

Analiza vplivov izpustov vodne pare iz hladilnih stolpov JEK2 na okolico

M. Z. Božnar^{*}, P. Mlakar^{*}, B. Grašič^{*}, D. Popović^{*}, G. Tinarelli^{**}, D. Barbero^{**},
E. Specchia^{**}, B. Glaser^{†***}, L. Štrubelj^{***}, K. Debelak^{***}

Povzetek

JEK2 bo predvidoma imela en velik hladilni stolp, za odvod toplote iz kondenzatorja med normalnim obratovanjem. Hladilni stolp bo drugačen, večji, višji in precej bolj zmogljiv kot obstoječi hladilni stolpi pri Nuklearni elektrarni Krško, ki odvajajo le del toplote, del pa se odvaja v Savo. Novi hladilni stolp bo primerljiv s hladilnim stolpom Bloka 6 Termoelektrarne Šoštanj.

Cilj opisane naloge je numerična analiza vplivov izpustov hladilnih stolpov JEK2 na okolico.

Ključne besede: hladilni stolp, jedrska elektrarna, meteorologija
Key words: cooling tower, nuclear power plant, meteorology

Analiza izpustov vodne pare

Hladilni stolp izpušča v ozračje vodno paro. Ta vodna para je brezbarven prozoren plin, a v določenih pogojih zunanje atmosfere vidna kot bel oblak. Vodna para, ki izhaja iz hladilnih stolpov, lahko povzroča viden oblak, kadar pride do kondenzacije zaradi naravne in dodane vodne pare. Kondenzacija nastopi kadar skupna vlaga preseže količino vlage, ki predstavlja 100% relativno vlago. Bolj kot je topel in suh zunanji zrak, manj je verjetno, da bo oblak vodne pare viden.

Cilj naloge je bil, da numerično izračunamo kdaj, kje in koliko je tega vidnega dela oblaka.

Ko imamo v 3D prostoru popisano vidnost oblaka, smo lahko izračunali tudi pozicijo njegove sence na tleh. Izračunali smo tudi površino pod oblakom. Neodvisno od vidnosti smo za sloj pri tleh preračunali tudi delež dodane vodne pare v ozračju.

Senca je pomembna zato, ker zmanjša direktno sončno sevanje, kar vpliva na pridelavo rastlin. Senca je lahko moteča za prebivanje, če je je skozi celo leto preveč, v poletni pripeki pa je zaželen.

Če si pod oblakom na tleh, je lahko to moteče za bivanje. V pomladnih jutrih pa je zelo dobrodošel oblak nad lokacijo, ker zmanjšuje ohlajanje tal in tako pomaga preprečevati pozebo.

Z izparevanjem vode dodajamo vodno paro v ozračje, ta se transportira in redči tako, kot bi se redčili dimni plini. Zato smo za vse talne celice izračunali relativne prispevke vodne pare. Če bi atmosfersko vlago opazno povečali, to lahko vpliva na razvoj tistih rastlinskih boleznih, ki se razbohotijo v bolj vlažnem ozračju.

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

^{**} ARIANET S.r.l. via Benigno Crespi, 57 - 20159 Milano, Italija

^{***} GEN energija, d.o.o., Urbina 17, 8270 Krško, Slovenija

Vse našete naloge smo izvedli na naslednji način:

GEN je najprej pripravil numerične izračune za izhodne emisijske parametre hladilnega stolpa. Ti parametri so: količina izpuščene vodne pare, temperatura izpuščene vode in izstopna hitrost vodne pare. To in višina ter lokacija hladilnih stolpov so bili vhodni podatki za našo nalogo.

Na MEIS d.o.o. smo v sodelovanju z italijanskim partnerjem Arianet s.r.l. postavili numerični modelirni sistem, ki je izvedel naslednje funkcije:

- izračun meteorološke napovedi za obravnavano področje 25 km x 25 km v fini krajevni in časovni resoluciji,
- izračun disperzije vodne pare iz hladilnih stolpov v okoliško atmosfero,
- izračun vidnosti oblaka vodne pare (partner Arianet),
- analizo pojavnosti sence vidnega oblaka, površine pod oblakom le-tega ter relativnega prispevka vodne pare.

Meteorološko napoved smo izdelali v MEIS-u z uporabo WRF numeričnega modela, ki smo ga v preteklih svojih raziskovalnih projektih izdatno validirali z meritvami SODARjev in RASSa ter talnih meteoroloških meritev v Sloveniji (Šoštanj, Trbovlje, Krško). Meteorološko napoved smo morali uporabiti zato, ker za profil v atmosferi ni na voljo meritev relativne vlage, ki pa je ključni podatek za naše izračune.

Disperzijo vodne pare v okoliškem ozračju smo izračunali z uporabo modela SPRAY (proizvajalec Arianet), ki smo ga v preteklih svojih raziskovalnih projektih izdatno validirali na podatkih namenske merilne kampanije sledilnega eksperimenta v Šoštanju.

Osnovne izračune smo izdelali za dve zaporedni koledarski leti 2020 in 2021 v korakih po pol ure. Uporabili smo modelirni sistem, ki je prostor nad domeno 25 km x 25 km s središčem na lokaciji JEK2 razdelil na 500 x 500 celic v vodoravni ravnini (celica meri vodoravno 50 m x 50 m), po višini pa na 51 slojev.

Izvedene analize kažejo na to, da je vpliv hladilnih stolpov zaznan relativno kratkotrajno po vseh obravnavanih kriterijih. V nekaterih primerih pa je celo ugoden (proti slani in pozebi in proti pregrevanju sončnih celic za proizvodnjo elektrike).

Največ sence je le v bližini hladilnega stolpa. Lokacija, kjer je sence največ, je imela senco 18 dni svetlega dela dneva.

Pomembnih negativnih vplivov za kmetijstvo nismo zaznali, še posebej ne v obliki opaznega povečanja vlažnosti zraka pri tleh, kar bi bilo pomembno za razvoj nekaterih rastlinskih bolezni.

Razlike rezultatov med dvema letoma z različnimi meteorološkimi pogoji za isto varianto hladilnega stolpa so večje kot razlike med različnima višinama in različnima lokacijama hladilnega stolpa, ki smo jih obravnavali. (Obravnavali smo štiri kombinacije, dve lokaciji in dve višini). To pomeni, da glede na obravnavane vplive na okolico med izbranimi lokacijama in različnima višinama, ki smo ju obravnavali, ni značilnih razlik.

Pri vseh obdelavah smo izračune izvedli samo za vpliv vodne pare iz hladilnih stolpov. Ostalih ugodnih ali neugodnih naravnih ali antropogenih podobnih vplivov nismo upoštevali (na primer sence zgradbe hladilnega stolpa ali sence drugih virov pare ali hribov).

Rezultate smo analizirali za vplive na talne površine, ker tam ljudje živijo, gojijo kmetijske in druge rastline in proizvajajo električno energijo s sončnimi celicami kar so po našem mnenju najpomembnejši procesi na katere vpliva viden oblak vodne pare.

Rezultate analiz lahko v splošnem razdelimo v 5 večjih sklopov:

- lokacija pod oblakom vidne vodne pare,
- lokacija v senci oblaka vidne vodne pare,
- relativni delež dodane vodne pare,

- navpični dvig vodne pare in
- opis izkušenj iz Termoelektrarne Šoštanj (TEŠ).

Podrobno pa so rezultati naslednji:

Področje pod vidnim oblakom vodne pare

Prva obdelava podatkov, ki smo jo izvedli, daje odgovor, kdaj in kolikokrat se posamezna talna celica (celica je parcela velikosti 50 m x 50 m, v ortogonalnem rastru, tako delitev omogoča modelirni sistem) nahaja pod vidnim delom oblaka.

Ali je parcela pod oblakom, je pomembno tako podnevi kot ponoči.

Če je talna parcela pod vidnim oblakom, je to ugodno za preprečevanje pomladne pozebe, ker oblak vodne pare deluje kot topla greda. V nadaljevanju sledi dodatna analiza.

Na parcelah neposredno ob hladilnem stolpu je v najslabšem primeru lokacija pod oblakom v 53% vsega časa. Takoj, ko se odmaknemo malo v stran od lokacije hladilnega stolpa, pa ta delež zelo pade. Vrednosti števca polurnih vrednosti nad 3000 (kar znaša 62.5 dni) nastopijo samo znotraj radija 1 km od lokacije bodočega reaktorja.

Največja ploščina tlorisa oblaka na področju 25 km x 25 km

Analizo smo izdelali za osnovno lokacijo in osnovno višino hladilnega stolpa.

Izračunali smo še največjo ploščino tlorisa oblaka za vsako obravnavano leto.

Največja površina pod oblakom na področju 25 km x 25 km v letu 2020 znaša 1371.75 ha=13.7175 km² (5487 celic).

Največja površina pod oblakom na področju na področju 25 km x 25 km v letu 2021 pa znaša 1688.75 ha=16.8875 km² (6755 celic).

Statistična obdelava področja v senci oblaka

Naslednja obdelava, ki smo jo izvedli, je obdelava kdaj se posamezna talna parcela nahaja v senci vidnega oblaka vodne pare.

Senca pomeni, da bo manj direktne sončne svetlobe, razpršena difuzna sončna svetloba pa ostane ali pa se celo poveča.

Če je talna parcela v senci oblaka, je to:

- ugodno za manj izsuševanja tal v vročem sončnem poletnem dnevu
- ter manj ugodno neposredno za prirast pri kmetijskih rastlinah in
- večinoma manj ugodno za izplen električne energije na sončnih panelih.

Na parcelah neposredno ob hladilnem stolpu je v najslabšem primeru lokacija v senci oblaka v 447 polurnih intervalih. Takoj, ko se odmaknemo malo v stran od lokacije hladilnega stolpa, pa ta delež zelo pade.

Največja vrednost števila polurnih intervalov v senci oblaka je nastopila pri variantah hladilnega stolpa na osnovni lokaciji z oznakama HS175-OSN in HS190-OSN v letu 2021. Ta vrednost je znašala 447 polurnih intervalov oziroma približno 18 dni dnevnega časa (svetlega dela dneva) v letu 2021. Nastopila pa je na parceli v bližini hladilnega stolpa (na oddaljenosti od bodočega reaktorja 896 m za varianto HS175-OSN in 1151 m za varianto HS190-OSN).

Največja ploščina površine v senci oblaka okrog poldneva na področju 25 km x 25 km

Analizo smo izdelali za osnovno lokacijo in osnovno višino hladilnega stolpa.

Posebej smo analizirali še največjo ploščino površine v senci vidnega oblaka vodne pare okrog poldneva na področju 25 km x 25 km.

Predpostavljamo, da nas oblak najbolj vidno moti takrat, ko je sonce najvišje na nebu (okrog poldneva).

Največja površina v senci oblaka okrog poldneva (od 11:30 do 12:30 ure) na področju 25 km x 25 km v letu 2020 znaša 706.25 ha=7.0625 km² (2825 celic).

Največja površina v senci oblaka okrog poldneva (od 11:30 do 12:30 ure) na področju 25 km x 25 km v letu 2021 znaša 1045 ha=10.45 km² (4180 celic).

Relativni delež dodane vlage na področju 25 km x 25 km

Naslednja obdelava, ki smo jo izvedli, je obdelava kolikšen je relativni delež dodane vlage v zraku na vsako talno parcelo.

Razmerje - delež - smo definirali kot ulomek dodane tehnološke proti osnovni naravni masi vodne pare.

Ta analiza upošteva samo rezultate v talnem sloju.

Če je v zraku nad talno parcelo zaradi oblaka iz hladilnih stolpov znatno povečana količina vodne pare, je to:

- neugodno za razvoj bolezni v vinogradih in sadovnjakih, ki se pojavljajo ob visoki zračni vlagi.

Zato smo v predstavitvi rezultatov pokazali 99. percentil deleža za vsako talno parcelo posebej. 99. percentil zato, ker je maksimalna vrednost vedno pogojena z največjo napako modeliranja (vsi disperzijski modeli imajo nekaj napake) in je zato 99. percentil bolj realen pokazatelj dogajanja.

99-percentil relativnega deleža smo pokazali za:

- osnovno časovno vrsto za vsako talno parcelo za polurne podatke,
- zatem pa še za 72 urno drseče povprečje.

Pomen 72 urnega (tri dnevnega) drsečega povprečja je v tem,

- da je tridnevna bolj vlažna atmosfera bolj pomembna za razvoj rastlinskih bolezni kot zgolj polurna povišana vrednost.

Najvišji 99. percentil izračunanega deleža v zraku pri tleh znaša 0.21% za polurne podatke in 0.094 % za 72-urna povprečja kar je oboje praktično zanemarljivo.

Razlike med rezultati za osnovno in povišano višino in osnovno in alternativno lokacijo pa so tudi pri tej obdelavi reda velikosti razlik, ki nastopijo med prvim in drugim obravnavanim letom zaradi meteoroloških razlik, in zato niso značilne.

Ploščina tlorisa oblaka na področju 25 km x 25 km

Analizo smo izdelali za osnovno lokacijo in osnovno višino hladilnega stolpa.

Izdelali smo analizo, kolikšna je za vsake pol ure v dveh obravnavanih letih skupna površina, ki se nahaja pod oblakom kar je merilo za ploščino tlorisa oblaka. Računali smo za obe obravnavani leti za podnevi in ponoči.

Največja površina znaša 16 887 500 m². To je 1688 ha in 7500 m². Celotno obravnavano področje je 25 km x 25 km, kar znaša 625 000 000 m². To je točno 62 500 ha. Torej je maksimalen tloris 2.7 % celotne obravnavane površine.

Analize jasno pokažejo, da so velike kvadrature tlorisa predvsem v večernih, nočnih in zgodnje jutranjih urah. To pa je takrat, ko bo viden oblak še najmanj moteč.

Ploščina sence oblaka na področju 25 km x 25 km

Analizo smo izdelali za osnovno lokacijo in osnovno višino hladilnega stolpa.

Izdelali smo analizo, kolikšna je za vsake pol ure v dveh obravnavanih letih skupna površina, ki se nahaja v senci oblaka, kar je merilo ploščine sence oblaka. Računali smo za obe obravnavani leti za vse intervale podnevi. Ponoči je vrednost nič.

Maksimalna vrednost ploščine sence oblaka vidne vodne pare znaša 35 392 500 m². To je 3539 ha in 2500 m². Celotno obravnavano področje je 25 km x 25 km, kar znaša 625 000 000 m². To je točno 62 500 ha. Torej je maksimalna površina v senci oblaka 5.7 % celotne obravnavane površine.

Analize jasno pokažejo, da so velike ploščine sence predvsem v jutranjih in večernih urah. Čez dan, okrog poldneva pa jih je znatno manj.

To pomeni, da je ob najmočnejšem sončnem sevanju (okrog poldneva po zimskem času kot so urejene obdelave) senc relativno najmanj. To je ugodno za rast rastlin.

Pojavnost oblaka vodne pare nad izbranimi lokacijami

Analizo smo izdelali za osnovno lokacijo in osnovno višino hladilnega stolpa.

Izdelali smo grafe, ki prikazujejo statistično porazdelitev po urah dneva kdaj je talna lokacija pod oblakom za izbrano parcelo.

Prikazali smo porazdelitev za lokacijo z maksimalno vrednostjo spremenljivke »Pod oblakom« in za lokacijo »Sadovnjak«, ki leži na stičišču Evrosadovega sadovnjaka in tovarne zdravil Krka, d.d. in predstavlja tudi lokacijo bivše (prvotne) AMP Krško (Vipap).

Maksimalna vrednost spremenljivke »Pod oblakom« je nastopila na parceli (x=261,y=219), ki smo jo določili iz slike in označili z oznako »maks« na grafih. Naslednja lokacija »Sadovnjak« pa je na koordinatah (UTM x=538371, y=5088396; WGS lon=15.495080, lat=45.948060). Označili smo jo z oznako »Sadovnjak« in je prikazana na slikah. Analiza kaže, da sta lokaciji procentualno po urah dneva nekoliko večkrat pod oblakom vodne pare v jutranjih urah.

Potem smo enako analizo izvedli še za tri pomladne mesece, ko lahko nastopi slana ali pozeba pomembna za kmetijstvo. Analiza pokaže, da je procentualno nekaj večkrat lokacija pod oblakom v jutranjih urah kar je ugoden vpliv za kmetijstvo, tako za lokacijo maksimuma kot za lokacijo Evrosad sadovnjaka.

Pojavnost in gostota sence zaradi oblaka pare na izbranih lokacijah

Analizo smo izdelali za osnovno lokacijo in osnovno višino hladilnega stolpa.

Zaradi geometrije dnevnega hoda sonca in prevladujočih smeri vetra na velikih višinah je vsaka lokacija, ki je malo bolj oddaljena od JEK2, v senci predvsem v določenem delu dneva odvisno od svoje lege glede na lego hladilnega stolpa.

Izračunali smo letni integral gostote sence zaradi oblaka vidne pare na področju 5 km x 5 km za varianto HS175-OSN za leto 2020. Krajevna porazdelitev je pokazala, da bodo z gosto senco najbolj obremenjene lokacije do en kilometer zahodno ali severozahodno od lokacije bodočega reaktorja. Področja goste poselitve v Krškem in na Vidmu pa bodo manj obremenjena.

Bolj obremenjena področja so le območja oddaljena do 2 km od lokacije bodočega reaktorja. Izven tega področja nastopi senca manj kot 150 ur na leto. Senca pomeni več difuzne svetlobe in manj direktne sončne svetlobe.

Navpični dvig vodne pare iz hladilnega stolpa

Analizo smo izdelali za osnovno lokacijo in osnovno višino hladilnega stolpa.

Navpični dvig vodne pare je definiran kot povprečni navpični dvig vodne pare nad točko izpusta. Iz analize za obe obravnavni leti je razvidno, da je minimalni navpični dvig vodne pare visok in znaša 186 m nad vrhom hladilnega stolpa (skupaj torej 361 m nad terenom), medtem ko povprečni navpični dvig vodne pare v letu 2020 znaša 867 m in v letu 2021 znaša 899 m.

Izkušnje iz lokacije Termoelektrarne Šoštanj (TEŠ)

Izkušnje tehničnega osebja iz Termoelektrarne Šoštanj kažejo, da ima Šaleška dolina malo meglenih dni in redko točo, kar pripisujejo pozitivnim učinkom kombiniranega hladilnega stolpa Bloka 6 zaradi naravnega vleka navpično navzgor, kar prinaša mešanje zraka pri tleh. MEIS komentira to navedbo tako, da je meteorološko Velenjska kotlina (Šaleška dolina oziroma okolica Šoštanja) bolj zaprta in ima več brezvetrja kot Krško polje kar načeloma pomeni več pričakovane megle. Navedeno opažanje osebja Termoelektrarne Šoštanj torej potrjuje izrazito ugoden vpliv hladilnega stolpa bloka 6 v Šoštanju, ki je po kapaciteti vsaj približno primerljiv z bodočim od JEK2. Naravno mešanje kot posledica velikanskega vleka navzgor na lokaciji hladilnih stolpov je ugodno tudi za razbijanje »jezera hladnega zraka na dnu kotline«, ki povzroča pozebo in slano pri tleh v sadovnjakih.

Literatura

Celotna študija je na voljo na spletnem naslovu: <https://jek2.si/porocilo-o-analizi-vplivov-izpustov-hladilnih-stolpov-jek2-na-okolico/> 8.1.2025