

## TEMPERATURNE INVERZIJE V LJUBLJANSKI KOTLINI

## TEMPERATURE INVERSIONS IN LJUBLJANA BASIN

551.524.4

JANKO PUČNIK

Hidrometeorološki zavod SRS, L j u b l j a n a

### SUMMARY:

Temperature inversions are very frequent in the atmosphere above our region. They are observed at various levels. In this paper only those are treated which are found at lower levels.

Temperature data of four meteorological stations located at various heights above mean sea level; i.e. Ljubljana (300 m), Bled (500 m), Šmarna gora (667 m) and Planina (1050 m), were used for this study. Inversions were determined on the basis of temperature differences between the following pairs of stations; Bled - Šmarna gora, Ljubljana - Šmarna gora and Šmarna gora - Planina.

According to the frequency and intensity of inversions they are divided into three groups: i.e. winter, spring and fall, and summer inversions. Quantitative data for January, February, March, September and August are given on tables 1 - 3.

At the end, the example of nine-days winter inversion period is presented, as well.

### UVOD

Temperaturne razmere v našem ozračju vplivajo na razne važne vremenske procese. So tudi zelo odločilna komponenta bioklimatskih razmer v določenih predelih. Predvsem so pomembne v nižjih plasteh ozračja, kjer vplivajo na onesnaženje /1/. Tod se onesnaženje gosti pod inverzijsko plastjo. Pravitako pa so inverzije zelo važna osnova tudi pri pojavljanju megle in pri drugih vremenskih procesih in pojavih.

Temperaturne inverzije so v splošnem zelo pogosti naravni pojav. Chromow navaja /2/, da pride na tisoč radiosondnih opazovanj v Evropi v pasu od tal do višine 0,5 km število inverzij ca. 212, do 1 km 124, do 2 km 56, do 4 km 196, do 6 km 77 itd. Podobno so že prej Hellmann /3/ J.Hann /4/, P.Vujevič /5/, A. Schmaus /6/, E.Erhardt /7/, W.Peppler /8/ dokazali, da so temperaturne inverzi-

je redni naravni pojav, ki nastaja posebno intenzivno in pogosto v jasnih in mirnih zimskih nočeh, spomladi in jeseni, manj pogosto in v milejši obliki pa v poletnih nočeh kakor tudi v jutranjih, opoldanskih in večernih urah poleti.

Že J. Hann je ugotovil, da so alpske in predalpske doline in kotline zelo ugodna področja za nastanek temperaturnih inverzij. F. Sauberer /9/, W. Schmidt in R. Geiger /10/ so na osnovi podrobnih mikroklimatskih raziskav temperaturnega polja v alpskem svetu ugotovili, da so temperature v določenih dolinah in kotlinah nepričakovano nizke. Meritve, ki sta jih opravila W. Schmidt in R. Geiger v Gstettneralmu pri Lunzu, so pokazale izredno nizke temperature in sicer  $-51^{\circ}\text{C}$ . To je do sedaj najnižja ugotovljena temperatura v prizemnih plasteh ozračja v srednji Evropi. V zvezi z vremensko situacijo in orografijo je ta nizka vrednost temperature pogojena s temperaturno inverzijo v omenjeni kotlini.

Avstrijski meteorolog F. Lauscher /11/ je izmeril v znanem inverzijskem kotlju v Celovški kotlini na vrhu inverzijskega sloja za  $15^{\circ}\text{C}$  višjo temperaturo kot pri tleh. B. Knirsch je obdelal zimske inverzije v obdobju 1942 - 1943 /12/ v Celovški kotlini na osnovi aeroloških podatkov in ugotovil temperaturno inverzijo jakosti  $19^{\circ}\text{C}$ .

V Sloveniji je bila izmerjena v inverzijskem kotlu Babno polje dne 15. in 16. februarja 1956 najnižja temperatura  $-34,5^{\circ}$ , kar je do sedaj najnižja ugotovljena vrednost na Slovenskem ozemlju. Domnevajo, da je ta nizka vrednost nastala prav tako pod vplivom temperaturne inverzije. J. Pučnik je analiziral temperaturne inverzije v Blejski kotlini /13/ kjer so enako ugotovili zelo nizke temperaturne vrednosti, zlasti v februarju.

Podobne primere nam kažejo meritve v Sibiriji, kjer so na področju Ojmekona v Severovzhodni Sibiriji zabeležili do sedaj najnižje temperature v prizemnih plasteh ozračja, in sicer do  $-80^{\circ}\text{C}$ . Kraj Ojmekon leži v ozki dolini vzhodnega sibirskega hribovja in je ta nizka temperatura brez dvoma, nastala pod vplivom temperaturne inverzije na tem področju /14/.

#### IZHODIŠČNE POSTAVKE

Naravni pogoji za nastanek temperaturnih inverzij so zelo različni. Z meritvami makro in mikroklimatskih razmer ter z aerološkimi merjenji je možno točneje določiti vzroke in pogoje njihovega nastanka. Glede na genetične osnove imamo razne klasifikacije. Ena izmed njih deli temperaturne inverzije v: radiacijske inverzije, turbulenčne inverzije (te povzročajo predvsem turbulenca, konvekcija in subsidenca) in v frontalne inverzije.

Tu bomo obravnavali samo radiacijske inverzije. Kakor je znano, nastajajo te predvsem tedaj, ko se prizemne plasti ozračja zaradi dolgovalovnega sevanja zemeljske površine ohlajajo, zato so temperature v omenjenem sloju zraka mnogo nižje kakor v višjih plasteh ozračja.

Proces ohlajanja zraka zaradi sevanja se dogaja redno v jasnih nočeh in je posebno intenziven v hladni polovici leta. Snežna odeja še ojačuje izžarevanje. Često se to dogaja ves dan ali celo na več dni skupaj. Posebno važno vlogo igra pri tem, kot smo že omenili, relief zemeljske površine. Zaprte kotline in doline so najbolj

ugodne za pojavljanje temperaturne inverzije. Na pobočju hribov in gora nastopi hitrejša ohladitev kakor pa v dnu kotline, zato se ohlajene zračne mase zaradi večje težnosti valijo proti dnu doline, oziroma kotline, kjer se nabira jezero hladnega zraka. Opazili smo, da so tako nastala jezera hladnega zraka dosegla celo višino do 1500 m.

Analizirali smo pojavljanje nastanka, razvoja in razkroja temperaturnih inverzij na področju Ljubljanske kotline. Omenjena kotlina je zelo ugodna za njihov nastanek. Svet je na severu zaprt s Karavankami in Kamniškimi Alpami z najvišjim vrhom Grintovec, 2559 m. Na vzhodu in jugovzhodu ga omejujejo Posavske gube z Dolenjskim gričevjem do višine ca. 1200 m. Na severozahodu in zahodu se razrašča južna Julijske Alpe z najvišjim vrhom Triglav, 2864 m, dočim se v smeri jugozahoda vleče Predalpsko hribovje in Dinarskogorski svet. Reka Sava, ki si je utrla pot skozi tako omejeno kotlino, ima v glavnem smer severozahod - jugovzhod. Njena dolina se posebno močno razširi v Ljubljanski kotlini v širšem smislu besede. Gornji del Ljubljanske kotline se prične nekako v Blejsko - Radovljiški kotlini, ki ima svojo absolutno višino ca. 500 m. Odtod se dolina Save proti jugu delno zapre in se šele severno od Kranja ponovno razširi v široko ravan, ki se nato razširja vse do Posavskih gub in do Krma ter Mokerca. Ta del bi smeli imenovati Ljubljansko kotlino v ožjem smislu. Sredi omenjenega ravninskega sveta stoji osamelec, Šmarna gora, z absolutno višino 667 m.

Ker področje Ljubljanske kotline nima v neposredni bližini radiosondne postaje, smo uporabili za analizo temperaturnih inverzij na tem področju le podatke meteoroloških postaj z različnimi absolutnimi višinami. Tako smo obdelali originalne podatke opazovanj ob terminih ob 07, 14, 21<sup>h</sup> za naslednje meteorološke postaje: Ljubljana-Aerodrom (300 m), Šmarna gora (667 m), Bled (500 m) in Planina-Križ (1050 m) za obdobje 1948 - 1954. Pripomniti pa moramo, da sta višinski postaji Šmarna gora in Planina-Križ na prisojni strani in zato izkazujeta nekoliko previsoke temperature glede na prosto ozračje.

Splošno vremensko stanje, ki ima močan vpliv pri nastajanju, razvoju in razkroju temperaturnih inverzij, smo ugotavljali po sinoptičnih kartah /15/ in /16/.

Inverzije smo ugotavljali na osnovi primerjave temperaturne vrednosti Bleda in Šmarne gore za Blejsko kotlino, Ljubljana in Šmarne gore za spodnji del Ljubljanske kotline in Šmarne gore Planina-Križ za gornjo plast ozračja celotne Ljubljanske kotline.

Pojavljanje temperaturnih inverzij smo analizirali glede na njihovo trajanje in jakost, t. j. glede na velikost temperaturne razlike, in ugotovili, da je možno klasificirati inverzije v tri tipe, in sicer: zimske, spomladansko-jesenske in poletne.

#### ZIMSKE INVERZIJE

Naravna značilnost zimskih inverzij je, da nastopajo s sorazmerno veliko jakostjo, prav tako pa je njihovo trajanje najdaljše. Značilne so v januarju in februarju. Vzrok je v tem, ker imamo prav v teh mesecih zelo stabilne vremenske situacije s snežno odejo, ki jača nastanek inverzij. Zaradi tega so bile v tem obdobju redke noči brez temperaturnih inverzij. Prav tako so bili zelo pogosti primeri, ko se je

inverzija ohranila več dni brez prekinitve. Pripomniti moramo, da je bilo nihanje pogostosti tega pojava v različnih letih sorazmerno veliko, pač glede na to kakšno je bilo splošno vremensko stanje. Najbolj revno je bilo leto 1953 v januarju, ko je nastopila temperaturna inverzija samo v 21 dneh, največ pa sta jih imela leti 1950 in 1951, ko je bila vsak dan, vsaj v enem izmed opazovanih terminov, ugotovljena temperaturna inverzija.

Tabela 1

Relativna pogostost inverzij (f) in minimalno ( $d_{\min}$ ) ter maksimalno število dni z inverzijo ( $d_{\max}$ ) ob klimatoloških opazovalnih terminih (obdobje 1948 - 1954)

Table 1

Relative frequency of inversions (f), minimal ( $d_{\min}$ ) and maximal number of days with inversion ( $d_{\max}$ ) at 0700, 1400 and 2100 local time (period 1948 - 1954)

	f	07 <sup>h</sup>			14 <sup>h</sup>			21 <sup>h</sup>		
		$d_{\min}$	$d_{\max}$	f	$d_{\min}$	$d_{\max}$	f	$d_{\min}$	$d_{\max}$	
Januar										
Bled - Š. gora	67	18	23	27	5	12	66	14	20	
Ljubljana-Š. gora	69	17	26	42	2	18	52	9	21	
Š. gora-Planina	23	4	13	15	1	11	12	1	7	
Februar										
Bled-Š. gora	67	14	23	15	0	9	61	12	21	
Ljubljana-Š. gora	66	12	14	38	6	14	57	7	25	
Š. gora-Planina	24	2	13	11	0	5	9	0	8	

Ko zasledujemo pojavljanje temperaturnih inverzij v predelih Ljubljanske kotline v januarju ugotovimo, da so razmeroma pogoste v spodnjih plasteh ca. 68% od opazovanih terminov in 3krat manj pogoste v višjih plasteh ozračja (tabela 1).

Glede na jakost temperaturnih inverzij ob 07<sup>h</sup> opazimo, da so v spodnjem delu Ljubljanske kotline mnogo intenzivnejše kakor v Blejski kotlini. Tako je bila najmočnejša inverzija v tem obdobju 10,6°C in sicer 30. januarja 1949 v spodnji ljubljanski kotlini, dočim je imela Blejska kotlina najmočnejšo inverzijo le 8,7°C istega dne.

Temperaturne inverzije v januarju ob 14<sup>h</sup> so še zelo pogoste, vendar z različnimi vrednostmi v poedinih področjih Ljubljanske kotline. Iz tabele 1 je lepo vidno, kako se ohranja temperaturna inverzija v spodnjem delu Ljubljanske kotline, kjer izkazuje najvišji procent in maksimalno število dni, ki presega Blejsko kotlino in gornje plasti nad Šmarno goro. Zmanjšano pogostost v Blejski kotlini, kakor tudi v gornjih plasteh ozračja, je iskati predvsem v dejstvu, da je pač vzhodni del Ljubljanske kotline najbolj na dnu obravnavanega področja in se tukaj najdlje zadržuje jezero hladnega zraka, ki je povezano s temperaturno inverzijo. Isto potrjujejo podatki o maksimalnem številu dni, ko se je pojavila temperaturna inverzija največkrat; najčešče se je pojavljala v spodnjem delu Ljubljanske kotline, dočim sta

jih imeli drugi dve območji manj.

Glede na intenzivnost temperaturnih inverzij v posameznih predelih obravnavanega področja ob 14<sup>h</sup> opazimo, da je bila najmočnejša inverzija 30. januarja 1949, in sicer 5,6°C v spodnjem delu Ljubljanske kotline. V Blejski kotlini pa je bila 27. januarja 1949 najintenzivnejša inverzija ob istem času in je znašala 2,5°C. Na območju med Šmarno goro in Planino - Križ pa so nastopale temperaturne inverzije v vrednosti pod 1°C.

Ako zasledujemo pojavljanje temperaturnih inverzij ob 21<sup>h</sup>, opazimo, da se je na omenjenem področju pojavljala z največjo intenzivnostjo v Blejski kotlini (tabela 1). Pogostost temperaturnih inverzij, z maksimalno vrednostjo v Blejski je razumljiva, kajti to področje lahko pojmujejo kot nekaj uvodni prostor za preostali del Ljubljanske kotline. Blejska kotlina se prične najprej polniti s hladnim zrakom, zato se ohladitev manifestira najprej v večernih urah z mnogo večjo pogostostjo, kakor spodnji del Ljubljanske kotline, kjer se intenzivira proces šele ponoči ali pa celo v zgodnjih jutranjih urah. Podobno sliko kaže tudi minimalno število dni nastopa tega pojava; dočim ob maksimalnem številu dni ni zelo velike razlike med tema področjema. Razumljivo je, da je v plasti ozračja med Šmarno goro in Planino-Križ zelo malo temperaturnih inverzij, saj se malokdaj lahko v tem času razvije intenzivnejša temperaturna inverzija, ki bi segala v to območje.

Februar je glede na pogostost in intenzivnost zimskih temperaturnih inverzij na drugem mestu. Vemo namreč, da je februar v naših krajih celo hladnejši kakor januar in tudi splošen vremenski režim je navadno bolj stabilen kakor v januarju. Prav ta mesec ima sorazmerno veliko dni s snežno odejo.

S preučevanjem relativne pogostosti temperaturnih inverzij za posamezna leta ugotovimo velike razlike. Najbolj bogato je bilo leto 1951, ko so bile temperaturne inverzije 28 dni, torej ves mesec, v letu 1948 pa so bile samo v 22 dneh (tabela 1).

Jasno je, da so se najpogosteje pojavljale ob 07<sup>h</sup>, in sicer v Blejski kotlini. Ta kotlina ima v februarju večjo pogostost, najbrž zaradi večje snežne odeje okolnih gora. To potrjuje tudi podatek, da ima Blejska kotlina mnogo več dni s snežno odejo, kakor pa spodnji del Ljubljanske kotline.

Tudi glede jakosti temperaturne inverzije se nam kaže podobna slika kakor v januarju. Spodnji del Ljubljanske kotline ima močnejšo inverzijo, in sicer se je pojavila 11. februarja 1952, ko je znašala 11,8°C, medtem ko je v Blejski kotlini nastopila najmočnejša inverzija 27. februarja 1948 z vrednostjo 10,4°C.

Razumljivo je, da število temperaturnih inverzij v opoldanskem času tudi v tem mesecu močno pade. Zaradi insolacije se namreč razkroje predvsem slabotnejše inverzije in ostanejo le močnejše.

Ugotovljeno je bilo, da je v Blejski kotlini mnogo nižja pogostost kakor v spodnji ljubljanski kotlini (tabela 1), čemur pa je ponovno vzrok, ki smo ga že navedli za februar. Tudi drugi podatki (tabela 1) potrjujejo ugoden položaj lege spodnje ljubljanske kotline za ohranjanje temperaturnih inverzij. Tukaj vpliva tudi megla, ki preprečuje intenzivnejšo insolacijo prav v spodnjem delu Ljubljanske kotline.

Podobno sliko kakor v januarju, vidimo tudi v februarju pri obravnavanju intenzivnosti inverzij. Opazili smo, da je bila 12. februarja 1952 ob tem terminu najmočnejša inverzija z jakostjo  $6,1^{\circ}\text{C}$  v spodnji Ljubljanski kotlini, medtem ko je bila v Blejski kotlini največja vrednost le  $0,7^{\circ}\text{C}$  9. februarja 1948. Temperaturne inverzije so bile ob  $21^{\text{h}}$  ponovno pogostejše kakor ob  $14^{\text{h}}$ . To je bilo naravno, saj v tem času ponovno prevladuje sevanje in ohlajevanje nižjih plasti ozračja.

Po podatkih izkazuje največjo pogostost leto 1949, in sicer 21 dni v Blejski kotlini, a najnižjo istotam leta 1954 12 dni. Iz podatkov tabele 1 je razvidno, da se ob  $21^{\text{h}}$  najpogosteje pojavljajo temperaturne inverzije v Blejski kotlini, podobno kot januarja. Maksimalno število dni z inverzijo je imelo leto 1949 v spodnjem delu Ljubljanske kotline, in sicer 25. Glede jakosti tega pojava je na prvem mestu Blejska kotlina, in sicer so izmerili 24. februarja 1953 vrednost  $7,7^{\circ}\text{C}$ , v spodnjem delu Ljubljanske kotline pa so izmerili maksimalno vrednost 22. februarja 1953 le  $6,5^{\circ}\text{C}$ .

#### SPOMLADANSKE IN JESENSKE TEMPERATURNE INVERZIJE

Osnovna značilnost spomladanskih in jesenskih inverzij je v tem, da je njihovo trajanje sorazmerno kratko, omejeno predvsem na nočni čas, ko sevanje še prevladuje. Nadalje pa pokriva v tem času še ali že snežna odeja določene predele obravnavanega področja, ki sovpliva na temperaturne razmere. Vemo namreč, da imajo zlasti višji predeli okolnih gora Ljubljanske kotline v marcu še dokaj snega, kar povzroča intenzivnejše, močno ohlajevanje zraka. Taki primeri se pojavljajo že tudi v oktobru, včasih pa v drugi polovici septembra, v novembru pa so že zelo pogosti. Nič manj važen faktor za nastajanje inverzij v teh dveh letnih časih pa so splošna vremenska stanja, ki v omenjenih obdobjih bistveno vplivajo na njihovo nastajanje, trajanje in razkroj. Vsi ti pogoji na poseben način ustvarjajo strukturo in obliko temperaturnih inverzij, ki se bistveno razlikujejo od zimskih kakor tudi poletnih.

Tipične spomladanske inverzije se pojavljajo predvsem marca in so tudi najbolj pogoste v spomladanskem obdobju. Tako je bilo v letih 1948 in 1952 6 dni brez njih.

Podatki (tabele 2) izkazujejo, da se v marcu pojavljajo temperaturne inverzije najpogosteje ponovno v spodnjem delu Ljubljanske kotline. Za 10. marec 1948 je bila izračunana največja vrednost ob  $07^{\text{h}}$ , in sicer  $10,3^{\circ}\text{C}$  v Blejski kotlini. V istem času pa je izkazovala spodnja Ljubljanska kotlina še višjo vrednost, in sicer  $10,5^{\circ}\text{C}$ . Na področju med Šmarno goro in Planina-Križ pa se je pojavila temperaturna inverzija jakosti  $4,4^{\circ}\text{C}$ .

Ako zasledujemo pojavljanje temperaturne inverzije ob  $14^{\text{h}}$  v različnih predelih Ljubljanske kotline, opazimo, da se je pojavljala najčeseje v spodnji Ljubljanski kotlini, in sicer je bila zabeležena največja jakost  $3,7^{\circ}\text{C}$ , medtem ko so bile v Blejski kotlini in na področju Šmarne gore Planina-Križ vrednosti mnogo nižje. Glede na pogostost pojavljanja tega pojava izkazuje maksimalno vrednost leto 1948, ko so se pojavljale v tem času v spodnji Ljubljanski kotlini 18 dni, v Blejski kotlini 11 dni, a na področju nad Šmarno goro - Planina - Križ 9 dni.

Ko analiziramo temperaturne inverzije ob  $21^{\text{h}}$ , opazimo, da jih je bilo največ v

Blejski kotlini; zaveda zato, ker je proces ohlajevanja mnogo hitrejši, kar smo že navedli v prejšnjih izvajanjih glede na spodnjo Ljubljansko kotlino. Glede jakosti temperaturnih inverzij v omenjenem terminu je ugotovljena najvišja vrednost  $6,5^{\circ}\text{C}$ , in sicer 30. marca 1953, medtem ko je bila v spodnjem delu Ljubljanske kotline 10. marca 1948 izmerjena vrednost  $7,1^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 2

Relativna pogostnost inverzij (f) in minimalno ( $d_{\text{min}}$ ) ter maksimalno število dni z inverzijo ( $d_{\text{maks}}$ ) ob klimatoloških opazovalnih terminih (obdobje 1948-1954)

Table 2

Relative frequency of inversions (f), minimal ( $d_{\text{min}}$ ) and maximal number of days with inversion ( $d_{\text{max}}$ ) at 0700, 1400 and 2100 local time (period 1948-1954)

	07 <sup>h</sup>			14 <sup>h</sup>			21 <sup>h</sup>		
	f	$d_{\text{min}}$	$d_{\text{max}}$	f	$d_{\text{min}}$	$d_{\text{max}}$	f	$d_{\text{min}}$	$d_{\text{max}}$
Marec									
Bled - Š. gora	63	13	25	15	1	11	55	5	24
Ljubljana-Šmarna gora	66	15	27	28	1	18	39	3	22
Š. gora-Planina	26	1	18	13	0	9	20	1	11
September									
Bled - Š. gora	67	19	22	15	2	10	64	16	23
Ljubljana-Šmarna gora	70	18	24	17	2	9	40	7	24
Š. gora-Planina	5	0	5	1	0	2	0	0	0

Osnovne značilnosti, ki so se pokazale pri obdelavi spomladanskih inverzij so predvsem velika pogostost in jakost v jutranjih urah z maksimalnimi vrednostmi v spodnji Ljubljanski kotlini. Prav tako so zelo pogoste večerne temperaturne inverzije, ki pa imajo svoj maksimum v Blejski kotlini. Ob popoldanskem terminu se zaradi že pojavljajoče labilnosti atmosferne inverzije razbijajo in so zaradi tega manj pogoste in intenzivne.

Tip jesenskih inverzij ima določeno podobnost s spomladanskimi, in sicer v tem, da se pojavlja predvsem ponoči; prav tako pa je njihova intenzivnost izredno slaba. Za jesenski tip inverzije so najbolj tipične temperaturne prilike kakor rudi vremenska stanja v septembru.

Z analizo temperaturne inverzije ob  $07^{\text{h}}$  (tabela 2) opazimo, da je bilo v spodnji Ljubljanski kotlini v letih 1948 - 1949 in 1951 po 24 dni s tem pojavom, medtem ko je nastopala v Blejski kotlini temperaturna inverzija najpogosteje leta 1948 - 1954 z 22 dnevi. Plast ozračja med Šmarno goro in Planina - Križ izkazuje največje število inverzijskih dni 1950, in sicer 5 dni. Minimalno število dni v vsem obravnavanem področju se giblje do 19 dni.

Pri zasledovanju značilnosti jesenskih inverzij se nam pokažejo podobne značilnosti, kakršne smo že videli v zimskih in spomladanskih mesecih. Največja pogostost tega pojava je ugotovljena v spodnjem delu Ljubljanske kotline, pa tudi največja intenzivnost tega pojava. Glede jakosti močno prednjači spodnji del Ljubljanske kotline, in to z maksimalno prednostjo  $7,7^{\circ}\text{C}$ , ki je bila 30. septembra 1949, medtem ko je bila v Blejski kotlini najvišja vrednost  $5,1^{\circ}\text{C}$  dne 4. septembra 1953.

Ako zasledujemo potek temperaturnih inverzij v omenjenem mesecu ob  $14^{\text{h}}$ , vidimo, da je bilo najbolj bogato leto 1954, in sicer z 10 dnevi v Blejski kotlini, spodnja Ljubljanska kotlina izkazuje 1959 svoj maksimum z 9 dnevi, a plast ozračja nad Šmarno goro izkazuje maksimum z 2 dnevoma. Minimum temperaturnih inverzij je 2 dni. Če pogledamo pojavljanje temperaturnih inverzij ob  $21^{\text{h}}$ , opazimo, da je maksimum temperaturnih inverzij ob tem času večji v spodnji Ljubljanski kotlini, s 24 dnevi, kot v Blejski kotlini, s 23 dnevi. Minimalno število dni se giblje do 16 dni v Blejski kotlini in v spodnji Ljubljanski kotlini do 17 dni. Na področju ozračja nad Šmarno goro ni bilo ob tem obdobju zabeleženih temperaturnih inverzij. Podatki kažejo, da so temperaturne inverzije v tem času izredno plitke. Najintenzivnejša inverzija je bila v spodnjem delu Ljubljanske kotline, in sicer 29. septembra 1949 in je znašala  $3,8^{\circ}\text{C}$ , medtem ko je bila maksimalna vrednost v Blejski kotlini  $3,6^{\circ}\text{C}$  dne 16. septembra 1951.

Iz omenjenih podatkov in obdelave jesenskega tipa temperaturnih inverzij vidimo, da so nastopale najizraziteje v jutranjih urah, prav tako pa je bila ob tem času njihova pogostost in jakost največja.

#### POLETNE TEMPERATURNE INVERZIJE

Zimski tip temperaturnih inverzij ima glede pogostosti, dolžine trajanja in intenzivnosti maksimalne vrednosti, poletni tip temperaturnih inverzij pa minimalne. To si razlagamo tako, da je v poletnih mesecih izžarevanje sorazmerno kratkotrajno, tako da ne nastopijo močnejše ohladišve. Prav tako v tem času nimamo snežne odeje niti na obrobni gorah. Ne smemo pa pozabiti, da sta jutranji opazovalni termin ob  $07^{\text{h}}$  in večerni ob  $21^{\text{h}}$  nereprezentativna za ugotavljanje tega pojava, kajti v poletnem času je pojavljanje temperaturnih inverzij močno pomaknjeno v pozne nočne ure, prav tako pa se že v jutranjih urah neprimerno hitreje razbijejo oziroma vsaj oslabijo zaradi vzhoda sonca. Kljub pomanjkljivostim opazovalnega gradiva za poletni čas, je zanimiva sorazmerno velika pogostost tega pojava. Iz obdelanega gradiva je razvidno, da je v juniju absolutni minimum v pogostosti in v jakosti temperaturnih inverzij, avgusta pa je absolutni maksimum za poletni čas. Da bi lahko bolje karakterizirali nastajanje, ohlajevanje in razbijanje kakor tudi intenzivnost temperaturnih inverzij v poletnem času, smo v tem smislu obdelali avgust. Glede pogostosti dni s temperaturno inverzijo je bilo najbolj bogato leto 1950, ko so v spodnji Ljubljanski kotlini ugotovili 27 dni s tem pojavom. Blejska kotlina jih izkazuje 20 dni, medtem ko področje med Šmarno goro in Planino le 6 dni. Tako sliko nam izkazuje opazovalni termin ob  $07^{\text{h}}$ . Kakor vidimo, je največja pogostost zopet v spodnjem delu Ljubljanske kotline (tabela 3).

Tabela 3

Relativna pogostost inverzij ( $f$ ) in minimalno ( $d_{\text{min}}$ ) ter maksimalno število dni z inverzijo ( $d_{\text{max}}$ ) ob opazovalnih klimatoloških terminih (obdobje 1948 - 1954)

Table 3

Relative frequency of inversions ( $f$ ), minimal ( $d_{\text{min}}$ ) and maximal number of days with inversion ( $d_{\text{max}}$ ) at 0700, 1400 and 2100 local time (period 1948 - 1954)

	$07^{\text{h}}$			$14^{\text{h}}$			$21^{\text{h}}$		
	$f$	$d_{\text{min}}$	$d_{\text{max}}$	$f$	$d_{\text{min}}$	$d_{\text{max}}$	$f$	$d_{\text{min}}$	$d_{\text{max}}$
Avgust									
Bled-Š. Gora	60	17	20	17	1	13	66	16	25
Ljubljana-Š. gora	67	18	27	13	1	10	30	0	18
Š. gora-Planina	17	1	6	1	0	2	0	0	0

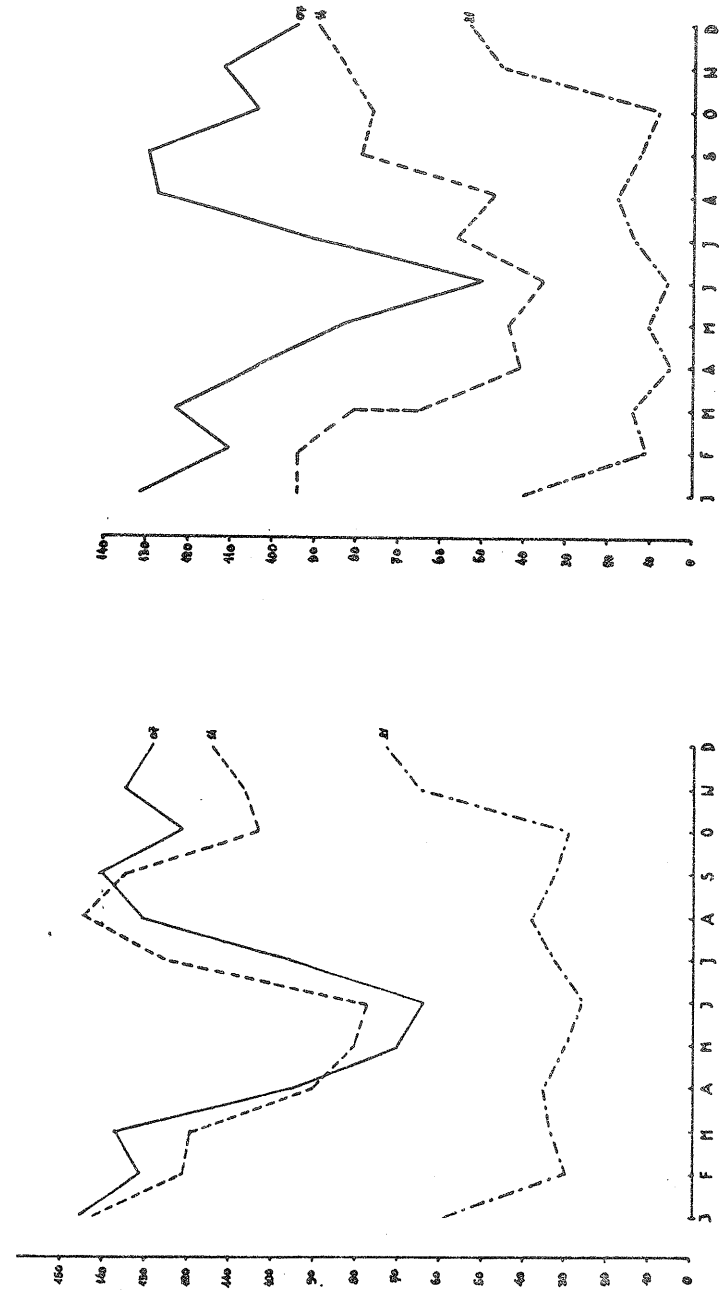
Glede intenzivnosti opazimo, da v tem letnem času ni bistvene razlike med Blejsko kotlinino in spodnjim delom Ljubljanske kotline. Tako izkazuje že omenjeni del Ljubljanske kotline maksimalno vrednost  $4,8^{\circ}\text{C}$ , in sicer 10. avgusta 1949, prav tako pa izkazuje Blejska kotlina vrednost  $4,6^{\circ}\text{C}$ , in sicer 17. avgusta 1952.

Opazovanja temperaturnih inverzij ob  $14^{\text{h}}$  (tabela 3) kažejo, da se ta pojav pojavlja zelo redko. Zanimivo pa je, da ima svojo največjo pogostost v Blejski kotlini. Intenzivnost teh inverzij ob tem času pa ne presega nikjer  $1^{\circ}\text{C}$ .

V večernih urah, t.j.  $21^{\text{h}}$ , nastopa večja pogostost, in sicer doseže leta 1950 in 1952 celo 25 dni v Blejski kotlini, v spodnjem delu Ljubljanske kotline pa le 18 dni. Intenzivnost temperaturne inverzije je bila prav tako najvišja v Blejski kotlini 31. avgusta 1950 z absolutno vrednostjo  $4,8^{\circ}\text{C}$ . Naravni pogoji, ki povzročajo večjo pogostost in intenzivnost v Blejski kotlini kakor v Ljubljanski, so bili že navedeni v prejšnjih odstavkih. Na področju med Šmarno goro in Planino-Križ v poletnem času niso ugotovili temperaturnih inverzij.

Na sliki 1 vidimo potek števila temperaturnih inverzij v obravnavanem obdobju v spodnji Ljubljanski kotlini in Blejski kotlini. Najizrazitejša temperaturna inverzija obravnavanega obdobja je bila v spodnji Ljubljanski kotlini 11. februarja 1952, in sicer  $11,8^{\circ}\text{C}$ . Sekundarni maksimum pa je bil 30. januarja 1949, in sicer je v Blejski kotlini znašal  $10,6^{\circ}\text{C}$ .





Slika 1 Letni potek števila opazovanih z inverzijo ob posameznih klimatskih terminih (obdobje 1948 - 1954) A) v spodnjem delu Ljubljanske kotline, B) v Blejski kotlini  
 Number of cases with inversion at particular observation hours i. e. 0700, 1400 and 2100 local time according to the months of the year (Period 1948 - 1954) A) Lower part of Ljubljana basin, B) Bled basin

PRIMER ZIMSKE INVERZIJE

Primer daljše periode zimske radiacijske temperaturne inverzije iz obdobja 1948 - 1954 je bil februarja 1952. Temperaturne vrednosti za vse opazovane termine v primerjanih štirih krajih so razvidne s tabele 4. Če primerjamo med seboj Ljubljano-Šmarno goro, Bled - Šmarno goro in Šmarno goro - Planino dobimo približen pregled nad inverznimi pogoji - taki so v tabeli označeni s križci.

Tabela 4

Temperature v štirih primerjanih krajih za čas 3. - 11. 2. 1952. Primeri z inverzijo imajo križec.

Table 4

Temperatures at four comparative places for period February 3 to 11 1952. Cases with inversion have a cross.

Dan	Ura	Ljubljana (300m)	Bled (500m)	Šmarna gora (667m)	Planina (1050m)
3.	7	- 7,0	-12,4+	- 7,0	- 7,2
	14	- 3,7+	1,0	- 0,6	- 1,2
	21	- 9,8+	- 7,5+	- 3,8	- 6,6
4.	7	-11,4+	-13,2+	- 6,4+	- 4,2
	14	- 5,2+	1,2	0,0+	0,5
	21	- 9,8+	- 8,8+	- 3,8	- 6,6
5.	7	-10,8+	- 6,0+	- 2,6	- 7,8
	14	- 2,6+	1,2+	1,6	- 0,6
	21	- 4,3+	- 9,8+	- 1,6	- 6,2
6.	7	-11,8+	- 4,8+	- 4,2	- 4,4
	14	3,6	3,9	3,0	- 2,2
	21	- 6,6+	- 5,8+	- 5,2	- 8,0
7.	7	-16,4+	-15,0+	- 8,8+	- 7,0
	14	- 1,8+	- 0,5	- 0,7	- 5,4
	21	- 3,5+	- 8,2+	- 5,6	-10,8
8.	7	-11,6+	-11,0+	- 5,8+	- 5,2
	14	- 4,3+	- 0,6	- 1,4	- 1,6
	21	- 4,7+	- 3,8+	- 2,2+	- 1,8
9.	7	- 9,5+	-11,7+	- 2,2	- 3,2
	14	2,0+	4,0	3,0	- 2,0
	21	- 6,2+	- 5,2+	- 1,9	- 6,2
10.	7	-13,4+	- 9,3+	- 4,2	- 7,2
	14	- 0,5+	5,2	2,6	2,0
	21	- 7,6+	- 5,9+	- 2,8	- 6,8
11.	7	-15,2+	-13,3+	- 3,4	- 6,4
	14	- 5,9+	- 4,2+	0,2	- 0,8
	21	3,0	2,8	2,4	- 1,4

V nadaljnjem podajamo opis vremenskega stanja nad Evropo v tem času. 3. februarja imamo, kot kaže slika 2, nad srednjo Evropo greben visokega, zračnega pritiska. Alpske kotline so bile ponekod oblačne, te nakatere nižje kotline so imele meglo. Podatki tabele kažejo, da se je temperaturna inverzija tega dne proti večeru ojačala. Naslednji dan (4. 2.) se je anticiklonalno področje razširilo čez vzhodni Atlantik proti severu tako, da je bila os anticiklona v meridionalni smeri. Podobno se je anticiklonalni sistem tudi nad vzhodno Evropo močno pojačal. Od severne Skandinavije do Črnega morja pa se je raztezala dolina nizkega zračnega pritiska, po kateri je potekala polarna fronta s hladnim zrakom. Srednja Evropa je imela tega dne krajevno oblačnost in tu in tam nekaj rahlih padavin. Iz podatkov je razvidno, da je imela zjutraj vsa Ljubljanska kotlina sorazmerno intenzivno temperaturno inverzijo, ki je segala do višine 1050 m.

5. februarja 1952 je anticiklon zajel pretežni del zahodne in severne Evrope s središčem 1035 mb. Severno od Islanda je nastopilo poglobljanje ciklona do 990 mb. Njegova smer gibanja je bila proti severovzhodu. Tako je Srednja Evropa imela sorazmerno oblačno vreme s krajevnimi padavinami in ojačanimi vetrovi. Slika pa je bila drugačna v Sloveniji. Tudi tega dne je bila temperaturna inverzija, omejena samo na najnižje predele.

6. februarja 1952 se je področje visokega zračnega pritiska nad zahodno Evropo še ojačalo in se razširilo prek zahodne Evrope (1040 mb). Severni del tega anticiklona se je nekoliko ohladil. Na ta način se je spremenila os anticiklonalnega grebena za 90° in dobili smo zonalno cirkulacijo. Frontalni sistemi polarne fronte so se gibali prek severovzhodnega Atlantika, prav tako se je nad Sredozemljem zadrževalo slabotno ciklonalno področje. Srednja Evropa je imela v omenjenem dnevu pretežno oblačno vreme.

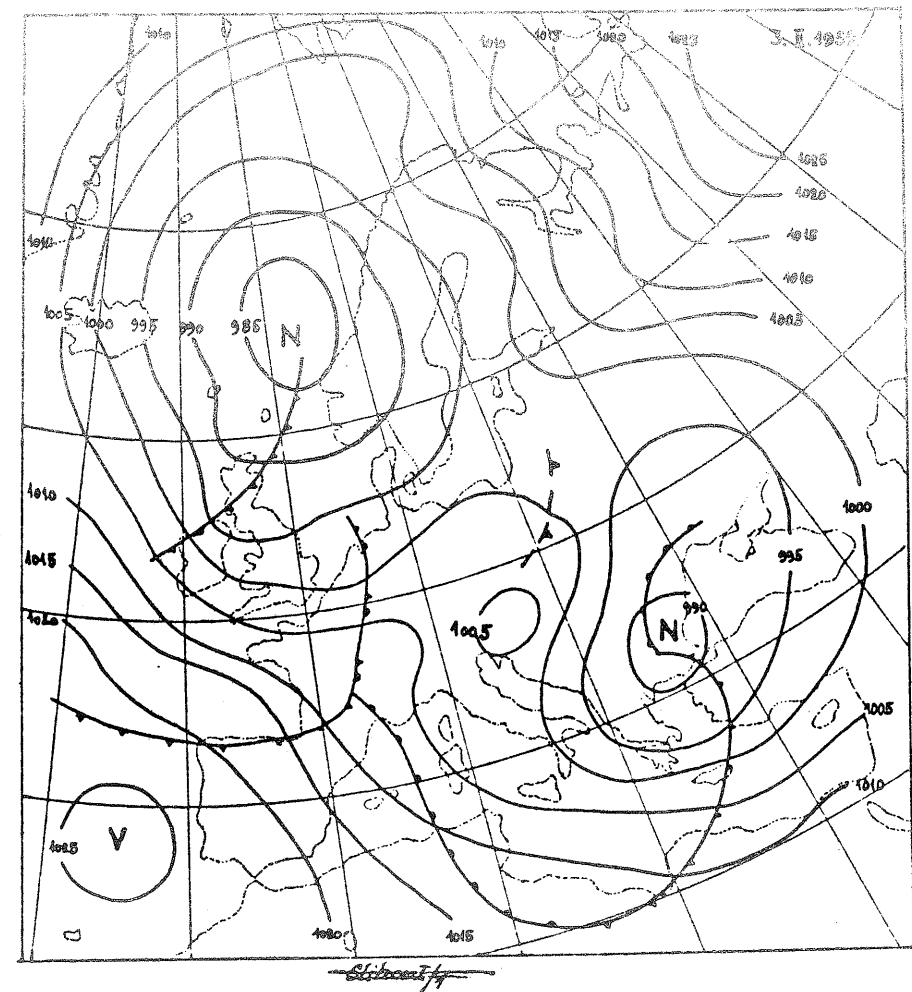
Splošno vremensko stanje 7. februarja 1952 kaže premik močnega anticiklonalnega področja proti vzhodu. Severno od tega področja je valovala polarna fronta v smeri proti severovzhodu. Cirkulacija v prizemnih plasteh ozračja je bila v Srednji Evropi zonalna, medtem ko se je nad Sredozemljem nahajalo slabotno področje nizkega zračnega pritiska.

8. februarja 1952 je bil v splošnem vremenskem stanju še vedno trdoživ anticiklonalni sistem, ki se razteza od zahodne prek srednje in vzhodne do severne Evrope. Ciklon nad severno Skandinavijo se je počasi polnil in se pomikal proti severovzhodu. Podobno se je dogajalo s ciklonalnim jedrom v Sredozemlju, ki se je gibalo proti vzhodu.

Vremensko stanje 9. februarja 1952 še kaže sorazmerno močan anticiklonalni sistem nad zahodno in srednjo Evropo.

Iz teh podatkov je razvidno, da se je jezero hladnega zraka v Ljubljanski kotlini razkrojilo.

10. februarja 1952 je nad zahodno Evropo nastalo samostojno področje visokega zračnega pritiska, medtem ko se polarna fronta gibala od vzhodne Evrope proti severovzhodu. Srednja Evropa je imela nekoliko pojačano severozahodno strujanje.



Slika 2

Vremenska karta od 3. 2. 1952 ob 07 SEČ

Fig. 2

Weather map for Feb. 3, 1952 at 07 CET

11. februarja 1952 izkazuje vremensko stanje razkroj visokega zračnega pritiska nad zahodno Evropo, ki pa se je še ohranjalo nad srednjo in jugovzhodno Evropo. Temperature so se dvigale. Ob 21<sup>h</sup> je bilo opaziti še nadalje otoplitve in tudi konec temperaturne inverzije.

#### SKLEP

Ako v kratkem povzamemo splošne zaključke iz obravnavanega gradiva o temperaturnih inverzijah, opazimo, da je Ljubljanska kotlina eden izmed izredno močnih inverzijskih kotlov. Maksimalne vrednosti glede na pogostost, dolžino trajanja kakor tudi na intenzivnost, so opažene v spodnjem delu Ljubljanske kotline in to v hladnejši dobi leta in dneva. Glede na dnevni potek temperaturnih razmer je maksimalna vrednost temperaturnih inverzij v jutranjih in dopoldanskih urah z najmočnejšo koncentracijo v spodnjem delu Ljubljanske kotline, medtemkose v večernih urah premakne ta maksimum v Blejsko kotlino. To je tudi jasan dokaz, da moramo proces pojmovati dinamično, t.j. da se prelivajo močno ohlajene zračne gmote zaradi radiacije iz višjih predelov v nižje.

Na področju Šmarna gora Planina-Križ so bile intenzivne temperaturne inverzije v hladni polovici leta in dneva. To je naravno, saj so le v tem času možne intenzivnejše inverzije, ki lahko segajo v območje ozračja nad 600 m.

Podan je tudi primer zimskih temperaturnih inverzij, ki so najbolj pogoste in najbolj izrazite.

#### LITERATURA

- /1/ B. Paradiž: Nekaj karakteristik onesnaženja zraka v Ljubljani, Razprave XII, DMS, Ljubljana 1970
- /2/ S.F. Chromow: Einführung in die Synoptische Wetteranalyse Wien: Springer, 1940
- /3/ G. Helimann: Met. Z. Hann-Bd 1908
- /4/ J. Hann-Süring: Lehrbuch der Meteorologie. 5 Aufl. Leipzig: W. Keller, 1930
- /5/ P. Vujevič: Meteorologija, Beograd 1948
- /6/ A. Schmaus: Die Ausbildung nächtlicher Temperaturumkehr, Met. Z. 28, 1919
- /7/ E. Erhardt: Über Inversionen in dem Alpen, Rundschau, H 5, 6 1949
- /8/ W. Peppler: Einige aerologische Daten zur Kenntnis der Kräftigen Temperaturinversionen, ang. Met.: Das Wetter, H 2-7,
- /9/ F. Sauberer: M. Z. Bioklim. Beiblätter 4/1, 1937
- /10/ R. Geiger: Das klima der bodennahen Luftschicht. Brunswick 1950
- /11/ F. Lanscher-Ekel: Wetter und Leben, Wien 1947
- /12/ B. Knirsch: Aerologische Untersuchungen der Winter Inversionen in Klagenfurter Becken, Dissertation, Wien 1948
- /13/ J. Pučnik: Temperaturinversionen in der Blejska kotlina. VI<sup>e</sup> Congres Int. de Met. Alpine, Bled, Beograd. 1962

/14/ H. Flohn: Zum Klima der freien Atmosphäre über Sibirien, Met. Z. 61, 1944

/15/ Hidrometeorološki zavod SRS Ljubljana  
Sinoptične karte 1950 - 1954

/16/ Zentralanstalt für Met. und Geodyn., Wien: Sinoptične karte 1948 - 1950