

## Charakteristik der Bodentemperaturen in natürlichen Pflanzengesellschaften des Mährischen Karstes mit Anwendung der Invertzuckermethode

Charakteristika půdních teplot v přirozených rostlinných společenstvech  
Moravského krasu metodou inverze sacharózy

František Grüll und Jan Květ

GRÜLL F.<sup>1)</sup> et J. KVĚT<sup>2)</sup> (1976): Charakteristik der Bodentemperaturen in natürlichen Pflanzengesellschaften des Mährischen Karstes mit Anwendung der Invertzuckermethode. — Preslia, Praha, 48 : 247—258.

Die vorliegende Arbeit liefert Ergebnisse der Bodentemperaturmessungen in natürlichen Pflanzengesellschaften des Mährischen Karstes an folgendermassen gewählten Lokalitäten: einerseits auf sonnenbestrahlten Hochplateaus und Felszungen, andererseits an Hängen und Böden tiefer Cañontäler. Der Vergleich der aus den Messungen der Reaktionsgeschwindigkeit der Saccharosespaltung berechneten Temperaturangaben ermöglicht es, die Temperaturinversion in den Tälern des Mährischen Karstes nachzuweisen. Gleichzeitig wird hier eine Vegetationscharakteristik der studierten Flächen angegeben.

1) Havlíčkova 32, 602 00 Brno, Tschechoslowakei. 2) Botanisches Institut der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Hydrobotanische Abteilung, Dukelská 145, 379 82 Třeboň, Tschechoslowakei.

### EINLEITUNG

Die Reliefgestaltung des Mährischen Karstes — auf der einen Seite die einer intensiven Sonnenbestrahlung ausgesetzten Plateaus, auf der anderen Seite tiefe Cañontäler und Schluchten — ruft eine ausgeprägte Differentiation der Temperaturverhältnisse hervor. Auf kleinen Flächen befinden sich hier nebeneinander warme, von Karst- und Waldsteppenvegetation besiedelte Standorte, und Standorte, die kühl bis kalt sind und von kalt- und feuchtliebenden Arten der Wald- und Felssträucher, sowie der Kräuter und Moose besiedelt werden.

Das ganze Jahr hindurch steht die bunte und mannigfaltige Pflanzengesellschaft unter dem Einfluss der Boden- und Lufttemperatur samt ihrer Jahreswandlungen. Darüber hinaus integriert die Bodentemperatur den Einfluss der Lufttemperatur und der direkten Bestrahlung, womit die Temperaturverhältnisse des Standortes charakterisiert werden.

Aus der ziemlich grossen Verschiedenartigkeit der Temperaturverhältnisse an den Standorten der natürlichen Vegetation im Mährischen Karst ergab sich die Möglichkeit, die Invertzuckermethode anzuwenden. Mit dieser einfachen und schnellen Methode haben wir hier während einer Vegetationsperiode die Bodentemperaturen in der Krautschicht rhizosphäre an 8 charakteristischen Lokalitäten gemessen. Diese Messstellen wurden so gewählt, damit die Temperaturverhältnisse der stark sonnenbestrahlten Felszungen mit denen der beschatteten Talsohlen, wo auch oft Temperaturinversionen zustande kommen, verglichen werden könnten.

Zur Messung der Bodentemperaturen bedienen wir uns der Invertzuckermethode. Diese Methode haben PALLMAN et al. (1940) ausgearbeitet; ihr Prinzip beruht auf der Feststellung der Reaktionsgeschwindigkeit der Saccharose-Inversion, die bei einer konstanten Azidität nur von der Standorttemperatur abhängt. Am untersuchten Standort wird während der Zeit  $t$  (in Tagen) sterilisierte Saccharoselösung im sauren Puffer (HCl—Na Ziträt, pH 2,9) exponiert; die Lösung befindet sich in einer zugeschmolzenen Glasampulle. Während der Exposition verläuft die Saccharose-Inversion, d. h. ihre Spaltung auf Glukose und Fruktose, die exponentiell von der Temperatur abhängig ist.

Nach den Angaben über die optische Drehung der exponierten Lösung [anfänglich ( $\alpha_0$ ), nach Beendigung der Exposition ( $\alpha$ ) und nach vollständiger Hydrolyse der Saccharose ( $\beta_0$ )] errechnet man die exponentielle Mitteltemperatur  $T_e$  während der Zeit  $t$ . KUNDLER (1954) erweiterte die Anwendung dieser Methode auf einen grösseren pH-Bereich der Zuckerlösung. BERTHET (1960) hat vorgeschlagen,  $T_e$  aus folgenden Gleichungen zu ermitteln:

$$\log_{10} K = -\log_{10} t + \log_{10}[\log_{10}(\alpha_0 - \beta_0) (\alpha - \beta_0)], \quad (1)$$

$$T_e(^{\circ}\text{C}) = 5854 : (C - \log_{10} K) - 273,2 \quad (2)$$

wobei  $K$  die Gleichgewichtsreaktionskonstante bei der Saccharosespaltung darstellt.  $C$  ist vom pH abhängig und wird durch die Relation definiert, die PETŘÍK et KVĚT (1966) aus BERTHETS Verfahren abgeleitet haben:

$$C = -0,995742 \text{ pH} + 20,195348 \quad (3)$$

Diese Berechnungsart von  $T_e$  haben wir ebenfalls angewendet.

Das pH der exponierten Zuckerlösung war 2,7 und im aseptischen Zustand wurde sie durch Zugabe einer kleinen Menge von Formaldehyd (BERTHET 1960) erhalten. Den Nachteil der nicht-linearen Abhängigkeit des  $T_e$  von der Temperatur beseitigen wir nach LEE (1969), u. zw. durch Anwendung seiner Regressionsgleichung für die Abhängigkeit des arithmetischen Temperaturmittels

$$T_a(^{\circ}\text{C}) \text{ vom } T_e : T_a = 2,23326 + 0,9731 T_e - 0,2264 R_T \quad (4)$$

wobei  $R_T$  den absoluten Wert der Temperaturschwankungen ( $^{\circ}\text{C}$ ) am Standort während der Zeit  $t$  darstellt. Der Determinationskoeffizient ist 0,982 und der mittlere Schätzungsfehler beträgt  $0,74^{\circ}\text{C}$ . In unseren Berechnungen von  $T_a$  schätzen wir das  $R_T$  auf  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  oder  $20^{\circ}\text{C}$  auf Grund unserer Erfahrungen mit den Ambulantmessungen an analogen Standorten. Durch Multiplikation des Mittelwertes  $T_a$  mit der Periode  $t$  erhielten wir eine beiläufige Vorstellung von der Temperatursumme am gegebenen Standort während der Zeit  $t$  ( $T_a \cdot t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ . Tage).

Die zugeschmolzenen 10 ml Ampullen, mit ca. 9 ml der Messlösung gefüllt, exponierten wir an den gewählten Lokalitäten im Mährischen Karst in einer Tiefe von 5 bis 10 cm unter der Bodenoberfläche, dh. in der Rhizosphäre der Krautschicht. An jeder Lokalität exponierten wir 4 bis 7 Ampullen im Laufe zweier Perioden des Jahres 1971: a) Frühjahr bis Sommer, vom 5. 4. bis 5. 7. — wo ein Teil der Ampullen entnommen wurde — oder bis 15. 7., wo die restlichen Ampullen entnommen wurden — b) Sommer bis Herbst, vom 15. 7. bis 14. 11.

Während beider Perioden kam es an einigen Lokalitäten zu beträchtlichen Verlusten an Ampullen, einesteils durch direkte Vernichtung, anderenteils durch Vernichtung der die Lage der Ampullen anzeigenden Markierungen. Die  $\alpha_0$ ,  $\alpha$  und  $\beta_0$ -Werte wurden polarimetrisch festgestellt. Die  $T_e$ ,  $T_a$  und ( $T_a \cdot t$ )-Werte wurden mittels des Digital-Computers ZPA 600 nach einem Programm berechnet, das von PETŘÍK et KVĚT (1976) beschrieben wird.

Im weiteren Text führen wir für jede Lokalität diese Mittelwerte an, mit Angaben über den Bereich der Ausgangsdaten und ihre Anzahl ( $n$ ). Man muss sich dessen bewusst sein, dass auch die Grenzwerte  $T_a$  mit einem mittleren Fehler von ca.  $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$  belastet sind. Die angeführten Werte  $T_a \cdot t$  ermöglichen eine annähernde Beurteilung der Wärmekraft in der Zeitspanne  $t$ .

Die Verfasser sprechen ihren herzlichen Dank H. Ing. B. Petřík und H. Ing. P. Šmíd aus der Ökologischen Abteilung des Botanischen Instituts der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften in Brno für ihre freundliche Hilfe bei den Berechnungen, bzw. bei Herstellung der Lösungen, aus.

## ERGEBNISSE

Wir führen die Charakteristik der Lokalitäten an, in deren natürlichen Pflanzengesellschaften die Bodentemperaturen mit der Invertzuckermethode ermittelt wurden.

1. Felsungen an einem steilen Karsthang über den Punkva-Höhlen in Pustý žleb. Aufnahme Nummer: 1, Aufnahmefläche: 2 m<sup>2</sup>, Exposition: NW, Neigung 60°, Deckungsgrad der Krautschicht: 85 %, Deckungsgrad der Mooschicht: 10 %.

Zönologisch können unsere Aufnahmen zur Assoziation *Seslerio calcariae* - *Saxifragetum aizoonis* KLIKA 1941 gereiht werden. Die Artenzusammensetzung war folgende: *Festuca sulcata* 3, *Sesleria calcaria* 2, *Melica transsilvanica* 2, *Festuca glauca* 1, *Carex humilis* 1, *Poa angustifolia* 1, *Potentilla arenaria* 1, *Saxifraga aizoon* 1, *Asperula cynanchica* 1, *Sedum acre* 1, *Seseli osseum* subsp. *devenyense* 1, *Origanum vulgare* 1, *Sedum sexangulare* subsp. *boloniense* +, *Thymus pulegioides* +, *Biscutella laevigata* +, *Galium mollugo* +, *Polygala vulgaris* +, *Arenaria serpyllifolia* +, *Stachys recta* +, *Arabis hirsuta* +, *Polygonatum odoratum* +, *Fragaria vesca* +, *Primula veris* subsp. *canescens* +. Moosarten: *Tortella tortuosa* 1, *Grimmia pulvinata* +, *Camptothecium sericeum* +, *Grimmia apocarpa* +, *Ditrichum flexicaule* +.

Die Bodentemperaturen haben wir noch an drei Felsungen gemessen (s. Tab. 1).

Es ist nicht gelungen, die exponierten Ampullen der Frühjahrsserie zu finden, daher kann der warme Charakter dieser Lokalität nur durch Ergebnisse der Sommer- und Herbstmessungen nachgewiesen werden:

Periode	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	M. Summe T <sub>a</sub> (°C · d)	n
15. 7.—14. 11. 1971	17,0 (15,5—17,8)	15,4 (13,9—16,2)	1878,8	3

Von der ganzen Sommer- bis Herbstserie wurden hier die höchsten Temperaturmittelwerte und die höchste Temperatursumme festgestellt. Ähnliche Ergebnisse wurden in einem etwas tieferen Boden am „Federgrashang“ notiert, etwa 50 m nördlich von den Felsungen entfernt.

Periode	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	M. Summe T <sub>a</sub> (°C · d)	n
15. 7.—14. 11. 1971	15,4 (14,9—15,8)	13,8 (13,3—14,2)	1681,2	4

Die etwas niedrigeren Temperaturen dürften der unterschiedlichen Exposition — NW entgegen dem SW-SO der Felsungen — zugeschrieben werden.

2. Schuttkegel am Waldrand über Pustý žleb in der Richtung des Weges von den Punkva-Höhlen zum Skalní mlýn.

Die Temperaturmessungen ermittelten wir im oberen Teil des losen Gerölls, wo die Moose überwogen und die Farnkrautvegetation bedeutend ärmer war. Aufnahmefläche: 30 m<sup>2</sup>, Exposition: SW, Neigung: 30°—50°, Deckungsgrad der Mooschicht: 60 %, Deckungsgrad der Krautschicht: 20 %.

Die Artenzusammensetzung der Mooschicht war folgende: *Camptothecium lutescens* 3, *Pleurozium schreberi* 3, *Hylocomium splendens* 2, *Hypnum cupressiforme* 1, *Polytrichum attenuatum* 1, *Homalothecium sericeum* 1, *Rhytidiadelphus triquetrus* 1, *Rhytidiadelphus squarrosus* 1, *Dicranum scoparium* 1, *Rhytidium rugosum* +, *Brachythecium velutinum* +, *Brachythecium rivulare* +, *Amblystegium confervoides* +, *Otenidium molluscum* +, *Plagiomnium cuspidatum* +, *Pseudoleskeella nervosa* +, *Thuidium abietinum* +, *Isoetium myurum* +.

Von den höheren Pflanzen waren auf dem Geröll spärlich folgende Arten vertreten: *Phegopteris robertiana* 2, *Dryopteris filix mas* 1, *Cystopteris fragilis* 1, *Asplenium trichomanes* 1, *Sedum acre* 1, *Sedum telephium* subsp. *maximum* +, *Cardaminopsis arenosa* +, *Galium silvaticum* +, *Cynanchum vincetoxicum* +, *Pimpinella major* +, *Oxalis acetosella* +, *Urtica dioica* +, *Geranium robertianum* +.

Die Temperaturmessungen haben wir hier in der Frühjahrs- bis Sommerperiode 1971 festgestellt. Von Messungen im Sommer-Herbst haben wir abgesehen, weil der warme Charakter der Lokalität schon genügend nachgewiesen wurde und auch wegen der Gefahr von Vernichtung der Ampullen durch das sich bewegende Geröll.

Die Temperaturverhältnisse in der Frühjahrs- bis Sommerperiode widerspiegelt folgende Tabelle:

Periode	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	M. Summe T <sub>a</sub> (°C · d)	n
5. 4.—5. 7. 1971	14,4 (14,4—14,5)	12,9 (12,8—12,9)	1184,0	2
5. 4.—15. 7. 1971	15,9 (14,6—17,6)	14,3 (13,0—16,0)	1454,5	7

Die Erwärmungsfähigkeit des Schutthanges geht aus diesen Angaben deutlich hervor.

### 3. Eichenbuchenwald unter den Felsenriffen nächst der Burgruine Blanzek.

Die Bodentemperaturen haben wir in einem 10 m vom grossen Felsenriff bei Blanzek entfernten Eichenbuchenwald gemessen. Die Ampullen wurden auf einer Fläche von 20 m<sup>2</sup>, Exposition SW, Neigung 10°—15° angebracht. Der Deckungsgrad der Baumschicht war 40 %, der Krautschicht 80 %, der Mooschicht 15 %.

Die Artenzusammensetzung an der Lokalität war folgende: *Quercus petraea* 3, *Fagus sylvatica* 2, *Carpinus betulus* 1, *Picea excelsa* 1; *Mercurialis perennis* 4, *Asperula odorata* 2, *Galeobdolon luteum* 2, *Poa nemoralis* 2, *Melica uniflora* 2, *Brachypodium silvaticum* 2, *Sesleria calcaria* 1, *Carex montana* 1, *Carex digitata* 1, *Melampyrum nemorosum* 1, *Convallaria majalis* 1, *Polygonatum odoratum* +, *Cynanchum vincetoxicum* +, *Hepatica triloba* +, *Viola hirta* +, *Trifolium alpinum* +, *Chrysanthemum corymbosum* +, *Campanula rapunculoides* +, *Betonica officinalis* +, *Aconitum vulparia* +, *Biscutella laevigata* +, *Genista tinctoria* +, *Teucrium chamaedrys* +, *Pulmonaria officinalis* +. Moose: *Polytrichum attenuatum* 2, *Plagiomnium cuspidatum* 2, *Pleurozium schreberi* 1, *Hylocomium splendens* 1, *Brachythecium rivulare* 1, *Hypnum cupressiforme* 1, *Dicranum scoparium* +, *Rhytidiadelphus squarrosus* +.

Die Charakteristik der Bodentemperatur liefert folgende Tabelle:

Periode	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	M. Summe T <sub>a</sub> (°C · d)	n
5. 4.—5. 7. 1971	10,5 (10,4—10,5)	10,2 (10,1—10,2)	933,8	2
5. 4.—15. 7. 1971	10,9	10,6	1081,2	1
15. 7.—14. 11. 1971	10,5 (9,7—11,4)	10,2 (9,4—11,1)	1239,5	4

Diese Angaben erfassen den allgemeinen warmen Charakter der untersuchten Pflanzengesellschaften, einen wärmeren als im Eichenbuchenwald über dem Weg zu Pustý žleb. Die verhältnismässig grosse Streuung der Angaben aus der Sommer- bis Herbstperiode dürfte wahrscheinlich durch eine ungleichmässige Verteilung der sonnenbestrahlten Flächen bedingt sein. Weniger variabel sind nämlich die Angaben aus der Frühjahrs- bis Sommerperiode, wo die Bäume ziemlich lang unbelaubt blieben.

4. Eichenbuchenwald über dem Weg in Pustý žleb, unweit „Čertova branka“.

Die Bodentemperatur wurde in Pflanzengesellschaften des Eichenbuchenwaldes an einem mässigen Hang, Exposition NO, Neigung 10°, auf einer ovalen 20 m<sup>2</sup> grossen Fläche gemessen. Der Deckungsgrad der Baumschicht war 40 %, der Krautschicht 80 %, der Moosschicht 10 %.

Die Artenzusammensetzung an der Lokalität war folgende: *Fagus silvatica* 4, *Quercus petraea* 2, *Fraxinus excelsior* +, *Picea excelsa* +, *Carpinus betulus* +, *Tilia platyphylla* +; *Asperula odorata* 4. *Poa nemoralis* 2, *Luzula nemorosa* 2, *Carex pilosa* 1, *Melica nutans* 1, *Melica uniflora* 1, *Asarum europaeum* 1, *Mercurialis perennis* 1, *Convallaria majalis* 1, *Galeobdolon luteum* 1, *Majanthemum bifolium* 1, *Anemone nemorosa* 1, *Senecio nemorensis* subsp. *fuchsii* 1, *Hepatica triloba* 1, *Dentaria bulbifera* +, *Oxalis acetosella* +, *Brachypodium silvaticum* +, *Viola silvatica* +, *Carex digitata* +. *Festuca gigantea* +, *Lathyrus vernus* +, *Anemone ranunculoides* +, *Corydalis solida* +, *Pulmonaria officinalis* subsp. *obscura* +, *Plantanthera bifolia* +, *Polygonatum multiflorum* +, *Ajuga genevensis* +, *Knautia drymeia* +, *Actaea spicata* +, *Dryopteris filix mas* +, *Athyrium filix femina* +.

Moose: *Plagiomnium cuspidatum* 2, *Pleurozium schreberi* 1, *Dicranum scoparium* 1, *Polytrichum attenuatum* 1, *Brachythecium rivulare* +, *Hypnum cupressiforme* +, *Hylacomium splendens* +, *Eurhynchium zetterstedtii* +.

Die Charakteristik der Bodentemperatur entsprechend unseren Messungsergebnissen führt folgende Tabelle an:

Periode	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	M. Summe T <sub>a</sub> (°C · d)	n
5. 4.—15. 7. 1971	10,4 (10,0—11,0)	10,1 (9,7—10,7)	1026,1	5
15. 7.—14. 11. 1971	9,1	8,9	1082,1	1

Aus diesen Angaben sind die mässig warmen Verhältnisse im Unterholz des untersuchten Eichenbuchenwaldes ersichtlich, auch wenn die erzielten Daten zufolge der Beschädigung der Sommer- bis Herbstserie-Ampullen nicht hinreichend sind.

5. Waldhang unter einer Felswand am Rand der Serpentine am Weg von der oberen Brücke über der Macocha-Schlucht zum Pustý žleb bei den Punkva-Höhlen.

Lokalität: Aufnahmefläche 6 m<sup>2</sup>, Exposition NW, Neigung 20°. Der Deckungsgrad der Baumschicht ausserhalb der Lokalität war 30 %, Deckungsgrad der Krautschicht 80 %, der Moosschicht 20 %. Baumschicht ausserhalb der Lokalität: *Fagus silvatica* 2, *Carpinus betulus* 1, *Acer pseudoplatanus* 1, *Picea excelsa* 1, *Fraxinus excelsior* +.

Krautschicht: *Mercurialis perennis* 4, *Asperula odorata* 2, *Impatiens noli-tangere* 2, *Lunaria rediviva* 2, *Asarum europaeum* 1, *Hepatica triloba* 1, *Galeobdolon luteum* 1, *Melica nutans* 1, *Poa nemoralis* 1, *Oxalis acetosella* 1, *Galium silvaticum* 1, *Knautia drymeia* +, *Geranium robertianum* +, *Chaero-*

*phyllum hirsutum* +, *Chrysosplenium alternifolium* +, *Fragaria vesca* +, *Hieracium vulgatum* +, *Circaea alpina* +, *Cardaminopsis arenosa* +, *Urtica dioica* +, *Sedum telephium* subsp. *maximum* +,

Moose: *Plagiomnium cuspidatum* 2, *Dicranum scoparium* 2, *Hylocomium splendens* 2, *Pleurozium schreberi* 1, *Plagiochila asplenioides* 1, *Eurhynchium zetterstedtii* 1, *Hypnum cupressiforme* +, *Ctenidium molluscum* +.

Über der Messungsstelle erhebt sich eine Felswand mit reicher Moosvegetation, welche die Lokalität beschattet.

Die Charakteristik der Bodentemperaturen an der studierten Lokalität stellt diese Tabelle dar:

Periode	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	M. Summe T <sub>a</sub> (°C · d)	n
5. 4.—5. 7. 1971	8,6 (7,8—9,6)	8,3 (7,6—9,3)	763,6	3
5. 4.—15. 7. 1971	9,6	9,3	948,6	1
15. 7.—14. 11. 1971	8,9 (7,9—9,5)	8,6 (7,6—9,2)	1051,6	4

Aus den angeführten Angaben geht der während der ganzen Vegetationsperiode etwas kühlere Charakter dieses Standortes hervor, der sowohl durch die Exposition, als auch durch die Beschattung bedingt ist.

6. Lindenahornwald an dem Punkva-Fluss in Pustý žleb, nächst des kleinen Betonhäuschens für die Flussregulierung.

Lokalität: Aufnahmefläche 20 m<sup>2</sup>, Exposition NO, Neigung 10°; der Deckungsgrad der Baumschicht war 30 %, der Krautschicht 90 % und der Mooschicht 10 %.

Die Artenzusammensetzung war folgende: *Tilia platyphylla* 2, *Acer pseudo-platanus* 1, *Quercus petraea* 1, *Fraxinus excelsior* +; Krautschicht: *Lunaria rediviva* 3, *Galeobdolon luteum* 3, *Asarum europaeum* 2, *Mercurialis perennis* 2, *Dentaria enneaphyllos* 1, *Impatiens noli tangere* 1, *Urtica dioica* 2, *Brachypodium silvaticum* 1, *Festuca gigantea* 1, *Carex digitata* 1, *Lamium maculatum* +, *Geranium robertianum* +, *Chelidonium majus* +, *Oxalis acetosella* +, *Actaea spicata* +, *Dentaria bulbifera* +, *Senecio nemorensis* subsp. *fuchsii* +, *Anemone ranunculoides* +, *Corydalis solida* +, *Aconitum vulpura* +, *Alliaria officinalis* +, *Athyrium filix femina* +, *Phegopteris robertiana* +; Moose: *Mnium undulatum* 2, *Eurhynchium zetterstedtii* 2, *Plagiochila asplenioides* 1, *Brachythecium rivulare* 1, *Hylocomium splendens* 1, *Hypnum cupressiforme* 1, *Thuidium philibertii* +.

Die Charakteristik der Bodentemperaturen zeigt folgende Tabelle:

Periode	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	M. Summe T <sub>a</sub> (°C · d)	n
5. 4.—15. 7. 1971	8,3 (8,0—9,1)	8,1 (7,8—8,8)	823,1	4
15. 7.—14. 11. 1971	7,3 (7,1—7,5)	7,0 (6,9—7 2)	856,4	4

Tab. 1. — Assoz. *Sesleria calcariae-Saxifragetum aizoonis* KLIKA 1941

Laufende Nr.	1	2	3
Aufnahmefläche (m <sup>2</sup> )	2	3	2
Exposition	SO	SW	SO
Neigung	60°	70°	50°
Deckungsgrad der Krautschicht (%)	80	70	60
Deckungsgrad der Moosschicht (%)	10	20	10
<hr/>			
<i>Festuca glauca</i> LAM.	3	2	1
<i>Sesleria calcaria</i> (PERS.) OPIZ	2	3	2
<i>Saxifraga aizoon</i> JACQ.	2	1	1
<i>Festuca sulcata</i> (HACK.) NYM.	1	2	1
<i>Carex humilis</i> LEYSS.	1	1	1
<i>Melica transsilvanica</i> SCHUR	2	1	+
<i>Asperula cynanchica</i> L.	+	1	1
<i>Carex caryophyllea</i> LAT.	+	.	+
<i>Potentilla arenaria</i> BORKH.	+	1	1
<i>Sedum acre</i> L.	1	1	+
<i>Sedum album</i> L.	+	1	+
<i>Sedum telephium</i> L. subsp. <i>maximum</i> (L.) ROUY et CAM.	.	+	+
<i>Thymus pulegioides</i> L.	1	.	+
<i>Seseli osseum</i> CR. subsp. <i>devenyense</i> (SIMK.) THELL.	1	+	.
<i>Allium flavum</i> L.	+	+	.
<i>Allium senescens</i> L. subsp. <i>montanum</i> (SCHM.) BECK	.	+	+
<i>Biscutella laevigata</i> L.	1	+	.
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.	+	1	+
<i>Galium mollugo</i> L.	1	.	+
<i>Galium pumilum</i> MURR. subsp. <i>asperum</i> (SCHREB.) DOST.	+	.	.
<i>Polygala vulgaris</i> L.	+	.	+
<i>Calamintha acinos</i> (L.) CLAIRV.	+	+	.
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.	.	.	+
<i>Cynanchum vincetoxicum</i> (L.) PERS.	.	+	+
<i>Stachys recta</i> L.	.	+	.
<i>Euphorbia polychroma</i> KERN.	.	+	+
<i>Euphorbia cyparissias</i> L.	+	.	+
<i>Arabis hirsuta</i> (L.) SCOP.	.	.	+
<i>Anthericum ramosum</i> L.	+	.	+
<i>Polygonatum odoratum</i> (MILL.) DRUCE	.	+	.
<i>Origanum vulgare</i> L.	+	.	.
<i>Helianthemum nummularium</i> (L.) MILL.	+	+	.
<i>Coronilla varia</i> L.	+	.	+
<i>Calamintha clinopodium</i> SPENNER	.	+	+
<i>Fragaria vesca</i> L.	1	+	.
<i>Bupleurum falcatum</i> L.	+	.	+
<i>Hypericum perforatum</i> L.	.	.	+
<i>Sanguisorba minor</i> SCOP.	+	.	.
<i>Verbascum austriacum</i> SCHOTT	.	+	+
<i>Cardaminopsis arenosa</i> (L.) HAY.	.	+	+
<i>Centaurea stoebe</i> (L.) SCH. et THELL. subsp. <i>rhenana</i> (BOR.) GUGL.	.	.	+
<hr/>			
Moosarten:			
<i>Tortella tortuosa</i> (HEDW.) LIMPR.	1	+	1
<i>Grimmia pulvinata</i> (HEDW.) SMITH	1	+	+
<i>Homalothecium sericeum</i> (HEDW.) BR. eur.	.	1	1
<i>Ditrichum flexicaule</i> (SCHLEICH) HAMPE	+	.	.
<i>Syntrichia ruralis</i> BRID.	+	+	.
<i>Rhytidium rugosum</i> (HEDW.) KINDB.	+	.	+
<i>Grimmia apocarpa</i> HEDW.	.	+	.

Aus den angeführten Angaben ist der kühle Charakter dieser Lokalität während der ganzen Vegetationsperiode ersichtlich. Die Kühle des Standorts wird durch den Einfluss der inversionshervorrufenden Lage zusammen mit der Beschattung und Bodenfeuchtigkeit verursacht. Sie kann mit dem Charakter des nachfolgenden Fundorts des bedeutenden Farnkrauts *Phyllitis scolopendrium* auf dem „Makowsky“ — Felsen gut verglichen werden.

7. Standort des seltenen Farnkrauts *Phyllitis scolopendrium* (L.) NEWM., am „Makowsky“-Felsen in Pustý žleb, unweit von den Punkva-Höhlen.

Die Temperaturmessungen ermittelten wir einerseits an einem schattigen und extrem feuchten Felsenriff — oberer Teil der Lokalität, andererseits unter der Felswand in einer Schlucht — unterer Teil der Lokalität.

1. Oberer Teil der Lokalität: die Aufnahmefläche war 2 m<sup>2</sup>, Exposition NW, Neigung 40°; die Baumschicht ist entwickelt nur ausserhalb der Lokalität, allerdings beschattet sie die Lokalität auf 40 %; der Deckungsgrad der Krautschicht war 60 %, der Moosschicht 80 %.

Die Arten: *Phyllitis scolopendrium* 4, *Cystopteris fragilis* 3, *Asplenium trichomanes* 2; Moose: *Thamnium alopecurum* 3, *Neckera crispa* 3, *Plagiochila asplenioides* 2, *Fegatella conica* 2, *Mnium undulatum* 1, *Homalothecium philippeanum* 1, *Eurhynchium zetterstedtii* 1, *Homalothecium sericeum* 1, *Distichium capillaceum* +, *Dicranum montanum* +.

2. Unterer Teil der Lokalität: Aufnahmefläche 6 m<sup>2</sup>, Exposition NO, Neigung 10°—15°; der Deckungsgrad der Baumschicht war 30 %, der Krautschicht 80 %, der Moosschicht 20 %.

Die Baumschicht bilden: *Fagus sylvatica* 2, *Carpinus betulus* 1, *Picea excelsa* +; Krautschicht: *Mercurialis perennis* 3, *Galeobdolon luteum* 2, *Impatiens noli tangere* 2, *Dentaria enneaphyllos* 1, *Geranium robertianum* 1, *Festuca gigantea* 1, *Athyrium filix mas* +; Moose: *Polytrichum attenuatum* 1, *Hypnum cupressiforme* 1, *Hylocomium splendens* 1, *Brachythecium rivulare* 1, *Plagiomnium cuspidatum* 1, *Mnium undulatum* 1, *Ctenidium molluscum* 1, *Dicranum scoparium* 1, *Rhytidiadelphus squarrosus* 1, *Pleurozium schreberi* 1, *Rhytidiadelphus triquetrus* 1, *Eurhynchium zetterstedtii* 1.

In der Felsenschlucht, etwa 5 m von der Messstelle entfernt, wurde folgende Aufnahme notiert: Aufnahmefläche: 15 m<sup>2</sup>, Exposition: NO, Neigung 10°, Deckungsgrad der Krautschicht: 85 %, Deckungsgrad der Moosschicht: 20 %, ohne Baumschicht.

Krautschicht: *Mercurialis perennis* 4, *Lunaria rediviva* 4, *Impatiens noli tangere* 3, *Galeobdolon luteum* 2, *Urtica dioica* 2, *Asarum europaeum* 2, *Petasites albus* 2, *Poa nemoralis* 2, *Chaerophyllum hirsutum* 1, *Circaea alpina* 1, *Chrysosplenium alternifolium* 1, *Galium aparine* 1, *Asperula odorata* 1, *Galium silvaticum* 1, *Oxalis acetosella* 1, *Knautia drymeia* 1, *Geranium robertianum* 1, *Chelidonium majus* 1, *Actaea spicata* +, *Hieracium vulgatum* +, *Hepatica triloba* +, *Pulmonaria officinalis* +, *Myosotis silvatica* +, *Cardaminopsis arenosa* +, *Sedum telephium* subsp. *maximum* +, *Pimpinella major* +, *Impatiens parviflora* +; Moose: *Camptothecium lutescens* 1, *Pleurozium schreberi* 1, *Hylocomium splendens* 1, *Polytrichum attenuatum* 1, *Hypnum cupressiforme* 1, *Homalothecium sericeum* 1, *Rhytidiadelphus triquetrus* 1, *Rhytidiadelphus squarrosus* +, *Dicranum scoparium* +, *Brachythecium velutinum* +, *Brachythecium rivulare* +, *Amblystegium confervoides* +, *Ctenidium molluscum* +, *Plagiomnium cuspidatum* +, *Thuidium abietinum* +, *Isoetium myurum* +.

An einem bedeutenden Fundort der Hirschwurze [*Phyllitis scolopendrium* (L.) NEWM.] sind ausgeprägte Moosgesellschaften vorhanden:

Lokalität 1.

Feuchte, schattige, steile Felswand, Aufnahmefläche: 1 m<sup>2</sup>, Exposition NO, Neigung: 80°, Deckungsgrad: 95 %.

Assoz. *Thamnietum alopecuri* ŠM. 1947

*Thamnium alopecurum* 4, *Fegatella conica* 2, *Plagiochila asplenioides* 2, *Anomodon viticulosus* 1, *Homalothecium philippeanum* 1, *Brachythecium rivulare* 1, *Distichium capillaceum* 1, *Ctenidium*

*molluscum* +, *Fissidens taxifolius* +, *Metzgeria pubescens* +, *Lophozia barbata* +, *Neckera crispa* +, *Mnium undulatum* +, *Thuidium tamariscifolium* +.

Lokalität 2.

Halbbeschattete Felswand, Aufnahmefläche: 1 m<sup>2</sup>, Exposition NO, Neigung 70°, Deckungsgrad: 85 %.

### Assoz. *Neckeretum crispae* ŠM. 1947

*Neckera crispa* 4, *Thamnum alopecurum* 3, *Plagiochila asplenioides* 2, *Anomodon viticulosus* 1, *Ctenidium molluscum* 1, *Fissidens taxifolius* 1, *Metzgeria pubescens* +, *Homalothecium sericeum* +, *Hylocomium splendens* +, *Amblystegium confervoides* +; von den Farnkräutern wachsen hier: *Cystopteris fragilis* 1, *Asplenium trichomanes* +, von den höheren Pflanzen: *Galeobdolon luteum* +, *Geranium robertianum*.

Die Charakteristik der Bodentemperaturen an der bedeutenden Lokalität der Hirschzunge ist in folgender Tabelle dargestellt:

Periode	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	M. Summe T <sub>a</sub> (°C · d)	n
5. 4.—5. 7. 1971	7,5 (7,1—7,9)	7,3 (6,9—7,6)	672,5	3
5. 4.—15. 7. 1971	9,2 (8,8—9,8)	8,9 (8,5—9,5)	905,8	6
15. 7.—14. 11. 1971				
ober. T. d. Lok.	7,2 (6,7—7,6)	7,0 (6,5—7,4)	855,2	3
unter. T. d. Lok.	5,8 (5,7—5,9)	5,6 (5,5—5,7)	680,8	2

In der Frühjahrs- und Sommerperiode haben wir bei den bodenkundlichen Temperaturmessungen die in beiden Teilen der Lokalität angebrachten Ampullen zusammen ausgewertet. Die erzielten Ergebnisse stellen daher eine durchschnittliche Charakteristik des ganzen Standortes dar. Aus dem Unterschied zwischen den Angaben aus der Zeitspanne vom 5.4. bis 5.7. und der nur um 10 Tage längeren Periode (5. 4. bis 15. 7.) ist der ausdrucksvolle Einfluss der höheren Jultemperaturen auf die Verschiebung der Mitteltemperatur in Richtung zu den höheren Werten ersichtlich. Dieser Einfluss macht sich hier im höheren Mass bemerkbar als an den übrigen Lokalitäten, wo die Ampullen sowohl am 5. 7. als auch am 15. 7. entnommen wurden.

In der Sommer- bis Herbstperiode werteten wir die Ergebnisse aus dem oberen und aus dem unteren Teil der Lokalität getrennt aus. Die durchschnittlichen Bodentemperaturen aus dem oberen Teil entsprechen den Werten der übrigen analog kühlen Standorte, z. B. unter der Felswand an der Serpentine von der oberen Brücke zu Pustý žleb oder am Hang beim Punkva-Ausfluss.

Im unteren Teil der Lokalität ist es aber aussergewöhnlich kalt. Ihren Einfluss übt hier offensichtlich nicht nur die inversionsfähige Lage und die Beschattung aus, sondern auch der Mangel an direkter Sonnenstrahlung während der Zeit, wo die Tagessonnenbahn nach und nach tiefer unter den Horizont sinkt. Hier vermerkten wir ebenfalls die niedrigsten Temperaturen, die an sämtlichen Lokalitäten in beiden Messungsreihen festgestellt wurden.

In der vorliegenden Arbeit versuchten die Verfasser, auf Grund eines beweiskräftigen Materials aus dem Mährischen Karst auf eine Korrelation zwischen der mikroklimatischen Verschiedenartigkeit der Standorte und der Mannigfaltigkeit der Vegetationstypen auf einem kleinen Gebiet hinzuweisen. Auf diese auffallende Erscheinung machten hier z. B. PODPĚRA (1928), ŠMARDA et VANĚČKOVÁ (1964) und ŠMARDA (1967) aufmerksam. Die mikroklimatische Verschiedenartigkeit kommt deutlich in den Temperaturverhältnissen einzelner Standorte zum Ausdruck. Für die gewählten charakteristischen Lokalitäten bedienen wir uns bei Ermittlung der Temperaturverhältnisse der bewährten expeditiven Invertzuckermethode. Nach dieser Methode arbeiteten bei uns als erste SLAVÍK, SLAVÍKOVÁ et JENÍK (1957) bei Verfolgung der mikroklimatischen Differentiation bei der kesselartigen Walderneuerung. Mit Erfolg machte sie sich auch bei breiteren Vergleichen der unterschiedlichen Temperaturverhältnisse in den Pflanzengesellschaften geltend, die sowohl durch Makro- als auch Mikrodifferentiation verursacht wurden (KVĚT 1960, JENÍK 1961, MICHALCO et DŽATKO 1965). In unserem Fall konnten wir mit dieser Methode deutlich die ausgeprägt warmen, die kühlen und die Übergangsstandorte unterscheiden, obwohl KVĚT (1960) die Möglichkeit einer Anwendung der Invertzuckermethode in Temperaturinversionslagen bezweifelte.

Die Unterschiede in den festgestellten Werten widerspiegeln die Verschiedenartigkeit der Exposition und des Temperaturinversionsgrades sowie auch des Kronenschlusses. Über die Existenz der Temperaturinversionen im Mährischen Karst wurde bereits eine Diskussion geführt (ŠMARDA et VANĚČKOVÁ 1964); offensichtlich sollte man einen Unterschied zwischen den grossflächigen inversen Situationen, die hier praktisch nicht in Betracht kommen, und den kleinflächigen, mikroklimatisch bedingten Temperaturinversionen, die unserer Ansicht nach hier zustande kommen, machen. Obzwar unsere Messungsergebnisse nicht als vollkommen absolut betrachtet werden können, ist doch ein Vergleich der Gesamtsumme der für die einzelnen untersuchten Lokalitäten festgestellten Temperaturen interessant, u. zw. sowohl in der Frühjahrs- bis Sommermessung, als auch in der Messung im Sommer bis Herbst. Es folgt daraus eine Differentiation der Untersuchungsflächen in drei Gruppen, wobei die Felsungen über Pustý žleb und dem sog. „Federgrashang“ bei weitem die wärmsten, und die feuchten, schattigen und nördlich exponierten Hänge am Grund des Pustý žleb die kältesten sind. Für den Fundort der Art *Phyllitis scolopendrium* unter dem sog. „Makowsky“-Felsen ist der kalte Charakter bezeichnend. Unsere Messungen bestätigen den deutlichen Unterschied in den Temperaturverhältnissen zwischen dieser Lokalität, die sich mit ihren Standorts- und auch Vegetationsverhältnissen etwas den Gebirgsfichtenpflanzengesellschaften nähert, und den untersuchten Lokalitäten in den Buchenwäldern. Es handelt sich also um solche Unterschiede, die im grossflächigen Massstab voneinander durch Vegetationszonen getrennt werden.

Zugleich mit unseren Messungen führte GRÜLL (Manuskript) mit der gleichen Ampullenserie Temperaturmessungen an Ruderalstandorten in Brno (Brünn) durch. Die Temperaturangaben der verhältnismässig kältesten Standorte der Assoziation *Chenopodietum ruderale* OBERD. 1957 entsprachen

ungefähr den Temperaturverhältnissen an den wärmsten Standorten des Mährischen Karstes.

Mit den gleichen Ampullen und ungefähr zu derselben Zeit nahm Šmíd (1975) in den Schilfbeständen am südmährischen Teich Nesyt Messungen der Wasser- und Teichbodentemperatur vor. Auch hier entsprachen die höchsten Werte des dauernd durchwärmten Wassers des Nesyt-Teiches ungefähr den Angaben von unseren wärmsten Lokalitäten im Mährischen Karst. Die Analogie dieser Temperaturdaten trägt zur Erklärung der Bedingungen für das Vorkommen der wärmeliebenden Vegetationselemente in Südmähren bei, auch wenn es sich um ansonsten unterschiedliche Standorte handelt.

Abschliessend möchten wir darauf aufmerksam machen, dass unsere mit der Invertzuckermethode ermittelten Werte in ihrer Art für die Region des Mährischen Karstes die ersten sind, und dass sie besonders zutreffend die Lokalität der bedeutenden und geschützten Art *Phyllitis scolopendrium* und ihrer weiteren bedeutenden Gebirgs- und Vorgebirgsbegleiter: *Lunaria rediviva*, *Knautia drymeia*, *Circaea alpina*, *Actaea spicata*, *Dentaria enneaphyllos* u. a. charakterisieren.

## SOUHRN

Metodou inverze sacharózy byla prokázána výrazná diferenciacie teplotních poměrů v bohatě členitém území Moravského krasu a to jednak na silně osluněných skalních ostrožnách a jednak na dně hlubokých krasových žlebů.

V metodice popisujeme způsob měření půdních teplot a provedení výpočtů na základě rychlosti inverze sacharózy podle Pallmannova principu.

V Moravském krasu zjišťujeme maloplošné, mikroklimaticky podmíněné teplotní inverze.

Výsledky našich měření nepovažujeme za zcela absolutní, přesto z nich vyplývá diferenciacie sledovaných lokalit: nejvýhřevnější jsou skalní ostrožny nad Pustým žlebem, nejhladnější jsou vlhké, zastíněné stráně na dně Pustého žlebu, přičemž vyniká studený charakter největší lokality druhu *Phyllitis scolopendrium* pod skálou „Makowského“.

Naše měření dokazují výrazný rozdíl v teplotních poměrech mezi touto lokalitou, která se svými stanovištními poměry i vegetačně poněkud blíží horským smrčínám, a mezi sledovanými lokalitami v bučinách. Že tedy o takové rozdíly, které ve velkoplošném měřítku vzájemně odlišují vegetační pásma.

Připomínáme, že naše údaje získané metodou inverze sacharózy jsou první svého druhu pro oblast Moravského krasu a že zejména výstižně charakterizují lokalitu významného chráněného druhu *Phyllitis scolopendrium* a jej doprovázejících horských a podhorských druhů.

## LITERATUR

- BERTHET P. (1960): La mesure écologique de la température par détermination de la vitesse d'inversion du saccharose. — *Vegetatio*, den Haag, 9 : 197—207.
- JENÍK J. (1961): Alpinská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. — Praha.
- KUNDLER P. (1954): Zur Anwendung der Invertzuckermethode für standortkundliche Temperaturmessungen. — *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkn.*, Berlin, 66 : 239—246.
- KVĚT J. (1960): Stanovení půdních teplot metodou inverze sacharózy. — *Sborník II. celostátní bioklimatol. konf.*, p. 381—386. — Praha.
- LEE R. (1969): Chemical temperature integration. — *J. Appl. Meteor.*, Washington D.C., 8 : 423—430.
- MICHÁLKO J. et M. DŽATKO (1965): Fytoocenologická a ekologická charakteristika rastlinných spoločností lesa Dubník pri Sereďi. — *Biol. Práce SAV*, Bratislava, 11 (5) : 47—115.
- PALLMANN H., E. EICHENBERGER et A. HASLER (1940): Eine neue Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. — *Ber. Schweiz. Bot. Ges.*, Zürich, 50 : 337—362.
- PETŘÍK B. et J. KVĚT (1976): Computation of temperature data from sucrose-inversion measurements. — *Folia Geobot. Phytotax.*, Praha, (im Druck).
- PODPĚRA J. (1928): Die Vegetationsverhältnisse im Gebiete des Mährischen Karstes im Vergleich mit der nächsten Umgebung. Ein Beitrag zur Pflanzengeographie Mährens. — *Čas. Mor. Zem. Mus.*, Brno, 26 : 1—113.

- QUITT E. (1971): Teplotní a srážková charakteristika Moravského krasu. — Zpr. Geogr. Úst. ČSAV, Brno, 5 : 16—28.
- SLAVÍK B., J. SLAVÍKOVÁ et J. JENÍK (1957): Ekologie kotlíkové obnovy smíšeného lesa. — Rozpravy ČSAV, ser. math. — nat. Praha, 67 (2) : 1—155.
- ŠMARDA J. (1967): Vegetační poměry Moravského krasu I, II. — Sborn. Slov. Úst. Pam. Starostlivosti a Ochrany Přír., Bratislava, 3 : 139—168; 4 : 141—163.
- ŠMARDA J. et L. VANĚČKOVÁ (1964): The vegetative inversion on the example of the Moravian Karst. — J. Czechosl. Geogr. Soc., Praha, Suppl. for the XXth Intern. Geogr. Congr. London 1964 : 111—115.
- ŠMÍD P. (1976): Sucrose-inversion temperature measurements at the Nesyt fishpond, South Moravia. — Aquatic Botany, Amsterdam.
- VANĚČKOVÁ L. (1971): Výsledky měření teplot jako součást fytogeografických výzkumů v Moravském krasu. — Zpr. Geogr. Úst. ČSAV, Brno, 5 : 16—28.
- VANĚČKOVÁ L. et F. GRÜLL (1967): Botanická literatura chráněné krajinné oblasti Moravský kras a přehled botanických výzkumů. — Zprávy o věd. činnosti č. 8, Geogr. úst. ČSAV, Brno, 1—118.

Eingegangen am 2. September 1975

Rezensent: J. Vicherek