Srboljub Krštenić,
potpukovnik, dipl. inž.

Obrada meteorološkog biltena »Meteo-srednji« na računaru

Uvod

U članku se iznosi način obrade meteo-podataka radi dobijanja standardnog meteorološkog biltena »METEO-SREDNJI« (MS) na računaru, polazeći od ulaznih podataka sa liste registracije i baždarnih lista sonde tipa RKZ-2 koja se koristi kod meteorološkog radara RMS-1.

Način obrade sistematizovan je tako da odgovara standardnoj formi biltena »METEO-SREDNJI« koji se primenjuje u OS sa izlazom u obliku šifrovanog meteorološkog koda, pri čemu se vrši automatska korekcija merene temperature zbog uticaja zračenja na termistor, proračun virtuelnog dodatka i korekcija visine zbog refrakcije radar-skog zračenja i krivine zemlje.

Kao što je poznato, za sondiranje atmosfere koristi se meteorološki radar RMS-1 sa radio-sondom tipa RKZ-2. Međutim, i pored svojih kvaliteta, pouzdanosti i autonomnosti, ovaj sistem u odnosu na slične u svetu ima bitan nedostatak, a to je da je obrada biltena ručna. Pri dobijanju meteorološkog biltena koriste se samo pomoćni pribori i ručni kalkulatori u nekim fazama obrade. Takav način obrade meteorološkog biltena je spor i dosta netačan, a, što je vrlo bitno, rezultati praktično zavise od izvršioca proračuna.

Autor je na osnovu dugogodišnjeg iskustva na formiranju metoda za obradu meteorološkog osmatranja za razvojnica i završna ispitivanja integrisao sve u jednu celinu, a u ovom članku i predstavio automatizovanu obradu ulaznih podataka na računaru, koji su dobijeni sa liste registracije radio-sondažnog osmatranja.

Na ovaj način zaokružena je u celini računarska obrada meteoroloških podataka, a kompletiranjem meteorološkog radara RMS-1 računalom, koji može da izvršava prikazano programsko rešenje, podiže se i nivo same meteorološke obrade. Sistem RMS-1, koji je relativno dobar sa stanovišta prikupljanja podataka, podiže se sa manjim ulaganjem na nivo koji je ravan trenutnim svetskim rešenjima u ovoj oblasti, čije su cene u ovom trenutku vrlo velike [8].

Osim toga, ne čini se nikakva modifikacija na sistemu koja bi onemogućila sadašnji način obrade, koji bi mogao da se zadrži kao rezervni.

Pregled skraćenica i upotrebljenih oznaka

A_{wo}	[°]	Pravougli azimut pravca vektora pri- zemnog vetra
A_z	[1/6000]	Azimut radijus vek- tora do balona (son- de)

A_{WMS}	[1/6000]	Pravougli azimut pravca vektora srednjeg vetra (za bilten MS)	t_{OV}	[°C]	Prizemna virtuelna temperatura
			τ	[°K]	Virtuelna temperatura vazduha
A_{WMSS}	[1/6000]	Pravougli azimut pravca vektora srednjeg vetra za bilten MS (za standardne visine biltena)	τ_{SR}	[°K]	Virtuelna temperatura vazduha u sloju
			t_{USP}	[min]	Tekuće vreme uspona balona
MS		Kkraćenica za »METEO-SREDNJI«	H_K	[m]	Krajnja visina za integraciju
D_K	[m]	Kosa daljina od meteorološke stanice do meteorološke sonde	H_O	[m]	Početna visina za integraciju
			H_{MST}	[m]	Nadmorska visina meteorološke stanice
T	[°K]	Temperatura suvog vazduha	H_{SL}	[m]	Gornja granica sloja
T_{VN}	[°K]	Normalna virtuelna temperatura u sloju (atmosfera ANA)	H_{SR}	[m]	Srednja visina sloja
			H_{SS}	[m]	Standardna visina za bilten MS
T_V	[°K]	Virtuelna temperatura u sloju	P_O	[mbar]	Pritisak na nivou meteorološke stanice (prizemni)
t_{MS}	[°C]	Srednje odstupanje temperature do visine H	P	[mbar]	Pritisak u sloju na visini H
t_{MSS}	[°K]	Srednje odstupanje temperature za bilten MS (standardne visine biltena)	P_N	[mbar]	Normalni pritisak na visini H (atmosfera ANA)
t_M	[°C]	Merena temperatura suvog vazduha	P_{MS}	[mbar]	Srednje odstupanje pritiska do visine H
t_{MK}	[°C]	Temperatura suvog vazduha merena i korigovana zbog uticaja zračenja sunca na termistor	P_{MSS}	[mbar]	Srednje odstupanje pritiska za bilten MS (standardne visine biltena)
t_a	[°C]	Temperatura ambijenta prema pokazivanju sonde	e_P	[%]	Parcijalni pritisak vodene pare u sloju
			E	[mbar]	Maksimalni pritisak vodene pare u vazduhu na temperaturi T
$t_{200} \ t_{20}$	[°C]	Reperne temperature sa dijagrama baždenja koja odgovara repnim koeficijentima (uključeni otpori od 200 k Ω i 20 k Ω)	R_G	[kg/m ³]	Gustina vazduha u sloju
			R	[m/°]	Gasna konstantna suvog vazduha
δt	[°C]	Korekcija temperature suvog vazduha zbog uticaja zračenja na termistor	R_V	[%]	Relativna vlažnost vazduha u sloju
			R_{VM}	[%]	Merena relativna vlažnost vazduha

R_{MS}	[%]	Srednje odstupanje gustine vazduha za bilten MS (standardne visine biltena)	Z_a	Koeficijent temperature na osnovu merenja ambijentne temperature sandom pre njenog puštanja
F_T	[Hz]	Frekvencija merene temperature vazduha	W_0	[m/s] Brzina prizemnog vetra
F_U	[Hz]	Frekvencija merene relativne vlažnosti u vazduhu	W	[m/s] Stvarni vetar (vetar u sloju srednje visine H_{SR})
F_{ON}	[Hz]	Osnovna frekvencija oscilatora	W_{SR}	[m/s] Srednji vetar od nulte visine do visine H
K_T		Odnos merene frekvencije temperature i osnovne frekvencije	W_{MS}	[m/s] Srednji vetar (za bilten MS) do visine H
K_U		Odnos merene frekvencije vlage i osnovne frekvencije	W_{MSS}	[m/s] Srednji vetar za bilten MS (za standardne visine)
R_{V1}, R_{V2}, R_{V3}		Reperne tačke sa dijagrama baždarenja sonde za vlagu	β	[1/600] Ugao nagiba kose daljine u odnosu na horizontalnu ravan
K_{U1}, K_{U2}, K_{U3}		Koeficijenti koji definišu odnos merene frekvencije vlage i osnovne frekvencije	$\delta\beta$	[1/6000] Korekcija ugla nagiba zbog krivine zemlje i refrakcije radarskog zračenja
M_{MS}		Odstupanje meteorološkog elementa obrađenog po biltenu MS do visine H	$\Phi(T)$	Tabelarna funkcionalna zavisnost temperature od odgovarajuće dužine kojom je predstavljena na baždarnoj krivoj temperature
$M_1, M_2 \dots M_L, M_N$		Odstupanje meteorološkog elementa na granicama slojeva	$f(Z)$	Tabelarna funkcionalna zavisnost koeficijenta temperature od odgovarajuće dužine kojom je predstavljena na baždarnoj krivoj temperature.
M_{SR}		Vrednost meteorološkog elementa na sredini sloja		
V_{BAL}	[m/min]	Brzina uspona meteorološkog balona (sonde)		
Z_{200}, Z_{20}		Reperni koeficijenti odnosa frekvencija temperature i osnovne frekvencije sa baždarne krive koji se kontrolišu otporima 200 k Ω i 20 k Ω		

Koncepcija obrade podataka

U ovom članku objašnjen je način izrade standardnog biltena MS (koji se koristi u OS), čija je tačnost proračuna na nivou tačnosti proračuna biltena koji se koriste pri razvojnim i završnim ispitivanjima SRT. Osnovna razlika je u tome da se standardni bilten računa za standardne visine, a da se zbog ši-

friranja vrši zaokruživanje svih izlaznih podataka na celobrojne vrednosti, čime je smanjena tačnost izlaznih podataka do nivoa koji je još upotrebljiv u praksi.

Da bi se sagledao *sadašnji sistem obrade meteoroloških podataka* treba se osvrnuti na uprošćenja koja se čine pri obradi, a koja su nastala iz potrebe da se skрати vreme obrade, uprosti proračun i smanji rizik dobijanja grešaka pri proračunu.

Uprošćavanja su sledeća:

— podaci vlažnosti vazduha ne mere se u toku sondiranja, već se celokupan proračun vrši sa konstantnom vlažnošću od 50%. To dovodi do smanjenja tačnosti obrađenih podataka, ali pojednostavljuje proračun;

— podaci pri obradi meteorološkog biltena ne uzimaju se na svim izmerenim visinama, čime se znatno skraćuje proračun, ali se zato smanjuje i tačnost obrađenih podataka.

Međutim, pri obradi na računaru nisu potrebna uprošćenja, jer se ne gubi vreme za računanje, a eliminišu se i greške koje pri računanju mogu da nastanu.

Koncepcija obrade podataka je takva da je sama obrada razdvojena na sledeće faze:

— definisanje krivih baždarenja sonde za temperaturu i vlagu;

— unošenje ulaznih (merenih) meteoroloških podataka sa liste registracije;

— obrada podataka za bilten »METEO-SREDNJI«;

— šifrovanje biltena »METEO SREDNJI«.

Definisanje krivih baždarenja sonde

Krive baždarenja sonde daju vezu između frekvencija signala (odnosa frekvencija merenih veličina prema osnovnoj frekvenciji) i merenih veličina u obliku grafičkih dijagrama.

Njima se definišu:

— karakteristike elemenata senzora za pretvaranje neelektričnih veličina u električne;

— karakteristike obrađenog signala merene veličine;

— karakteristike prijemno-predajnog uređaja.

Krive baždarenja daju se posebno za temperaturu, a posebno za vlagu za svaku sondu u obliku grafičkih dijagrama, jer su analitički izrazi zbog svoje složenosti nepogodni za korišćenje [3].

Međutim, i pored toga što je predviđeno korišćenje računara, nije se moglo analitički doći do izraza za baždarnu krivu, već se one, s obzirom na to da su različite za svaku sondu definišu metodom aproksimacije na osnovu nekoliko tačaka koje se proveravaju pre puštanja svake sonde.

Metodi aproksimacije baždarnih krivih nisu identični za obe krive baždarenja, pa se zato u ovom članku i posebno obrađuju. Osnovni zahtev koji treba da se ispuni pri aproksimaciji jeste zahtev za tačnom aproksimacijom i većom brzinom definisanja baždarnih krive. Nivo tačnosti aproksimacije treba da bude najmanje jednak nivou tačnosti ručnog očitavanja podataka, odnosno da se pri tome ne čine greške veće od mogućih grešaka merenja meteoroloških parametara, o čemu će se u članku dati poseban osvrt.

Definisanje krivih baždarenja temperature

Kriva baždarenja temperature daje zavisnost merene temperature od koeficijenta baždarenja (odnosa frekvencija merene temperature prema osnovnoj frekvenciji) u obliku:

$$t = f(K_T) \quad (1)$$

gde je:

$$K_T = \frac{F_T}{F_{ON}} \quad (2)$$

Funkcija (1) grafički je predstavljena na listi baždarenja temperature u

takvom koordinatnom sistemu da predstavlja krivu koja ima vrlo blagu krivinu, pa se može vrlo tačno aproksimirati u celom dijapazonu.

S obzirom na to da se shodno [1] pre svakog puštanja sonde obavezno proveravaju tri tačke na krivoj baždarenja temperature, to se one koriste za definisanje aproksimirane krive baždarenja.

Kriva baždarenja temperature [funkcija (1)] na kojoj su zaokružene reperne tačke predstavljena je za jednu sondu na slici 1.

Baždarna kriva se može u odabranom koordinatnom sistemu $\Phi(t)$ i $f(Z)$, aproksimirati polinomom drugog stepena, tako da se za svaki parametar K_T , koji se dobija po formuli (2), može izračunati merena temperatura sledećom funkcijom:

$$t_m = f(K_T, Z_{20}, Z_{200}, Z_a, t_{20}, t_{200}, t_a) \quad (3)$$

Definisanje krivih baždarenja vlage

Kriva baždarenja vlage daje zavisnost merene temperature od koefici-

Sl. 1 Kriva baždarenja temperature

Kao reperne tačke na osnovu kojih se vrši definisanje krive baždarenja temperature koriste se tačke koje odgovaraju otporima 20 i 200 k Ω , kao i tačka koja se dobija proverom ambijentne temperature pre puštanja sonde.

Posle ovih provera dobijaju se sledeći podaci:

koeficijenti
temperature

1. $Z_{200}(K_{T1})$
2. $Z_{20}(K_{T2})$
3. $Z_a(K_a)$

odgovarajuća
temperatura

- $t_{200}(^{\circ}\text{C})$ uključen otpor od 200k Ω
 $t_{20}(^{\circ}\text{C})$ uključen otpor od 20 k Ω
 $t_a(^{\circ}\text{C})$ ambijentna temperatura

Ove tačke predstavljaju zavisnost koeficijenta temperature (Z) od merene temperature (t) u celom radnom području merenja temperature.

jenta baždarenja (odnosa frekvencija merene vlage prema osnovnoj frekvenciji) u obliku:

$$R_v = f(K_U) \quad (4)$$

gde je:

$$K_U = \frac{F_U}{F_{ON}} \quad (5)$$

Kriva baždarenja vlage [funkcija (4)] na kojoj su zaokružene reperne tačke predstavljena je za jednu sondu na slici 2.

Kako je funkcija (4) data na listi baždarenja vlage u obliku krive linije, koja se sa dovoljnom tačnošću može aproksimirati polinomom drugog stepena, to je potrebno zbog aproksimacije za svaku sondu očitati tri tačke sa krive baždarenja vlage.

S obzirom na to da se shodno [1] pre svakog puštanja sonde proverava ambijentna vlažnost, potrebno je za definisanje krive baždarenja očitati podatke za još dve tačke na krivoj bažda-

renja vlage u rasponu vlažnosti od 15% do 90%, tako da se dobijaju reperne tačke:

prva tačka: druga tačka: treća tačka:

K_{U1}, R_{V1} K_{U2}, R_{V2} K_{U3}, R_{V3}

Sl. 2 Kriva baždarenja vlage

Na osnovu njih definišu se koeficijenti verovatne krive drugog stepena za svaku sondu. Merene vrednosti vlage za sve koeficijente vlage (K_U), dobijene po formuli (5), proračunavaju se na osnovu verovatne krive prema formuli datoj u opštem vidu:

$$R_{Vm} = f(K_U, K_{U1}, K_{U2}, K_{U3}, R_{V1}, R_{V2}, R_{V3})(9)$$

Unošenje ulaznih podataka iz meteorološkog biltena

Prema načinu koji je istovetan sa načinom datim u [1], sa liste registracije, čiji je deo dat na slici 3, očitavaju se sledeći tekući podaci:

— tekuće vreme penjanja balona (sonde)	t_{USP}
— kosa daljina od meteorološke stanice do meteorološke sonde	D_V
— ugao nagiba kose daljine u odnosu na horizont	β
— ugao azimuta projekcije kose daljine na horizontalnu ravan u odnosu na sever	A_Z
— frekvencije merene temperature vazduha	F_T
— frekvencije merene vlažnosti	F_U
— osnovne frekvencije oscilatora	F_{ON}

Sve merene veličine očitavaju se na vremenskim intervalima u kojima su merene kose daljine (horizontalne linije na sl. 3). Krugovima su označene tačke koje se očitavaju na osnovu traga temperature i vlage.

Ukoliko na tom vremenskom intervalu nema tragova temperature i vlažnosti, oni mogu da se linearno interpolišu produžavajući linije kroz tragove (npr. tačke 4 i 9 na sl. 3), ali je u samom programskom rešenju ostavljena mogućnost da se umesto podataka upiše vrednost (0), što se čini za vrednosti merenih parametara na liniji 7.

U tom slučaju, sam računar po određenom algoritmu popunjava prazna mesta interpolisanom vrednošću na osnovu ostalih unetih tačaka.

Takođe, ukoliko na tom vremenskom intervalu nema tragova osnovne frekvencije (F_{ON}), može se uneti vrednost (0), pri čemu računar automatski dodeljuje odgovarajuću vrednost.

Na taj način znatno se ubrzava unošenje meteoroloških podataka, jer se ne mora vršiti ručna interpolacija merenih podataka. Zbog toga je nepotrebno preskakati redove merenih vrednosti, čime se povećava tačnost obrade meteorološkog biltena.

Osim toga, moguće je proizvoljno birati intervale, na kojima će se očitavati merene vrednosti ili uzimati podatke između samih intervala, ukoliko se za tim ukaže potreba.

Poželjno je da se radi dobijanja što veće tačnosti obrađenog biltena, s obzirom na to da ne postoje teškoće prora-

čuna, unosi što više redova merenih podataka. Pri tome podatke treba unositi za vreme samog procesa sondiranja atmosfere, tako da se ne gubi dodatno vreme unošenja. Izlazni bilten se u tom slučaju može dobiti neposredno po završetku samog sondiranja atmosfere.

između dva očitana podatka ne bi trebalo da iznose više od 3 minuta, što praktično znači oko 1000 m visinske razlike.

U slučaju velikih »debljina« slojeva (preko 3 minute), kako je uzimala dosadašnja ručna obrada, naročito za

Sl. 3

Treba napomenuti da je potrebno da visinska razlika između očitanih podataka bude što manja, s obzirom na to da se metoda zasniva na vrednostima merenih meteoroloških podataka na sredini sloja. Ova pretpostavka se usvaja zato što se smatra da se izmerene vrednosti temperature i vlage, zbog inercije samog merenja, nalaze na sredini, a ne na granici sloja, kako je to u listi registracije prikazano. »Debljine« slojeva

više slojeve, realnija je pretpostavka da su mereni meteorološki podaci u trenutku merenja na gornjoj granici sloja. Ukoliko se u ovom slučaju koristi metoda za obradu, koja je predviđena za manje debljine slojeva, ne čini se značajna greška, ali zbog veće tačnosti obrađenih podataka moguće je alternativno imati za posebne slučajeve i programe za obradu u slučaju velikih debljina slojeva.

Obrada podataka za bilten »METEO-SREDNJI«

Obrada podataka odvija se u više faza. Obrada po unošenju podataka je automatizovana i izvodi je računar do izlaznih podataka.

Faze obrade:

Preračunavanje frekvencija u koeficijente temperature i vlage

Na osnovu merenih frekvencija temperature i vlage preračunavaju se koeficijenti temperature i vlage:

$$K_T = \frac{F_T}{F_{ON}} \quad K_U = \frac{F_U}{F_{ON}} \quad (7)$$

Popunjavanje praznih mesta — temperature i vlage

Izračunate koeficijente računari po određenom algoritmu analiziraju, pa se nađena prazna mesta popunjavaju interpolisanim vrednostima. U tu svrhu koristi se klizni interpolacioni polinom koji se formira na osnovu teorija najmanjih kvadrata u okolini »tražene-prazne« tačke.

Pretvaranje koeficijenata temperature i vlage u merene vrednosti temperature i vlage suvog vazduha

Tabela izračunatih i popunjenih koeficijenata temperature i vlage preračunava se u merene vrednosti temperature i vlage korespondentnim formulama koje aproksimiraju baždarne krive temperature i vlage. U opštem vidu, formule imaju sledeći oblik:

$$\begin{array}{ll} \text{za temperaturu:} & \text{za vlagu:} \\ t_m = t(K_T) & R_v = R_v(K_U) \end{array} \quad (8)$$

Osvrnućemo se na greške merenja temperature i vlage koje se mogu očekivati korišćenjem postojeće sonde RKZ-2:

— za temperaturu vazduha:

— srednja kvadratna greška očitavanja temperature sa baždarne krive

sonde, dobijena na osnovu kontrolnih tačaka, i baždarne krive povučene između njih za sondu RKZ-2 ne prelazi $\sigma_T = 0,88 [^{\circ}\text{C}]$,

— sistematska greška senzora temperature iznosi $\Delta T = 1,5 [^{\circ}\text{C}]$,

— sistematska greška radio-bloka iznosi $\Delta p = 1 [^{\circ}\text{C}]$.

Pored ovih grešaka, javlja se dodatna greška u merenju temperature koja nastaje zbog varijacije nominalnih napona izvora za napajanje sonde koja iznosi $A = 0,7 [^{\circ}\text{C}]$.

Sistematske i dodatne greške u dosadašnjoj obradi eliminišu se ucrtavanjem nove krive baždarenja temperature, kako je to u [6] izneto. Ovaj proces produžava obradu, pa se vrlo često ne obavlja u potpunosti, što povećava grešku obrade. Po predloženoj metodi ispravljanje baždarne krive za temperaturu obavlja se analitički, koristeći metodu najmanjih kvadrata, pri čemu se vrši translacija i rotacija baždarne krive, tako da ona odgovara merenim kontrolnim tačkama.

Ovaj metod je efikasniji i obezbeđuje veću tačnost očitavanja, jer se ne čini greška u proceni zbog nelinearne podele na koordinatnom sistemu baždarne krive temperature;

— za vlažnost vazduha:

— srednja kvadratna greška očitavanja vlage sa baždarne krive vlage za pozitivne temperature vazduha iznosi $\sigma_U = 6,2 [\%]$;

— sistematska greška iznosi 6 [%] relativne vlažnosti.

Tačnost merenja vlažnosti povećava se novom metodom, jer su do sada mogle biti korišćene sonde sa greškom merenja vlage do 20% relativne vlažnosti bez ispravljanja baždarne krive vlage. Prema predloženoj metodi uvek se formira ispravljena baždarna kriva vlage na osnovu merene ambijentne vlažnosti.

Odstupanja koja se dobijaju korišćenjem aproksimativnih, umesto grafičkih baždarnih krivih, kreću se do 0,2 [°C] za temperaturu, a 5 [%] za relativnu vlažnost vazduha, tako da, s obzirom na nivo grešaka merenja, nemaju uticaj na tačnost obrađenog meteo-biltena.

Takođe se može reći da se i vrlo pažljivo očitavanje sa dijagrama ne može uvek uzeti kao reperno, u odnosu na koga bi se određivale stvarne greške metode, obzirom da je zbog nelinearne podele na grafičkim dijagramima baždarenja temperature i vlage vrlo neprecizno vizuelno ocenjivanje vrednosti između dve podele.

Korekcija temperature suvog vazduha zbog uticaja zračenja na termistor

Vrednosti korekcije odgovaraju vrednostima datim u prilogu 20 [1], a računaju se u programu polinomom u funkciji brzine uspona balona (V_{BAL}), kada se dostigne odgovarajuća visina. Na taj način dobija se korigovana merena temperatura suvog vazduha u obliku izraza:

$$t_{MK} = t_M + \delta t(H, V_{BAL}) \quad (9)$$

Proračunavanje visine meteorološkog balona

U ovoj fazi proračunava se, takođe, i visina na kojoj se nalaze mereni meteorološki elementi, kao srednja visina između dve susedne granice sloja. Gornja granica sloja izračunava se pomoću formule:

$$H_{SL} = D_K \cdot \sin(\beta + \delta\beta) \quad (10)$$

Korekcija usled krivine zemlje i refrakcije radarskog snopa računa se kao funkcija kose daljine i ugla nagiba, a vrednosti odgovaraju vrednostima datim u prilogu 19 [1]:

$$\delta\beta = f(D_K, \beta) \quad (11)$$

Proračun pritiska, virtuelne temperature i gustine vazduha

Proračun virtuelne temperature vrši se na osnovu merene korigovane temperature suvog vazduha i merene relativne vlažnosti, tako da pomoćne tablice za proračun virtuelnog dodatka nisu potrebne.

Virtuelna temperatura vazduha računa se prema formuli:

$$\tau = \frac{T}{1 - 3/8 \cdot e_p/P} \quad (12)$$

pri čemu je parcijalni pritisak vodene pare jednak:

$$e_p = \frac{E \cdot R_v}{100} \quad (13)$$

Proračun promene pritiska sa visinom, koji je potreban za proračun gustine vazduha, računa se na osnovu promene virtuelne temperature vazduha, koristeći zakon vertikalne ravnoteže prema formuli:

$$P = P_0 \cdot e^{\left(- \frac{1}{R} \int_{H_0}^{H_I} \frac{dy}{\tau(y)} \right)} \quad (14)$$

Kako je virtuelna temperatura τ diskretna funkcija, to se izračunavanje izvodi na sledeći način:

— sukcesivno se izračunava pritisak u svakom narednom sloju na osnovu pritiska u prethodnom sloju (14). Pri tome se počinje od prizemnog merenog pritiska koji je meren na nivou meteorološke stanice, pa se za svaki naredni sloj pritisak izračunava prema izrazu:

$$P_I = P_{I-1} \cdot e^{\left(- \frac{1}{R} \int_{H_{I-1}}^{H_I} \frac{dy}{\tau(y)} \right)} \quad (15)$$

— zamenjujući promenljivu virtuelnu temperaturu u sloju konstantnom vrednošću τ_{SR} :

$$\tau_{SR} = \frac{\tau_{I-1} + \tau_I}{2} \quad (16)$$

može se izvršiti integracija, te se dobija:

$$P_I = P_{I-1} \cdot e^{\left(- \frac{1}{R \cdot \tau_{SR}} \int_{H_{SRI-1}}^{H_{SRI}} dy \right)}$$

$$= P_{I-1} \cdot e^{\left(- \frac{H_{SRI} - H_{SRI-1}}{R \cdot \tau_{SR}} \right)} \quad (17)$$

Na taj način izračunavaju se pritisci vazduha na svakoj narednoj visini sloja preko pritiska prethodnog sloja.

Treba imati u vidu da se izračunavanje pritiska i virtuelne temperature vazduha odvija u dve iteracije, s obzirom na to da se pritisak u prvoj iteraciji mora računati preko temperature suvog vazduha. U drugoj iteraciji izračunava se virtuelna temperatura, a sa njom ponovo proračunava pritisak vazduha.

Na osnovu virtuelne temperature i pritiska, gustina vazduha se računa preko sledeće formule:

$$R_g = 0,34833 \cdot \frac{P}{\tau_{SR}} \quad (18)$$

Proračun vetra za bilten »METEO-SREDNJI« sa korekcijom usled krivine zemlje i refrakcije radarskog snopa

Vetar za bilten »METEO-SREDNJI« računa se kao srednja vrednost funkcije vetra u rasponu od nulte visine (visine meteorološke stanice) do tražene visine.

Zbog toga se može napisati:

$$W_{MS} = \frac{1}{H_{SLI} - H_{SLO}} \int_{H_{SLO}}^{H_{SLI}} V(H) dH = W_{SR} \quad (19)$$

Vetar za bilten MS proračunava se do merenih visina preko sledećih formula:

za intenzitet vetra:

$$W_{SR} = D_{KI} \cdot \cos(\beta + \delta\beta) / t_{USP}; \quad (20)$$

za pravac odakle duva:

$$A_{WMS} = A^Z - 3000. \quad (21)$$

Korekcija zbog krivine zemlje ($\delta\beta$) računa se na osnovu formule (11), a obradom meteorološkog biltena dobija se onoliko vetrova koliko ima nivoa merenih podataka.

Proračun odstupanja pritiska, temperature i gustine vazduha za bilten »METEO-SREDNJI«

Proračun odstupanja temperature i pritiska za bilten »METEO-SREDNJI« računa se kao srednja vrednost funkcije odstupanja meteorološkog elementa od normalnih (standardnih) vrednosti u intervalu od nivoa meteorološke stanice do svakog merenog nivoa.

Zbog toga se za svaki od navedenih meteoroloških elemenata do neke visine, može napisati izraz za odstupanje meteorološkog elementa za bilten »METEO-SREDNJI« u obliku:

$$M_{MSK} = \frac{1}{H_K - H_0} \int_{H_0}^{H_K} M(H) dH \quad (22)$$

gde je $k=1, 2, \dots, N$ (broj visina merenih podataka).

Vrednost integrala predstavlja površinu ispod krive odstupanja meteorološkog elementa od standardne vrednosti, od nultog nivoa (H_0) do proizvoljnog nivoa (H_K), prema slici 4. Kako se ova funkcija ne poznaje analitički, već samo niz merenih diskretnih tačaka, integracija se vrši uzimajući u obzir pretpostavku da je vrednost meteorološkog odstupanja konstantna u granicama debljine sloja.

Površina ispod krive analitički se može odrediti nekom numeričkom metodom integracije. S obzirom na to da su odsecci na apscisi nejednake dužine, najlakše je usvojiti metodu pravougao-nika. Ukoliko celu površinu podelimo na određen broj pravougao-nika, kako je dato na slici 1, odstupanje meteorološ-

kih elemenata može se odrediti do visine H_K kao srednja vrednost funkcije do te visine, po formuli:

$$M_{SRK} \approx \frac{1}{H_K} \cdot \left[M_{1SR} \cdot (H_1 - H_0) + M_{2SR} \cdot (H_2 - H_1) + \dots + M_{KSR} \cdot (H_K - H_{K-1}) \right] \quad (23)$$

$k = 1, 2, \dots, N$

$$M_{MSK} = M_{SRK}$$

Izraz u zagradi predstavlja površinu ispod stepenaste funkcije predstavljene na slici 4.

Odstupanje meteoroloških elemenata za bilten MS mogu se sukcesivno izračunavati ako se transformacijom formula (23) napiše u obliku:

$$M_{MSK} = \frac{1}{H_{SLK}} \cdot \left[H_{SLK-1} \cdot M_{MSK-1} + (H_{SLK} - H_{SLK-1}) \cdot M_{KSR} \right] \quad (24)$$

Srednje odstupanje temperature za bilten MS

Koristeći formulu (23) za srednje odstupanje temperature može se napisati izraz:

$$t_{MSK} = \frac{1}{H_{SLK}} \cdot \left[H_{SLK-1} \cdot t_{MSK-1} + (H_{SLK} - H_{SLK-1}) \cdot (T_{VK} - T_{VSK}) \right] \quad (25)$$

Srednje odstupanje gustine za bilten MS

Ukoliko se odstupanje gustine u sloju izrazi preko odstupanja pritiska i virtuelne temperature na sledeći način:

$$\delta R_K = \left(\frac{P_K \cdot T_{VSK}}{P_{SK} \cdot T_{VK}} - 1 \right) \cdot 100 \quad (26)$$

tada se, koristeći formulu (24), za srednje odstupanje gustine može napisati izraz:

$$R_{MSK} = \frac{1}{H_{SLK}} \cdot \left[H_{SLK-1} \cdot R_{MSK-1} + (H_{SLK} - H_{SLK-1}) \cdot \delta R_K \right] \quad (27)$$

Proračun vrednosti biltena »METEO-SREDNJI« za standardne visine meteorološkog biltena

Odstupanje meteoroloških elemenata za bilten MS određuje se za stan-

Sl. 4

dardne vrednosti visina meteorološkog biltena MS.

Meteorološka odstupanja za tražene visine meteorološkog biltena proračunavaju se kao interpolisane vrednosti za odgovarajuću visinu između susednih vrednosti.

Šifrovanje dobijenog meteorološkog biltena

Posle proračuna meteorološkog biltena potrebno ga je pripremiti za emitovanje. Radi toga se koristi poseban meteorološki kod. Da bi se proces izdavanja biltena ubrzao, računar priprema završni izlazni dokumenat u šifrovanom obliku.

Blok-dijagrami programa za obradu biltena »METEO-SREDNJI«

Kako je u prethodnom delu već bilo rečeno, prikazaćemo standardnu varijantu obrade meteorološkog biltena preko šematskog prikaza bloka programa koji je prikazan na slici 5.

Ovaj blok programa može se koristiti za formiranje standardnog biltena »METEO-SREDNJI« pri meteorološkom obezbeđenju u OS. U tom pogledu je prilagođena forma izlaznih podataka, odnosno dokumenata, koja se sastoji samo od ulaznih podataka i završnog šifrovanog dokumenta.

Pri ovoj obradi štampanje među rezultata izvodi se samo po zahtevu da bi se maksimalno povećala brzina izdavanja biltena »METEO-SREDNJI«. Obraduju se podaci za standardne visine biltena MS.

Na slici 5 prikazan je ovaj blok, a programi su:

— program *U-SONDA*

Služi za ubacivanje karakteristika sonde (reperne tačke) za temperaturu i

vlažnost za onoliko sonde koliko je pripremljeno za sondažu;

— program *U-BILTEN*

Služi za ubacivanje ulaznih podataka sa liste registracije za onoliko biltena koliko se trenutno obrađuju;

— program *START*

Startovanjem ovog programa počinje obrada meteorološkog biltena pri čemu se prikazuju (štampaju) svi ulazni podaci;

— program *POPUNA*

Vrši popunjavanje praznih mesta u meteorološkom biltenu koji se obrađuje i proračun merene temperature suvog vazduha i vlage na osnovu odgovarajućih merenih frekvencija;

— program *MS-SRS*

Obrađuje bilten »METEO-SREDNJI« za standardne visine i atmosferu ANA (artiljerijska normalna atmosfera);

— program *ŠIFRA*

Automatski šifrira podatke za obrađeni bilten »METEO-SREDNJI« i prikazuje (štampa) ga u obliku meteorološkog koda;

— program *KOREKTUR*

Korišćenjem ovog programa moguće je jednostavno izmeniti bilo koji tekući podatak upisan programom *U-BILTEN* u bilten. Upotrebljava se za izmenu pogrešno unetih podataka.

Blok-dijagram programa za standardnu obradu biltena »METEO-SREDNJI«

(Punom linijom označeni su izlazi koji se standardno štampaju, a isprekidanom po zahtevu).

Primer obrade meteorološkog biltena »METEO-SREDNJI«

Ovde će biti prikazan primer obrade jednog meteorološkog biltena u obliku standardnog biltena »METEO-SREDNJI«.

Ulazni podaci sa sondaže (dati u tabeli 1):

— podaci sa merenja meteorološkom sondom očitani sa liste registracije sondaže;

U tabeli 2 prikazani su proračunati podaci za standardne visine biltena »METEO-SREDNJI« na osnovu prethodno unetih vrednosti sa liste registracije.

Sl. 5

— reporne tačke krivih baždarenja meteorološke sonde za temperaturu i vlagu koje su dobijene pri kontrolnoj proveru.

U tabeli 3, na osnovu izračunatih vrednosti iz tabele 2, prikazan je šifrovan bilten »METEO-SREDNJI« koji je spreman za slanje.

ULAZNI PODACI SA LISTE REGISTRACIJE

SONDA: S_1011 METEO BILTEN: B_1011 PROGRAM: START

Datum sondiranja: 060976 Vreme zavrsetka sondaze: 0700

Hmst(m)= 0 Rvo(x)= 50.0 tov(oc)= -10.1 Po(mbar)= 988.0

Avo(o)= 284.63 Wo(m/s)= 8.0

M	tusp	Beta	Az	Dk	Ft	Fu	Fon
	(min)	(1/6000)	(m)		(Hz)		
1	0.0	0	0	0	0	0	0
2	0.5	817	5227	387	1447	0	2113
3	1.0	731	5269	775	1498	1815	2113
4	1.5	678	5353	1115	1505	0	2113
5	2.0	643	5437	1465	1505	1859	2113
6	2.5	628	5540	1815	0	0	2113
7	3.0	613	5647	2155	1495	1899	2113
8	4.0	603	5838	2845	1477	1893	2113
9	5.0	609	58	3935	1450	1886	2112
10	6.0	629	313	3945	1489	1882	2118
11	7.0	658	510	4385	0	1885	2118
12	8.0	678	703	4825	0	0	2118
13	9.0	701	918	5245	1241	0	2118
14	10.0	718	1871	5695	1180	0	2118
15	12.0	705	1329	6885	1088	1710	2118
16	14.0	628	1397	8745	1056	1654	2124
17	16.0	579	1293	10615	993	1692	2124
18	18.0	561	1187	12235	0	1699	2124
19	20.0	519	882	14505	0	1775	2124
20	22.0	441	985	18425	0	0	2124
21	24.0	411	1183	21385	752	0	2124
22	26.0	381	1374	24805	677	0	2124
23	28.0	338	1558	29915	624	0	2124
24	30.0	301	1681	35735	528	1700	2124
25	32.0	279	1768	41795	547	1695	2124
26	34.0	257	1822	47275	525	1685	2124
27	36.0	245	1856	51885	519	1654	2124
28	38.0	238	1884	56495	520	1630	2129
29	40.0	235	1903	60575	522	1620	2129
30	44.0	239	1908	65955	559	0	2135
31	48.0	257	1883	69895	0	0	2140
32	52.0	265	1845	73025	0	0	2140
33	56.0	279	1794	75795	0	0	2140
34	60.0	298	1737	77295	689	1600	2140
35	64.0	318	1672	79058	680	1580	2140
36	68.0	320	1652	82530	685	1585	2140
37	72.0	328	1620	85630	682	1580	2140
38	76.0	339	1601	87125	680	1575	2140

PODACI SA KRIVIM BAZDARENJA SONDE
 REPERNE TACKE SA DIJAGRAMA BAZDARENJA TEMPERATURE

Kt	t(oc)
Z200= 0.319000	t200= -57.300
Z20 = 0.665000	t20 = -10.200
Za = 0.712000	ta = -2.500

REPERNE TACKE SA DIJAGRAMA BAZDARENJA ULAGE

Ku	Rv(x)
0.750000	15.000
0.822500	52.000
0.917500	90.000

KOEFIKIJENTI APROKSIMACIJE POLINOMA

$$U = Dv1 + Dv2 * Ku + Dv3 * Ku^2$$

Dv1= -774.1403 Dv2= 1546.2680 Dv3= -658.7747

M E T E O			S R E D N J I _ S T A N D A R D N I		
METEO BILTEN: B_1011			PROGRAM: MS_SRS		
Datum sondiranja: 060976			Vreme zavrsetka sondaze: 0700		
Hmst(m) = 0			Pmss(mbar) = -12		
N	Hss	Amss	Hmss	tmss	Rmss
r.br	(m)	(6000)	(m/s)	(oC)	(%)
1	0	4744	8	-26	9
2	200	2355	5	-24	8
3	400	2205	10	-22	7
4	800	2386	9	-18	5
5	1200	2592	10	-16	4
6	1600	2803	10	-15	4
7	2000	2963	10	-14	3
8	2400	3249	9	-14	3
9	3000	3624	8	-14	3
10	4000	4114	7	-15	3
11	5000	4385	8	-16	3
12	6000	4305	9	-16	3
13	8000	3930	12	-16	2
14	10000	4459	15	-16	1
15	12000	4760	21	-16	0
16	14000	4881	24	-16	-0
17	22000	4798	22	-15	-5
18	26000	4677	19	-14	-7
19	30000	4609	18	-13	-9

Tabela 3

✓ Sifrovan bilten METEO-SREDNJI
oznaka biltena: B_1011

55555	06070	-
- 00000	- 51276	-
- 0208	- 742405	-
- 0407	- 722210	-
- 0805	- 682409	-
- 1204	- 662610	-
- 1604	- 652810	-
- 2003	- 643010	-
- 2403	- 643209	-
- 3003	- 643608	-
- 4003	- 654107	-
- 5003	- 664408	-
- 6003	- 664309	-
- 8002	- 663912	-
- 1001	- 664515	-
- 12	- 664821	-
- 14	- 664924	-
- 22	- 654822	-
- 26	- 644719	-
- 30	- 634618	-

Zaključak

Prikazano programsko rešenje imalo je za bazu varijantu predviđenu za potrebe razvojnih i završnih ispitivanja,

koja se, uglavnom, razlikuje po tome što ima drugačiji ulaz i izlaz podataka, kao i proširen obim izlaznih dokumenata.

Metoda garantuje veliku tačnost obrađenih podataka, jer se pored velike tačnosti računanja i većeg broja ulaznih podataka obrađuju i podaci o merenoj vlažnosti vazduha, korekciji merene temperature zbog zračenja i korekciji usled zakrivljenosti zemlje i refrakcije radarskog zračenja.

Programsko rešenje je tako koncipirano da u toku obrade nisu potrebne nikakve dodatne tablice i dijagrami, čime se eliminiše mogućnost grešaka pri očitavanjima i interpolaciji za međuvrednosti ulaza.

Operatori su u toku rada oslobođeni dugotrajnog procesa računanja, pa se mogu posvetiti analizi merenih podataka.

Treba napomenuti da ne postoji mogućnost dobijanja neispravnog šifrovanog biltena, ukoliko se ispravno une-

su ulazni podaci. Ulazni podaci se prvo štampaju, pa se po njihovoj kontroli može nastaviti rad. Ukoliko se vizuelno uoči greška u ulaznim podacima, svaki od ulaznih podataka moguće je ispraviti posebnim programom, ne dirajući ostale unete ispravne podatke.

U daljem razvoju ovog bloka programa predviđeno je i programsko testiranje ispravnosti unetih ulaznih podataka. Pri tome bi se otkrivala grube greške koje mogu da nastanu pri procesu unošenja podataka od strane operatora, ili greške koje su posledica samog merenja. Svrha ovog programa bi, pored otklanjanja grešaka, bilo i njihovo efikasno ispravljanje.

Programsko rešenje omogućava i ponavljanje proračuna svakog od unetih meteorološkog biltena, da bi se kasnije mogla vršiti analiza i obuka.

Za izvođenje obrade meteorološkog biltena, s obzirom na mali broj stanica koje treba opremiti, necelishodno je razvijati neki računar posebne namene. Ekonomično i najbrže rešenje je primeniti neki od prenosivih varijanti (portabl) računara predviđenih za opšte namene, za koji treba pripremiti odgovarajući softver.

Osnovna konfiguracija, kojom treba opremiti meteorološku stanicu RMS-1, treba da sačinjava, pored računara, floppy-disk i štampač.

Moguće je, takođe, primeniti rešenje sa programima upisanim u modul, pri čemu bi se dobila robusnija konstrukcija sistema i sigurniji rad.

Odgovarajuće konfiguracije se trenutno mogu naći na tržištu u niz varijanti, pa se zbog toga neće predlagati.

Literatura:

- [1] »Uputstvo za meteorološka osmatranja i obradu meteoroloških podataka u artiljeriji«, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1979.
- [2] Janković S.: »Spoljna balistika«, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1977.
- [3] Savkin L. S.: »Meteorologija i strel'ba artiljerije«, Moskva, 1974.
- [4] Nasilob D. N.: »Radio-meteorologija«, Moskva, 1966.
- [5] Kulakov A. A., Ščtal' B. A.: »Voenaja meteorologija«, Moskva, 1940.
- [6] »Radiozond RKZ-2«, Tehničeskoe opisanie i instrukcija po eksploataciji.
- [7] Komanda ratnog vazduhoplovstva i protivvazdušne odbrane: »Priručnik za aerološka merenja«, II deo, »Radio-sondažna osmatranja«, 1962.
- [8] Vaisala Upper-Air Systems: REF-NO R0567 DATE1989-04-12.
- [9] Petrović D.: »Analiza meteoroloških uticaja u spoljnoj balistici«, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1982.