

OBORINSKO VLAŽENJE ZIDOVA U ZAGREBU METEOROLOŠKA ANALIZA ZA GRAĐEVINARSTVO

Driving rain exposure of vertical walls in Zagreb Meteorological analysis for building engineering

MAJA LISJAK

Dobri dol 56, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Primljeno 16. veljače 1997, u konačnom obliku 20. svibnja 1997.

Sažetak — Analizirani su petogodišnji nizovi podataka o vjetru i oborini na meteorološkom Opservatoriju Zagreb Grič. Matematičkim proračunom dobiveni su: indeks kišenja, oborinska ruža vjetera i brojčani parametri izloženosti vertikalnih zidova raznih orijentacija nošenoj oborini. Na temelju ruže čestine pojedinih smjerova vjetera ne treba donositi zaključke o nošenoj oborini, jer vjetar nije uvijek praćen oborinom. Indeks kišenja također ne daje dostatnu informaciju o potrebi zaštite zidova jer koristi srednje godišnje vrijednosti količine oborine i brzine vjetera. Oborinska ruža vjetera govori da su količine oborine nošene vjetrom tijekom jednog oborinskog sata u Zagrebu najveće iz smjerova NNW i N, ali ne govori ništa o učestalosti nošene oborine iz navedenih smjerova. Proračun izloženosti vertikalnih zidova raznih orijentacija nošenoj oborini koji uzima u obzir sveukupan utjecaj oborine nošene iz raznih smjerova na neki zid, ali i učestalost i trajanje izloženosti zidova nošenoj oborini, pokazuje da su u Zagrebu oborini najizloženije fasade okrenute prema sjeveroistoku, istoku i sjeveru. Ti rezultati upućuju građevinare i arhitektae kako treba oblikovati zgrade i koje zidove treba zaštititi od oborine, a građevinske fizičare kojim uvjetima treba izložiti materijale prilikom laboratorijskih ispitivanja.

Ključne riječi: građevinska meteorologija, nošena oborina, Zagreb Grič

Abstract — Five years of precipitation and wind speed data for Zagreb Grič have been analysed. The rain index, the driving rain windrose and quantitative driving rain exposure parameters have been derived. No conclusion about driving rain could be drawn based on the windrose because wind is not necessarily followed by precipitation. The rain index, being based on average annual rainfall and annual wind speed, also did not provide accurate information on the local driving rain exposure of buildings in Zagreb. The driving rain windrose show that the highest value of driving rain precipitation during one rainy period in Zagreb occur from NNW and N, but it does not indicate the total time of driving rain that impinges on a vertical facade. On the other hand, quantitative driving rain exposure parameters, i.e., precipitation, intensity, impact frequency and impact duration consider the integral impact of driving rain from different directions on vertical walls. These parameters show that, irrespective of season, vertical surfaces facing north, north-east and east collect the maximum precipitation. These driving rain parameters are useful both to building designers to prevent wall damage caused by water penetration, and to researchers in defining out the conditions to which the building envelope materials should be subjected in driving rain chambers.

Key words: building meteorology, driving rain, Zagreb Grič

1. UVOD

Kiša nošena vjetrom i skrenuta s vertikale, poznata pod nazivom nošena kiša (driving rain), ozbiljna je prijetnja vanjskim zidovima zgrada. Do prodiranja oborine u unutrašnjost građevinskih materijala može doći zbog upijanja kišnice i kapilarnog djelovanja materijala, tlaka vjetra i difuzije vodene pare zbog razlika parcijalnih tlakova pare u zidovima i izvan njih. Kapilarno djelovanje obično se javlja kada na vanjsku površinu porozna zida padaju kišne kapi nošene vjetrom pri čemu dolazi do apsorpcije vode. U odsutnosti vjetra kiša će padati vertikalno, pa će i najmanja streha krova iznad vanjske fasade objekta biti dovoljna zaštita od navlaživanja. Međutim, odklon oborinskog elementa za jake vjetrove (veće od 8 ms^{-1} , tj. 5 bofora) može biti veći od 45° , što znači da zid izložen vjetru u takvim slučajevima prima više oborine od horizontalne površine.

Što je veća brzina vjetra a kišne kapi sitnije, to će zid biti više navlažen. U slučaju kada je količina oborine koja pada na vanjsku fasadu objekta veća od potencijalne moći vodoupojnosti materijala, nakon što se dio vode upije i zasiti kapilare u zidu, stvara se film vode na vanjskom zidu, a višak vode teče po zidu bez prodiranja u unutrašnjost zida. Voda što se cijedi po zidu s vremenom stvara kanaliće na fasadi širine 0.1-5 mm, a istovremeni jak vjetar i velike kapi mogu toliko povećati impuls kapi da one prodiru kroz veće pukotine. Mali intenzitet oborine s duljim trajanjem uz djelovanje vjetra može uzrokovati prodiranje veće količine vode u unutrašnjost zida nego oborina većeg intenziteta ali kraćeg trajanja (Matić, 1988). Mokra se žbuka na vlažnim zidovima zimi smrzava, a kada temperatura poraste, odmrznuta žbuka i boja s nje otpadaju. Tako se ogoljuju i oštećuju fasade. Ljeti pak jaki pljuskovi i olujni vjetar otkidaju i veće komade žbuke odlijepljene od zida, koji pri padu mogu ozlijediti prolaznike.

Količina nošene kiše uglavnom se na meteorološkim postajama ne mjeri sistematično. U nekim zemljama poput Norveške, Švedske i Velike Britanije, postavljaju se vertikalni kišomjeri raznih orijentacija (Landsberg, 1981), no u Hrvatskoj se takva mjerenja ne provode redovno. Zbog osjetljivosti mjerenja količine nošene kiše razvijene su metode za njen proračun. Pokazalo se da količina oborine primljena na horizontalni kišomjer pomnožena s brzinom vjetra tijekom kišnog perioda dobro korelira s količinom oborine koju prima vertikalni kišomjer. Na temelju tog saznanja

uvode se indeksi kišenja odnosno navlaživanja objekta (Brazell, 1968; Matić, 1988), kišne (oborinske) ruže vjetra (Kobysheva, 1992), parametri izloženosti vertikalnih zidova nošenoj kiši (oborini) (Lacy, 1977; Zhu, 1995 a, 1995 b; Fazio, 1995) i sl.

Važnost informacije o nošenoj oborini višestрана je. Ona prvenstveno govori gdje je potrebna specijalna zaštita zida od oborine. Nošena oborina uzrokuje povećanje koeficijenta prolaza topline vanjske konstrukcije objekta, što dovodi do povećana gubitka topline objekta i većeg utroška energije za grijanje objekta. Nadalje informacija o nošenoj oborini omogućava arhitektu usporedbu izloženosti oborini jednog mjesta s drugim, njemu poznatim mjestom. S treće strane ta je informacija vodilja građevinskim fizičarima u određivanju uvjeta za laboratorijsko ispitivanje materijala (Johnson, 1990; Butlin, 1992), ponašanje spojeva na zidovima, prozorima i vratima (Kerr, 1990) i dr.

Cilj ovog rada jest da se primjenom meteoroloških podataka o vjetru i oborini odredi izloženost zidova nošenoj oborini u Gornjem i Donjem gradu u Zagrebu.

1. PODACI

Za ova proučavanja izabrana je meteorološka postaja Zagreb Grič ($H_s = 158.5 \text{ m}$, $j = 45^\circ 59' \text{ N}$, $l = 15^\circ 59' \text{ E}$). Njeni podaci koji se koriste u ovom radu mogu se smatrati reprezentativnima za Gornji i Donji grad u Zagrebu.

Ruža čestina vjetra dobivena je iz podataka za razdoblje 1927-1966. (Klimatski podaci 1969). Za određivanje indeksa kišenja korišten je petogodišnji srednjak (1.1.1981-31.12.1985) brzine vjetra i godišnje količine oborine.

Za računanje oborinske ruže vjetra i izloženosti vertikalnog zida nošenoj oborini korišten je isti petogodišnji period satnih vrijednosti količine oborine, srednji satni smjerovi i brzine vjetra te iznosi i smjerovi udara vjetra.

Pošto su navedeni satni podaci bili dostupni u dnevnicima mjerenja, zbog vremena potrebna jednoj osobi za obradu, odabran je petogodišnji niz. Petogodišnji je niz ujedno i najkraće razdoblje unutar kojeg se mogu stvarati pouzdani zaključci o strujanju (Lisac, 1965) i o izloženosti zida nošenoj oborini (Zhu, 1995).

Vjetar je mjeran univerzalnim Fuessovim anemografom čiji se primač nalazi na visini 23.0 m iznad tla na terasi smještenoj na krovu zgrade Opservatorija Zagreb Grič. Oborina je registrirana i mjerena Fuessovim pluviografom i nifografom postavljenima u dvorištu zgrade. Otvori na instrumentima nalaze se na 1.9 m iznad tla. Svi podaci smatraju se homogenima (Klimatski podaci, 1969).

Za obradu podataka napisani su programi u programskom jeziku fortran.

1. METODE

3.1. Indeks kišenja

Mjerenja provedena u Glasgowu (Brazell, 1968) pokazuju da je količina kiše koja pada na vanjsku fasadu objekta proporcionalna brzini vjetra i količini kiše koja pada na okolni teren. Srednja brzina vjetra tijekom oborinskog perioda ne mjeri se posebno, jer je pokazano da je omjer srednje brzine vjetra tijekom svih oborinskih perioda tijekom godine i godišnjeg srednjaka brzine vjetra stalan. Na osnovi toga ukupna se godišnja količina kiše i prosječna brzina vjetra na nekom mjestu mogu koristiti za računanje **indeksa kišenja**

$$I = \frac{h \cdot \bar{v}}{1000} \quad (1)$$

gdje je I (m^2s^{-1}) indeks kišenja odnosno navlaživanja objekta, h (mm) godišnja količina oborine, a \bar{v} (ms^{-1}) godišnji srednjak brzine vjetra.

Izloženost objekta kiši može se klasificirati (Matić, 1988):

1. ako je indeks kišenja 7 ili veći, smatra se da je područje izloženo;
2. ako je indeks kišenja od 3 do 7, isključujući područje uz more do udaljenosti 8 km koje ima indeks 5 ili veći, smatra se da je područje umjereno zaklonjeno;
3. ako je indeks kišenja 3 ili manji, isključujući područje uz more do udaljenosti 8 km, smatra se da je objekt zaklonjen.

Pošto se zasniva na srednjim godišnjim vrijednostima, ta metoda ne daje preciznu informaciju o izloženosti objekta nošenoj kiši. Precizni proračuni moraju se osnivati na satnim vrijednostima količine oborine, smjera i brzine vjetra. Dvije takve metode

prikazane su u sljedećim odjeljcima.

3.2. Oborinska ruža vjetra

Oborinska ruža vjetra (Kobysheva, 1992) bazira se na pluviometrijskim mjerenjima. **Srednja količina vjetrom nošene oborine** \bar{H}_v (mm) i **maksimalna količina vjetrom nošene oborine** $H_{v\text{maks}}$ (mm) u nekom kišnom periodu (satu) definiraju se kao

$$\bar{H}_v = \frac{Hg \cdot \bar{v}}{v_0} \quad (2)$$

$$\bar{H}_{v\text{maks}} = \frac{Hg \cdot \bar{v}_{\text{maks}}}{v_0} \quad (3)$$

gdje su $v_0 = 4.5 K^{0.107}$, K (mmh^{-1}) intenzitet kišenja, Hg (mm) količina kiše na horizontalnu plohu, a \bar{v} i v_{maks} srednja i maksimalna brzina vjetra (ms^{-1}) tijekom promatranog sata.

Za izradu ruže vjetrom nošene oborine izračunavaju se \bar{H}_v i $H_{v\text{maks}}$ za svaki oborinski period (sat) iz jednadžbi 2 i 3 i pridijele smjeru vjetra u promatranom periodu (satu). Nakon što se to učini za cijelu godinu, računaju se srednje količine vjetrom nošene oborine

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{H}_{v_i}}{n} \quad (4)$$

gdje su n ukupan broj oborinskih perioda (sati) i \bar{H}_{v_i} srednja količina vjetrom nošene oborine (mm) u i -tom periodu (satu).

Od maksimalnih oborina odabere se najveća vrijednost:

$$H_{\text{maks}} = \text{MAX} \{H_{v\text{maks}}\} \quad (5)$$

Crtanje \bar{H} i H_{maks} za svaku od 16 strana svijeta daje oborinsku ružu vjetra za danu lokaciju. Ta ruža vjetra pokazuje da količina nošene oborine koja pada iz određenog smjera može biti mnogo puta veća od oborine iz drugih smjerova. To je važna činjenica koju treba uzeti u obzir prilikom planiranja izgradnje objekta.

Takoder je važno odrediti u kojem se postotku od svih sati s oborinom javljaju oborine nošene umjerenim vjetrom ili jačim (brzina vjetra jednaka je ili veća od 5.5 ms^{-1} odnosno 4 bofora). Taj će podatak upozoriti arhitekta na to gdje je potrebna specijalna zaštita zida od kiše.

3.3. Izloženost vertikalnog zida nošenoj oborini

Karte indeksa kišenja, odnosno oborinske ruže vjetra, ne daju dovoljno precizan podatak o izloženosti zidova raznih orijentacija nošenoj kiši. Za cjelovit pristup problemu utjecaja nošene oborine na građevinu i pravilno korištenje podataka o nošenoj oborini u fazi oblikovanja zgrada, potrebno je odrediti i količinu i intenzitet nošene oborine na zidove raznih orijentacija. Nove metode prikazane u ovom odjeljku razradili su Zhu (1995) i Fazio (1995) sa suradnicima.

Ukupnu količinu nošene oborine (mm) na vertikalni zid raznih orijentacija definirao je Lacy (1977) ovako:

$$P_{\varnothing_{UKUP}} = \frac{2}{9} \sum_{i=1}^h \left(\frac{P_{h\Theta_i}}{t_{\Theta_i}} \right)^{\frac{8}{9}} v_{\Theta_i} \cdot \cos \Theta_i \cdot t_{\Theta_i} \quad (6)$$

$$-90 \leq \Theta \leq 90$$

gdje je $P_{\varnothing_{UKUP}}$ (mm) ukupna količina nošene oborine na vertikalni zid orijentacije \varnothing , $P_{h\Theta_i}$ (mm) količina oborine koju nosi vjetar v_{Θ_i} na horizontalnu plohu u i -tom terminu, v_{Θ_i} (ms^{-1}) srednja satna vrijednost brzine vjetra tijekom i -tog perioda, Θ_i kut između srednjeg satnog smjera vjetra i normale n na vertikalni zid (slika 1), \varnothing kut koji zatvara normala vertikalnog zida sa smjerom sjevera (azimut zida, slika 1), h broj sati nošene oborine tijekom nekog perioda (dana, tjedna, mjeseca ili godine), a t_{Θ_i} vrijeme (u satima) padanja oborine praćene vjetrom.

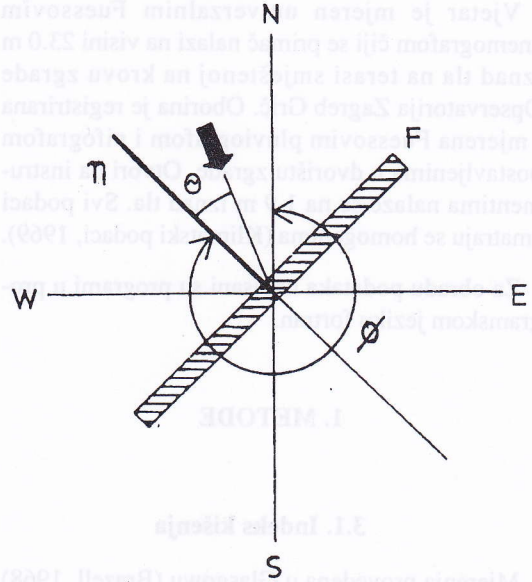
Trajanje vlaženja T_{\varnothing} vertikalnog zida zbog nošene oborine ukazuje na ukupno vrijeme (u satima) nošene oborine koja pada na vertikalni zid dane orijentacije tijekom nekog vremenskog perioda (dana, tjedna, mjeseca ili godine):

$$T_{\varnothing} = \sum_{i=1}^h t_{\Theta_i} \quad (7)$$

gdje je t_{Θ_i} ukupno vrijeme trajanja nošene oborine koja pada na vertikalni zid dane orijentacije tijekom određenog i -tog sata.

Koristeći ukupnu količinu nošene oborine $P_{\varnothing_{UKUP}}$ (6) i trajanje vlaženja T_{\varnothing} (7) definiramo srednji intenzitet nošene oborine \bar{R}_{\varnothing} (mmh^{-1}) na vertikalni zid orijentacije \varnothing :

$$R_{\varnothing} = \frac{P_{\varnothing_{UKUP}}}{R_{\varnothing}} \quad (8)$$



Slika 1. Odnos orijentacije fasade i smjera vjetra (\varnothing je azimut normale n na fasadu F mjeren od sjevera, Θ je kut između smjera vjetra i normale na fasadu).

Figure 1. Relation between facade orientation and wind direction (\varnothing is the azimuth of the normal n on facade F (from the north), Θ is the angle between wind direction and the axis normal to the surface of the facade).

Maksimalni intenzitet nošene oborine $R_{\varnothing_{MAKS}}$ (mmh^{-1}) za vertikalnu površinu dan je ovako:

$$R_{\varnothing_{UKUP}} = \text{Max} \left\{ \frac{2}{9} \left(\frac{P_{h\Theta_i}}{t_{\Theta_i}} \right)^{\frac{8}{9}} v_{\Theta_i} \cdot \cos \Theta_i \right\} \quad (9)$$

$$1 \leq i \leq h, -90 \leq \Theta \leq 90.$$

Srednji intenzitet nošene oborine pogodan je za određivanje dugoročnih svojstava zgrade. On također može poslužiti kao vodilja u planiranju okoliša zgrade. Maksimalni intenzitet jest ekstremna vrijednost koja pomaže u planiranju svojstava fasada.

Trajanje neprekidne izloženosti vertikalnog zida nošenoj oborini jest vrijeme u satima tijekom kojeg je vertikalna površina neprekidno izložena oborini, a time i moćenju nošenom oborinom. Razmatraju se dva tipa trajanja neprekidne izloženosti: srednje trajanje neprekidne izloženosti i maksimalno trajanje neprekidne izloženosti.

Srednje trajanje neprekidne izloženosti \bar{D}_ϕ jest:

$$\bar{D}_\phi = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D_j \quad (10)$$

gdje je D_j vrijeme (u satima) trajanja neprekidnog utjecaja nošene oborine na vertikalni zid dane orijentacije ϕ tijekom j -te pojave oborine, j redni broj pojave oborine, a N ukupan broj pojava oborine u uzorku.

Maksimalno trajanje neprekidne izloženosti $D_{\phi_{MAKS}}$ dato je ovako:

$$D_{\phi_{MAKS}} = \text{Max} \{ D_j \} \quad (11)$$

$$1 \leq j \leq N, D_j \leq t_j \text{ poč} - t_j \text{ kraj}$$

gdje je N ukupan broj pojava nošene oborine u uzorku te $t_j \text{ poč}$ i $t_j \text{ kraj}$ vrijeme početka i svršetka j -te pojave nošene oborine.

Uvijek kada imamo slučaj da nošena oborina kontinuirano pada na prijelazu iz jednog mjeseca u drugi, rezultati proračuna trajanja neprekidne izloženosti razmatraju se s obzirom na mjesec kada je nošena kiša završila.

Izračunati brojčani parametri izloženosti zidova raznih orijentacija nošenoj oborini korisni su za određivanje točne izloženosti pojedinih zidova nošenoj oborini za pojedinu lokaciju. Uz najizloženije zidove korisno je zasaditi zimzelena drveća da bi se zaštitili zidovi i time smanjili gubici topline. Raspored prostorija ovisit će o tome koji su zidovi najizloženiji nošenoj oborini, npr. u stambenom prostoru smočnicu i prostorije u kojima se ne boravi često, treba smjestiti iza najizloženijih zidova. S druge strane, brojčani parametri govore građevinskim fizičarima o uvjetima kojima treba podvrgnuti materijale prilikom laboratorijskih testiranja. Također su razvijene i metode kojima se iz meteoroloških podataka mjerenih u nekom prigradskom području mogu procijeniti parametri koji opisuju izloženost nošenoj oborini u gradu (Zhu, 1995).

3.4 Pretpostavke

Prilikom svih proračuna uzete su u obzir neke pretpostavke.

1. Teorijske jednadžbe za računanje količine nošene oborine zasnivaju se na pretpostavci da ne postoji otklon oborinskog elementa (npr. kišne kapi) od smjera vjetra. U stvarnosti se trajektorija

oborinskog elementa ne mora uvijek podudarati sa smjerom vjetra.

2. Pretpostavlja se jednolika razdioba nošene oborine na vertikalnoj površini. U stvarnosti uglovi zgrade primaju više nošene oborine.

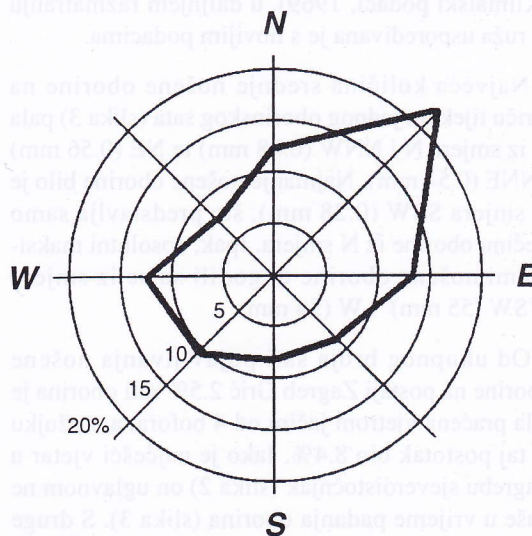
3. Smatra se da su vrijednosti vjetra i oborine jednoliki tijekom jednog sata. U stvarnosti se intenzitet oborine i jakost vjetra mijenjaju. Stupanj izloženosti zidova nošenoj oborini manji je u urbanom području (uglavnom zbog otklona vjetra na preprekama).

4. Izračunati brojčani parametri odnose se na lokaciju meteorološke postaje Zagreb Grič, ali se mogu primijeniti za cijeli Gornji i Donji grad.

4. REZULTATI

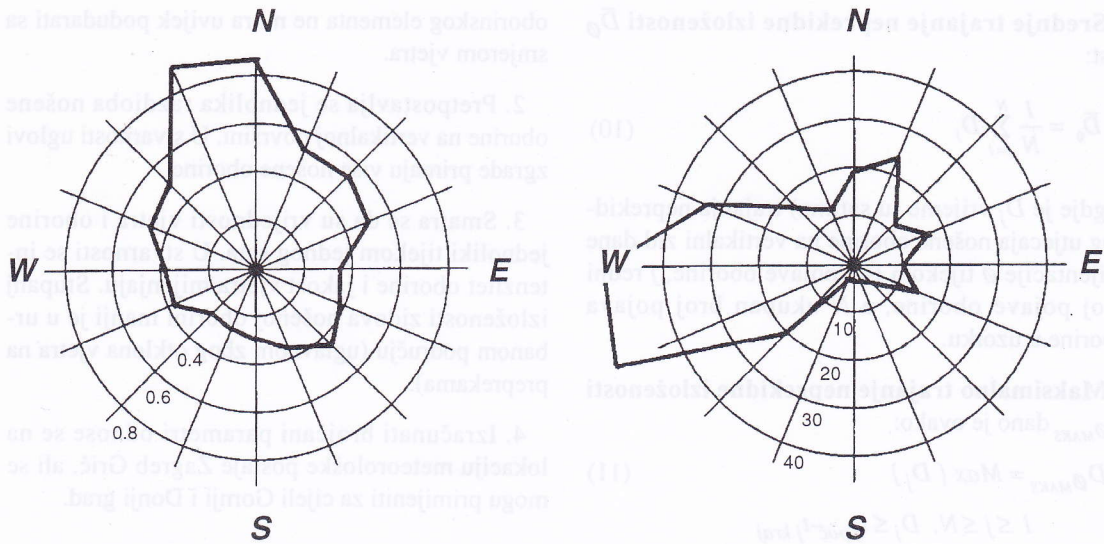
Indeks kišenja izračunat iz petogodišnjeg niza podataka u iznosu 1.4 govori da položaj postaje Zagreb Grič, prema Matiću (1988), možemo smatrati zaklonjenim.

Prema prosječnoj ruži čestina smjera vjetra za period 1927-1966. (slika 2) u Zagrebu je najčešći



Slika 2. Srednja godišnja ruža vjetra za Zagreb Grič, (1927.—1966).

Figure 2. Average annual windrose for Zagreb Grič, (1927—1966).



Slika 3. Ruže srednje \bar{H} (lijevo) i maksimalne H_{maks} (desno) količine vjetrom nošene oborine (mm) tijekom jednog sata za Zagreb Grič, (1981.—1985).

Figure 3. Windroses of the average \bar{H} (left) and maximum H_{maks} (right) amounts of driven rain (mm) during one rainy hour for Zagreb Grič, (1981—1985).

NE vjetar, i to u 22.4% slučajeva. Slijede E (12.9%), W (12.5%) i N (11.5%), dok najrjeđe puše S (8.4%) i NW (7.9%) vjetar. Pošto se glavne značajke vjetra na Opservatoriju nisu mijenjale (Klimatski podaci, 1969), u daljnjem razmatranju ta ruža uspoređivana je s novijim podacima.

Najveća količina srednje nošene oborine na Griču tijekom jednog oborinskog sata (slika 3) pala je iz smjera N i NNW (0.88 mm) te NE (0.56 mm) i NNE (0.54 mm). Najmanje nošene oborine bilo je iz smjera SSW (0.28 mm), što predstavlja samo trećinu oborine iz N smjera. Ipak, apsolutni maksimumi nošene oborine dogodili su se iz smjera WSW (55 mm) i W (54 mm).

Od ukupnog broja sati pojavljivanja nošene oborine na postaji Zagreb Grič 2.5% sati oborina je bila praćena vjetrom jačim od 4 bofora, a u ožujku je taj postotak bio 8.4%. Iako je najčešći vjetar u Zagrebu sjeveroistočnjak (slika 2) on uglavnom ne puše u vrijeme padanja oborina (slika 3). S druge strane rijedak sjever-sjeverozapadnjak uglavnom je praćen oborinom i zajedno sa sjevercem on je glavni vjetar u Zagrebu praćen oborinom.

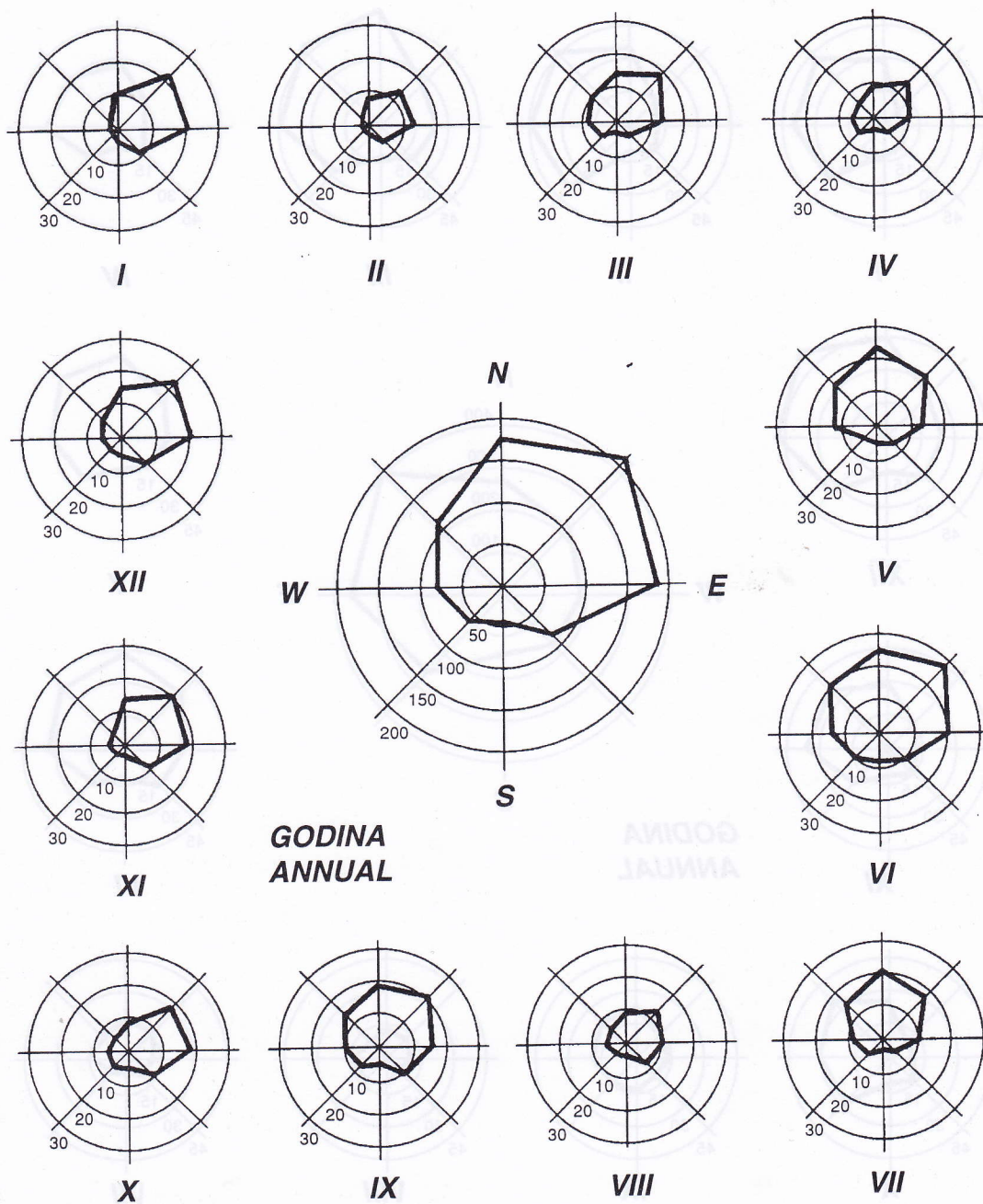
Rezultati proračuna izloženosti vertikalnih zidova raznih orijentacija nošenoj oborini prikazani su na slikama 4-9. Neovisno o mjesecu i sezoni

nošena oborina pokazuje neke opće zakonitosti u smjeru, čestini i intenzitetu.

Od ukupne godišnje količine oborine koja pada na vertikalne zidove, 43% pada na sjeveroistočne (223 mm) i istočne (183 mm) fasade zajedno (slika 4). Ukupna količina nošene oborine za pojedini mjesec najveća je u lipnju na sjeveroistočnoj fasadi (27 mm), a u svibnju i srpnju najveće količine padaju na sjeverni zid (21.4 mm). Tijekom cijele godine najmanje je zaliven južni zid, koji na godinu trpi 42 mm oborine, što je manje od 1/5 oborina koje može sjeveroistočni zid (223 mm) (slika 4).

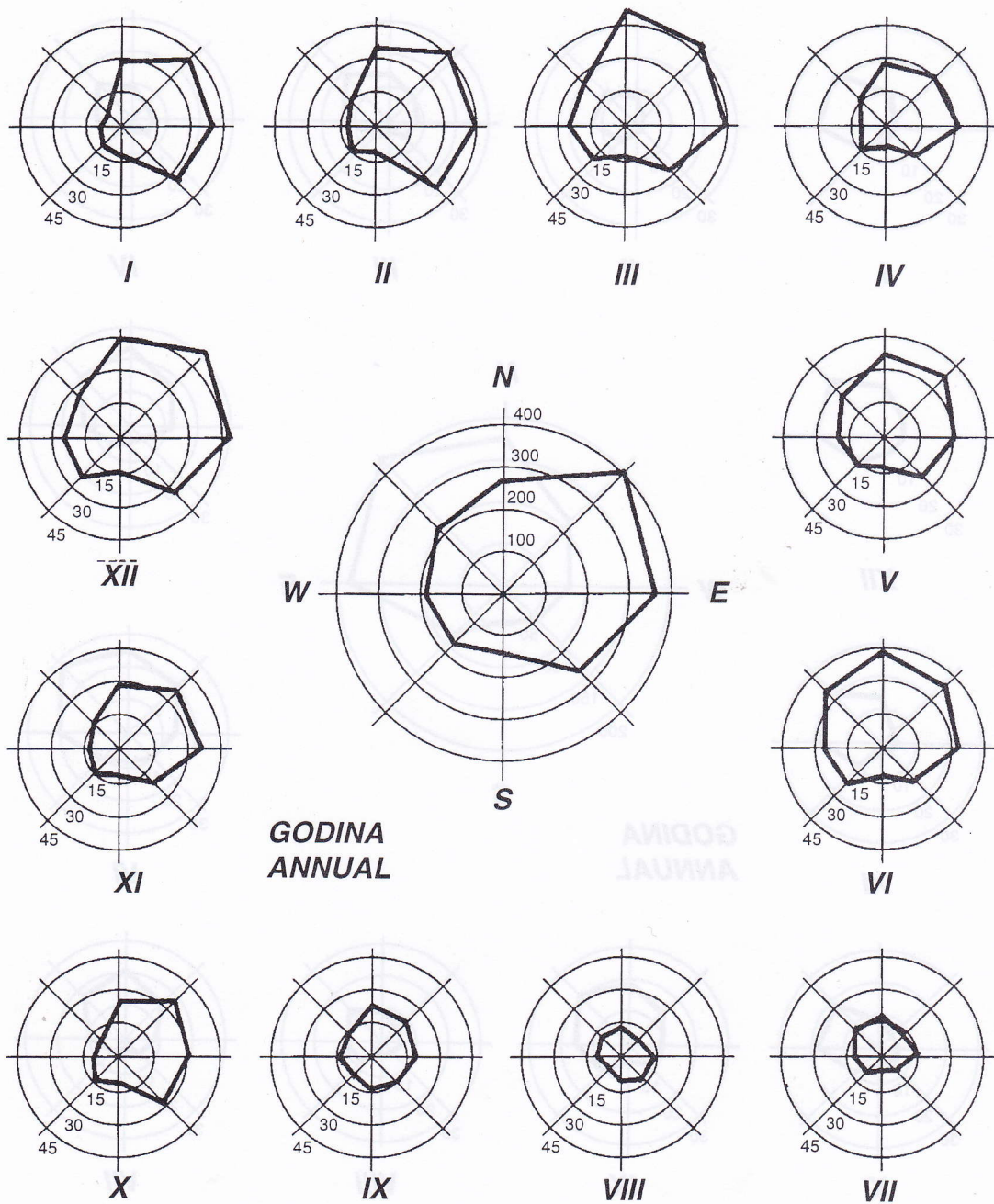
Od ukupnog vremena padanja (2150 sati), u 36% slučajeva oborina zalijeva opet sjeveroistočne (405 sati) i istočne zidove (379 sati) (slika 5). Tijekom ožujka, svibnja, lipnja i srpnja najviše vremena nošena oborina pada na sjeverne, a zatim na sjeveroistočne fasade. U Zagrebu su najčešće moćene fasade orijentirane na sjeveroistok, sjever i istok (slika 5). One istovremeno bivaju zapljusnute s više oborine nego sve ostale fasade zajedno.

Prosječna suma srednjih intenziteta (slika 6) u svim je mjesecima također najveća za sjeveroistočne (0.63 mmh^{-1}) i istočne zidove (0.55 mmh^{-1}), no nošena oborina jakog intenziteta padala je i na



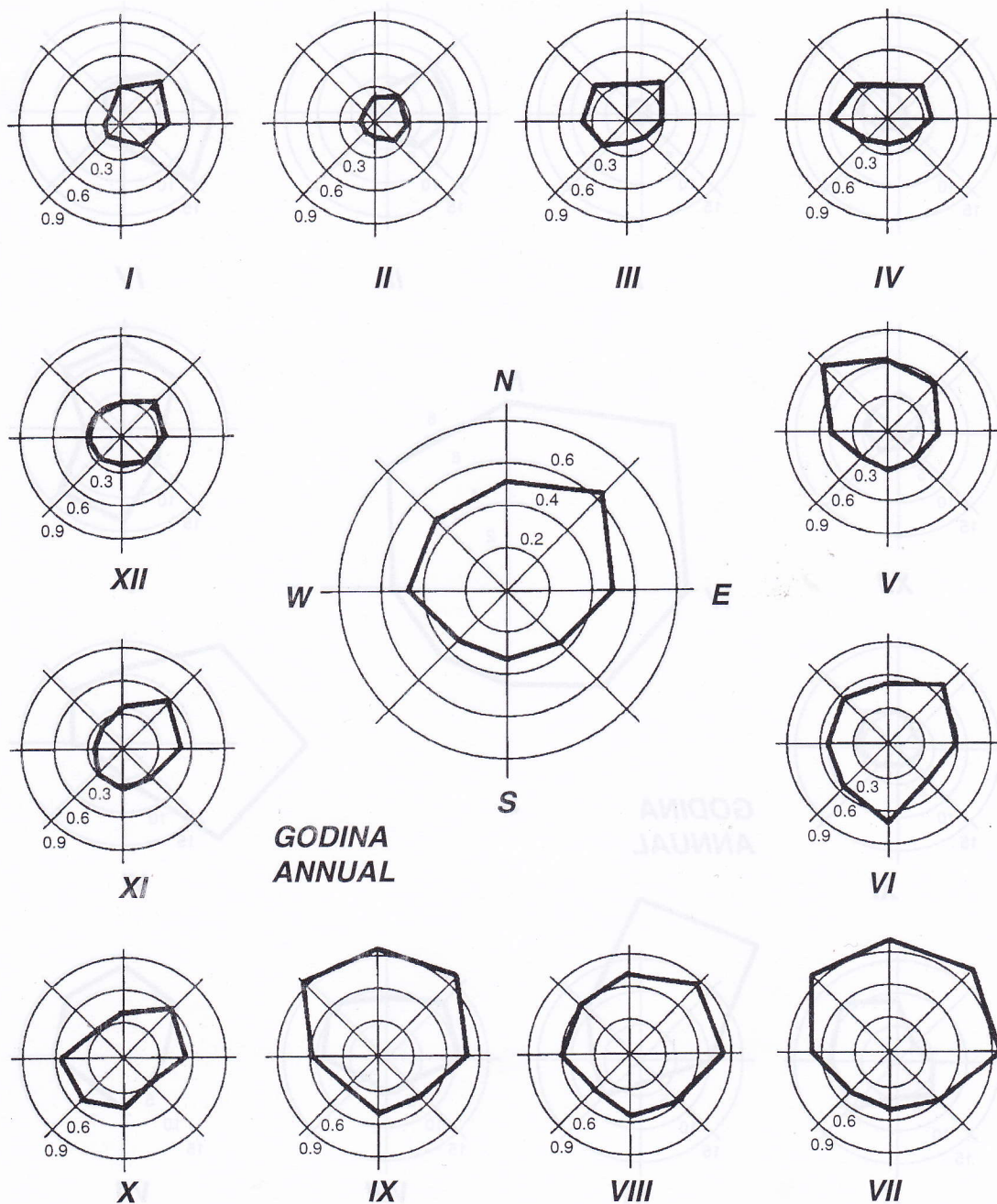
Slika 4. Ukupne vrijednosti količine nošene oborine $P_{\phi_{UKUP}}$ (mm) na vertikalnim zidovima raznih orijentacija za Zagreb Grič (1981.—1985).

Figure 4. Total driving rain amounts $P_{\phi_{UKUP}}$ (mm) on vertical surfaces of various orientations for Zagreb Grič, (1981—1985).



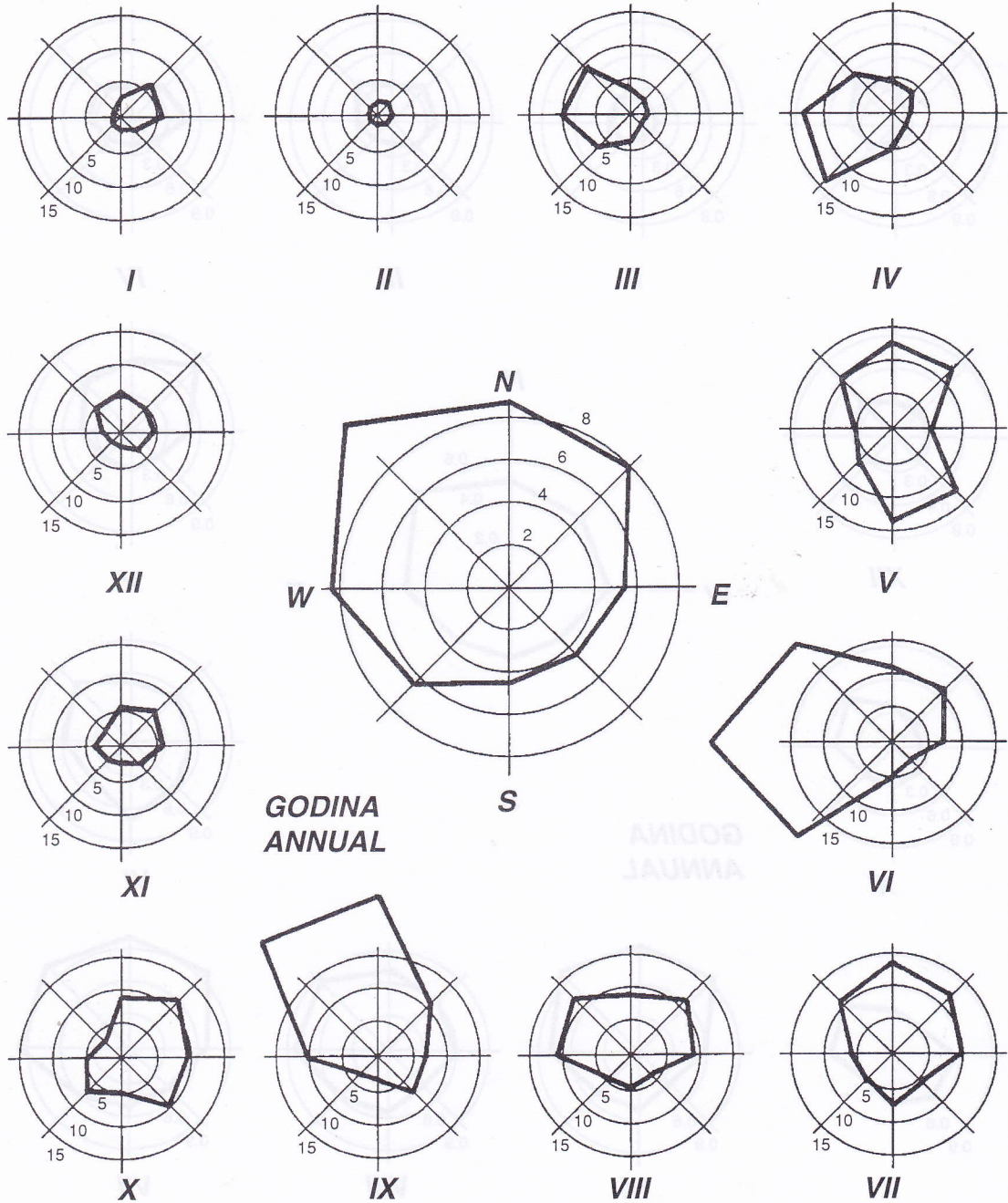
Slika 5. Trajanje vlaženja T_0 (h) vertikalnih zidova raznih orijentacija za Zagreb Grič, (1981.—1985).

Figure 5. Driving rain impact frequency T_0 (h) on vertical surfaces of various orientations for Zagreb Grič, (1981—1985).



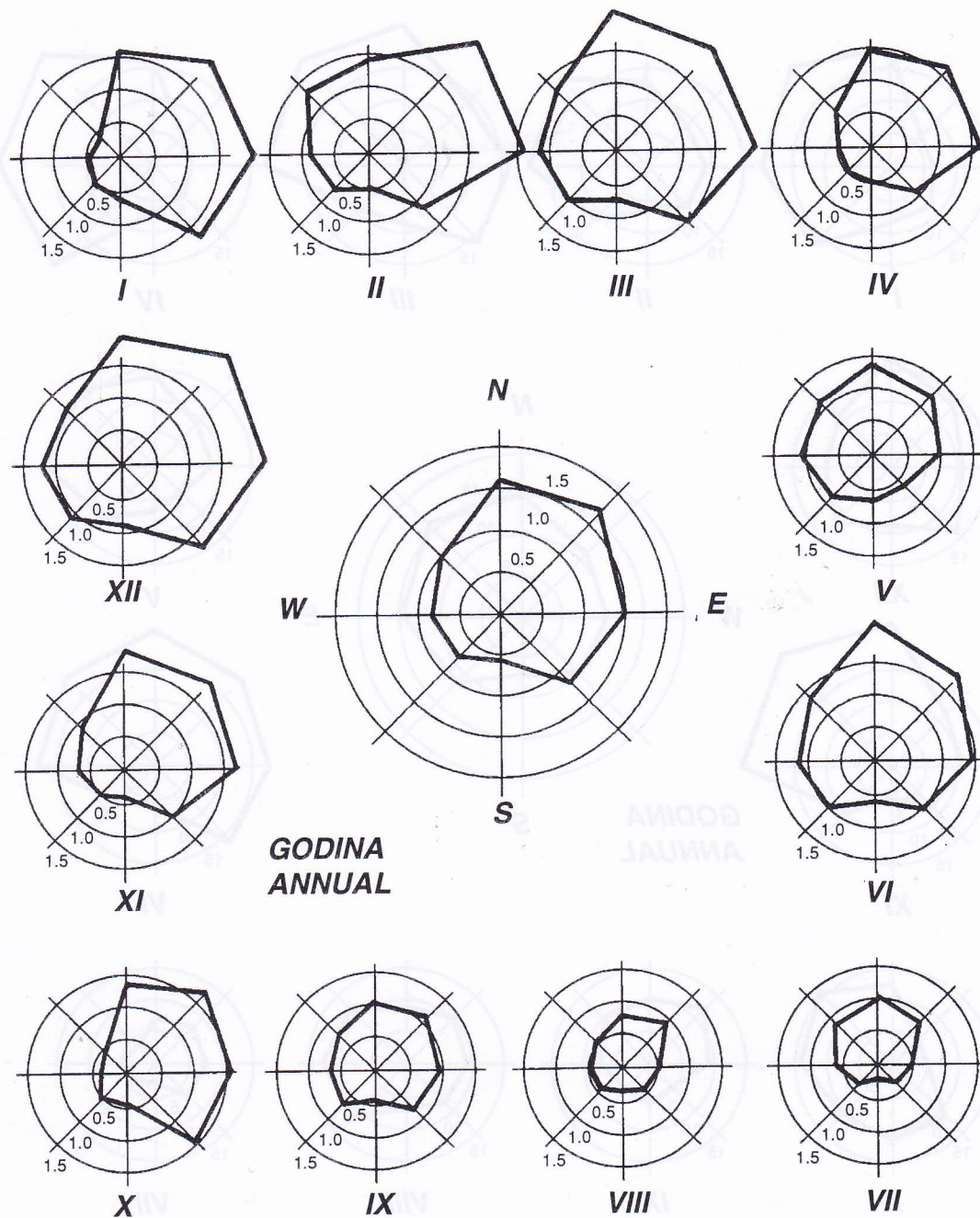
Slika 6. Srednji intenzitet \bar{R}_ϕ (mmh^{-1}) nošene oborine na vertikalnim zidovima raznih orijentacija za Zagreb Grič, (1981.—1985).

Figure 6. Average driving rain intensity \bar{R}_ϕ (mmh^{-1}) on vertical surfaces of various orientations for Zagreb Grič, (1981—1985).



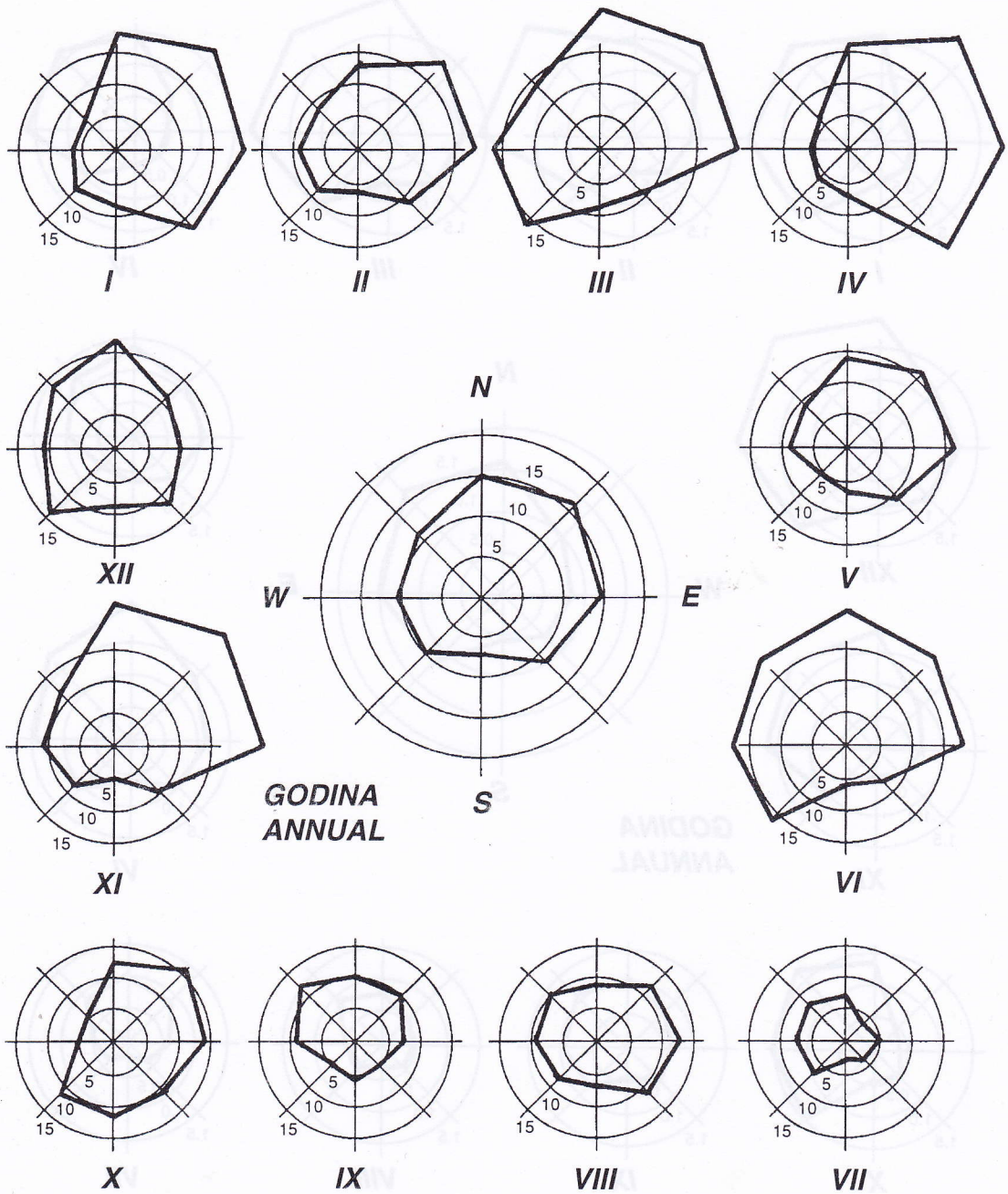
Slika 7. Maksimalni intenzitet $R_{\rho \text{ MAKS}}$ (mmh⁻¹) nošene oborine na vertikalnim zidovima raznih orijentacija za Zagreb Grič, (1981.—1985).

Figure 7. Maximum driving rain intensity $R_{\rho \text{ MAKS}}$ (mmh⁻¹) on vertical surfaces of various orientations for Zagreb Grič, (1981—1985).



Slika 8. Srednje \bar{D}_ρ trajanje (h) neprekidne izloženosti vertikalnih zidova raznih orijentacija za Zagreb Grič, (1981.—1985).

Figure 8. Average driving rain impact duration \bar{D}_ρ (h) on vertical surfaces of various orientations for Zagreb Grič, (1981—1985).



Slika 9. Maksimalno trajanje neprekidne izloženosti $D_{\phi, MAKS}$ (h) vertikalnih zidova raznih orijentacija za Zagreb Grič, (1981.—1985).

Figure 9. Maximum driving rain impact duration $D_{\phi, MAKS}$ (h) on vertical surfaces of various orientations for Zagreb Grič, (1981—1985).

sjeverozapadnu fasadu tijekom svibnja (0.78 mmh^{-1}), srpnja (0.99 mmh^{-1}) i rujna (0.91 mmh^{-1}).

Nošene oborine maksimalnog intenziteta (slika 7) dogodile su se u lipnju na zapadno (29 mmh^{-1}) i jugozapadno (20 mmh^{-1}) orijentirane zidove, te u rujnu na sjeverne i sjeverozapadne zidove (u oba slučaja 20 mmh^{-1}). Srednja godišnja suma maksimalnih intenziteta pokazuje da sjeverozapadni zidovi trpe najintenzivnije nošene oborine tijekom godine u iznosu od 9.6 mmh^{-1} .

Najdulje trajanje neprekidne izloženosti zidova nošenoj oborini također trpe sjeвероistočni, sjeverni i istočni zidovi i to respektivno 16.8, 15.5 i 14.7 sati prosječno tijekom godine (slika 8). Ožujak i prosinac mjeseci su najduljih oborinskih pljuskoва, a srpanj i kolovoz najkraćih. Apsolutni iznosi maksimalnog trajanja neprekidne izloženosti nošenoj oborini javili su se za sjeverne, sjeвероistočne i istočne fasade i to u ožujku, travnju, lipnju i studenom (slika 9).

5. ZAKLJUČAK

Rezultati obrade govore da iako je u Zagrebu najčešći sjeвероistočni vjetar (slika 2), najveća količina nošene oborine tijekom jednog oborinskog sata pada iz NNW i N, pa tek onda iz NE i NNE smjerova (slika 3). Treba naglasiti da ruže srednje i maksimalne (slika 3) količine nošene oborine ne daju informaciju o učestalosti i trajanju nošene oborine iz pojedinih smjerova. One samo govore da su količine koje padnu tijekom jednog oborinskog sata najveće za oborinu iz smjera NNW. Kada se u obzir uzmu i učestalost i trajanje nošene oborine iz pojedinih smjerova te kada se integralno razmotri utjecaj vjetra iz svih strana svijeta koje nose oborinu na vertikalni zid određene orijentacije, vidi se da sjeвероistočno, sjeverno i istočno orijentirani zidovi bivaju najizloženiji, a njih slijede gotovo upola slabije izloženi sjeвероzapadni i jugoistočni zidovi (slika 4, 5 i 6). U Zagrebu su najzaštićenije južna i jugoistočna fasada. Iako zapadni i jugozapadni zidovi bivaju izloženi najintenzivnijim udarima nošene oborine (slika 7), ta izloženost uglavnom ne traje dugo (slike 8 i 9) i ne događa se često (slika 5).

Ti bi rezultati trebali olakšati nalaženje odgovora na pitanje kako oblikovati zgrade, kako planirati raspored prostorija, prozora i orijentaciju ulaznih vrata te urediti okoliš zgrada u Zagrebu. Da bi se smanjili gubici topline, prodiranje oborine kroz

spojeve kod prozora i vrata i sl., oko zgrada u Zagrebu trebalo bi po mogućnosti sa sjeвероistočne strane zasaditi zimzeleno drveće, a prostorije u kojima se ne boravi često smjestiti na sjever i sjeвероistok i ne postavljati velike prozore ili staklene zidove. Toplinska izolacija boravišnih prostora uz sjeverne, sjeвероistočne i istočne zidove trebala bi biti jača nego u ostalim prostorijama.

Usporedba kišnih ruža vjetra i ruža izloženosti vertikalnih zidova raznih orijentacija nošenoj oborini s ružom čestine pojavljivanja pojedinih smjerova vjetra kroz dulji period dovela je do nekih općih zaključaka:

1. Na temelju ruže čestina pojedinih smjerova vjetra ne možemo donijeti zaključak o kišnoj ruži vjetra jer najčešći smjer vjetra ne mora biti i najčešći smjer nošene oborine.

2. Metode zasnovane na srednjim godišnjim vrijednostima količine oborine i smjera vjetra (indeks kišenja) daju samo okvirnu informaciju o izloženosti lokacije nošenoj oborini.

3. Kišne ruže vjetra preciznije su od gore navedenih metoda, ali ne daju jasnu i jednostavnu informaciju graditeljima o izloženosti fasada raznih orijentacija.

4. Kvantitativna metoda proračuna izloženosti vertikalnih zidova nošenoj oborini daje važnu i primjenjivu informaciju iskoristivu u svim fazama planiranja, gradnje i korištenja građevinskog objekta kao i u određivanju laboratorijskih uvjeta ispitivanja materijala.

Obrada odgovarajućih podataka s većeg broja postaja u Hrvatskoj, njihova usporedna analiza i crtanje karte nošene oborine zasigurno bi pridonijele kvalitetnijoj i jeftinijoj gradnji u Republici Hrvatskoj.

Zahvale

Autorica zahvaljuje prof. dr. Ivanu Penzaru na sugestijama pri definiranju problema i pomoći pri izradi ove studije, Geofizičkom zavodu u Zagrebu, koji je omogućio pristup podacima i literaturi, doc. dr. Lavoslavu Čakloviću za pristup računalnoj opremi Matematičkog odjela PMF-a i uputama prilikom obrade teksta, Nevenu Prelogoviću za savjete prilikom izrade programa za obradu podataka i Mladenu Mlinariću za crteže.

LITERATURA

- Arya S. P., 1988: Introduction to micrometeorology. Academic Press inc, San Diego, 237-252.
- Brazell J. H., 1968: Climatological Information for the Building Industry-Glasgow. Technical Note **109**, Vol. **II**, WMO Brussels, 223-231.
- Butlin R. N., A. T. Coote, M. Devenish, I. S. C. Hughes, C. M. Hutchens, J. G. Irwin, G. O. Lloyd, S. W. Massey, A. H. Webb and T. J. S. Yates, 1992: Preliminary Results from the Analysis of stone tablets from the National Materials Exposure Programme (NMEP). *Atmospheric Environment*, Vol. **26 B**, No. **2**, 189-198.
- Fazio P., S. R. Mallidi and D. Zhu, 1995: A Quantitative study for the Measurement of Driving Rain Exposure in the Montreal Region. *Building and Environment*, Vol. **30**, No. **1**, 1-11.
- Johnson J. B., S. J. Haneff, B. J. Hepburn, A. J. Hutchinson, G. E. Thompson and G. C. Wood, 1990: Laboratory exposure systems to simulate atmospheric degradation of building stone under dry and wet deposition conditions. *Atmospheric Environment*, Vol. **24 A**, No. **10**, 2585-2592.
- Kerr D. D., 1990: The rain screen wall. *Progressive Architecture*, Vol. **71**, 47-52.
- Klimatski podaci Opservatorija Zagreb Grič, 1969: Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Zagreb Grič, Zagreb.
- Kobysheva N. V., 1992: Guidance material on the calculation of climatic parameters used for building purposes. Technical Note No. **187**, WMO Geneva.
- Lacy R. E., 1977: Climate and building in Britain. Building Research Establishment Report, Department of the Environment, Her Majesty's Stationery office, London 1977.
- Landsberg H. E., 1981: World Survey of Climatology, Vol. 3, General Climatology 3, Chapter 4. Technical Climatology. Elsevier Public Company, Amsterdam, 335-384.
- Lisac-Marisljević I., 1977: Utjecaj Zagrebačke gore na strujanja nad Zagrebom - magistarski rad, Zagreb.
- Matić M., 1988: Energija i arhitektura. Školska knjiga, Zagreb.
- Orlenko L. R., 1970: Wind and its technical aspects. Technical Note No. 109, WMO Geneva, 9-23. Penzar B. i suradnici, 1996: Meteorologija za korisnike. Školska knjiga, Zagreb.
- Penzar I. i B. Penzar, 1989: Agroklimatologija. Školska knjiga, Zagreb.
- Zhu D., S. R. Mallidi and P. Fazio, 1995a: Quantitative Driving Rain Exposure on a Vertical Wall at Various Canadian Cities. *Building and Environment*, Vol. **30**, No. **4**, 533-544.
- Zhu D., S. R. Mallidi and P. Fazio, 1995b: Approach for Urban Driving Rain Index by Using Climatological Data Recorded at Suburban Meteorological Station. *Building and Environment*, Vol. **30**, No. **1**, 229-236.