

Kako so meteorologi vedeli, kaj se bo zgodilo

Vreme *S superračunalniki, globalnimi in lokalnimi modeli in umetno inteligenco do natančnih napovedi*

Se preden je pred desetimi dnevi padla prva kaplja dežja, so meteorologi na Agenciji RS za okolje (Arso) že zaskrbljeno pogledovali v računalniške zaslone. Dan pozneje, v četrtek, 3. avgusta zjutraj, so izdali prvo opozorilo pred močnimi nalivi in obilnimi padavinami. Z vsako uro so bili bolj prepričani, da bo v petek padalo kot še nikoli. Za tem se ne skriva noben urok, temveč sodobni superračunalniki, ki so v zadnjih 40 letih revolucionirali vremenske napovedi. Razvoj je danes še hitrejši kot kdaj prej.

MATEJ HUŠ

V nekdanji tobačni tovarni, v današnjem Tehnopolisu na obrobju Bologne, stoji eden redkih računalniških centrov, ki imajo generatorje z zalogami goriva za tridnevno delovanje. Izpad ne pride v poštev. Center so zgradili leta 2021, v njem je za 80 milijonov evrov opreme. Superračunalniško gručo sestavljajo štirje neodvisni sistemi (BullSequana XH2000), neizvirno poimenovani AA, AB, AC in AD, ki imajo približno milijon procesorskih jeder in dva petabajta pomnilnika. So približno stotisočkrat zmogljivejši od povprečnega računalnika na pisarniški mizi.

Novi superračunalnik je začel delovati 18. oktobra lani in odtlej se na njegove izračune zanašajo v vojski, kmetijstvu, letalstvu, logistiki, na športnih dogodkih in, ne da bi to sploh vedeli, tudi običajni državljani v svojem popoldanskem življenju. V Bologni se vsak dan izračuna, kakšno bo vreme. Na vsem svetu. Globalno.

Nadomestil je predhodnika, ki je svoje naloge opravljal v britanskem Readingu. Oba upravlja Evropski center za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF), ki ima 23 držav članic – med njimi tudi Slovenijo – in še 12 partneric. ECMWF deluje na treh lokacijah; prostore ima še v nemškem Bonnu.

V njegova nrednja se vsak dan steče več sto milijonov podatkov z meteoroloških postaj na Zemlji, satelitov v orbiti, morskih boj, iz vremenskih balonov in letal. Mreža sicer ni enakomerno razporejena po svetu, saj so neprimerno bolj zastopani izmerki iz gosto naseljenih predelov Severne Amerike, Evrope in delov Azije, a vsaj iz zraka se vreme meri po vsem svetu.

Svet v računalniku

Četudi se kdaj zdi, da vremenska napoved zgreši, se stanje izboljšuje. Renesanso vremenskih napovedi so omogočili digitalni računalniki, ki so se uveljavili v 60. in 70. letih minulega stoletja. Odtlej se zanesljivost napovedi povečuje v približno enakem ritmu, kot raste zmogljivost računalnikov. Ti lahko danes že simulirajo vreme na celotnem planetu.

V ta namen se svet v geofizikalnem modelu razdeli v tridimenzionalne rezine, ki segajo nekaj kilometrov v vsako dimenzijo in vsebujejo podatke o stanju ter reliefu. Nato se z upoštevanjem fizikalnih zakonov izračuna, kako se bodo te spremenljivke spreminjale v prihodnosti. Vremenska napoved postane simulacija.

V zmogljivejših računalnikih je mogoče poganjati kompleksnejše modele, ki vsebujejo več podatkov. V praksi to pomeni, da bo napoved natančnejša. ECMWF-jev globalni model svet razreže na rezine, ki v obeh horizontalnih smereh merijo devet kilometrov. Vertikalno pa se atmosfera razdeli na dobrih sto slojev.

V prvih globalnih modelih je bila ločljivost zgolj 100 kilometrov, odtlej pa drobljenje modela ostaja eden izmed načinov za izboljšanje napovedi, če so seveda tudi podatki ustrezno zrnati. Naslednji korak predstavlja evropski projekt NextGEMS, ki se je začel 1. septembra 2021 in razvija dva globalna modela z ločljivostjo od dva do pet kilometrov. Eden bo temeljil na že omenjenem ECMWF-jevem modelu, drugi pa na nemškem ICON-u Inštituta Maxa Plancka za meteorologijo.

Kaos

Medtem ko se marsikdo priduša, da je vreme v zadnjem času kaotično, fiziki to resnega obraza trdijo že ves čas. V matematiki je kaotični sistem močno in nepredvidljivo občutljiv za začetne razmere, čemur pravimo tudi metuljev pojav. Kaotični sistemi imajo še vedno vzročne povezave, a se zaradi velikega števila sklopljenih spremenljivk odzovejo zelo drugače, če se začetne razmere le malo spremenijo. Ker so meritve vedno le približne, postane brezumno povečevanje ločljivosti modelov ali računske moči na neki točki nesmiselno. Omejitve predstavlja poznavanje trenutnega stanja.

Nenatančnosti vhodnih podatkov se v simulaciji kopičijo, zato so napovedi za prihodnost čedalje manj zanesljive. Meteorologi po svetu se strinjajo, da je 15 dni trenutna meja smiselnosti, in marsikdo meni, da se tudi v prihodnosti ne bo povečala. Že minimalne spremembe vhodnih podatkov namreč povzročijo zelo drugačne rezultate simulacij vremena čez dva tedna. To se zdi omejitev narave in ne naše računske moči ali modelov.

Kaotičnost lahko tudi izrabimo. Če imamo na voljo dovolj računske moči, lahko napoved izračunamo večkrat, pri čemer vsakokrat malenkost spremenimo začetno stanje. Rezultat je množica napovedi, zato se sistem imenuje ansambelski. Iz analize, kako različne so te napovedi med seboj, je mogoče oceniti, kako občutljiva in s tem tudi zanesljiva napoved.

Lokalno ali globalno

Izraz globalni model zveni kot dokončna resnica, a jih je več. Najpomembnejša sta ECMWF in ameriški GFS (Global Forecast System), omenimo pa vsaj še nemški Icon in francoski Arpege. Poleg njih obstajajo še lokalni modeli s svojimi prednostmi, med katerimi vsi poznamo Aladina.

Globalni modeli so omejeni z ločljivostjo, kjer je še posebej kritičen relief. Vremensko dogajanje je od reliefa močno odvisno, saj na primer visoke gore povzročajo dviganje (ali spuščanje) zraka, kar vodi do kondenzacije vodne pare (ali sušenja). Osem kilometrov severovzhodno od Kamniške Bistrice je tristo metrov višja Logarska dolina, a vmes so dvatisočaki, v globalnem modelu pa je vse to lahko ista celica. Lokalni modeli imajo boljšo ločljivost in več podatkov o reliefu, zato so precej boljši pri opisu nevihtnega dogajanja, količine padavin, vetra in deloma temperature. Neurja zadnji konec tedna so bila bistveno natančnejše napovedana prav zaradi uporabe lokalnega modela.

Iz francoskega modela Arpege je izpeljan slovenski lokalni model Aladin, za katerega danes malokdo ve, da predstavlja francoski akronim za »mednarodni model nad omejenim območjem z metodo dinamičnega prilagajanja« (Aire Limitée Adaptation dynamique

Développement InterNational). Nastal je v sodelovanju več meteoroloških služb iz Evrope. V teh državah se uporabljajo izpeljanke istega modela, ki se razlikujejo v nekaterih lokalnih posebnostih, denimo modelskem območju, dolžini napovedi, vhodnih numeričnih parametrov in njihovih utežeh ter fizikalnih shemah, pod pokrovom pa je koda podobna. Slovenija ga je dobila med prvimi, in sicer že leta 1997.

Tudi na področju modeliranja vremena sicer velja, da skupaj zmoremo več. Aladin se je v minulem desetletju združil s Hirloomom (severna Evropa, Nizozemska, Španija) v Accord, tako da so v Evropi trenutno štirje veliki konzorciji: Accord (kamor sodi tudi Slovenija), Cosmo (Nemčija, Italija, Švica, Grčija, Poljska, Romunija, Izrael, Rusija), Seecop (Zahodni Balkan in Ukrajina) in Ukmo (Združeno kraljestvo).

Napoved za Slovenijo

Za modelne napovedi za Slovenijo Arso uporablja dve računalniški gruči, ki imata skupaj približno 2500 računskih jeder in večino časa poganjata meteorološko prognozo, fotokemijski model kakovosti zraka in model plimovanja Jadranskega morja, je pojasnil Jure Cedilnik, vodja sektorja za meteorološko in oceanografsko modeliranje na Arsu.

Modeliranje v Sloveniji ima že dolgo tradicijo, saj je bil Hidrometeorološki zavod (predhodnik Arsa) ena prvih meteoroloških služb na svetu, ki je poganjala modele na računalniških gručah. Leta 1997 so bili to štirje procesorji (DEC Alpha), danes Aladin/Si teče na bistveno večji gruči.

Pri opazovanju ličnih vizualnih ponazoritev napovedi lahko hitro pozabimo, da vsak model sestavlja omejeno število točk. Aladin ima horizontalno ločljivost 4,4 kilometra in 87 vertikalnih nivojev. To v praksi pomeni, da vreme nad Slovenijo in okolico vidi kot 16 milijonov točk ali celic (432 x 432 x 87), ki se spremenijo vsakih 180 sekund, kolikor znaša časovni korak simulacije. Izračun za prihodnjih 72 ur poženejo vsakih šest ur. Pomaga mu aktualnejši RUC (*rapid update cycle*), ki ima ločljivost 1,3 kilometra in časovni korak 60 sekund. Tega poženejo vsako uro, vidi pa 36 ur v prihodnost. V praksi to pomeni, da javnost vidi napovedi modela ECMWF na sedem

ur starih podatkih, pri Aladinu je zamik tri ure in pri RUC le še uro.

Človeška ali umetna inteligenca

Zanesljivost napovedi je odvisna od številnih dejavnikov, tudi od vremena samega – izraziti zimski anticikloni so precej predvidljivejši od aprilskih neviht –, a se s časom izboljšuje. K temu prispevajo trije dejavniki: več podatkov, ki jih dandanes zagotavljajo zlasti sateliti, večja računsko moč in več znanja o njihovi uporabi, je strnil Cedilnik. Svetovna meteorološka organizacija v grobem ocenjuje, da so današnje napovedi za pet dni vnaprej približno tako natančne, kot so bile dvodnevne pred četrto stoletja. Cedilnik se s tem načeloma strinja in pojasni, da se povprečna napaka v napovedi za prosto atmosfero zmanjšuje tako, da vsakih deset let »pridobimo« en dan napovedi.

Če je soditi po preteklosti, bo prihodnost prinesla zmogljivejše računalnike in več podatkov meritev (na primer z Dopplerjevimi radarji izmerjene hitrosti, razelektivitve in drugi satelitski podatki). To bo omogočilo še natančnejše napovedi, a potrebovali bomo algoritme, ki jih bodo popolnoma izkoristili. Ena izmed bližnjih poti razvoja je uporaba sodobnih grafičnih kartic, ki omogočajo izjemno paralelizacijo enostavnih izračunov.

Prva sprememba, ki jo bomo v praksi opazili slovenski uporabniki, pa bo ocena negotovosti napovedi v realnem času. Arso bo prihodnje leto začel poganjati ansambelske napovedi za Slovenijo na gruči ECMWF. Prvi preizkusi so obetavni.

Na koncu ne moremo mimo umetne inteligence. Arso tu ne zaostaja in že danes uporablja nevronska mreža pri napovedovanju poplavljanja morja v Piranu. Učijo jo s preteklimi pojavi in modelskimi napovedmi. Na tem področju so posebej aktivni tudi tehnološki giganti, denimo Google, Huawei in Nvidia. Huawei je dal svoj vremenski model iz umetne inteligence Pangu-Weather v prosti dostop 3. avgusta. Pangu se uči iz modela ECMWF in je za zdaj globalen. Raziskave na tem področju so zelo živahne in prav ECMWF sproti računa napoved tudi z modelom Pangu. Z razvojem umetne inteligence se v okviru konzorcija Accord in sodelovanja z ljubljansko

fakulteto za računalništvo in informatiko ukvarja tudi Arso.

Kakor pri drugih uporabah umetne inteligence je glavna prednost hitrost. Sicer je počasna, ko se uči iz arhiviranih podatkov, za kar potrebuje ogromno računske zmogljivosti. Poganjanje naučnega modela pa je potem bistveno hitrejše od klasičnih geofizikalnih modelov, a s pomembno opombo. Umetna inteligenca je v resnici prej načitana kot inteligentna, zato so napovedi omejene s preteklimi dogodki. Še nevideni scenariji jo lahko povsem zmedejo.

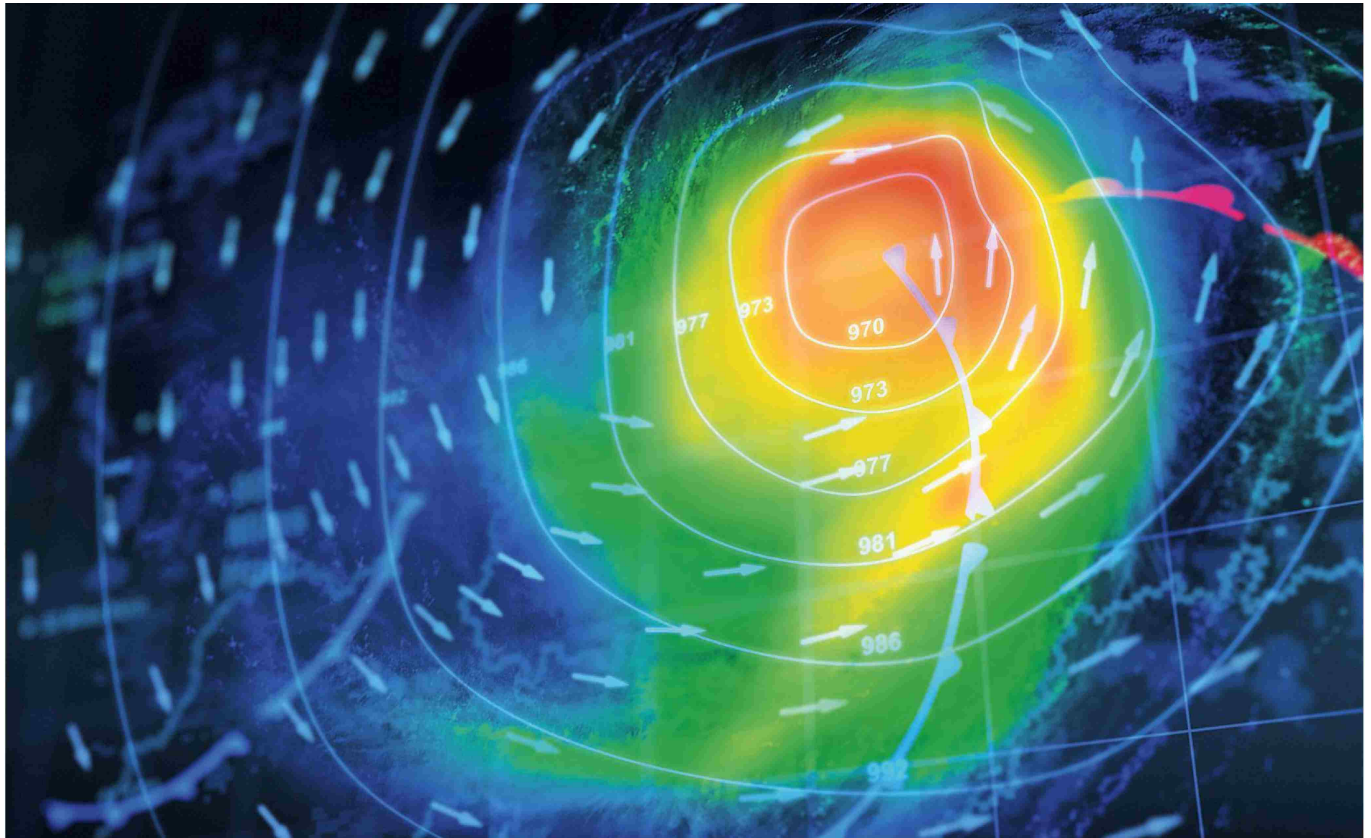
Meteorologi bodo šli po poti številnih drugih poklicev. Umetna inteligenca jih ne bo zamenjala, temveč jim bo pomagala. Predvsem pa bo od njih terjala veliko usposobljenosti in preudarka pri motrenju čedalje večjih kupov podatkov, modelov in napovedi, iz katerih znajo ustvariti znamenite obete.

Dr. Matej Huš je znanstveni sodelavec na Kemijskem inštitutu in Zavodu za varstvo kulturne dediščine Slovenije.

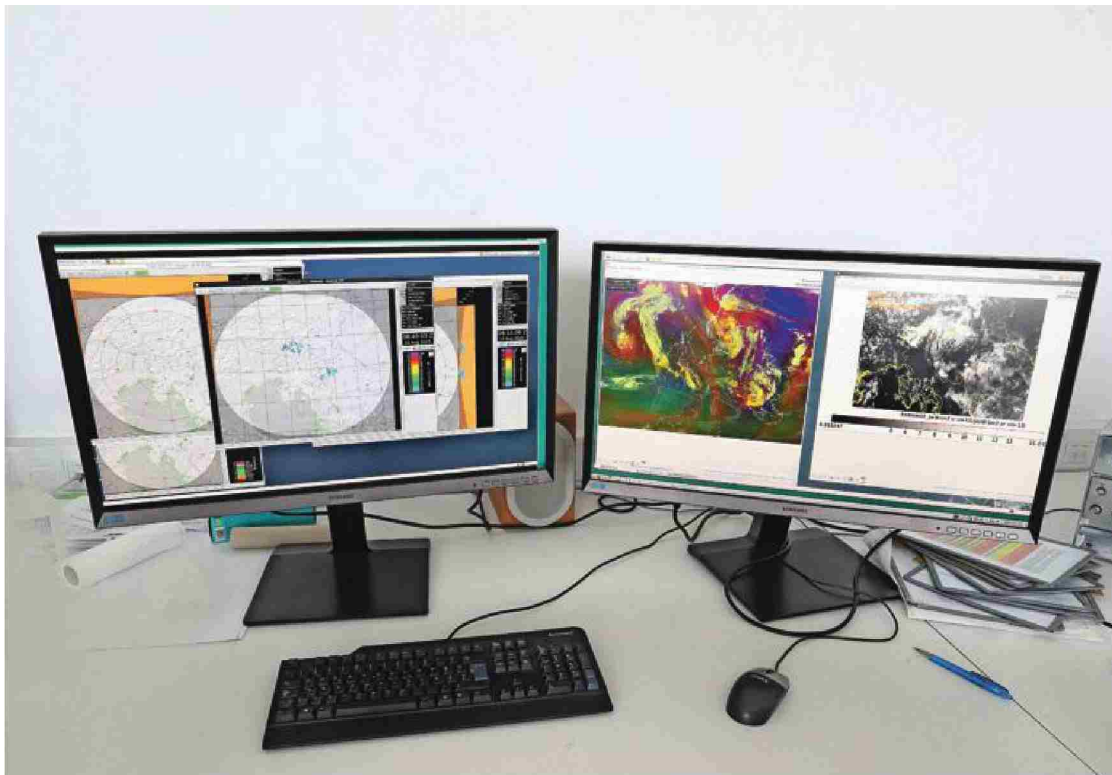
Kaotični sistemi se zaradi velikega števila sklopljenih spremenljivk odzovejo zelo drugače, če se začetne razmere le malo spremenijo.

Za modelne napovedi za Slovenijo Arso uporablja dve računalniški gruči, ki imata skupaj približno 2500 računskih jeder.

Svetovna meteorološka organizacija v grobem ocenjuje, da so današnje napovedi za pet dni vnaprej približno tako natančne, kot so bile dvodnevne pred četrto stoletja.



Zanesljivost napovedi se povečuje v približno enakem ritmu, kot raste zmogljivost računalnikov. FOTO SHUTTERSTOCK



Modeliranje v Sloveniji ima že dolgo tradicijo, saj je bil Hidrometeorološki zavod (predhodnik Arsa) ena prvih meteoroloških služb na svetu, ki je poganjala modele na računalniških gručah. FOTO DEJAN JAVORNIK