Atmosferski valcer nad Arktikom: Što se događa s polarnim vrtlogom i zašto može krojiti naše vrijeme?

Bojan Lipovšćak



Unsplash / Ilustracija

Visoko iznad naših glava, na visinama od oko 10 do 50 kilometara, odvija se atmosferska drama koja može imati posljedice i na vrijeme u Hrvatskoj. Riječ je o polarnom vrtlogu – golemom prstenu jakih zapadnih vjetrova koji zimi okružuje Sjeverni pol u stratosferi.

Umjesto da ovih dana mirno kruži oko pola, vrtlog se izdužio i počeo dijeliti na dva manja središta. To, međutim, ne znači da nam "dolazi polarna zima". Polarni vrtlog nije hladni udar ni oluja na tlu; on je visinski atmosferski mehanizam u stratosferi koji najprije utječe na više slojeve troposfere, a zatim se njegov utjecaj može prenijeti i na vrijeme pri tlu.

Kada polarni vrtlog oslabi, pomakne se ili raspadne, mijenja se oblik mlazne struje u troposferi, a ona utječe na to hoće li hladni zrak ostati zarobljen na Arktiku ili će se spustiti prema jugu.

Što je polarni vrtlog?

Polarni vrtlog cirkumpolarni je sustav jakih zapadnih vjetrova koji se svake zime formira u stratosferi, na

visini od 16 do 48 kilometara iznad sjevernog i južnog pola Zemlje. Njegovo "srce" meteorolozi najčešće prate na visini od oko 30 kilometara, gdje je tlak oko 10 hektopaskala.

Nastaje zbog osnovne zimske neravnoteže: polarna stratosfera tijekom dugih noći gubi toplinu i snažno se hladi, dok je tropska stratosfera znatno toplija. Ta temperaturna razlika stvara snažan gradijent tlaka i temperature, a zbog rotacije Zemlje zrak ne teče ravno od pola prema ekvatoru, nego kruži oko pola u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, u obliku snažnog zapadnog vjetra, odnosno polarne stratosferske mlazne struje.

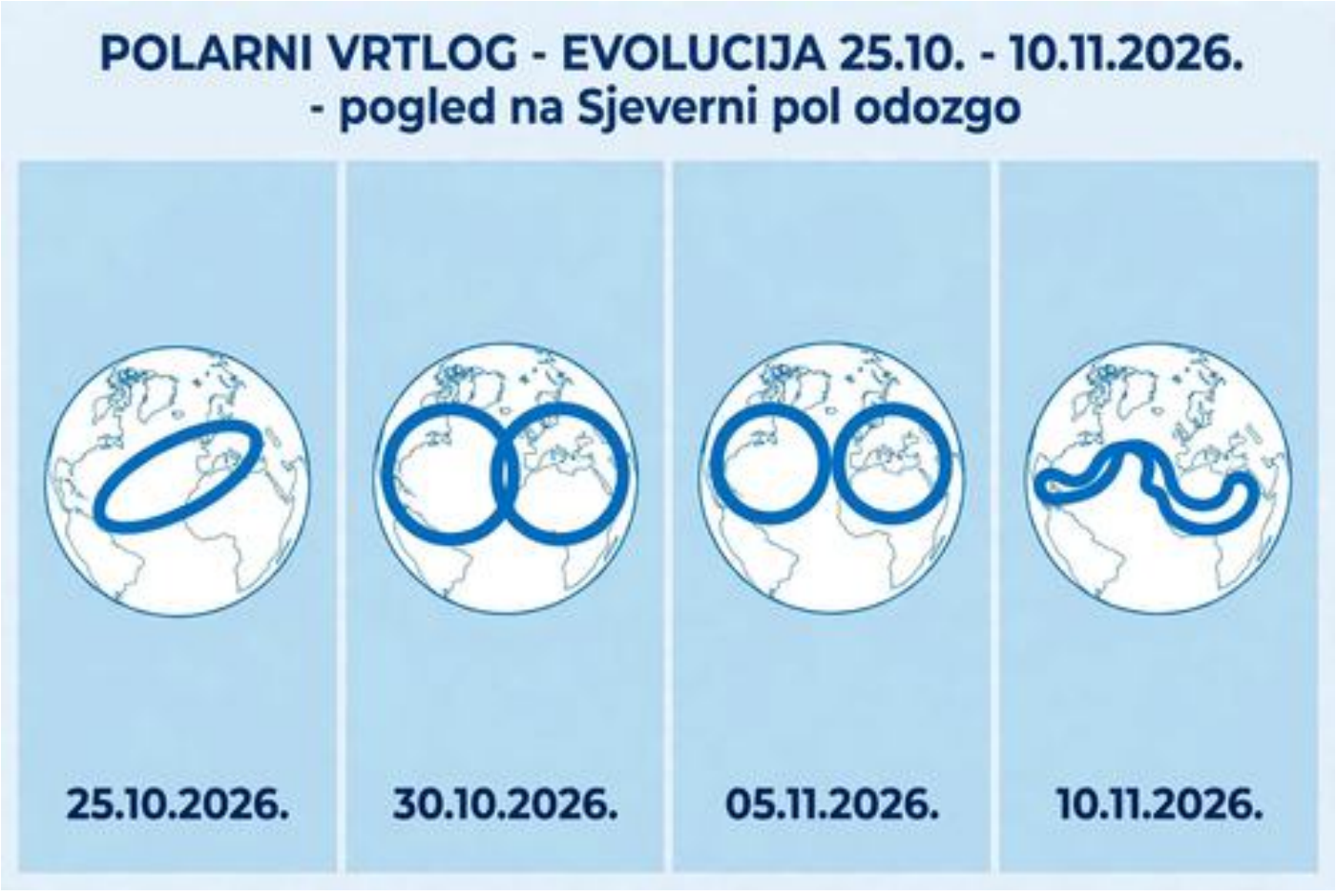
Kada je vrtlog jak i kompaktan, hladan arktički zrak ostaje na sjeveru, a mlazna struja pravilnog je kružnog oblika i djeluje kao prirodna ograda oko hladnog zraka.

Godišnji ritam vrtloga

Polarni vrtlog ima jasno izražen sezonski ciklus.

Jesen (listopad – studeni): Arktik gubi Sunčevu energiju, stratosfera se hladi, a vrtlog se postupno formira i jača.

Zima (prosinac – veljača): Vrtlog je obično najjači i najstabilniji. Zapadni vjetrovi mogu biti iznimno snažni, a hladni zrak tada je najbolje "zaključan" u polarnom području.



ChatGPT / Ilustracija

Proljeće (ožujak – svibanj): Povratak Sunčeva zračenja zagrijava polarnu stratosferu, temperaturna razlika slabi i vrtlog se prirodno raspada.

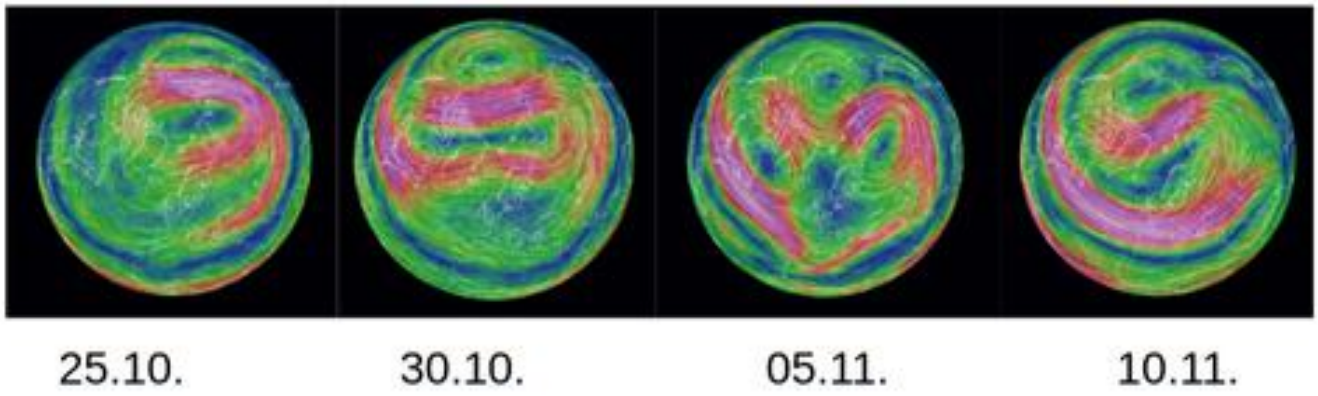
Problem nastaje kada se vrtlog prerano "poremeti" – razvuče, promijeni položaj svojeg središta ili se pomakne prema nižim geografskim širinama. Tada se poremećena cirkulacija u polarnoj stratosferi može prenijeti na troposferu i utjecati na vremenske procese čak i nekoliko tjedana kasnije.

Trenutačna situacija: Vrtlog se rasteže i dijeli

Ove je godine situacija zanimljiva i neobična. Umjesto kompaktnog vrtloga iznad pola, stratosferska se cirkulacija snažno razvlači, a u nižem dijelu stratosfere već se vide dva manja vrtloga – jedan iznad sjeveroistočne Sjeverne Amerike, a drugi prema euroazijskom sektoru.

NOAA opisuje takav obrazac kao "razvlačenje vrtloga odozdo", pri čemu topliji zrak i visoki tlak stacionarnih troposferskih anticiklona djeluju poput klina koji razdvaja polarni vrtlog na dva dijela.

ECMWF-ove proširene ansambl-prognoze krajem listopada upućivale su na to da bi zonalni vjetrovi na 60° sjeverne geografske širine, na razini tlaka od 10 hPa u stratosferi, mogli oslabiti do nule, pa čak i promijeniti smjer te zapuhati u suprotnom, istočnom smjeru. Prema izračunima modela, taj preokret i slabljenje strujanja u stratosferi prognozirani su za razdoblje od 4. do 10. studenoga.



ChatGPT / Ilustracija

Time se ostvaruju uvjeti za pojavu naglog stratosferskog zagrijavanja (Sudden Stratospheric Warming, SSW). Takva je pojava prognozirana iznimno rano jer se, prema dosadašnjim opažanjima, većina naglih stratosferskih zagrijavanja događala sredinom zime, najčešće u siječnju ili veljači, a ne početkom studenoga.

Riječ je, međutim, o prognozi atmosferskog modela. Rezultate treba promatrati kritički i shvatiti ih kao signal modela, a ne kao potvrđeni, dugotrajni kolaps vrtloga. U trenutku pisanja ovog članka signal je vrlo jak i upućuje na brz razvoj situacije.

Što je naglo stratosfersko zagrijavanje?

Naglo stratosfersko zagrijavanje nije zagrijavanje koje osjećamo na tlu. Riječ je o naglom zagrijavanju polarnog dijela stratosfere, ponekad za desetke stupnjeva u svega nekoliko dana, uz naglo slabljenje ili čak privremeni obrat smjera vjetrova oko pola.

Uzrok su planetarni Rossbyjevi valovi – golemi valovi u atmosferi koje generiraju temperaturne razlike između kopna i mora, a na njih utječu planinski masivi te raspored sustava ciklona, anticiklona i zračnih masa.

Kada valovi postanu dovoljno jaki, šire se prema gore i "udaraju" u stratosferski vrtlog. Vrtlog tada slabi, deformira se, može se pomaknuti s pola ili se podijeliti na dva ili više dijelova. Nakon toga poremećaj se može "spustiti" prema troposferi: mlazna struja postaje valovitija, s dubokim grebenima i dolinama, a upravo takav obrazac povećava vjerojatnost da se hladan polarni zrak spusti prema srednjim geografskim širinama.

El Niño kao dodatni čimbenik

El Niño – periodično zagrijavanje površinskih voda središnjeg i istočnog tropskog Pacifika – može posredno utjecati i na stratosferu. Mijenjajući tropsku konvekciju i raspodjelu topline, utječe na planetarne Rossbyjeve valove koji mogu djelovati na polarnu stratosferu.

Kada ti valovi dopru do vrtloga, povećavaju vjerojatnost njegova slabljenja ili raspada. Trenutačna kombinacija jakog El Niña i već razvučenog polarnog vrtloga stoga zaslužuje posebnu pozornost.

Zašto je to važno za Hrvatsku?

Kada polarni vrtlog oslabi ili se podijeli, mlazna struja u troposferi često postaje valovitija. Umjesto relativno ravne "ceste" za atlantske poremećaje, formiraju se duboki grebeni visokog tlaka i doline niskog tlaka.

Za Europu i Hrvatsku to ne znači automatski hladni val i snježnu zimu, nego povećanu vjerojatnost naglih promjena vremena, prodora hladnijeg zraka, jačih vjetrova i obilnijih oborina, ovisno o tome gdje će se uspostaviti atmosfersko blokiranje, odnosno sporo pokretna anticiklona.

Posebno je važan položaj anticiklone nad srednjom i sjevernom Europom. Ako se ona spoji sa sibirskim područjem visokog tlaka, može skretati atlantske ciklone prema sjeveru i otvoriti put hladnijem zraku prema srednjoj Europi.

U takvim uvjetima hladni zrak često u Hrvatsku ne dolazi izravno sa sjevera, nego oko alpske barijere, kroz tzv. Bečka vrata. To može donijeti naglu promjenu vremena, sjeverac, pad temperature, kišu, a u unutrašnjosti i na planinama snijeg.

Analiza fazno sinkroniziranih klimatskih utjecaja

U tumačenju ovakvih vremenskih situacija koristan je koncept analize fazno sinkroniziranih klimatskih utjecaja – Phase-Synchronized Climate Factors Analysis (PSCFA). On ne daje jednostavnu prognozu, nego procjenjuje jesu li ključni čimbenici – polarni vrtlog, El Niño, NAO, temperatura Sredozemlja i dugoročno zagrijavanje – u istoj fazi i djeluju li u približno istom smjeru.

U metodologiji PSCFA polarni vrtlog ne promatra se izolirano, već kao jedan od ključnih globalnih i regionalnih čimbenika u interakciji s:

fenomenom ENSO (El Niño / La Niña)

Sjevernoatlantskom oscilacijom (NAO)

temperaturom Sredozemnog i Jadranskog mora

dugoročnim trendom globalnog zagrijavanja.

Težište je na sinkronizaciji faza – trenucima u kojima polarni vrtlog djeluje istodobno i komplementarno s ostalim pokretačima atmosfere.

Jak i stabilan polarni vrtlog

Kada je vrtlog jak i stabilan, zonalno strujanje u smjeru zapad – istok ostaje snažno, a hladan polarni zrak ostaje zarobljen daleko na sjeveru, unutar arktičkog kruga.

Ako se jak polarni vrtlog poklopi s pozitivnom fazom NAO-a, nad Atlantikom i Europom dominira snažan protok toplog i vlažnog zraka s oceana. Za Hrvatsku to znači blagu, razmjerno toplu i kišovitu zimu s manjkom dugotrajnijih snježnih razdoblja, posebice u nizinskim dijelovima zemlje. Snijeg je tada uglavnom ograničen na više gorske predjele.

Slab ili poremećen polarni vrtlog

Kada vrtlog oslabi ili se raspadne u više manjih jezgri, mlazna struja počinje meandrirati i stvarati izražene meridionalne valove, odnosno strujanje u smjeru sjever – jug.

Ako PSCFA zabilježi faznu sinkronizaciju prodora hladnog zraka s blokirajućom anticiklonom nad sjeverozapadnom Europom ili Rusijom, hladne zračne mase mogu pronaći put prema Sredozemlju. Dolazi do prodora arktičkog ili sibirskog zraka s istoka i sjeveroistoka, a u dodiru s toplijim Sredozemljem ili Jadranom mogu nastati ciklone koje Hrvatskoj donose velike padove temperature, obilne snježne oborine i jaku buru na obali.

Polarni vrtlog, međutim, sam po sebi ne jamči hladnu zimu u Hrvatskoj. Čak i ako dođe do njegova raspada, arktički zrak može skrenuti prema Sjevernoj Americi ili istočnoj Aziji. Analiza PSCFA stoga služi za procjenu vjerojatnosti da se čimbenici poslože u smjeru europskog kontinenta i Sredozemlja.

Mogući razvoj zime u Hrvatskoj

U ovakvom rasporedu atmosferskih čimbenika sinoptička slika obično prolazi kroz dvije glavne faze.

Početna faza: Inercija blagog vremena i "južine"

Dok je anticiklona stabilna nad europskim kopnom, ona sprječava izravan prodor hladnog zraka povezanog s podijeljenim polarnim vrtlogom s istoka ili sjevera.

Za Hrvatsku to znači da zapadna i južna strujanja s toplog Sredozemlja mogu donositi iznadprosječno toplo, često tmurno i maglovito vrijeme u unutrašnjosti. Na Jadranu i uz obalu dominiraju jugo, kiša i više

temperature za to doba godine. Velika količina topline akumulirane u Sredozemnom moru pruža energiju za snažne, ali razmjerno tople ciklonske sustave.

Prijelomna faza: Retrogresija i "stiskanje" hladnoće

Kada anticiklona promijeni položaj, primjerice pomakne se više prema Skandinaviji ili Rusiji, može se uspostaviti retrogresivno strujanje.

Tada se hladni zrak s istoka ili sjeveroistoka, povezan s poremećenim polarnim vrtlogom, počinje probijati s južne strane anticiklone prema Europi.

Taj iznimno hladan arktički ili sibirski zrak na svojem putu stiže do vrlo toplog Sredozemlja i Jadrana. U dodiru ledene zračne mase s toplom morskom površinom može doći do eksplozivne ciklogeneze – nastanka snažnih sredozemnih i jadranskih ciklona.

Tri moguća scenarija za Hrvatsku

Hladni prodor uz ciklonu na Sredozemlju

Ako se nakon poremećaja vrtloga hladan zrak spusti nad toplije Sredozemlje, može se razviti plitka ciklona koja će donijeti kišu, jak vjetar, a uz zahlađenje u višim slojevima atmosfere i snijeg u planinskim krajevima unutrašnjosti.

2. Blokada i suho, promjenjivo razdoblje

Ako se anticiklona smjesti iznad srednje Europe i poveže sa sibirskim područjem visokog tlaka, Hrvatska može ostati na rubu suhog i relativno toplog zraka, dok se hladniji zrak zadržava sjevernije. Tada su izraženiji rizici od magle, temperaturnih inverzija i lošije kvalitete zraka u kontinentalnim dolinama.

3. Atlantski režim s obilnim oborinama

Ako mlazna struja ostane usmjerena prema južnoj Europi, niz ciklona s Atlantika može donositi naizmjenična razdoblja kiše, jakog jugoistočnog vjetra i kasnijeg zahlađenja. U Gorskom kotaru i na višim planinama moguć je i snijeg.

Kakva nas zima čeka?

Na temelju ovakvog klimatskog okvira, zima u Hrvatskoj može biti izrazito dinamična, kontrastna i obilježena krajnostima – umjesto ujednačeno hladna ili ujednačeno blaga.

Veći dio zime može ostati blaži i vlažniji od višegodišnjeg prosjeka, uz česte južne vjetrove, kišu i brzo topljenje snijega u nizinama zbog utjecaja El Niña i toplog Sredozemlja. No zimski "udari" mogu dolaziti neočekivano, ne postupno, nego u obliku kratkih, ali iznimno žestokih epizoda prodora hladnog zraka.

Kada hladan zrak povezan s podijeljenim vrtlogom probije europsku anticiklonu i stigne do toplog Sredozemlja, mogući su:

nagli padovi temperature za više od 10 do 15 °C u kratkom roku

obilan, težak snijeg u unutrašnjosti i gorskim predjelima zbog velike količine vlage iz Sredozemlja

orkanska bura na Jadranu zbog izražene razlike u tlaku i temperaturi između hladnog kopna i toplog mora.

Što dalje?

U sljedećih desetak dana pratit će se hoće li zapadni vjetrovi u stratosferi doista oslabiti i promijeniti smjer te koliko će dugo vrtlog ostati podijeljen.

Ako je riječ o kratkotrajnom poremećaju, utjecaj na vrijeme može biti ograničen. Ako se vrtlog ne oporavi brzo, valovitija mlazna struja može obilježiti kraj studenoga i početak zime.

Atmosfera je povezan sustav: ono što počinje kao hlađenje nad Arktikom može se, preko valova, vjetrova i mlazne struje, pretvoriti u hladni udar, kišu, snijeg ili iznenađujuće topao tjedan. Zato meteorolozi sada gledaju ne samo nebo iznad nas nego, barem privremeno, i 30 kilometara iznad Sjevernog pola.