkom proračunu koji je izradio proizvođač lima, usled ovakvog dejstva bi neminovno došlo do otkazivanja spoja. Ako se zna da se radi o objektu čija namena zahteva konstantno merenje brzine vetra, havarija koje se desila, mogla se izbeći da je investitor koristio ranije zapise brzine vetra koje poseduje i preciznije formulisao projektni zadatak.

LITERATURA

- [1] Yukio Tamura: Wind-induced damage to buildings and disaster risk reduction, The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind engineering, November 8-12.2009, Taipei, Taiwan
- [2] Spisi predmeta br. 36. P.4996/2011, Privredni sud u Beogradu
- [3] Glavni arhitektonsko građevinski projekat br. 2006U035A03. "Mašinoprojekt Koprang" a.d. Beograd, septembar 2007.
- [4] Glavni projekat čelične konstrukcije br. 2006U035G02. "Mašinoprojekt Koprang" a.d. Beograd, septembar 2007.
- [5] Dopis investitora "Agencija za kontrolu letenja Srbije i Crne Gore" d.o.o. br. FAM.00-90/314, od 23.06.2010., sa priloženim anemografskim zapisom brzina vetra merenih na aerodromu "Nikola Tesla" dana 10.06.2010. u periodu od 16 - 18 časova
- [6] Nalaz veštaka o okolnosti podizanja dela krovnog pokrivača na novom objektu Centra oblasne kontrole letenja u okviru Aerodroma "Nikola Tesla" u Beogradu br. 342-2. Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet Subotica, 30.10.2012.

POSSIBLE CONSEQUENCES OF GUST WIND LOADS – CASE STUDY FOR AIR CONTROL CENTER BUILDING IN BELGRADE

Summary: *The wind as a loading is one of the most significant loads for lightweight structures and their cladding, particularly roof claddings. Underestimation of wind load for design of roof cladding can cause significant damages. Even when strict application of standards is applied for the design, delamination and damage of roof cladding can occur during gusts of wind, as was the case at the Air Control Center building within the "Nikola Tesla" airport in Belgrade during the stormy wind which took place on Jun 16th 2010. Subsequent control calculations, conducted on the basis of anemograph records of wind speed at the site, proved that the roof cladding and its connection to the roof structure could not withstand actual wind loads that occurred. The question is whether for the important buildings, particularly those with constantly measured wind speed and available data, the design should be based on the data for averaged wind speeds given in codes or on the available data based on actual measurements and real time extreme values of wind speed, which is more accurate for numerical simulation of the wind gust loads.*

Keywords: *Gust wind load, sucking effect, local effect, roofing, failure.*