

Avtomatske meritve vetra

Primož Mlakar^{*}, Marija Zlata Božnar^{*}, Boštjan Grašič^{*}, Franci Gabrovšek^{**}

Povzetek

Veter predstavlja pomembno naravno spremenljivko, ki vsakodnevno vpliva na življenja in delo ljudi. Kljub nenadomestljivosti človeka pri opazovanju in beleženju nekaterih naravnih pojavov so se meritve za potrebe napovedovanja vremena in proučevanja podnebja relativno hitro avtomatizirale. V prispevku so predstavljene avtomatske meritve vetra z različnimi senzorji, ki se uporabljajo za različne namene kot so na primer tudi določanje razširjanja onesnaževal v ozračju ali spremljanje klime v kraških jamah.

Ključne besede: veter, pretok zraka, avtomatske meritve, kraške jame

Key words: wind, air flow, automatic measurements, karst caves

Uvod

Veter je naravna spremenljivka, ki nas spremlja skozi celo življenje. Lahko smo ljubitelji vetra, na primer jadranci in si želimo močnejši veter, lahko sovražimo veter in iščemo zatišje, vsi pa se bojimo močnega vetra, ki nas lahko poškoduje. Veter nam daje tudi energijo. Veter poganja jadrnice, mline, vodne črpalke, v zadnjem času pa nam daje električno energijo.

Ljudje, ki so bili odvisni od vetra, so začeli meriti veter, najprej z opazovanjem posledic na okolici. Tako je nastala zelo znana Beaufortova lestvica, ki je dobila ime po angleškem mornariškem oficirju iz začetka 19. stoletja (Huler, 2007; Wikipedia, 2017b). Lestvica je razdeljena na 13 stopenj od 0. za brezvetrje do 12. za najmočnejše vetrove. Skala je določena tudi opisno, na primer za 3. stopnjo: hitrost od 12 do 19 km/h, manjši valovi, vrhovi se začno lomiti, višina valov na odprtem morju okoli 0,6 m.

Če želimo razumeti, kako merimo veter, moramo poznati njegove lastnosti. Veter je gibanje zraka, ki pa ni nikoli enakomerno. Zato je merjenje vetra še danes velik izziv. Napravo, ki meri veter, imenujemo vetromer oziroma s tujko anemometer. Lahko merimo samo hitrost vetra, vendar pa običajno merimo skupaj smer in hitrost vetra v vodoravni smeri. Za posebne analize pa merimo veter v vseh treh dimenzijah.

Mehanski anemometer naj bi že v 15. stoletju iznašel Leon Battista Alberti, vendar za očeta anemometra z vrtečimi se skodelicami priznavamo J.T.R Robinsona v 19. stoletju (Dines, 2007; Wikipedia, 2017a).

Mehanski anemometri so imeli zapletene mehanizme za prikaz hitrosti vetra. Take meritve pa je moral opravljati človek. Šele z razvojem elektronike in mikroračunalnikov v 70. letih prejšnjega stoletja pa so se uveljavile avtomatske meritve. Avtomatske se imenujejo, ker je stroj oziroma računalnik nadomestil človeka pri merjenju, obdelavi meritev, prenosu podatkov, shranjevanju in prikazovanju. V stroki običajno uporabljamo izraz "avtomatski" ker izraz "samodejen" lahko zavede, ker avtomatska naprava ne dela sama od sebe, ampak po točno določenih in vnaprej predvidenih programskih ukazih programerja.

^{*} MEIS storitve za okolje, d.o.o., Mali Vrh pri Šmarju 78, SI-1293 Šmarje-Sap, Slovenija

^{**} Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, SI-6230 Postojna, Slovenija

Senzorji za avtomatske meritve vetra

Za avtomatske meritve vetra potrebujemo senzorje, ki glede na veter oddajajo analogne ali digitalne električne signale. V preteklosti so se zaradi cenenosti največ uporabljali mehanski z vrtečimi se skodelicami za hitrost vetra in smernim krilom za smer vetra. Vrteče se skodelice so poganjale majhen enosmerni generator, ki je proizvajal enosmerno napetost. Napetost je bila sorazmerna hitrosti vetra, smerno krilo pa je bilo povezano s krožnim potenciometrom. Potenciometer je spremenljiv upor v odvisnosti od smeri vetra. Če je bil potenciometer priklopljen na enosmerno napetost, je bila izhodna napetost na potenciometru proporcionalna smeri vetra. Največja pomankljivost te metode pa je, da pri določeni smeri napetost preskoči med najmanjšo in največjo napetostjo. Ti senzorji se danes redkeje uporabljajo, ker so predvsem pri šibkejših vetrovih manj natančni.

Napredek pri mehanskih senzorjih je prinesla optoelektronika. Optoelektronski senzor za hitrost vetra ima na osi vrtečih se skodelic nazobčano ploščico (stroboskop), ki prekinja svetlobo svetleče diode. Na drugi strani je foto tranzistor, ki sprejema svetlobo diode. Ko se ploščica vrti, foto tranzistor ojači spreminjanje svetlobe in tako dobimo na izhodu senzorja električne impulze. število impulzov v določenem času je sorazmerno povprečni hitrosti vetra v tem času.

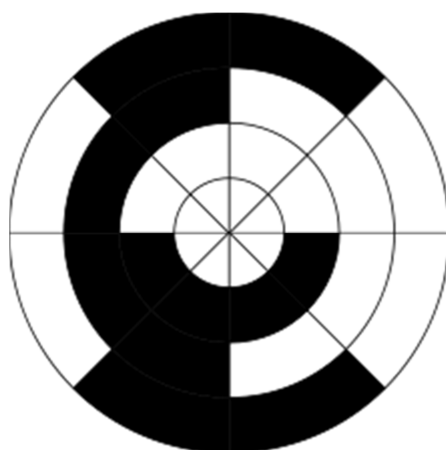


Slika 1 - Klasični optoelektronski senzor za hitrost vetra, izdelan na Institutu Jožef Stefan (IJS) sredi 80. let preteklega stoletja

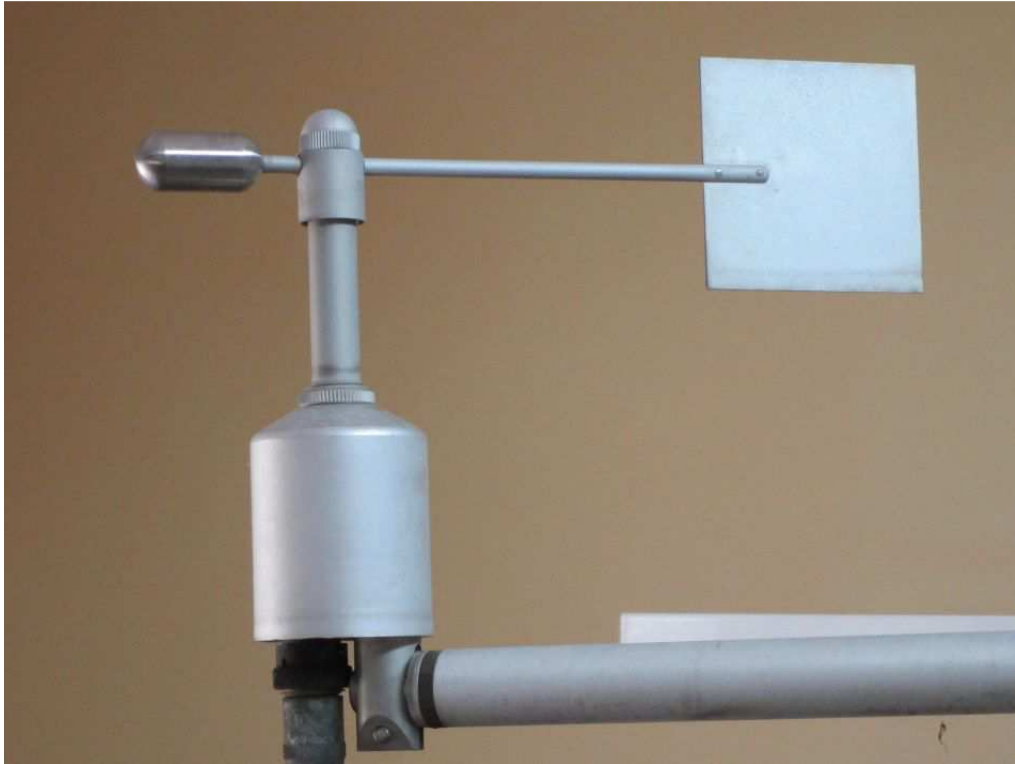


Slika 2 - Posebni optoelektronski senzor z magnetnimi ležaji, izdelan na IJS konec 80. let preteklega stoletja za zanesljivejšo meritve šibkih vetrov

Pri optoelektronskem senzorju za smer vetra je smerno krilo povezano s ploščico ali skodelico, ki ima vgravirano Gray-evo kodo (Gray, 1953; Wikipedia, 2017c), ki zagotavlja beleženje smeri vetra brez nezaželenih preskokov. Pod in nad ploščico so pari fotodiod in foto tranzistorjev, ki se odzivajo na spremembe smeri. Več kot je parov, bolj natančen je senzor. Običajno imajo senzorji šest parov, kar pomeni šestbitni senzor. Šestbitni senzor omogoča meritve z ločljivostjo pet kotnih stopinj.



Slika 3 - Primer tribitne Gray-eve kode (Gray, 1953; Wikipedia, 2017c)



Slika 4 - Klasični optoelektronski senzor za smer vetra razvit na Institutu Jožef Stefan (IJS)



Slika 5 - Razstavljen senzor za smer vetra,
kjer se lepo vidi črna skodelica s šestbitno Gray-evo kodo

Za natančnejše meritve vetra in za meritve turbulentnosti vetra uporabljamo ultrazvočne (UZ) senzorje, ki merijo hitrost zvoka med oddajnikom in sprejemnikom zvoka nad frekvencami, ki jih slišimo. Če piha veter proti sprejemniku, se hitrost zvoka poveča, pri obratni smeri pa se zmanjša. Z dvema paroma oddajnik–sprejemnik merimo veter v dveh dimenzijah (2D UZ anemometri), s tremi pari pa v treh dimenzijah (3D anemometri). Ultrazvočne senzorje za veter imenujemo UZ anemometri oziroma UZ merilniki vetra, ker so to mikroprocesorsko vodeni merilniki. Izhod UZ anemometra je običajno serijski računalniški prenos preko protokola RS-485. Opcijsko imajo običajno tudi analogne izhode za priklop na starejše merilne postaje.



Slika 6 - 2D UZ anemometer v Brežicah

Smeri in hitrosti vetra lahko merimo tudi na daljavo, brez fizičnega stika. Eden od takih merilnikov je SODAR (ang. SOnic Detection And Ranging) (Beyrich, 1997; Wikipedia, 2017d). Merilnik deluje tako, da odda zvočni signal v izbrano smer atmosfere, potem pa posluša povratne odboje. Odboji nastanejo zato, ker zvok ne prodira zgolj naprej, temveč se tudi odbija nazaj od zračnih mas. Če se zračna masa v smeri razširjanja zvoka premika, potem pride do doplerjeve spremembe frekvence zvoka. Na sprejemni enoti se to doplerjevo spremembo frekvence izmeri in iz tega neposredno izračuna hitrost zračne mase v smeri razširjanja zvoka. Iz časa prispetja odboja pa lahko izračunamo oddaljenost posamezne zračne plasti, ki je odboj povzročila. Če tako meritev z zvokom izvedemo v treh delno odklonjenih smereh (naprimer odklonjenih od vertikale) tako dobimo za vsako plast hitrost vetra v treh različnih smereh, iz česar potem izračunamo vektor vetra v horizontalni smeri na izbrani oddaljenosti od senzorja in posebej vertikalno hitrost. Ta način podajanja je ustaljena praksa pri merilnikih SODAR, lahko pa bi seveda podali zgolj 3D vektor za posamezno plast. Na podoben način delujejo tudi laserski merilniki hitrosti vetra, ki pa imajo to dobro lastnost, da ne motijo okolice s piskanjem v slišnem spektru kot to dela SODAR.



Slika 7 - V Sloveniji je MEIS d.o.o. v bližini marsikaterega večjega industrijskega objekta ocenjeval vpliv izpustov onesnaževal v zrak s pomočjo avtomatskih meritev navpičnih profilov vetrov s SODAR-jem

Zakaj avtomatske meritve?

Klasične glavne meteorološke opazovalnice so imele tro izmensko posadko opazovalcev oziroma meteorologov, da so zabeležili meteorološke pojave. Človek je še sedaj nenadomestljiv pri opazovanju nekaterih vremenskih pojavov, ki jih ne moremo dovolj dobro meriti z najmodernejšimi senzorji.

V nasprotju s potrebami napovedovanja vremena in proučevanja podnebja so se meritve za določevanje razširjanja (disperzije) onesnaževal v ozračju hitreje avtomatizirale. Za določevanje razširjanja onesnaževal so najpomembnejše meritve vetra in stabilnosti ozračja. (Stabilnost ozračja se lahko določi s pomočjo meritev navpičnega temperaturnega profila in/ali globalnega sončnega obseva.)

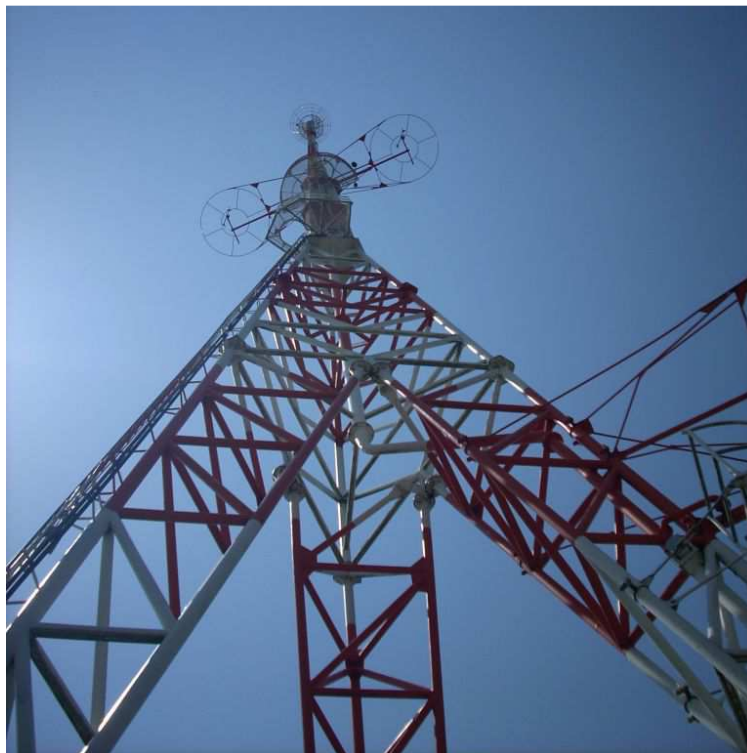
Že v 70. letih prejšnjega stoletja so na Institutu Jožef Stefan naredili prvo avtomatsko meteorološko postajo, ki je merila veter, temperaturo in relativno vlažnost zraka na štirih nivojih 70-metrskega stolpa in podatke prenašala v kontrolno sobo Nuklearne elektrarne Krško (NEK). Narejena je bila z analognimi in digitalnimi moduli brez mikroprocesorja.

Leta 1985 smo prvo postajo zamenjali s takrat moderno zasnovano avtomatsko merilno postajo (AMP) na osembitnem mikroprocesorju Intel 8080. Intel 8080 je bil "pra-pra dedek" današnjih Intelovih 64-bitnih procesorjev I, ki so srce današnjih osebnih računalnikov. AMP je bila narejena na IJS, kar pomeni, da smo jo dobesedno naredili iz osnovnih elementov: tiskanih vezij, tranzistorjev, kondenzatorjev, uporov in drugih elektronskih elementov. Tudi tiskana vezja smo sami izdelali.

AMP je bila povezana s "koncentratorjem" v komandni sobi, ki je prejemal meteorološke podatke, procesne parametre in podatke o izpustih iz NEK in sproti

ocenjeval disperzijske sposobnosti ozračja ter računal vpliv NEK na okolje. Seveda je imel glavno vlogo pri tem veter. Od tedaj je minilo že več kot trideset let. V tem času smo zamenjali veliko avtomatskih postaj, senzorjev, računalnikov in programov, tako da izpuste iz NEK vedno nadzoruje najsodobnejša oprema.

V NEK SODAR avtomatsko meri hitrost vetra v plasteh nad kotlino že od konca devetdesetih let. Meritev je izjemnega pomena za pravilno diagnostično določanje potencialne poti širjenja onesnaženja v ozračju.



Slika 8 - Avtomatske meritve vetra 40 in 70 metrov nad tlemi. Pogled z vznožja stolpa proti vrhu. Lepo so vidne zaščite proti streli.

Posebno poglavje so meritve vetra za potrebe prometa. Jadrnice so sedaj namenjene predvsem zabavi, zato nas v ladijskem, letalskem in cestnem prometu zanima predvsem (pre)močan veter. Avtomatske meritve vetra so se hitro "prijele". Nevarni odseki cest so opremljeni z anemometri, ki avtomatsko prožijo opozorila v primeru premočnih vetrov. Letala v zraku avtomatsko prejemajo podatke z letališča, na katerem nameravajo pristati.

Avtomatske meritve vetra za nadzor klime v kraških jamah

Pred davnimi časi so jame dajale zavetje ljudem, danes pa so turistična zanimivost. Našo Postojnsko jamo vsako leto obišče več sto tisoč ljudi. Po svetu jamski turizem strmo narašča predvsem na Kitajskem. Vse te množice ljudi vplivajo na klimo v jamah. V okviru aplikativnega raziskovalnega projekta ARRS "L6-2156 Meritve in analiza izbranih klimatskih parametrov v kraških jamah: Primer sistema Postojnskih jam" smo pred sedmimi leti začeli z avtomatskimi meritvami. Najbolj zanimivi spremenljivki sta "veter" in vsebnost ogljikovega dioksida. V jamah težko rečemo, da piha veter. Gibanje zraka lahko poimenujemo tudi prepih ali prezračevanje. Za turizem je zelo pomembno, kako hitro se zrak v jami zamenja.



Slika 9 - Avtomatske meritve "vetra" z 2D UZ anemometrom ob železniški progi v Postojnski jami.

Zaključki

V okviru tega prispevka so predstavljene avtomatske meritve vetra oz. pretoka zraka v okolju. Avtomatske meritve vetra se izvajajo z različnimi senzorji, ki temeljijo na različnih principih. Izbira senzorja za avtomatske meritve je odvisna od namena uporabe meritev ter okolja v katerem meritve potekajo. Meritve se uporabljajo za različne namene kot so na primer napovedovanje vremena, proučevanje podnebja, določanje razširjanja onesnaževal v ozračju ali spremljanje klime v kraških jamah.

Zahvala

Projekte (Ocena vpliva naravnih in antropogenih procesov na mikrometeorologijo Postojnske jame z uporabo numeričnih modelov ter sodobnih metod zajemanja in prenosa okoljskih podatkov, L2-6762, Krasoslovne raziskave za trajnostno rabo Škocjanskih jam kot svetovne dediščine, L7-8268 in Metoda za lokalno napovedovanje radiološkega onesnaženja atmosfere z uporabo modelov na podlagi Gaussovih procesov, L2-8174) je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

Literatura

- Beyrich, F. (1997). Mixing height estimation from sodar data—a critical discussion. *Atmospheric Environment*, 31(23), 3941–3953.
- Dines, W. H. (2007). Anemometer comparisons. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(83), 165–185. <https://doi.org/10.1002/qj.4970188303>
- Gray, F. (1953). Pulse code communication. Google Patents. <https://www.google.com/patents/US2632058> (27.11.2017)
- Huler, S. (2007). *Defining the wind: The Beaufort Scale and how a 19th-century admiral turned science into poetry*. Crown. New York, 304 p.
- Wikipedia (2017a). Anemometer --- Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Anemometer&oldid=811483547> (27.11.2017)
- Wikipedia (2017b). Beaufort scale --- Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Beaufort_scale&oldid=812185205 (27.11.2017)
- Wikipedia (2017c). Gray code --- Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Gray_code&oldid=810115711 (27.11.2017)
- Wikipedia (2017d). SODAR --- Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=SODAR&oldid=802787046> (27.11.2017)