

MERITVE PADAVIN V OKOLICI HLADILNIH STOLPOV TE ŠOŠTANJ
MEASUREMENTS OF PRECIPITATIONS IN THE SURROUNDING OF
COOLING TOWERS OF THERMOELECTRIC POWER STATION ŠOŠTANJ

551.577.21
551.578

DUŠAN HRČEK

Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

This paper deals with precipitations resulting from the emission of water vapour, droplets and heat emitted by the cooling towers. The measurements of precipitations in the surrounding of thermoelectric power station Šoštanj, which had been carried out for more than three years, have shown that the intensity of precipitations in close vicinity of towers even exceeds 10 mm/day, which is considerably more than the corresponding maximum level of precipitations in the surroundings of some cooling towers in Western Europe, where similar measurements have been carried out. The highest intensity of precipitations was measured in winter in days with high relative humidity, frequently also accompanied by fog and weak wind. A comparatively high increase in the quantity of precipitations in the surroundings of cooling towers was measured also in days with natural precipitations.

POVZETEK

V prispevku obravnavamo padavine, ki so posledica emisije vodne pare, kapljic in toplote iz hladilnih stolpov. Iz meritev padavin v okolici termoelektrarne v Šoštanju, ki so trajale več kot tri leta, izhaja, da intenziteta padavin v neposredni bližini stolpov celo preseže 10 mm/dan, kar je mnogo več, kot je ustrezna maksimalna višina padavin pri nekaterih hladilnih stolpih v zahodni Evropi, kjer so izvajali podobne meritve. Največja intenziteta padavin je bila izmerjena pozimi, v dneh z visoko relativno vlago, pogosto tudi z meglo in šibkim vetrom. Razmeroma močan porast količine padavin v bližini hladilnih stolpov je bil zabeležen tudi v dneh z naravnimi padavinami.

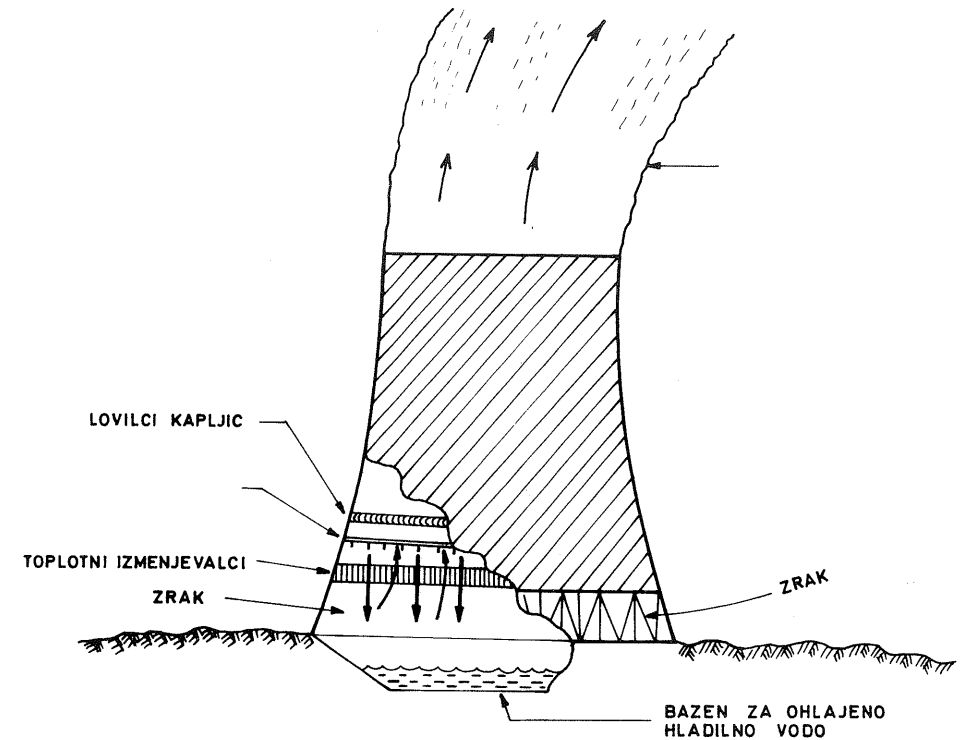
Pri mnogih termoelektrarnah in nuklearnih elektrarnah uporabljajo za hlajenje sistem hladilnih stolpov. Ta sestoji iz praktično zaprtega kroženja hladilne vode, ki sprejema toploto v kondenzatorju in jo oddaja v zrak v hladilnem stolpu. Najbolj so razširjeni odprti vodni hladilni stolpi na naraven vlek, ki delujejo na protitočnem principu voda - zrak. Imajo obliko tudi več kot sto metrov visokih prisekanih hiperboličnih stožcev (slika 1). Voda, ki jo je treba ohladiti, se črpa na določeno višino v spodnjem delu notranjosti hladilnega stolpa, od koder teče navzdol skozi toplotne izmenjalce. Pri tem se del razprši v kapljice. Topla hladilna voda greje zrak, zato se vzpostavi zračni tok, ki vstopa skozi odprtino v vzhodju stolpa, se dviga skozi stolp in izstopa skozi odprtino na vrhu. Zračni tok dviguje tudi kapljice, ki so dovolj majhne. Večina toplote, ki jo oddaja hladilna voda v stolpu, je v obliki latentne toplote, ki se s kasnejšo kondenzacijo lahko sprosti v atmosferi. Preostanek toplote pa gre v zrak predvsem s prevajanjem in konvekcijo. V procesu hlajenja s hladilnimi stolpi se prenaša v zrak velika količina energije z močjo, ki znaša 100 - 150% koristne moči elektrarne. Hanna /1/ navaja podatek, da izhlapi v odprtih vodnih hladilnih stolpih okrog 4 t vode na uro na megavat. Poleg tega, da so hladilni stolpi močan vir emisije vodne pare, so tudi vir emisije vodnih kapljic, ki s kondenzirano vodno paro tvorijo nad stolpom oblak kumulusne oblike.

Vpliv delovanja hladilnih stolpov na lokalne meteorološke razmere se kaže predvsem v naslednjih meteoroloških parametrih in pojavih: oblačnost, megla, vidnost, relativna vlaga in padavine. Spremembe drugih parametrov, na primer temperature zraka pri tleh v okolici stolpa ali osonečenja v širši okolici, lahko zanemarimo, kar so ugotovili z uporabo numeričnih modelov oblaka nad hladilnim stolpom /2/.

Problem vpliva hladilnih stolpov na lokalne meteorološke razmere so v svetu že precej raziskovali, in to predvsem v deželah, kjer je ta sistem hlajenja razširjen in ga že dalj časa uporabljajo. Pri nas smo začeli s prvimi meteorološkimi meritvami v zvezi s tem problemom leta 1973 pri termoelektrarni Šoštanj (TEŠ).

PADAVINE IZ OBLAKA NAD HLADILNIM STOLPOM

Nastanek padavin iz oblaka nad hladilnim stolpom je bil dolgo časa neznan. Prevladovalo je mnenje, da nastajajo v glavnem zaradi kondenzacije vodne pare v oblaku nad stolpom. Končno so z enostavnim merjenjem elektro prevodnosti padavinske vode in vode v hladilnem sistemu ugotovili, da sta ti dve vrednosti pogosto približno enaki /3/. Z vpeljavo



Slika 1 Odprt vodni hladilni stolp.

Fig. 1 An open water cooling tower.



Slika 2 Merilna mesta za padavine v Šoštanju.

Fig. 2 Measurement stations for precipitations in Šoštanj.

lovilcev kapljic, to je naprav, ki ulovijo do 95% kapljic velikostnega reda 100μ iz vertikalnega toka v stolpu, so nato občutno zmanjšali količino padavin iz oblaka nad hladilnim stolpom.

Intenziteta obravnavanih padavin je odvisna od mnogih faktorjev. Glavne izmed njih deli Brennan /4/ v dve skupini:

parametri hladilnega stolpa	atmosferski parametri
emisija zaznavne toplote	stabilnost
emisija latentne toplote	hitrost vetra
volumski tok zraka	turbulenca
izstopna temperatura	temperatura
vodnost izstopajočega zraka	
vertikalna hitrost na izstopu	relativna vlaga

Atmosferski parametri do neke mere vplivajo na parametre hladilnega stolpa. Za obliko oblaka in intenziteto padavin je važna tudi vertikalna razporeditev pomembnejših meteoroloških parametrov in razporeditev hladilnih stolpov, če jih je več.

Pogoste padavine same po sebi niso zaželene, zlasti če leži elektrarna v neposredni bližini naselja. V hladilni vodi je zaradi skoraj zaprtega kroženja precej raztopljenih škodljivih snovi, ki so potem tudi v padavinah. Pri temperaturi pod 0°C se v okolici hladilnih stolpov pogosto pojavlja poledica, kar je še posebej neugodno, če so v bližini prometne ceste. Tudi nabiranje ledu na daljnovodih in drugih napravah lahko povzroča občutno škodo.

V Veliki Britaniji so merili višino padavin v bližini hladilnih stolpov različnih elektrarn /5,6/. Merili so v različnih vremenskih razmerah in v različnih razdaljah od stolpov. Vsi ti hladilni stolpi pa so imeli lovilce kapljic. Ugotovili so, da je intenziteta padavin močno odvisna od relativne vlage. Pri relativni vlagi nad 85% so opazili vlaženje cestnih površin, ki se pojavi pri intenziteti nad $7\text{ mg/m}^2\text{s}$ ($0,6\text{ mm/dan}$). Pri vlagi nad 90% je vlaženje cestnih površin v bližini hladilnih stolpov reden pojav. Maksimalno intenziteto, ki je imela red velikosti 1 mm/dan , so izmerili v smeri vetra v določeni razdalji od hladilnega stolpa, kjer je oblačna sled občasno prihajala do tal.

TERMOELEKTRARNA ŠOŠTANJ IN MERITVE PADAVIN V NJENI OKOLICI

TE Šoštanj (360 m n. m.) stoji na robu mesta ob cesti Šoštanj-Velenje ob vznožju gričevja, ki z južne strani zapira Šaleško dolino. Prva in

druga faza TEŠ imata skupaj moč 135 MW, tretja pa 275 MW. Dva hladilna stolpa sta visoka po 60 m, hladilni stolp tretje faze pa 94 m. To so protitočni (voda - zrak) hladilni stolpi, ki nimajo lovilcev kapljic.

V zvezi s projektiranjem IV. faze TEŠ je Hidrometeorološki zavod SRS izvajal meteorološke meritve v Šoštanju in okolici, in sicer od januarja do marca 1973. Za proučevanje vpliva hladilnih stolpov na meteorološke razmere v okolici so pomembna predvsem opazovanja oblaka nad stolpom, meritve vertikalnih temperaturnih gradientov v do 500 m debeli plasti zraka nad Šoštanjem in meritve količine padavin na šestih mestih v bližini hladilnih stolpov. Opravljenih pa je bilo tudi nekaj kemičnih analiz padavinske vode.

Razporeditev merilnih mest je bila naslednja: štiri ombrometri na merilnih mestih 2 do 5 so bili postavljeni v smeri NW od stolpov, to je približno v smeri osi Šaleške doline, v razdaljah od 100 do 840 m od večjega hladilnega stolpa. En ombrometer je bil med hladilnimi stolpi (št. 1), eden pa na začasni meteorološki postaji (št. 6), kjer so merili tudi vertikalne temperaturne gradiente. Merilna mesta so na sliki 2. Merili so enkrat na dan. Ko je HMZ zaključil meritve v Šoštanju, so merili padavine dalje v okviru TEŠ. Ves čas meritev je v bližini hladilnih stolpov delovala navadna meteorološka postaja. V Šaleški dolini pa sta tudi dve padavinski postaji republiške mreže, in to v Šoštanju (št. 7 na sliki 2) in v Topolščici, ki je 4 km severozahodno od TEŠ. Poleg podatkov teh dveh postaj smo uporabili tudi podatke klimatološke postaje v Velenju, 6 km jugovzhodno od Šoštanja, kjer računamo, da so vplivi emisije hladilnih stolpov zanemarljivi.

REZULTATI MERITEV

Padavine, ki so posledica emisije hladilnih stolpov, so se v Šoštanju pojavljale v obliki rosenja in dežja. Pri dovolj nizki temperaturi pa sta bila zabeležena tudi zmrznjen dež in sodra. V padavinskih dneh je bil večkrat opazovan pojav, da so se pričele padavine v Šoštanju prej kot v okolici, prenehale pa so kasneje.

Rezultate meritev padavin smo razdelili v dve skupini, in sicer padavine v okolici TEŠ v nepadavinskih in padavine v padavinskih dneh. Ti dve skupini podatkov smo obdelali ločeno.

Višine padavin v nepadavinskih dneh

V prvi skupini so podatki o padavinah v bližini hladilnih stolpov, ko na

Datum	Višina padavin (mm) na merilnih mestih							min. temp. °C	srednja dnevna		smer in jakost (bf) vetra					
	1	2	3	4	5	6	7		temp. °C	rel. vlaga %	oblačnost	7	14	21	7	
22.1.1973	9.8	7.0	2.7	1.3	0.7	0.6	-	-1.4	0.2	95	10.0	10.0	C	C	C	12
12.1.1974	13.5	2.0	1.5	1.1	0.0	0.0	-	-2.0	-0.1	90	7.8	7.8	32	28	C	28
16.1.1974	9.6	0.8	0.1	0.1	-	-	-	-1.9	-0.0	92	10.0	10.0	28	C	C	C
29.1.1974	11.4	1.5	0.2	0.2	0.1	0.2	-	-4.3	1.7	84	4.0	4.0	C	C	C	8
30.1.1974	8.8	1.9	0.3	0.1	0.1	0.1	-	-1.0	1.1	88	3.8	3.8	C	C	C	4
7.12.1974	8.1	1.2	0.1	0.0	-	-	-	-2.5	1.5	86	5.1	5.1	C	C	C	3
11.12.1974	9.5	3.3	3.0	1.0	0.5	0.6	0.4	2.6	3.4	89	5.0	5.0	C	C	C	8
5.1.1975	9.2	3.2	0.4	0.0	-	-	-	-3.2	0.8	85	2.5	2.5	32	C	C	3
21.1.1975	11.7	0.7	0.0	-	-	-	-	-1.6	3.8	91	7.0	7.0	C	C	C	C

Tabela 1 Višine padavin ob nepadavinskem vremenu v dneh z intenziteto nad 8 mm/dan na merilnem mestu 1 in osnovni meteorološki podatki postaje Velenje.

Table 1 Level of precipitations in days without natural precipitations and with intensities exceeding 8 mm/day measured in station 1, and basic meteorological data obtained in Velenje station.

kontrolnih postajah v Velenju in Topolščici, kakor tudi na merilnih mestih v Šoštanju, ki so najbolj oddaljena od TEŠ, ni bilo padavin, oziroma da višina padavin na najbolj oddaljenih merilnih mestih v Šoštanju ni presegla 1.0 mm. Da bi se izognili napakam, ki lahko nastanejo zaradi lokalnih ploh, in ker nas zanima predvsem vreme ob intenzivnejših padavinah, smo natančneje obdelali le podatke meritev v dneh, ko je višina padavin na merilnem mestu št. 1 (med stolpi) presegla 5 mm. V času meritev je bilo takih primerov 28 in vsi so bili zabeleženi v hladni polovici leta (od oktobra do aprila).

V tabeli 1 navajamo meritve v dneh, ko ni bilo "naravnih" padavin, višina padavin na merilnem mestu med hladilnimi stolpi pa je presegla 8 mm. Padavine smo merili ob 7. uri zjutraj, zato smo pri računanju poprečij meteoroloških parametrov v tabeli 1 upoštevali poleg termina ob 7. uri tudi vse tri klimatološke termine prejšnjega dne.

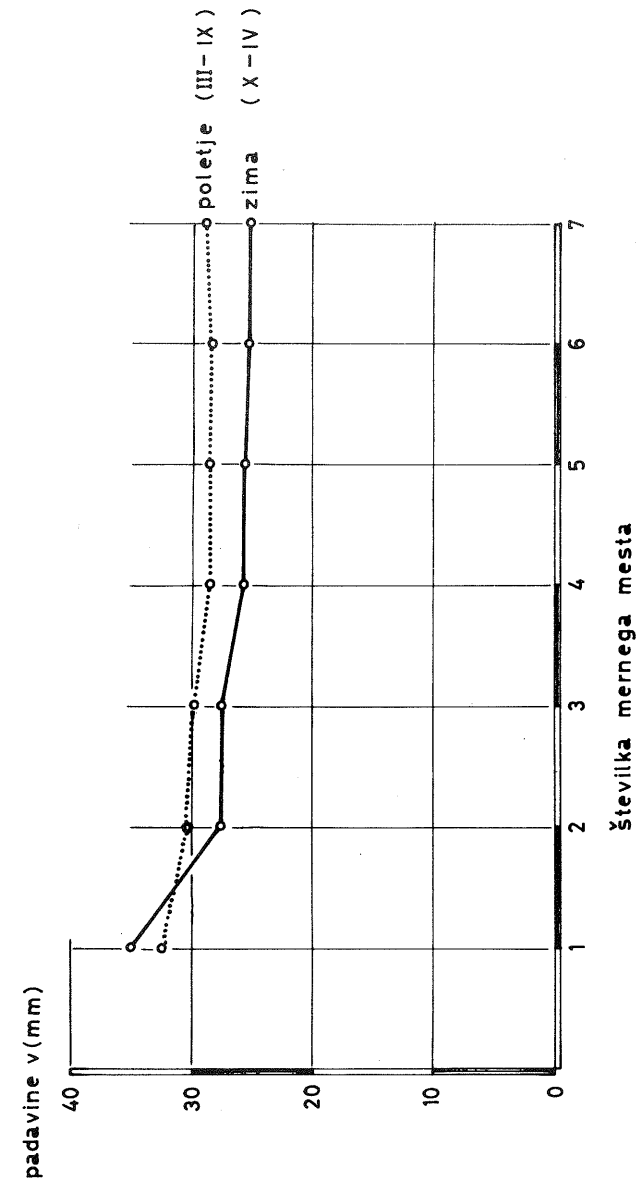
Največ padavin smo namerili na merilnem mestu med hladilnimi stolpi. Količina padavin nato naglo pada z razdaljo od hladilnih stolpov, tako da v oddaljenosti 560 m ni presegla 1,3 mm. Najintenzivnejše padavine so bile v dneh z visoko relativno vlago. Pihal je zelo šibek veter, tako da je bila v večini terminov v teh dneh zabeležena kalma. V sedmih dneh od devetih je bil zabeležen pojav megle, v preostalih pa je bila nizka oblačnost. Minimalna temperatura zraka je bila razen v enem primeru pod 0°C. 23.1.1973 je bila v Šoštanju inverzija. Za druge primere ni bilo meritev vertikalnih temperaturnih gradientov, vendar lahko iz podatkov o pojavu megle in jakosti vetra sklepamo, da je bila tudi v drugih primerih verjetno inverzija.

V času meritev, ko je elektrarna obratovala, ni bilo padavin le ob suhem in vetrovnem vremenu. Teh primerov nismo natančneje analizirali.

Višina padavin v deževnem vremenu

Posebej smo obdelali padavine v okolici hladilnih stolpov v dneh, ko so bile zabeležene padavine tudi na kontrolnih merilnih mestih v Velenju in Topolščici. Zaradi nehomogenosti razporeditve padavin pride lahko na ta način do napak. Zato smo natančneje obdelali le primere, ko je bilo na merilnem mestu med hladilnimi stolpi več kot 20 mm padavin, ne glede na obratovanje oz. obremenitev elektrarne. V času meritev, to je od januarja 1973 do oktobra 1976, je bilo 60 takih primerov, od tega 25 v hladnem delu leta (od oktobra do aprila), 35 pa v toplejšem delu leta.

Zanimiva je primerjava krivulj, ki podajata poprečno višino padavin nad 20 mm v odvisnosti od razdalje od hladilnih stolpov za zimski in poletni čas (slika 3). Točke na abscisi so podane shematično, ker merilna mesta niso bila vsa v isti smeri od stolpov.



Slika 3 Poprečna višina padavin nad 20 mm na posameznih merilnih mestih v Šoštanju za zimski in poletni čas.

Fig. 3 The mean level of precipitations exceeding 20 mm, in different measurement stations in Šoštanj - for winter and summer periods.

Višino najintenzivnejših zimskih padavin v času meritev podajamo v tabeli 2. Na merilnem mestu med hladilnimi stolpi je bilo v teh primerih v poprečju okrog 15 mm padavin več kot na oddaljenejših merilnih mestih severozahodno od TEŠ. V enem primeru pa je bila ta razlika celo okrog 25 mm.

Tabela 2 Padavine v Šaleški dolini v zimskem času v dneh z intenziteto nad 40 mm/dan na merilnem mestu 1.

Table 2 Precipitations in Šaleška dolina (valley), measured during winter in days with the intensity exceeding 40 mm/day in measurement station 1.

merilno datum	1	2	3	4	5	6	Šoštanj	Topol-ščica	Velenje
5.3.1974	61.3	37.0	39.6	34.6	34.7	35.2	34.1	37.0	29.2
5.10.1974	81.5	70.0	72.1	67.0	68.9	73.3	69.0	61.0	77.6
21.10.1974	60.0	44.6	51.3	45.5	46.6	44.5	51.6	52.0	54.9
30.3.1975	42.2	31.6	30.9	29.0	28.3	31.3	32.9	41.0	27.3
17.10.1975	47.5	35.0	35.5	36.0	35.6	34.2	38.9	33.0	38.5
x	58.5	43.6	45.9	42.4	42.8	43.7	45.3	44.8	45.5

Tudi v padavinskem vremenu je torej vpliv hladilnih stolpov na višino padavin večji v zimskem času kot v poletnem. To je razumljivo, saj je nasičeni parni pritisk funkcija temperature. Emisija vodne pare, kapljic in toplote pa vpliva tudi na intenziteto padavin iz naravnih oblakov, ki imajo dovolj nizko bazo (trigger effect). Teoretično je intenziteta padavin večja tudi zaradi tega, ker so v kapljicah, ki jih emitira hladilni stolp, raztopljene različne snovi. Kemična analiza padavinske vode je dala namreč razmeroma visoko koncentracijo sulfatov in sulfidov, nekaj je bilo tudi kloridov ter elementov Ca, Mg in Na. Žal niso bile hkrati izvršene tudi ustrezne analize hladilne vode, tako da se iz teh podatkov ne da sklepati na procese v oblaku nad hladilnim stolpom.

DISKUSIJA

Intenziteta padavin iz oblaka nad hladilnimi stolpi pri TE Šoštanj precej presega vrednosti, ki jih navaja literatura. Za tako velike razlike v intenziteti padavin je več vzrokov, ki so posledica tehnične izvedbe stolpov in klimatskih elementov, ki so odločilni pri nastajanju padavin.

Pri tehnični izvedbi so mišljeni predvsem lovilci kapljic. Hladilni stolpi,

ki jih omenja literatura, imajo vgrajene lovilce kapljic. V hladilnih stolpih TEŠ pa jih ni, zato je vodnost izstopajočega zraka precej večja.

Glede na klimo zahodne Evrope in Velike Britanije so v Šaleški dolini razmeroma hladne zime. Velika je pogostost temperaturne inverzije z meglo ali nizkim stratusom. Poprečna hitrost vetra je v Šoštanju glede na vetrovne razmere v zahodni Evropi, kjer so hladilni stolpi, zelo nizka. V dneh z močno temperaturno inverzijo pa je praktično brezvetrje. V Šoštanju so torej take klimatske razmere, ki povzročajo razmeroma močne padavine v bližini hladilnih stolpov, tako da računamo, da bi bile padavine v okolici TE Šoštanj kljub lovilcem kapljic močnejše od tistih, ki jih navaja literatura.

LITERATURA

- /1/ Hanna S.R.: Rise and condensation of large cooling tower plumes, Journal of Appl. Meteor., 1972, Vol. 11, No. 5.
- /2/ Bøgh P., Hopkirk R., Junod A., Zuend H.: A new method of assessing the environmental influence of cooling towers, Nuclex 72, Technical meeting no. 9/25.
- /3/ Gardner B.R., Lowe H.J.: The research and development background to the environmental problems of natural draught cooling towers, Atmospheric Environment, 1974, Vol. 8, No. 4.
- /4/ Brennan P.T. in ostali: The observed rise of visible plumes from hyperbolic natural draft cooling towers, Atmospheric Environment, 1976, Vol. 10, No. 6.
- /5/ Martin A., Barber F.R.: Measurements of precipitation downwind of cooling towers, Atmospheric Environment, 1974, Vol. 8, No. 4.
- /6/ Martin A.: The influence of a power station on climate - a study of local weather records, Atmospheric Environment, 1974, Vol. 8, No. 4.