

## DIE WARME HANGZONE IM SÜDTEIL VON BOSKOVICKÁ BRÁZDA-FURCHE

*P. Faško, T. Litschmann und P. Prošek*

Lehrstuhl der Geographie an der Naturwissenschaftlichen  
Fakultät der J. E. Purkyně Universität, Brno, Kotlářská 2, Tschechoslowakei

Eingegangen: September 1980

### ZUSAMMENFASSUNG

In dem Artikel ist die Problematik des Auftretens der warmen Hangzone im südlichen Teil von Boskovická brázda—Furche in zwei gegenorientierten Hangprofilen analysiert. Es wurde festgestellt, daß die Gestaltung der warmen Hangzone und die Häufigkeit ihres Auftretens in den Niederungen eng mit der Gestaltung der Temperaturinversionen, die die Häufigkeit der warmen Hangzonen bedeutsam herabsetzen, zusammenhängt. In den Niederungen erhöht sich dadurch die Gefährdung der Landwirtschaftskulturen durch kritische Minimaltemperaturen in den Mittelhangteilen im Vergleich mit dem konvexen Relief.

### EINFÜHRUNG

Die Entstehung, Existenz und Entwicklung der sog. warmen Hangzone, die als Folge der Dynamik von der nächtlichen, durch überherrschende Ausstrahlung der aktiven Oberfläche bedingten Hangzirkulation, die z. B. von Geiger (1961), Koch (1961) oder Schnelle (1963) beschrieben wurde, entsteht, hat in den landwirtschaftlich ausgenützten Gebieten mit ausgeprägtem Relief beträchtliche praktische Bedeutung. Dank der Existenz der warmen Hangzone kommen nämlich in den Hangpartien, an die sie gebunden ist, wesentlich höhere Temperaturminima, als in den Niederungen oder in den Gipfelpartien des Reliefs vor. Das bedeutet, daß in der Hangmitte auch die Wahrscheinlichkeit der Bedrohung der Landwirtschaftskulturen wesentlich kleiner ist.

In der ČSSR wurde inzwischen dieser Problematik keine ausreichende Aufmerksamkeit gewidmet. In dem ausgeprägten Relief von Pavlovské vrchy-Berge hat die warme Hangzone schon im Jahre 1975 Prošek analysiert und an diese Arbeit knüpft auch dieser Artikel an.

Im Jahre 1977 hat der Lehrstuhl für Geographie geländeklimatische Messungen im Rosice—Oslavany—Gebiet im Rahmen der Forschungsaufgabe „Der Landschaftssystem des Rosice—Oslavany—Gebietes und sein Potential“ durchgeführt. Zu diesem Zwecke wurden dort 13 Geländeklimastationen installiert (siehe Abb. 1), die durch kleine meteorologische Hütte mit einem Thermograph, Hygrograph und Augustspsychrometer ausgestattet wurden.

Die Analyse des Auftretens und der Ausprägung der warmen Hangzone im Rosice—Oslavany—Gebiet ist mit Rücksicht an die Geländegestaltung (der konkave

Relief von Boskovičká brázda—Furche) mit der obengenannten Arbeit eng gebunden.

Für diese Arbeit wurden 6 Stationen benützt, die sich in 2 Hangprofilen von Boskovičká brázda-Furche befanden. Diese Stationen wurden in Ivančice (X), Jakob (IX) und Hlína (VIII) (Hangprofil I) an dem Westhang von Ivančická

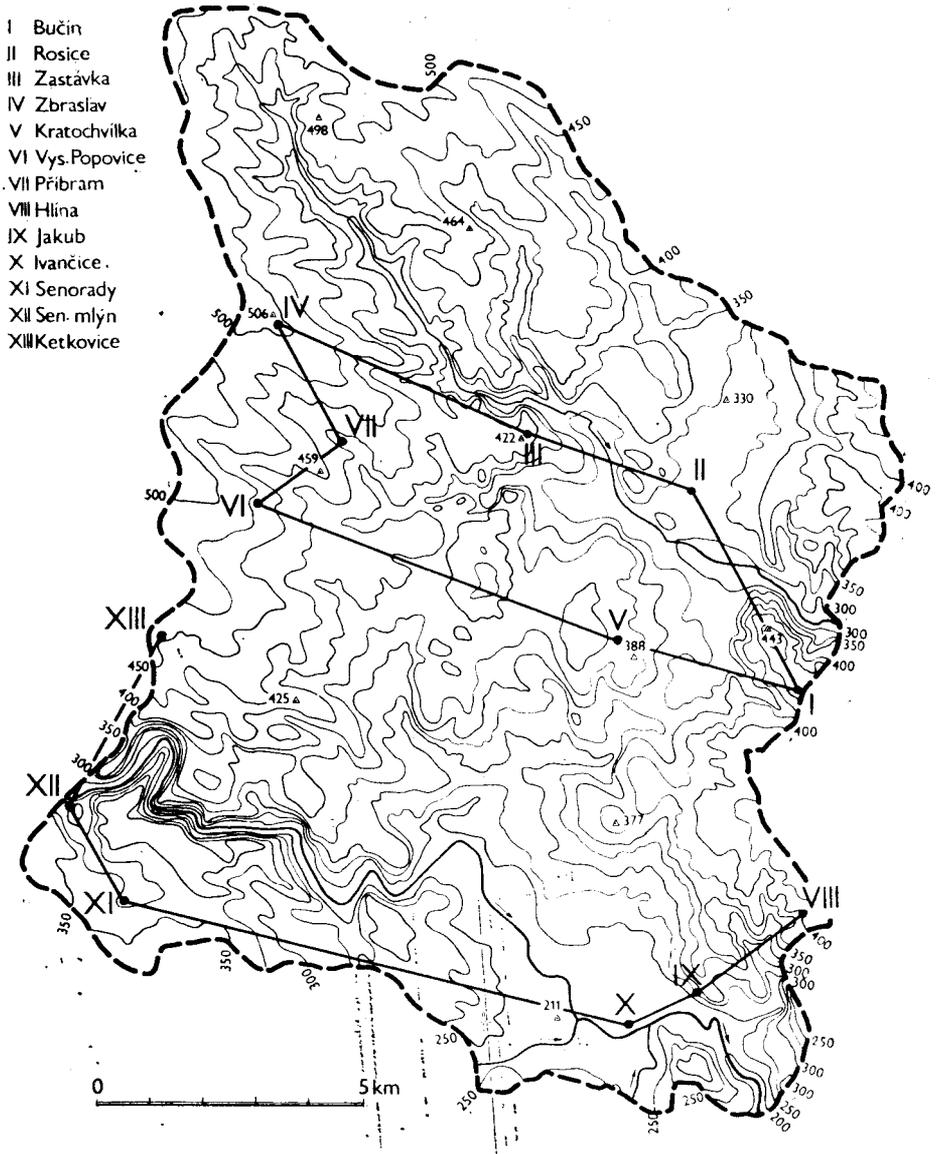


Abb. 1. Die Geländeklimastationen in dem Rosice—Oslavany—Gebiet (Δ — die Höhenpunkte; • — die Geländeklimastationen)

kotlina—Becken und in Rosice (II), Zástávka (III) und Zbraslav (IV) (Hangprofil II) an dem Osthang von Bítešská pahorkatina—Hügelland lokalisiert (siehe Abb. 1 und 2).

Für die Bearbeitung den Zeit- und Temperaturcharakteristiken der warmen Hangzone wurden aus dem durch die Messung gewonnenen Material die Tage mit dem überwiegenden Ausstrahlungswetter, bei denen wir die ausgeprägte Reliefeflüsse an das Tagesregime der Temperatur voraussetzen können, entnommen. Für weitere Bearbeitung wurden insgesamt 112 Tage mit diesem Wassertyp den Kriterien nach Prošek (1978) gemäß, ausgewählt.

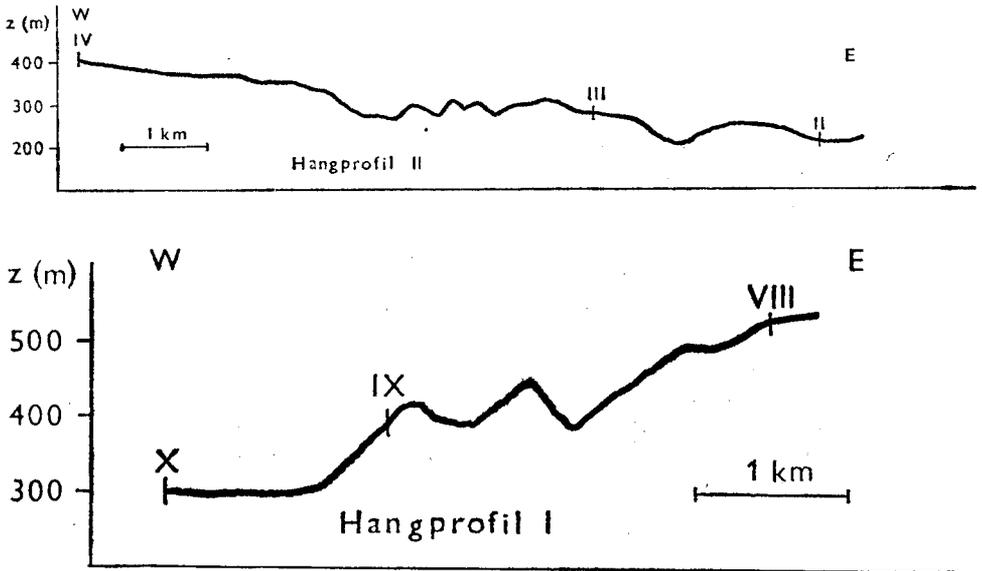


Abb. 2. Die Hangprofile mit den Geländeklimastationen, die für die Analyse der warmen Hangzone benützt wurden

## MORPHOLOGIE DES FORSCHUNGSGEBIETES

Das Forschungsgelände gehört zum südlichen Teil von Boskovičká brázda — Furche, die in diesem Teil die ausgeprägte ist. Das erste Hangprofil wurde am W-Hang von Ivančická kotlina—Becken lokalisiert. Sein Anfang war in der Höhe um 210 m ü. d. M. auf dem Beckengrund. Das Hangprofil hat sich bis zu den Gipfelpartien von Bobravská vrchovina—Hochland in die Höhe um 430 m ü.d.M. gezogen. Das zweite Profil fang bei der Stadt Rosice auf dem Grund von Oslavanská brázda—Furche an (in der Höhe 315 m ü.d.M.) und ist durch den E-Hang von Bítešská pahorkatina—Hügelland bis in die Höhe 505 m ü.d.M. gelaufen. Beide Hangprofile hatten die relative Überhöhung etwa 200 m. In den Niederungen konnte man gute Bedingungen für die Kaltluftakumulation, die die Entstehung der warmen Hangzone, oder den Temperaturinversionen bedingt, voraussetzen.

# DIE ANALYSE DES AUFTRETEN DER WARMEN HANGZONE UND IHRE ERGEBNISSE

Das Grundmaterial für die Bearbeitung stellen die Stundenwerte der Temperatur ab 16 bis 04 h in den Tagen mit dem Auftreten der warmen Hangzone vor. Der Klassifikation von Prošek (1975) gemäß wurde die Hangzone an die unter- und ununterbrochene klassifiziert. Die unterbrochenen Hangzonen mit der Dauer kürzer als 4 Stunden wurden nicht bearbeitet. Die ununterbrochenen warmen Hangzonen wurden wieder an die geschlossenen und geöffneten gegliedert. Für die geschlossenen Hangzonen wurden solche behaltet, die in den Nachtstunden als Ergebniss des dynamisch bedingten Kaltluftflusses entstanden. Bei diesem Typ können wir sowohl den Anfang als auch das Ende und dadurch auch die Dauer festzustellen. Dagegen die geöffnete warme Hangzone zwar durch ähnliche Prozesse bedingt ist, wird jedoch durch den flüssigen Übergang aus der Temperaturverteilung in den Spätnachmittagsstunden gebildet, eventuell in die Temperaturverteilung, die als Folge der intensiven Erwärmung in den Morgenstunden den ähnlichen Charakter hat, übergeht. Bei der Analyse der zeitlichen- und Temperaturcharakteristiken den geöffneten warmen Hangzonen haben wir uns lediglich an das Zeitintervall zwischen dem Sonnenuntergang und dem Sonnenaufgang, d. h. an die Zeit, in der die negativen Werte der Energiebilanz der aktiven Oberfläche garantiert ist, beschränkt.

An dem W-Hang (Profil I) kam die geschlossene warme Hangzone in den ausgewählten Tagen insgesamt 6 mal (5 %) und die geöffnete 28 mal (25 %) vor. An dem E-Hang wurden ähnliche Verhältnisse festgestellt. Die geschlossenen Hangzonen finden hier 10 mal (9 %) und die geöffneten 20 mal (18 %) vor. Aus dem Vergleich mit den Bedingungen, die im Gebiet von Pavlovské vrchy—Berge festgestellt wurden, geht hervor, daß die Bedingungen für die Entstehung der warmen Hangzone in unserem Forschungsgebiet ungünstiger sind. Die wahrscheinlichste Ursache dieser Erscheinung ist folgendermaßen so zu erklären: die Kaltluft, die von den Hängen von Boskovická brázda—Furche fließt, sammelt sich an dem Grund dieser Niederung. Dadurch wächst ihre Vertikalausdehnung, bzw. die Temperaturstabilität. Bei den günstigen Bedingungen kann die Inversionsschicht das ganze Profil der Niederung ausfüllen und die warme Hangzone kann nicht entstehen. Dagegen im Gebiet von Pavlovské vrchy—Berge kann sich die herabfließende Kaltluft ohne Begrenzungen auf dem Grund der umliegenden Niederungen ergießen, ohne den Wuchs der Inversionsschicht in die Höhe zu beeinflussen.

Im Gebiet von Pavlovské vrchy—Berge haben im Vergleich mit unserem Gebiet dazu noch die geschlossenen Hangzonen vorgeherrscht.

Bei weiterer Bearbeitung haben wir uns an die Feststellung der Charakteristiken orientiert, mit deren Hilfe man die Ausprägung, die Dauer, bzw. die Dynamik der Entwicklung der warmen Hangzone beschreiben könnte. Aus den Temperaturstundenwerten wurden folgende statistische Charakteristiken ausgerechnet:

1. Bei den geschlossenen warmen Hangzonen — der mittlere Beginn, mittleres Ende und mittlere Dauer; die mittlere Zeit der höchsten Temperaturdifferenz, die mittlere maximale Temperaturdifferenz, mittlere Differenz und die höchste maximale Differenz zwischen den Bergfuss- und Hangmitte- und den Hangmitte- und Gipfelstationen.

2. Bei den geöffneten warmen Hangzonen — die mittlere Zeit der höchsten Temperaturdifferenz, die höchste mittlere und die höchste maximale Temperaturdifferenz. Die Ergebnisse dieser Bearbeitung sind in den Tab. 1—5 angeführt.

Tab. 1. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Anfangszeiten ( $t_1$ ,  $s_1$ ), Endezeiten ( $t_2$ ,  $s_2$ ) und der Dauer ( $t_3$ ,  $s_3$ ) der geschlossenen warmen Hangzonen

Charakteristik	Profil I	Profil II
$t_1$ (h)	19,9	19,8
$s_1$	1,3	2,1
$t_2$	01,1	24,0
$s_2$	1,8	1,5
$t_3$	06,2	05,2
$s_3$	1,3	1,0

Tab. 2. Die Temperaturcharakteristiken der geschlossenen warmen Hangzonen (°C)

Differenz zwischen den Stationen	IX—X	IX—VIII	III—II	III—IV
Mittlere Differenz	1,7	1,7	3,2	1,0
Mittlere maximale Differenz	2,6	2,3	4,5	1,8
Höchste maximale Differenz	4,2	3,9	6,2	4,5

Tab. 3. Die Temperaturcharakteristiken der geöffneten warmen Hangzonen (°C)

Differenz zwischen den Stationen	IX—X	IX—VIII	III—II	III—IV
Mittlere maximale Differenz	3,5	3,0	4,5	2,1
Höchste maximale Differenz	7,1	7,3	4,3	3,0

Tab. 4. Die mittlere Zeit der maximalen Temperaturdifferenz zwischen den Hang- und Bergfuss- und den Hang- und Gipfelstationen (h)

Station N°	IX—X	IX—VIII	III—II	III—IV
Geschlossene warme Hangzone	22,6	21,5	22,4	20,5
Geöffnete warme Hangzone	23,8	00,3	01,0	23,9

Tab. 5. Die Korrelationskoeffiziente der Abhängigkeit der Dauer von dem Wert der maximalen Temperaturdifferenzen bei den geschlossenen warmen Hangzonen

Station N°	IX—X	IX—VIII]	III—II	III—IV
$r_{xy}$	0,63	0,50	0,02	0,16
$r_{0,05}$	0,75	0,75	0,58	0,58

Aus den angeführten mittleren Anfangszeiten der warmen Hangzone geht hervor, daß zwischen beiden Hängen praktisch kein Unterschied existiert, was mit den Erkenntnissen vom Geiger (1961) im Einklang ist. Die Anfangszeiten sind im guten Einklang mit den Resultaten, die im Pavlovské vrchy—Berge festgestellt wurden, jedoch die Dauer der Hangzone in unserem Gebiet etwas kürzer ist. Das ist wahrscheinlich durch die Bildung und Vertikalausdehnung der Temperaturinversionen bedingt.

Aus den Temperaturcharakteristiken der warmen Hangzone (die in den Tab. 2 und 3 eingeführt sind) geht hervor, daß die Hangzone, obwohl sie nicht zu oft auftritt, ziemlich ausgeprägt ist. Die mittlere Temperaturdifferenzen sind ungefähr so groß, als im Gebiet vom Pavlovské vrchy—Berge. Maximale Werte dieser Differenzen treten hier aber im Vergleich mit den Pavlovské vrchy—Bergen in den unteren Hangteilen aus. An dem E-Hang von Bobravská vrchovina—Hochland ist diese Erscheinung offensichtlich dadurch bedingt, daß hier in den Gipfelteilen keine größere Gipfelplateaus auftreten, so daß hier zu der langfristigen Stagnation der Kaltluft in der ersten Nachthälfte und zu ihrer stärkeren Abkühlung nicht kommt. Als Erscheinungsfaktor tritt hier wahrscheinlich die Wirklichkeit, daß die Niederung von Boskovičká brázda—Furche fast ideale Form für die Akumulation der Kaltluft, die aus den Hängen herabfließt, darstellt.

Die Werte in der Tab. 4 zeigen, daß die höchsten Temperaturdifferenzen durchschnittlich in der oberen Hanghälfte früher, als in der unteren, auftreten. Die Ausnahme bildet lediglich der W-Hang im Falle der geöffneten Hangzonen, wie weiter erklärt wird. Diese Erscheinung ist offensichtlich dadurch bedingt, daß die Luft, die am Anfang der Nacht an den Gipfelplateaus stagniert, sich stark von diesen Oberfläche abkühlt und deswegen die Differenzen zuerst zwischen dem Mittleren und dem oberen Hangteil wachsen. Bei dem Herabfließen der Kaltluft in die Niederungen wächst hier die Ausprägung den Inversionen. Das hat die Folge in dem Wachsen der Differenzen in der unteren Hanghälfte.

Der katabatische Kaltluftfluss in unserem Forschungsgebiet ist bei der warmen Hangzonebildung durch das Herabfließen der großen Luftvolumen bedingt (Prošek, Rein). Dadurch läuft die Abkühlung und die Stagnation der Luft sowohl in den Niederungen, wie auch in den Gipfelteilen. Die Luft wird in den Niederungen aber weniger abgekühlt, weil die effektive Ausstrahlung der Erdoberfläche in dieser Lage durch die Gegenstrahlung der Hänge abgeschwächt ist. Sobald aber die Resultante der Horizontalluftdruckgradientes zwischen der Hangluft und der Atmosphäre über dem Niederungsgrund und der Gravitationskraft, die an die Hangluft wirken, die Reibungskraft übertritt, verschiebt sich die Kaltluft aus den Gipfelpartien in die Niederung, so daß die Differenzen in der unteren Hanghälfte wachsen.

In weiterer Bearbeitung haben wir versucht die Abhängigkeit zwischen der Dauer der warmen Hangzone und den Werten der höchsten Temperaturdifferenzen, getrennt in den oberen und unteren Hangteilen, durch die Berechnung der Korrelationskoeffizienten ( $r_{xy}$ ) festzustellen. Die  $r_{xy}$ -Werte und die kritische Werte der Korrelationskoeffizienten  $r_p$  bei dem Signifikanzzahl  $p = 0,05$  für den  $r_{xy}$  Test sind in der Tab. 5 eingeführt.

Aus der Tabelle geht hervor, daß in allen Fällen die Beziehung  $r_{xy} < r_{0,05}$  gilt, d. h. die Beziehung halten wir nicht als erwiesen, Wir vermuten aber, daß dieses Resultat dadurch beeinflusst ist, daß die warme Hangzone in einzelnen Fällen nicht zu lange gedauert hat (ihre Länge schwänkt in dem Zeitabstand von 2—3 h), während die Werte der höchsten Differenzen wesentlich variabler wurden. Trotzdem

sind wir aber überzeugt, daß die gesuchte Abhängigkeit hier hervortritt, weil die höchste Maximaldifferenzen gerade bei den geöffneten Hangzonen, die gleichzeitig die längste sind, vorkommen. Die Werte in den Tab. 2 und 3 dieser Voraussetzung gewissermaßen entsprechen, vorzugsweise an dem W-Hang, wo die  $r_{xy}$ -Werte am höchsten sind.

Gleichermaßen versuchten wir die Abhängigkeit zwischen der höchsten Temperaturdifferenz in ganzem Hangprofil und ihrem Auftretenszeit zu finden, jedoch die  $r_{xy}$ -Werte tief unter der  $r_p$ -Wert lagen, so daß wir diese Abhängigkeit nicht als statistisch erwiesen betrachten können.

## DIE BEARBEITUNG DER TEMPERATURINVERSIONEN

Wie in dem Teil 3. eingeführt wurde, können wir als eine von Ursachen des kleinen Auftretens der warmen Hangzone im Raum von Boskovická brázda — Furche die Gestaltung der Temperaturinversionen in ganzem Niederungsprofil, die die Ursache des Untergangs von der Hangzone sind, halten. In weiterer Bearbeitung

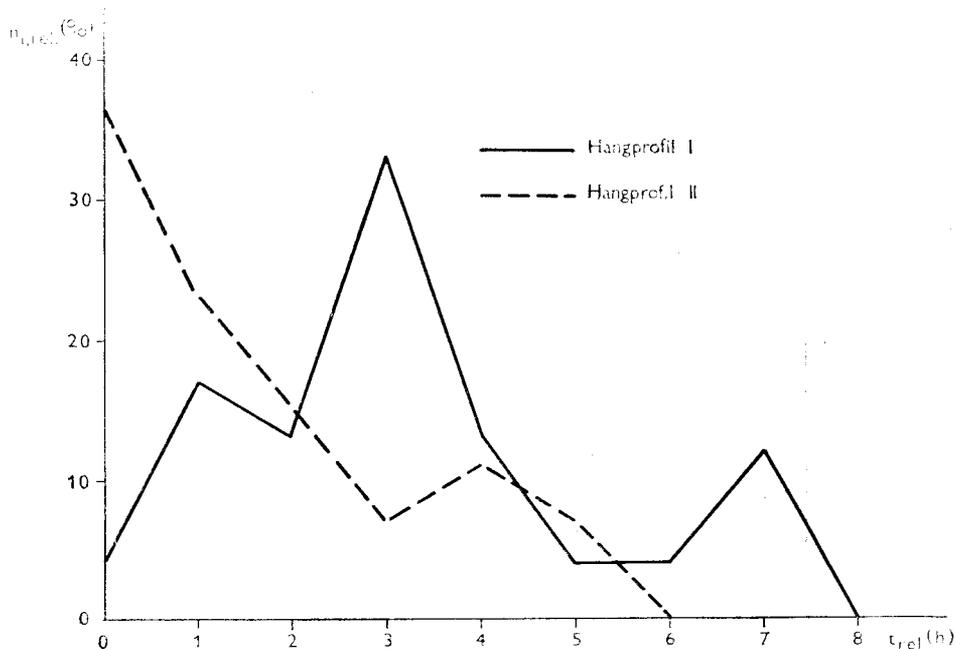
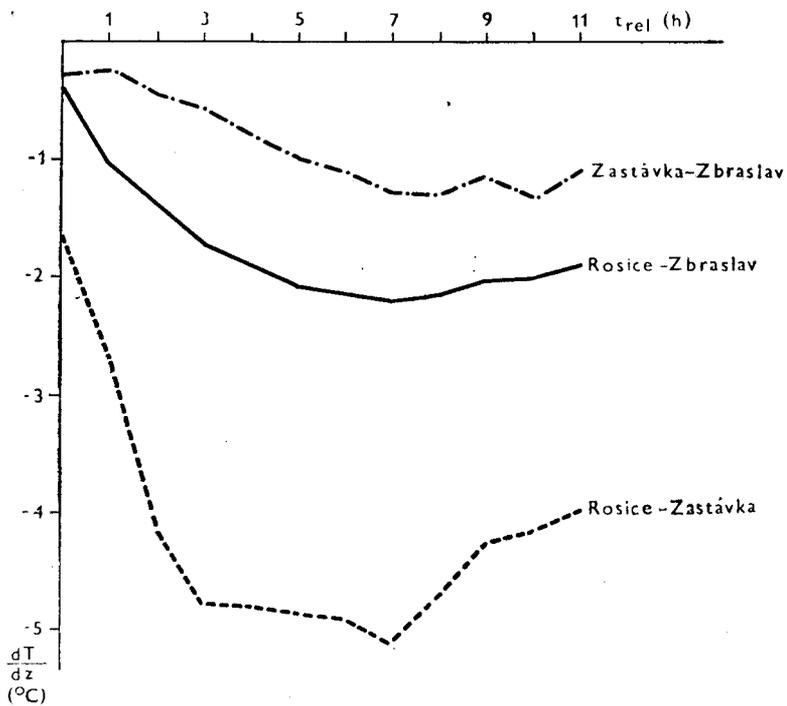
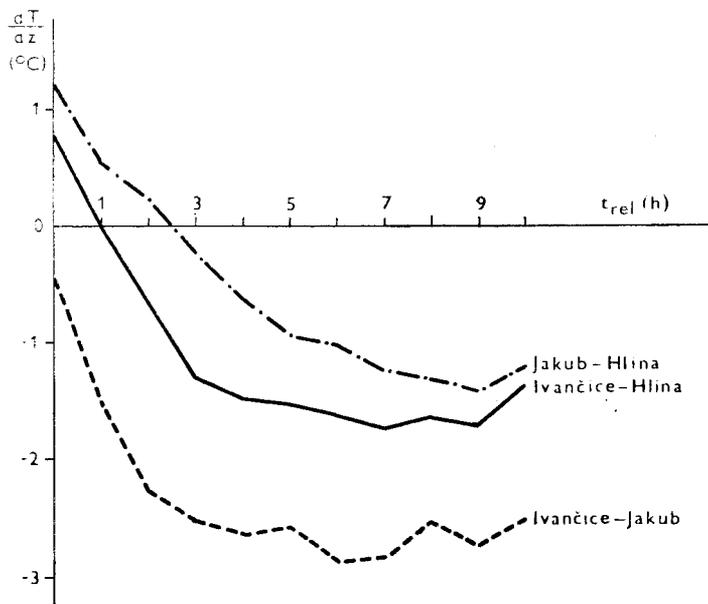


Abb. 3. Die relative Häufigkeit ( $n_{1,rel}$  (%)) der Inversionsentstehung in ganzem Niederungsprofil in ganzen Stunden nach dem Sonnenuntergang ( $t_{rel}(h)$ )

haben wir uns also an die Analyse des Auftretens und der Ausprägung von den Temperaturinversionen orientiert.

In dem Hangprofil I (W-Hang von Ivančická kotlina—Becken) wurden die Temperaturinversionen, die den ganzen Niederungsprofil erfüllen, in 26 % der Nächte mit dem Ausstrahlungswettertyp und im Profil II (E-Hang von Oslavanská



brázda—Furche) in 28 % festgestellt. Das entspricht dem Perzentuellauftreten der warmen Hangzone (siehe Teil 3.). Daraus geht hervor, daß ungefähr die Hälfte des Auftretens von der warmen Hangzone durch die Bildung der Temperaturinversionen überdeckt ist. Diese Wirklichkeit bestätigt auch die Abb. 3, in der die relative Häufigkeit der Inversionsentstehung in ganzem Niederungsprofil (weiter nur Gesamtinversion) in ganzen Stunden nach dem Sonnenuntergang dargestellt ist. Aus der Abb. 3 geht hervor, daß zwischen beiden Profilen deutlicher Unterschied existiert. Im Profil II beginnt sich die Gesamtinversion meistens schon vor dem Sonnenuntergang zu Formulieren und in den Folgenden Stunden die Häufigkeit ihrer Gestaltung sinkt, während im Profil I die Inversionsschicht ganze Niederung am häufigsten erst drei Stunden nach dem Sonnenuntergang erfüllt. Die Ursache dieser Unterschiede liegt in der Geländegestaltung von beiden Niederungen. In dem Zusammenhang mit den Anfangsbedingungen des katabatischen Flusses kommt an den steil geneigten Hängen von Ivančická kotlina—Becken zu diesem Fluss früher, als in Oslavanská brázda—Furche, die herabfließende Luft ist weniger abgekühlt, so daß fürs Hauptprozess der Entstehung von der Inversion können wir die Ausstrahlung aus dem Beckengrund halten. Die Abkühlung der steilen Hänge durch die effektive Ausstrahlung ist dazu offensichtlich durch Gegenstrahlung der Gegenorientierungshänge abgeschwächt. Damit ist auch das verspätete Wachsen der Gesamtinversionsschicht im Vergleich mit Oslavanská brázda—Furche, in der wir die niedrigere Temperatur der katabatischen Flüsse und sein unmittelbarer Anteil an der Abkühlung und Verstärkung der Inversionsschicht voraussetzen können, bedingt. Ähnliche Schlüsse sind auch durch die Analyse der Zeitänderungen der Temperaturpseudogradienten (dieses Termin wurde nach Rein, 1972, benützt) (Abb. 4) zu erreichen.

Aus der Abbildung geht hervor, daß in dem Hangprofil I sich am Anfang der Nacht zuerst die warme Hangzone (positives Temperaturgradient zwischen den Stationen IX und VIII), die zwischen 2. und 3. Stunde nach dem Sonnenuntergang durch anwachsende Inversion überdeckt ist, formiert.

Auch die Analyse der Ausprägung der Temperaturinversion die unterschiedliche Rolle der Temperatur vom katabatischen Strömung in beiden Niederungen an das Wachsen und Ausprägung der Inversionen bestätigt. Die Temperaturpseudogradienten im Raum von Oslavanská brázda—Furche sind wesentlich höher, als im Ivančická kotlina—Becken, was deutlich besonders in der unteren Hanghälfte ist. Hier erreichen die Gradienten ungefähr doppelte Werte, als im Profil I.

Für die Zeitänderungen der Pseudogradienten die markante Wertabnahme in den ersten Stunden nach dem Sonnenuntergang typisch ist. Diese Abnahme zeitgemäß sinkt und in den letzten Nachtstunden bleibt sie ungefähr an gleichem Niveau bis zum Sonnenaufgang, was der Dynamik der Temperaturinversionsbildung in den Niederungen, die z. B. von Voroncov (1960) beschrieben wurde, entspricht.

---

Abb. 4. Die Zeitänderungen der Temperaturpseudogradienten ( $dT/dz$  (°C)) zwischen den Stationen Ivančice (X) — Jakub (IX), Ivančice (X) — Hlína (VIII) und Jakub (IX) — Hlína (VIII) im Ivančická kotlina—Becken und zwischen den Stationen Rosice (II) — Zastávka (III), Rosice (II) — Zbraslav (IV) und Zastávka (III) — Zbraslav (IV) in Oslavanská brázda—Furche  $t_{rel}(h)$  — die Zeit nach dem Sonnenuntergang)

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Auf Grund der angeführten Analyse der warmen Hangzone und den Temperaturinversionen in dem Südteil von Boskovická brázda—Furche kann man feststellen, daß beide charakteristische Temperaturverteilungen in den Hangprofilen genetisch sehr eng zusammenhängen und daß die warme Hangzone in der Zeit der negativen Energiebilanz in der Tagesperiode sehr oft in die Inversion, die das ganze Profil der Niederungen erfüllt, übergeht. Die Übergangszeit der warmen Hangzone in die Gesamtinversion und die Ausprägung den Inversionen hängt von der Geländegestaltung der Niederungen ab und verspätet sich proportional der Hangneigung und der Niederungstiefe. Das bedingt die Auftretenherabsetzung der warmen Hangzone im konkaven Relief, in dem sich aus diesem Gesichtspunkt die Gefährdung der Landwirtschaftskulturen durch kritische Minimaltemperaturen in den Mittelehangteilen im Vergleich mit dem konvexen Relief erhöht.

## LITERATUR

- Geiger R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig.
- Koch H. G. (1961): Die warme Hangzone. *Zeit. f. Met.*, Bd. 15, 151—171.
- Prošek P. (1975): Die warme Hangzone im Gebiet von Pavlovské vrchy—Berge. *Scripta Fac. Sci. Nat. UJEP Brunensis, Geographia* 2, 5; 35—38.
- Prošek P. (1978): Vliv reliéfu na teplotní poměry Pavlovských vrchů. *Folia Fac. Sci. Nat. UJEP Brunensis, Geographia* 13, Tomus XIX, Opus 5.
- Prošek P., Rein F.: Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry. *Učební texty vysokých škol, SPN (v tisku)*.
- Rein F. (1972): Poznámky ke struktuře teplotních inverzí v okolí Milešovky. *Met. zprávy XXV*, 122—125.
- Schnelle F. et al. (1963): Frostschutz im Pflanzenbau. BLV Verlagsgesellschaft München, Basel, Wien.
- Voroncov P. A. (1960): Aerologičeskije issledovanija pograničnogo sloja atmosfery. *Gidrometizdat, Leningrad*.