

## Lišejníky a znečištění ovzduší na Liberecku

### Flechten und Luftverunreinigung im Gebiet von Liberec

Petr Anděl a Zdeněk Černožorský

ANDĚL P.<sup>1</sup>) et Z. ČERNOŽORSKÝ<sup>2</sup>) (1978): Lišejníky a znečištění ovzduší na Liberecku. [Lichens and air pollution in the Liberec area.] — Preslia, Praha, 50 : 341—359.

The use of epiphytic lichens as indicators of atmospheric purity in the Liberec area (N. Bohemia) is discussed. Field research covered the entire corticolous lichen vegetation of 206 localities. The evaluation was made by the index of atmospheric purity (IAP) by LeBlanc et De Sloover, partially modified by Pišút et Lisická-Jelínková) and the total number of species found at the individual localities. The values obtained are clearly correlated with the annual average SO<sub>2</sub> concentration in the air. The results make it possible to delimit three zones, i.e. the most, less and least polluted (the last one including two subzones), in the area studied.

<sup>1</sup>) Tyršova 4, 460 01 Liberec 5, Československo. <sup>2</sup>) Katedra botaniky Přírodovědecké fakulty University Karlovy, Benátská 2, 128 01 Praha 2, Československo.

### ÚVOD

Ke sledování čistoty ovzduší se vedle fyzikálních a chemických metod využívá i biologické indikace, založené na specifických reakcích některých organismů v prostředí zasaženém exhaláty. Z tohoto hlediska zaujímají zcela výjimečné postavení epifytické lišejníky, které jsou velmi citlivé i na nízké koncentrace škodlivin, především SO<sub>2</sub> ve vzduchu, a výrazně ustupují z okolí průmyslových závodů, měst a jiných zdrojů emisí. Tento jev studovala řada lichenologů (např. u nás PIŠÚT 1971, v cizině HAWKSWORTH et al. 1973, ROSE 1973 aj.). Na základě srovnání starších herbářových položek a dříve publikovaných údajů o výskytu lišejníků v určitém území se současným stavem v témže území mohly být vytypovány skupiny lišejníkových druhů s různou citlivostí. Rozšíření těchto indikačních druhů lze využít k vymezení zón s různým stupněm znečištění, jak to činili např. PIŠÚT (1962), JELÍNKOVÁ (1973), LAUNDON (1967), SKYE (1968) a další. Nesporným přínosem při řešení této problematiky bylo využití některých kvantitativních, popř. semikvantitativních metod. LEBLANC et DE SLOOVER (1970) použili metodu IAP (index of atmospheric purity), podle níž se na základě hodnocení lišejníkové vegetace jako celku přiřadí každému stanovišti číselná hodnota, udávající stupeň čistoty ovzduší toho kterého místa. Spojením míst se stejnou hodnotou IAP lze graficky znázornit rozložení exhalací v daném území. Této metody dále použili např. LEBLANC (1972), PIŠÚT et LISICKÁ-JELÍNKOVÁ (1974). Kvantitativním hodnocením lišejníkové vegetace v městském prostředí se dále zabývali např. HURKA et WINKLER (1973) nebo HAJDŮK et al. (1975). Autoři poslední práce si důkladně všimli nejen znečištění ovzduší, nýbrž i ostatních faktorů, které mohou mít vliv na výskyt lišejníků.

Literatura týkající se vztahu lišejníků a znečištěného ovzduší je velmi rozsáhlá. Podrobně ji uvádějí FERRY et al. (1973) a HAWKSWORTH (1974—1977). V české literatuře mají rozsáhlejší přehledy SOBOTKOVÁ (1969) a LIŠKA (1975).

Nomenklaturu lišejníků uvádíme podle současných zvyklostí (srov. např. DAHL et KROG 1973, JAMES 1965, 1966, OZENDA et CLAUZADE 1970, POELT 1969), avšak pro úsporu místa bez autorských zkratk.

Otázkám přírodního prostředí se u nás v poslední době věnuje stále větší pozornost, a proto publikujeme tuto práci česky, abychom její obsah zpřístupnili širokému okruhu českých a slovenských čtenářů Preslie. K práci připojujeme německé shrnutí.

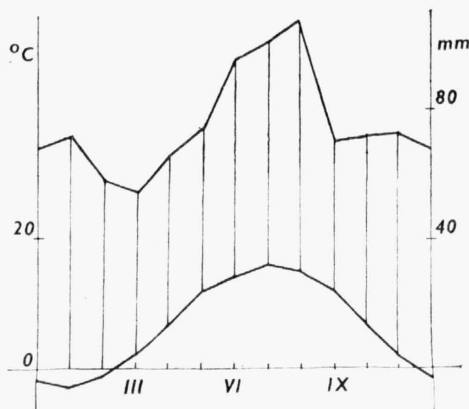
Autoři považují za svou milou povinnost poděkovat všem, kdož jakkoliv přispěli k zdárnému průběhu terénních prací nebo k jejich literárnímu zhodnocení. Jsou to především pracovníci Okresní hygienické stanice v Liberci a Městského národního výboru v Liberci, dále recenzent RNDr. I. Pišút, CSc. a posléze RNDr. M. Kovanda, CSc., prof. RNDr. E. Daumann, CSc., věd. aspirant J. Liška, A. Roubal a RNDr. V. Skalický, CSc.

## PŘEHLED LICHENOLOGICKÉHO VÝZKUMU LIBERECKA

Lichenologický výzkum okolí Liberce byl značně nerovnoměrný. Většina autorů (ANDERS 1921, 1925, EHRLICH 1927, částeč. HILITZER 1925, MENZEL 1849, NÁDVORNÍK 1951, SERVÍT 1925 aj.) se soustředila na oblast Jizerských hor a Ještědského hřbetu, kde ovšem sbírali již i starší lichenologové. Naproti tomu Liberecké kotliny si všímá pouze např. MATOUŠČEK (1903) a podhůří Jizerských hor částečně NÁDVORNÍK (1951). V některých pracech však postrádáme často bližší označení lokalit.

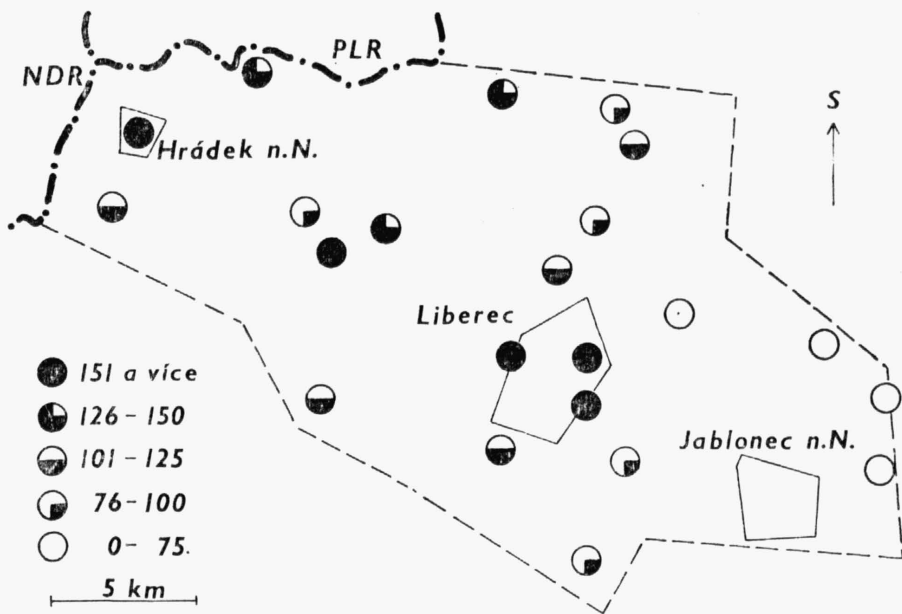
## VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

Studované území leží v severních Čechách v okrese Liberec a Jablonec n. N. Tvoří je povodí řeky Nisy na území ČSSR, nepočítaje v to však povodí řeky Smědé. Je zhruba vymezeno takto: s. hranice je totožná se státní hranicí ČSSR a PLR, dále vede na Špičák (724 m n. m.) a Poledník (864 m n. m.); sv. a v. hranici určují Olivetská hora (876 m n. m.), obec Hrabětice, Krásný (790 m n. m.) a Černá Studnice (869 m n. m.); j. a jz. hranice spojuje kóty Císařský kámen (637 m n. m.), Javorník (685 m n. m.), Ještěd (1012 m n. m.), Malý Ještěd (750 m n. m.), Vápenný (790 m n. m.) a Popovu skálu (569 m n. m.); z. hranice splývá se státní hranicí ČSSR a NDR. Takto vymezené území zaujímá přibližně plochu 350 km<sup>2</sup>.



Obr. 1. — Klimadiagram stanice Liberec, 402 m n. m., průměrný roční úhrn srážek 918 mm, průměrná roč. teplota 7,1 °C.

Horopisně (BALATKA et al. 1973, DEMEK et al. 1965) patří studované území do Sudetské soustavy, podsoustavy Západní Sudety. Jádrem je Žitavská pánev, která se na území ČSSR dělí na dva podeckly, Hrádeckou pánev a Libereckou kotlinu. Ty jsou na jz. ohraničeny svahy



Obr. 2. — Roční průměry prašnosti v  $t/km^2$  (zpracováno podle výsledků měření OHS Liberec za léta 1965–69).

Lužických hor a Ještědsko-kozákovského hřbetu, na sv. svahy Jizerských hor. Pro Hrádeckou pánev jsou charakteristické široké hřbety s mělkými údolními, s průměrnou nadmořskou výškou kolem 300 m n. m. Liberecká kotlina má reliéf mnohem rozmanitější a členitější. Nadmořská výška se zde značně mění, a to od cca 350 m ve středu Liberce až např. do 600 m n. m. v Janově n. N. Z Jizerských hor zasahuje do studovaného území pouze malá jz. a z. část; nejvyššími vrcholy zde jsou Olivetská hora (876 m n. m.), Poledník (864 m n. m.) a Brdo (876 m n. m.).

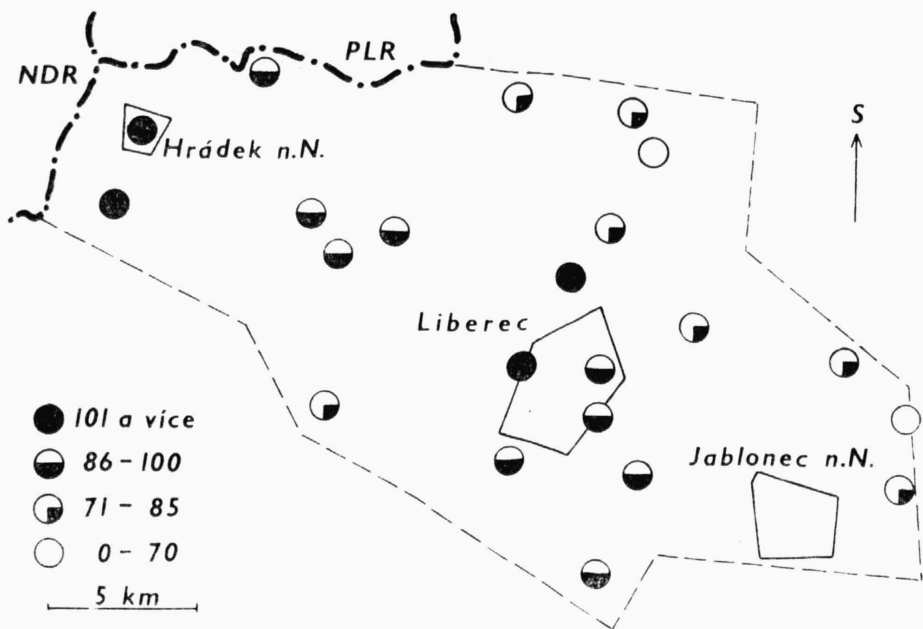
Vodní síť je poměrně hustá a je tvořena především značným množstvím horských potoků, většinou krátkých, ale vodnatých. Odvodňovací osou je Lužická Nisa, vznikající soutokem Jablonecké, Bedřichovské a Černé Nisy.

V podkladu jsou zastoupeny především proterozoické a paleozoické horniny. Podrobnosti viz ŽITNÝ (1966).

Fytogeograficky náleží celé území do oblasti středoevropské lesní květeny (Hercynicum), s podoblastmi Sub-Hercynicum a Sudeticum (DOSTÁL 1960).

Lesy zaujímají více než třetinu plochy a vyskytují se velmi nepravidelně. Převážná část lesů je soustředěna v souvislých porostech na svazích Jizerských hor, Ještědského pohoří a Lužických hor. V Hrádecké pánvi a Liberecké kotlině se vyskytují většinou jen drobné roztroušené lesíky, jejichž počet a rozloha roste směrem k východu.

Klimaticky (QUITZ 1971, VESECKÝ et al. 1958, 1961) je zkoumané území velmi nejednotné. Na celkové malé ploše je zastoupeno pět klimatických jednotek a prochází zde hranice mezi oblastí mírně teplou a chladnou. Do mírně teplé oblasti spadá celá Hrádecká pánev, Liberecká kotlina a svahy Lužických hor. Do chladné oblasti patří nejvyšší partie Ještědského pohoří a Jizerské hory. Nejteplejší částí území je Hrádecká pánev, především na severozápadě v nejbližším okolí Hrádku n. N. Průměrná roční teplota je zde zhruba  $7^{\circ}C$ , průměrný roční úhrn srážek méně než 800 mm. Zbytek Hrádecké pánve a zejména celá Liberecká kotlina vykazují podnebí poněkud chladnější (průměrná roční teplota přibližně  $6^{\circ}C$ , průměrný roční úhrn srážek asi 900 mm). Nejchladnější částí území jsou již zmíněné svahy Jizerských hor a nejvyšší polohy Ještědského pohoří. Průměrná roční teplota je zde  $5-6^{\circ}C$ , průměrný roční úhrn srážek na návětrné straně Jizerských hor dosahuje, popř. překračuje 1200 mm, čímž se řadí k nejvlhčím oblastem v Čechách. Další klimatické charakteristiky studovaného území: průměrný počet dnů se srážkami 1,0 mm a více za rok je 120–140; průměrný počet dnů se srážkami 0,1 mm a více



Obr. 3. — Roční průměry obsahu SO<sub>2</sub> ve vzduchu v µg/m<sup>3</sup> (zpracováno podle výsledků měření OHS Liberec za léta 1965—69).

za rok je v Liberci 176,8, v Lučanech n. N. 196,3, v Albrechticích u Frýdlantu v Č. 146,5; průměrná roční relativní vlhkost vzduchu je kolem 80 %; průměrný počet dnů s mlhou za rok je v Liberci 50,2.

Pro charakterizování větrných podmínek jsme neměli dostatek podkladů. Podle údajů o průměrné četnosti směru větrů z meteorologické stanice Liberec za léta 1946—1954 jsou v sestupném pořadí nejčetnějšími větry (roční průměr) směru j., sz., jv., s. a méně četné větry směru jz., z., sv. a v. (bezvětří 18,6 %). STUHLÍK et KŘIVÁNKOVÁ (1966) řadí naše území do oblasti s převládajícím sz. a s. větrem.

Průběh průměrných měsíčních teplot vzduchu a průměrných měsíčních úhrnů srážek v Liberci je zachycen na klimadiagramu sestrojeném podle Waltera a Lietha (WALTER et LIETH 1960—67), ovšem v zjednodušené formě (obr. 1). Potřebná data jsou z Veseckého (VESECKÝ et al. 1958, 1961).

### ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ NA LIBERECKU

Zkoumané území je významnou průmyslovou oblastí, především s rozvinutým průmyslem strojírenským a textilním, na východě také sklářským. Naprostá většina průmyslových podniků je soustředěna v údolí řeky Nisy, ve městech Liberec, Jablonec n. N., Vratislavice n. N., Chrastava a Hrádek n. N. V dalších místech jde již o menší zdroje znečištění.

Na celém území je zhruba 100 podniků podléhajících evidenci podle zákona č. 35/1967 Sb., v samotném Liberci kolem 40. Jsou to znečišťovatelé, u nichž spalované množství paliva přesahuje 200 kg/hod. nebo 200 t/rok. Řada menších podniků však kontrole uniká, jak ukázala měření u závodů se spotřebou paliva nad 50 t/rok, prováděná podle usnesení vlády ČSR z 27. 10. 1971 č. 254.



Obr. 4.



Obr. 5.

Obr. 4. — Průběh znečištění ovzduší během roku (zpracováno podle výsledků měření OHS Liberec za léta 1965–69); a — průměrná měsíční koncentrace SO<sub>2</sub> v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , b — průměrná měsíční prašnost v  $\text{t}/\text{km}^2$ .

Obr. 5. — Závislost znečištění ovzduší na nadmořské výšce (zpracováno podle výsledků měření OHS Liberec za léta 1965–69); a — koncentrace SO<sub>2</sub> v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , b — prašnost v  $\text{t}/\text{km}^2$ , nadmořská výška: 2 — 201–300, 3 — 301–400, 4 — 401–500, 5 — 501–600, 6 — 601–700, 7 — 701–800 m n. m.

Kromě zmíněných podniků jsou významným zdrojem exhalátů také topeniště v domácnostech, zvláště ve městech s hustou zástavbou a převážně staršími domy. K znečištění ovzduší přispívá i rozvinutá dopravní síť. Liberec je železničním uzlem, z něhož vychází pět železničních tratí; silniční síť je velmi hustá. Konečně — i když nikoliv na posledním místě — je třeba uvést zvláště vydatné zdroje exhalací ležící mimo studované území: průmyslové komplexy v blízkosti státních hranic na území NDR a PLR; nelze pochopitelně vyloučit ani vliv exhalátů z Podkrušňohorských pánví.

Hlavními polutanty ovzduší jsou prach a kyslíčnk sířičitý. Podle sdělení Okresní hygienické stanice (dále OHS) Liberec bylo při rozborech dešťové vody zjištěno ve vzduchu rovněž zvýšené množství amoniaku (souvisící se zavedením nové technologie úpravy paliva v polských elektrárnách) a dále těžkých kovů (arsen, železo, mangan aj.). V emisích skláren mimo zkoumané území byl dokázán též fluor.

Průměrné roční hodnoty prašnosti a obsahu SO<sub>2</sub> ve vzduchu ve zkoumaném území viz obr. 2 a 3.

Podle směrnice hlavního hygienika ČSSR o přípustných koncentracích nejzávažnějších škodlivin jsou nejvyšší povolené hodnoty spadu prachu

150 t/km<sup>2</sup> za rok a průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> ve vzduchu 0,150 mg/m<sup>3</sup>. U prašnosti jsou povolené hodnoty překročeny ve dvou oblastech: 1. V údolí řeky Nisy, tj. v jádru studovaného území (Hrádek n. N., Panenská Hůrka, Liberec). 2. V těsném sousedství zkoumaného území ve Frýdlantském výběžku (zřejmý vliv komplexu elektráren v PLR). Nejhorší situace je v městě Liberci. Prašný spad na 15,4 % plochy města překračuje 450 t/km<sup>2</sup> za rok, na 81 % plochy je v rozmezí 150–450 t/km<sup>2</sup> za rok a pouze na 3,6 % plochy je splněna hygienická směrnice (ANONYMUS 1968).

Relativně příznivější situace je ve znečišťování ovzduší kyslíčnickem siričitým. Oblasti nejvíce znečištěné jsou tytéž jako u prašnosti. Celkově nejméně je zasažena oblast Jizerských hor, kde průměrné hodnoty SO<sub>2</sub> ve vzduchu se pohybují zhruba v rozmezí od 0,050 do 0,070 mg/m<sup>3</sup>. Přestože uvedená množství SO<sub>2</sub> zde nedosahují nejvyšší přípustné koncentrace, jsou poměrně vysoká: poškozují jehličnany, a tedy i tamější lesy.

Množství SO<sub>2</sub> ve vzduchu se během roku velmi výrazně mění (obr. 4). Maxima se dosahuje v zimě, což souvisí s vysokou spotřebou paliva v uvedené době, především v domácnostech. Významný je v této souvislosti také zvýšený počet tepelných izotermií a inverzí v zimním období, při nichž je rozptýl exhalací zhoršen (srov. MATERNA 1973, HRDÁ et al. 1977). Minimum je v letních měsících. Hodnoty prašnosti nevykazují již tak charakteristický průběh.

Znečištění ovzduší se mění i s nadmořskou výškou (obr. 5). Je to způsobeno hlavně tím, že většina zdrojů exhalací je soustředěna v údolí.

Tuto celkovou charakteristiku znečištění ovzduší ve studovaném území nutno doplnit ještě několika poznámkami z různých hledisek, a to také z hlediska historického. Rovnoměrné rozptýlení exhalátů z jednoho zdroje lze předpokládat za bezvětří pouze v rovinných oblastech bez výrazných výškových rozdílů, bez velkých lesních ploch a rozsáhlé zástavby. Těmto podmínkám se poněkud blíží situace v Hrádecké pánvi. Ve východní části území se výškové rozdíly postupně zvětšují, přibývá hlubokých bočních údolí položených většinou ve směru sv.-jz., tedy kolmo nebo šikmo k převládajícím větrům. Vzniká tak řada míst, ± před exhaláty chráněných. Zároveň zde vzrůstá počet souvislých lesních ploch.

Tab. 1. — Koncentrace SO<sub>2</sub> ve vzduchu v některých místech Liberce v r. 1966

| Místo měření       | Průměrná hodnota<br>mg/m <sup>3</sup> | Zjištěné maximum |
|--------------------|---------------------------------------|------------------|
| Hlavní nádraží ČSD | 0,124                                 | 0,460            |
| OHS                | 0,115                                 | 0,410            |
| Rochlice           | 0,114                                 | 0,460            |
| Dolní Hanychov     | 0,111                                 | 0,470            |

Dosud jsme uvažovali průměrné koncentrace polutantů. Pro hodnocení vlivu na vegetaci jsou však často důležitější maximální dosahované hodnoty. Tyto vysoké nárazové koncentrace působí po relativně krátkou dobu, takže se výrazněji neprojevují v celkovém průměru, ale mohou mít na citlivější druhy letální účinky (srov. DE WIT 1976). Jak se liší průměrné a maximální koncentrace SO<sub>2</sub>, udává tab. 1.

Velmi důležitým faktorem ovlivňujícím koncentraci polutantů ve vzduchu je vzdálenost od jednotlivých druhů znečištění. ANONYMUS (1972) vymezuje nejvíce znečištěnou oblast jako „oblast, která zaujímá plochu výšece mezikruží o úhlu  $\varphi = 30^\circ$ , jehož osa leží vždy ve směru převládajících větrů v průběhu roku, o vnitřním poloměru  $r = 25 H$  a o vnějším poloměru  $R = 45 H$  (přičemž  $H$  je výškou komína)“. Poněvadž průměrná výška komínů velkých podniků ve studované oblasti se pohybuje kolem 50 m, je zde  $r = 1250$  m a  $R = 2250$  m. Dochází tedy v údolí řeky Nisy a především v městech Liberec a Jablonc n. N. k přímé návaznosti nebo docela k překryvu nejvíce znečištěných zón.

Studované území má bohatou průmyslovou historii. Početná textilní výroba využívala zprvu vodní síly horských potoků. Ale už na začátku 19. století se do továren zaváděl parní pohon; topilo se dřevem. Objevení ložisek lignitu kolem r. 1850 u Hrádku n. N. jen podpořilo rozvoj továren a jejich přechod na parní pohon. Liberec měl r. 1850 asi 18 000 obyvatel a byl po Praze druhým největším městem v Čechách. Celá druhá polovina 19. století byla na Liberecku obdobím prudkého rozvoje průmyslu, a to nejen textilního, nýbrž i strojírenského (RUDA 1966). Současně rostl počet obyvatel a také stupeň urbanizace. Vysoká industrializace a urbanizace měly za následek i vyšší množství exhalací.

Z toho, co bylo v této kapitole řečeno, plyne, že ovzduší zkoumaného území je silně zasaženo exhaláty. Jejich rozložení je zde vlivem velkého počtu zdrojů znečištění soustředěných hlavně v údolí řeky Nisy, měnících se směrů větru, rozmanité geomorfologie a nestejnomyerného výskytu lesů velmi složité a během roku se mění. Z historie vývoje průmyslu a osídlení plyne, že znečištění ovzduší zde není pouze otázkou současnosti, nýbrž že zde působí výrazně již více než sto let. Možnou prognózu viz ŠTĚPÁN (1976).

## METODIKA

V této práci vycházíme ze současného stavu výskytu epifytických lišejníků na 206 lokalitách ve studovaném území. Jako substrátovou dřevinu (forofyt) jsme uvažovali převážně *Fraxinus excelsior*. Jenom v případě, že nebyl na lokalitě vhodný osamělý strom uvedeného druhu, zvolil první z autorů další listnáče (*Tilia*, *Quercus*, *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum*), a to vždy středního nebo vyššího věku. Přestárlé a odumřelé stromy vyloučil. Přitom u jednotlivých lokalit zaznamenával mj. data zejména nadmořskou výšku, expozici terénu, vzdálenost od vodních toků a nádrží, vzdálenost od místních zdrojů exhalací, vzdálenost od lesa, sklon kmene, jednotlivé druhy lišejníků od báze kmene do výše 2 m, jejich kvantitativní zastoupení podle tříčlenné odhadové kombinované stupnice abundance, dominance a vitality (PŘÍŠT et LISICKÁ-JELÍNKOVÁ 1974), orientaci jednotlivých druhů lišejníků ke světovým stranám, vertikální rozložení lišejníků na kmeni a ev. jejich morfologické odehylky.

Výpočet hodnot IAP byl prováděn podle vztahu (LEBLANC et DE SLOOVER 1970):

$$IAP = \sum_n (Q \times f) / 10,$$

kde  $n$  je celkový počet nalezených druhů lišejníků na daném stanovišti,  $Q$  je ekologický index každého druhu lišejníku, udávající průměrný počet doprovodných druhů na všech stanovištích, kde se daný druh nacházel, a  $f$  je hodnota z pokryvové stupnice. Ale na rozdíl od citovaných autorů jsme nepoužili pětičlenné pokryvové stupnice, nýbrž tříčlenné odhadové kombinované stupnice abundance, dominance a vitality (PŘÍŠT et LISICKÁ-JELÍNKOVÁ 1974), v níž znamená 1 — roztroušeně se vyskytující větší počet odumírajících exemplářů nebo 1 až 2 normálně vyvinuté stélky; 2 — druhy poškozené, hojně se vyskytující nebo druhy s dobře vyvinutými stélkami, ale vyskytující se roztroušeně; 3 — druhy s normálně vyvinutými stélkami, hojně se vyskytující.

Terénní výzkumy byly prováděny od jara 1974 do podzimu 1975. Seznam zkoumaných stanovišť, místa měření OHSu Liberec, nálezy jednotlivých druhů lišejníků a jiné podrobnosti viz ANDĚL (1976).

Tab. 2. — Seznam nalezených druhů, jejich číselné charakteristiky a počet nálezů na zkoumaných substrátech

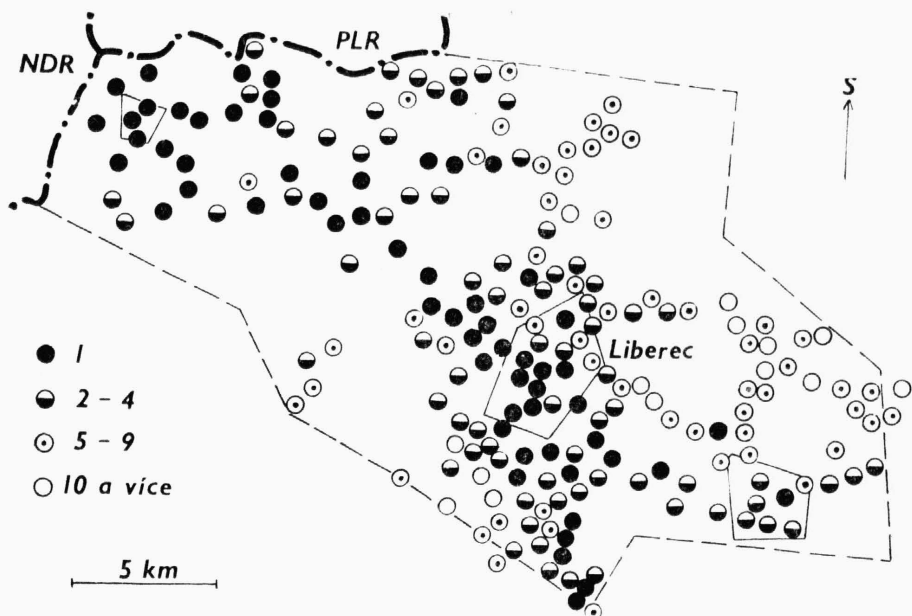
| Druh lišejníku                    | Číselné charakteristiky |      |       |          |     | Substráty |    |     |     |    |
|-----------------------------------|-------------------------|------|-------|----------|-----|-----------|----|-----|-----|----|
|                                   | A                       | Q    | ∅ IAP | min. IAP | Fr  | Ti        | Qu | Aps | Apl | Ae |
| <i>Bacidia chlorococca</i>        | 43,2                    | 4,7  | 7,0   | 1,1      | 62  | 9         | 3  | 8   | 5   | 2  |
| <i>Biatorella moriformis</i>      | 6,3                     | 7,8  | 11,6  | 5,0      | 8   | 1         | —  | 2   | 2   | —  |
| <i>Buellia punctata</i>           | 9,2                     | 9,3  | 14,2  | 5,4      | 11  | —         | 1  | 2   | 4   | 1  |
| <i>Candelaria concolor</i>        | 1,0                     | 6,5  | 7,6   | 5,2      | 2   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Candelariella vitellina</i>    | 6,3                     | 6,5  | 9,3   | 0,9      | 10  | —         | —  | 1   | 2   | —  |
| <i>Candelariella xanthostigma</i> | 5,3                     | 8,4  | 13,0  | 5,7      | 6   | —         | —  | 1   | 3   | 1  |
| <i>Candelariella</i> sp.          | 2,4                     | 7,2  | 10,7  | 5,4      | 5   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Cetraria chlorophylla</i>      | 2,4                     | 9,4  | 15,7  | 6,6      | 2   | 1         | —  | 1   | —   | —  |
| <i>Cetraria pinastri</i>          | 0,5                     | 8,0  | 15,9  | 15,9     | 1   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Hypogymnia physodes</i>        | 43,2                    | 5,6  | 8,1   | 1,4      | 60  | 9         | 5  | 6   | 8   | 1  |
| <i>Lecanora conizacoides</i>      | 99,5                    | 2,9  | 4,4   | 0,3      | 119 | 39        | 15 | 14  | 15  | 3  |
| <i>Lecanora hagenii</i> sp. agg.  | 1,5                     | 7,0  | 8,8   | 5,1      | 1   | —         | —  | —   | 2   | —  |
| <i>Lecanora subfusca</i> sp. agg. | 18,0                    | 7,1  | 10,3  | 2,4      | 29  | 1         | 1  | 3   | 2   | 1  |
| <i>Lecanora varia</i>             | 1,9                     | 10,3 | 16,6  | 14,2     | 4   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Lecanora</i> sp.               | 1,0                     | 3,5  | 4,6   | 2,7      | 2   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Lecidea scalaris</i>           | 22,3                    | 5,4  | 7,9   | 1,4      | 28  | 8         | 4  | 2   | 4   | —  |
| <i>Lepraria incana</i>            | 41,3                    | 5,2  | 7,7   | 1,1      | 56  | 7         | 4  | 7   | 10  | 1  |
| <i>Parmelia exasperatula</i>      | 3,9                     | 7,8  | 11,8  | 4,7      | 3   | —         | —  | —   | 5   | —  |
| <i>Parmelia glabratula</i>        | 3,4                     | 7,4  | 11,7  | 7,5      | 3   | —         | 1  | 2   | 1   | —  |
| <i>Parmelia saxatilis</i>         | 15,5                    | 7,4  | 11,9  | 2,4      | 20  | 3         | 1  | 4   | 3   | 1  |
| <i>Parmelia sulcata</i>           | 6,3                     | 8,1  | 12,2  | 4,5      | 6   | 1         | —  | 1   | 4   | 1  |
| <i>Parmeliopsis ambigua</i>       | 10,7                    | 7,3  | 11,5  | 5,4      | 16  | 2         | —  | 1   | 3   | —  |
| <i>Parmeliopsis hyperopta</i>     | 2,9                     | 7,7  | 13,0  | 7,5      | 5   | —         | —  | —   | —   | 1  |
| <i>Physcia adscendens</i>         | 1,9                     | 7,5  | 11,8  | 5,1      | 3   | —         | —  | —   | 1   | —  |
| <i>Physcia caesia</i>             | 1,0                     | 6,5  | 7,3   | 5,7      | 2   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Physcia dubia</i>              | 13,1                    | 7,5  | 12,1  | 2,4      | 15  | 1         | —  | 4   | 6   | 1  |
| <i>Physcia tenella</i>            | 7,8                     | 7,6  | 11,7  | 2,7      | 11  | —         | —  | 2   | 2   | 1  |
| <i>Physconia grisea</i>           | 1,0                     | 8,0  | 12,6  | 5,2      | 2   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Platismatia glauca</i>         | 2,4                     | 7,8  | 10,7  | 7,3      | 5   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Pseudevernia furfuracea</i>    | 1,9                     | 11,0 | 20,6  | 15,0     | 3   | —         | —  | 1   | —   | —  |
| <i>Umbilicaria hirsuta</i>        | 0,5                     | 11,0 | 14,2  | 14,2     | 1   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Xanthoria candelaria</i>       | 7,8                     | 8,4  | 13,6  | 1,7      | 6   | 1         | 1  | 2   | 5   | 1  |
| <i>Xanthoria parietina</i>        | 0,5                     | 4,0  | 5,2   | 5,2      | 1   | —         | —  | —   | —   | —  |
| <i>Xanthoria polycarpa</i>        | 1,9                     | 11,8 | 20,0  | 14,2     | 3   | —         | —  | 1   | —   | —  |

Vysvětlivky k tab. 2: A — frekvence, tj. počet stanovišť, na kterých se druh vyskytoval, vyjádřený v % z celkového počtu stanovišť; Q — ekologický index; průměrný počet doprovodných druhů lišejníků na všech stanovištích, kde byl příslušný druh zjištěn; ∅ IAP — průměrná hodnota IAP všech stanovišť, na kterých se daný druh vyskytl; min. IAP — minimální hodnota IAP ze všech stanovišť, na kterých se daný druh vyskytl; Fr — *Fraxinus excelsior*, Ti — *Tilia*, Qu — *Quercus*, Aps — *Acer pseudoplatanus*, Apl — *Acer platanoides*, Ae — *Aesculus hippocastanum*.

## VÝSLEDKY

Na 206 lokalitách rozmístěných zhruba rovnoměrně po celém území mimo souvislé lesní plochy bylo nalezeno celkem 35 druhů lišejníků. Dutohlávký (*Cladonia* sp.) se vyskytovaly vždy pouze na bázi stromů s nánosem prachu, a proto nebyly do dalšího celkového vyhodnocování zařazeny. Seznam nalezených druhů s udáním frekvence a dalších číselných charakteristik je v tab. 2. Nejvíce druhů (15) bylo nalezeno na dvou lokalitách na jižních





Obr. 6. — Počet druhů lišejníků na jednotlivých stanovištích.

svazích Jizerských hor (Bedřichov u Jablonce n. N., u silnice směr Hašle-  
rova chata, 730 m n. m., *Fraxinus excelsior*; Janov n. N., 1 km v. od obce,  
740 m n. m., *Acer pseudoplatanus*). Celkem na 62 lokalitách byl nalezen pouze  
jediný druh, a to *Lecanora conizaeoides*. Již z tab. 3, kde je uveden počet sta-  
novišť v % se stejným počtem nalezených druhů, je patrná celková chudost  
lišejníkové vegetace ve studovaném území. Rozmístění všech lokalit se zjiš-  
těným počtem nalezených druhů je poměrně nerovnoměrné a výrazně vyme-  
zuje zóny s odlišným stupněm znečištění ovzduší (obr. 6).

K podobnému rozčlenění území docházíme i na základě hodnot IAP. Ty  
se pohybovaly v rozmezí od 0,3 (celkem na 6 stanovištích: Doubí u Liberce,  
Liberec u nádraží ČSD, Bílý Kostel n. N., Václavice, Hrádek n. N.) do 26,1  
(Janov n. N.). Index IAP udává stupeň znečištění ovzduší v daném místě

Tab. 3. — Počet stanovišť (v %) se stejným počtem nalezených druhů

| Počet druhů | Počet stanovišť (v %) | Počet druhů | Počet stanovišť (v %) |
|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| 1           | 30,0                  | 9           | 4,9                   |
| 2           | 19,8                  | 10          | 2,9                   |
| 3           | 6,3                   | 11          | 1,5                   |
| 4           | 9,7                   | 12          | 0,5                   |
| 5           | 6,8                   | 13          | 0,5                   |
| 6           | 7,8                   | 14          | 0,5                   |
| 7           | 4,4                   | 15          | 1,0                   |
| 8           | 3,4                   |             |                       |

nepřímou. Čím vyšší jsou jeho hodnoty, tím nižší koncentrace škodlivin ve vzduchu můžeme očekávat. Nejčistší místa jsou ve shodě s měřeními OHSu (srov. s obr. 2 a 3) soustředěna na svazích Ještědského hřbetu a Jizerských hor. Mezi touto oblastí a nejznečištěnější částí (střed Liberecké a Hrádecké kotliny) se nachází přechodná oblast charakterizovaná prudkými změnami hodnot IAP na blízkých stanovištích. K nejvýraznějším změnám dochází v blízkosti Liberce, kde hranice obou extrémních oblastí jsou od sebe vzdáleny jen několik málo kilometrů. Souvisí to patrně i s výrazným vzrůstem nadmořské výšky v této části území.

Již při vzájemném srovnání obr. 2, 3 a 6 je mezi výsledky měření OHSu a výsledky získanými bioindikací patrná výrazná shoda. Statisticky byla ověřena metodou mnohonásobné lineární regrese (SEAWARD 1976) z 22 lokalit mezi těmito hodnotami: průměrnou roční koncentrací  $\text{SO}_2$  za léta 1965–69 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), průměrnou roční prašností za léta 1965–69 ( $\text{t}/\text{km}^2$ ), nadmořskou výškou lokality (m), počtem nalezených druhů ( $n$ , průměrná hodnota ze 3 nejbližších stanovišť) a hodnotou indexu IAP (průměrná hodnota ze 3 nejbližších stanovišť). Vypočítané korelační koeficienty spolu s rozsahy, které jednotlivé veličiny vykazovaly, jsou uvedeny v tab. 4. Výsledky jsou statisticky významné na hladině pravděpodobnosti  $p = 0,01$ .

Tab. 4. — Korelační koeficienty a rozsah proměnných ve studovaném souboru

| Poř. čís. | Proměnná   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | Rozsah     |
|-----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 1         | nadmořská výška (m)                              | +1,00 |       |       |       |       | 280 — 760  |
| 2         | konc. $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | -0,61 | +1,00 |       |       |       | 64 — 119   |
| 3         | prašnost ( $\text{t}/\text{km}^2$ )              | -0,58 | +0,60 | +1,00 |       |       | 45 — 247   |
| 4         | počet druhů ( $n$ )                              | +0,78 | -0,81 | -0,57 | +1,00 |       | 1 — 9,7    |
| 5         | IAP  | +0,78 | -0,77 | -0,57 | +0,99 | +1,00 | 0,7 — 15,5 |

Z tabulky vyplývají tyto závěry: 1. Ve studovaném souboru se projevila velmi silná negativní korelace mezi koncentrací  $\text{SO}_2$  na jedné a počtem lišejníkových druhů ( $n$ ), stejně jako indexem IAP na druhé straně. Negativní korelace mezi prašností a  $n$  i IAP je již méně silná. 2. Mírná negativní korelace byla zaznamenána mezi nadmořskou výškou a koncentrací  $\text{SO}_2$ , jakož i mezi nadmořskou výškou a prašností. 3. Mírná pozitivní korelace je mezi koncentrací  $\text{SO}_2$  a prašností. 4. Velmi silná pozitivní korelace je mezi nadmořskou výškou a počtem druhů, nadmořskou výškou a indexem IAP, jakož i mezi počtem druhů a IAP.

SEAWARD (l. c.), který studoval na 149 lokalitách v oblasti West Yorkshire nejen epifytickou, ale veškerou lišejníkovou vegetaci ve vztahu ke koncentraci  $\text{SO}_2$ , hustotě obyvatelstva, nadmořské výšce a atmosférickým srážkám, dochází v zásadě ke stejným závěrům.

Při výběru vhodných indikačních druhů jsme vycházeli z rozšíření ve zkoumaném území, číselných charakteristik a ekologie jednotlivých druhů. Základní číselnou charakteristikou každého druhu je frekvence  $A$ , která ovšem sama o sobě nepodává spolehlivé informace o citlivosti vůči znečiště-

Tab. 5. — Rozdělení převážné části nalezených druhů do základních skupin podle citlivosti ke znečištěnému ovzduší (uvnitř skupin řazeno abecedně)

| Citlivost | Lišejníkový druh   |
|-----------|--|
| slabá     | <i>Bacidia chlorococca</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Lecanora conizaeoides</i> , <i>Lecidea scularis</i> , <i>Lepraria incana</i>  |
| střední   | <i>Biatorella moriformis</i> , <i>Lecanora subfusca</i> sp. agg., <i>Parmelia exasperatula</i> , <i>P. glabrata</i> , <i>P. saxatilis</i> , <i>P. sulcata</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>Physcia adscendens</i> , <i>Ph. tenella</i> , <i>Plastimatia glauca</i> |
| silná     | <i>Cetraria chlorophylla</i> , <i>Lecanora varia</i> , <i>Parmeliopsis hyperopta</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i>  |

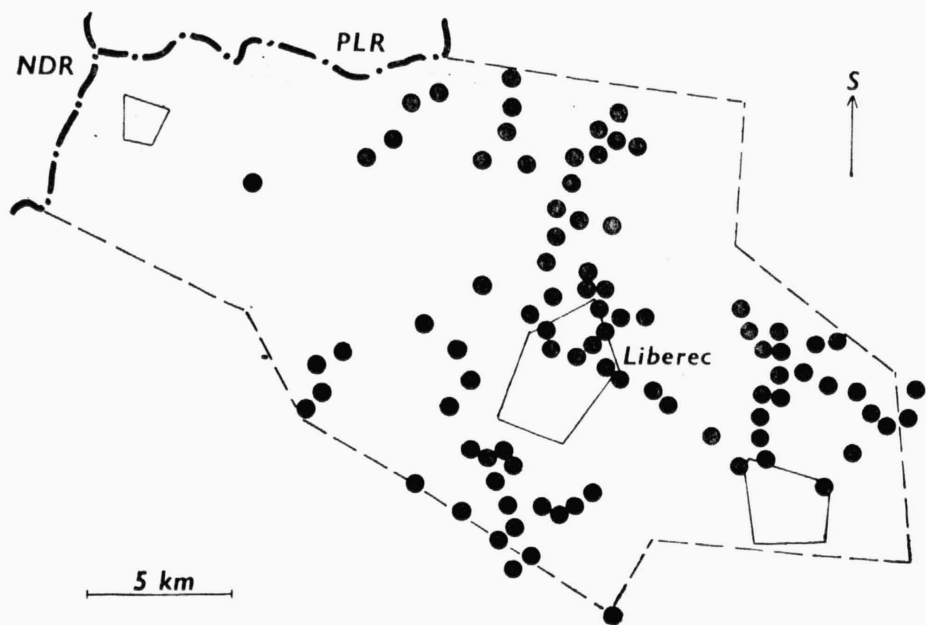
nému ovzduší. Druhy vyskytující se řídko nemusí být ještě velmi citlivé, nýbrž mohou to být druhy roztroušené až vzácné nebo může být jejich výskyt limitován jinými ekologickými faktory. Proto jsme používali též indexu  $Q_3$ , jehož hodnoty udávají citlivost daného druhu k znečištěnému ovzduší. Čím je hodnota  $Q$  nižší, tím je druh toxitolerantnější. Ve zkoumaném území se hodnoty  $Q$  pohybovaly v rozmezí od 2,9 u *Lecanora conizaeoides* do 11,8 u *Xanthoria polycarpa*. Jako doplňující charakteristiku jsme zaznamenali hodnoty  $\sigma$  IAP a min. IAP, které rovněž udávají míru citlivosti k exhalátům. Za důležité považujeme především hodnoty min. IAP, neboť alespoň rámcově ukazují, v jak silně znečištěné oblasti se daný druh ještě vyskytl.

K posouzení indikační hodnoty nitrofilních druhů jsme navíc použili rozbor závislosti mezi veličinami  $Q$  a  $A$ . Vycházeli jsme z této pracovní hypotézy: v území, kde výrazně zastoupená znečištěná zóna přechází v zónu čistou, bude v souboru vlastních indikačních druhů s klesající hodnotou frekvence  $A$  stoupat průměrný počet doprovodných druhů  $Q$ . Předpokladem je zhruba rovnoměrné rozmístění lokalit po celé oblasti. U nenitrofilních druhů byla na hladině pravděpodobnosti  $p = 0,01$  prokázána silná negativní korelace (korelační koeficient  $r = 0,85$ ), u nitrofilních druhů nebyla závislost nalezena.

Rozšíření vhodných indikačních druhů by mělo umožňovat ohraničit určitou oblast se stejnou mírou znečištěného ovzduší. Nitrofilní druhy jsou však po celém území  $\pm$  rozptýleny a nevytvářejí svým rozšířením ostrou hranici. Na základě všech těchto zjištění se domníváme, že nalezené nitrofilní druhy (*Buellia punctata*, *Candelaria concolor*, *Candelariella vitellina*, *C. xanthostigma*, *Physcia adscendens*, *Ph. caesia*, *Ph. dubia*, *Ph. tenella*, *Physconia grisea*, *Xanthoria candelaria*, *X. parietina* a *X. polycarpa*) nejsou v studovaném území vhodnými indikátory znečištěného ovzduší, přestože určitou závislost v tomto směru vykazují.

Ze zbývajících nenitrofilních druhů jsme na základě získaných výsledků vybrali tyto druhy jako indikační (řazeno zhruba podle zjištěné stoupající citlivosti k exhalacím): *Bacidia chlorococca*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia saxatilis*, *Parmeliopsis ambigua*, *Parmelia sulcata*, *Parmeliopsis hyperopta*, *Cetraria chlorophylla* a *Pseudevernia furfuracea*. Podobnou volbu skupiny indikačních druhů s různou citlivostí doporučuje i SKYE (1958). Zařazení většiny nalezených druhů do tří základních skupin podle citlivosti ke znečištěnému ovzduší je v tab. 5.

Ve studovaném území se projevila jistá závislost mezi stupněm sorediálnosti stélky u druhu *Lecanora conizaeoides* a mírou znečištění. Sorediálnost



Obr. 7. — Rozšíření *Hypogymnia physodes*.

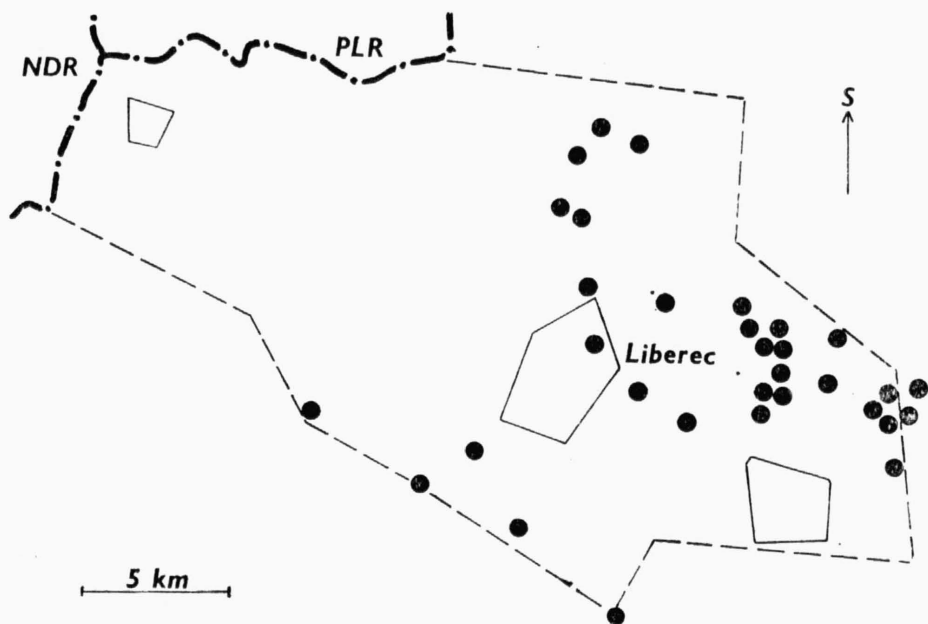
stélky byla posuzována podle tříčlenné odhadové stupnice: 1 — stélka nesorediální nebo jen nepatrně sorediální, 2 — stélka středně sorediální, 3 — stélka velmi silně sorediální, sorediální plochy jsou rozpraskány v souvislé polštářkovité útvary.

U každé lokality jsme hodnotili, který z těchto typů převládá. V oblasti nejvíce znečištěné je patrná převaha typu 3. Naproti tomu stanoviště s převládajícím typem 1 jsou soustředěna především v místech s nejmenším vlivem exhalátů v okolí Bedřichova, Janova n. N. a Oldřichova v Hájích. Typ 2 vytváří přechod mezi krajními typy a je po celém území rozšířen celkem nejrovnoměrněji. Přestože použitá metoda je velmi hrubá, ukazuje na existenci určitých morfologických změn vlivem znečištěného ovzduší. Proto sledování stupně sorediálnosti stélky může být zvláště v oblastech s chudou lišejníkovou vegetací doplňující charakteristikou k posouzení stupně znečištění.

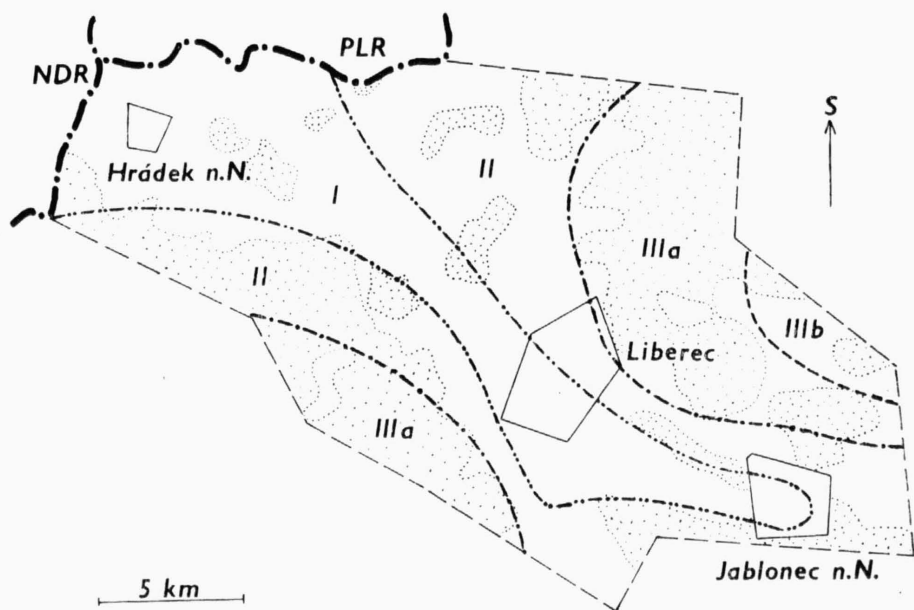
Pro závěrečné hodnocení čistoty ovzduší v jednotlivých částech zkoumaného území máme k dispozici tři skupiny údajů: 1. Rozložení průmyslových závodů a počtu obyvatel v jednotlivých místech, číselné údaje z měření koncentrace  $\text{SO}_2$  a prašnosti prováděných OHSem Liberec v letech 1965—69. 2. Rozšíření vybraných indikačních druhů. 3. Rozložení hodnot indexu IAP a počtu nalezených druhů na jednotlivých stanovištích.

Na tomto základě jsme zkoumané území rozdělili na 3 základní zóny:

I. Zóna nejsilněji zasažená průmyslovými exhalacemi zaujímá největší část Hrádecké pánve (Hrádek n. N., Chotyně, Bílý Kostel n. N., Chrastava, Oldřichov na Hranicích, Václavice), v Liberecké kotlině území v těsné blízkosti řeky Nisy (Stráž n. N., střed, j. a jz. část Liberce, Vratislavice n. N.,



Obr. 8. — Rozšíření *Parmelia saxatilis*.



Obr. 9. — Rozdělení území podle stupně znečištění ovzduší. Lesní plochy tečkovány.

Tab. 6. — Rozdělení zkoumaného území na zóny s různým stupněm znečištění ovzduší

| Zóna | Stupeň znečištění | Charakteristické hodnoty |           | Indikační druhy pro hranici s předecházející zónou  | Odhad roč. prům.                        |                            |
|------|-------------------|--------------------------|-----------|---|---|----------------------------|
|      |                   | n                        | IAP       |   | konc. SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> | prašnost t/km <sup>2</sup> |
| I    | nejsilnější       | 1                        | 0,3— 0,9  |   | nad 100                                 | nad 150                    |
| II   | střední           | 2— 4                     | 1,0— 5,9  | <i>Hypogymnia physodes</i><br><i>Bacidia chlorococca</i>  | 70—100                                  | 70—150                     |
| a    |                   | 5— 9                     | 6,0—11,9  | <i>Parmelia saxatilis</i><br><i>Parmelia sulcata</i><br><i>Parmeliopsis ambigua</i>             | 60— 70                                  | 60— 70                     |
| III  | nejslabší         | 10—15                    | 12,0—26,1 | <i>Pseudevernia furfuracea</i><br><i>Cetraria chlorophylla</i><br><i>Parmeliopsis hyperopta</i> |   |                            |

Proseč n. N., střed Jablonce n. N.). Středně silné zdroje exhalací (průmyslové podniky, městská zástavba) leží přímo v této oblasti. Hrádecko je velmi silně ovlivňováno mohutnými zdroji znečištění na území NDR a PLR.

II. Zóna středně zasažená průmyslovými exhalacemi zahrnuje okrajové části Hrádecké pánve (Horní Sedlo, Dolní Suchá, Vítkov, Nová Ves u Liberce), dále Albrechtice u Frýdlantu v Č., Mníšek u Liberce, Krásnou Studánku, s. a sv. část Liberce, Dlouhý Most, okrajové čtvrti Jablonce n. N., Lučany n. N. V této zóně leží většinou jen menší zdroje exhalací, významné je však ovlivňování zdroji ze zóny I, jakož i z NDR a PLR.

III. Zóna nejméně zasažená průmyslovými exhalacemi se rozkládá na svazích Jizerských hor (Oldřichov v Hájích, Fojtka, Rudolfovo, Bedřichov, Janov n. N., Horní Maxov) a v jv. části Ještědského hřbetu. Vlastní zdroje exhalací jsou velmi slabé, ale stále je zde patrný jistý negativní vliv zdrojů ze zón I a II. Na základě lišejníkové vegetace lze tuto zónu rozdělit na 2 subzóny: IIIa — vnitřní subzónu, sousedící se zónou II, a IIIb — vnější subzónu, nejvyšší část zkoumaného území na svazích Jizerských hor, která je zároveň i částí nejčistší (avšak nikoliv čistou).

Graficky je toto rozdělení vyznačeno na obr. 9 a klíč pro ně je v tab. 6.

## DISKUSE

Jedním z nejvýznamnějších problémů při použití lišejníků k indikaci čistoty ovzduší je výběr vhodných stanovišť a jejich standardizace. Častý nedostatek vhodných substrátových dřevin v zemědělsky obhospodařované krajině si vynucuje řešit tuto otázku kompromisně, provádět standardizaci jen částečnou a k ostatním ekologickým faktorům přihlížet pouze okrajově.

Všechny substrátové dřeviny, na kterých byly lišejníky sbírány, měly přibližně stejné fyzikální a chemické vlastnosti borky; podle Barkmana (BARKMAN 1958) patřily do skupiny s nejvyššími hodnotami pH borky (5,0—7,5) a s nejvyšší pufrací kapacitou. Výjimku tvořil pouze dub (*Quercus*), charakterizovaný nízkými hodnotami pH (3,0—4,5) a nízkou pufrací kapacitou. Byly studovány toliko stromy středního a staršího věku (minimální obvod kmene ve výši 1,3 m nad zemí byl 1 m, 70 % mělo obvod v rozmezí 1,5—2,5 m) a lze proto předpokládat zhruba stejné morfologické vlastnosti borky u různých exemplářů téhož druhu. Nebyla pozorována

Tab. 7. — Průměrný počet druhů lišejníků ( $\varnothing n$ ) a průměrné hodnoty IAP ( $\varnothing$  IAP) na stanovištích v různé nadmořské výšce

| Nadm. výška (m) | $\varnothing n$ | $\varnothing$ IAP | Nadm. výška (m) | $\varnothing n$ | $\varnothing$ IAP |
|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| do 300          | 1,3             | 1,1               | 501—550         | 4,5             | 5,5               |
| 301—350         | 1,9             | 1,7               | 551—600         | 4,2             | 4,9               |
| 351—400         | 3,6             | 3,7               | 601—650         | 4,8             | 5,8               |
| 401—450         | 3,2             | 4,3               | 651—700         | 7,0             | 9,5               |
| 451—500         | 4,6             | 5,6               | 701 a více      | 9,5             | 14,2              |

žádná závislost mezi vlastnostmi borky, zdravotním stavem stromu, morfologickými odchylkami na straně jedné a množstvím lišejníků na straně druhé. Počet nálezů jednotlivých druhů lišejníků na zkoumaných substrátech je v tab. 2.

Zkoumané území je velmi nesourodé jak po stránce geomorfologické, klimatické, tak také co do rozsahu zalesnění, zástavby a dislokace zdrojů exhalací. Proto i situace v rozložení a působení exhalátů je zde velmi složitá, a tudíž i reakce lišejníkové vegetace značně rozmanitá. Nejvíce je to patrné v zóně středně zasažené exhaláty (II) na úpatí Jizerských hor a Ještědského hřbetu, kde se vzrůstající nadmořskou výškou se výrazně mění podmínky pro růst lišejníků: vzrůstá čistota ovzduší, zejména proto, že převážná část zdrojů exhalací je soustředěna v údolí řeky Nisy; prudce stoupá celkové množství srážek, hlavně na návětrné straně Jizerských hor a mění se i ostatní klimatické podmínky. Průměrný počet druhů lišejníků ( $\varnothing n$ ) a průměrná hodnota IAP ( $\varnothing$  IAP) na stanovištích v závislosti na nadmořské výšce jsou v tab. 7.

Ve znečištěných částech území se projevil jistý pozitivní vliv blízkosti místních vodních zdrojů, lesních ploch a chráněnosti stanoviště vůči větru, zvláště ze směrů od zdrojů exhalací.

Zdá se, že za určitých ekologických podmínek na stanovišti mohou zde i ve znečištěných zónách některé druhy lišejníků přežívat. Jako příklad uvádíme lokalitu u Bílého kostela n. N. (u silnice směr Grabštejn, 320 m n. m., *Fraxinus excelsior*, 29. 6. 1974), ležící ve středu znečištěné zóny (I), kde byly nalezeny tyto druhy lišejníků: *Canadelariella vitellina*, *Hypogymnia physodes*, *Lecanora conizaeoides*, *Physconia grisea* a *Xanthoria parietina*. Na nejbližších sousedních lokalitách byla nalezena pouze *Lecanora conizaeoides*. Obdobná situace je i na lokalitách ležících blízko vodních toků v údolích kolmých na převládající směr větru (např. ve Vítkově, Albrechticích u Frýdl. v Č.).

Stanoviště se společenstvy nitrofilních druhů jsme nevyklučovali z našeho výběru, jak to doporučuje např. FENTON (1960). Nitrofilní druhy nebyly voleny jako samostatné vhodné indikátory k vymezení jednotlivých zón znečištění, ale do celkového hodnocení lišejníkové vegetace na daném stanovišti a do výpočtu IAP jsme je zahrnuli. Vyhnout se stanovištím s eutrofizovanou borkou je navíc v zemědělsky obhospodařované krajině s omezeným počtem volně rostoucích stromů velmi obtížné. Ve zkoumaném území byl alespoň jeden nitrofilní druh nalezen celkem na 24,3 % lokalit.

HAWKSWORTH (1973) uvádí řadu podmínek, kterým by měl vhodný indikační druh vyhovovat. Jednou z nich je znalost jeho ekologie a fyto geografie, na jejímž základě by bylo možné očekávat výskyt ve zkoumaném území. MATOUSCHEK (1903) při popisu jedné lichenologické exkurze uvádí z oblasti mezi Růžodolem I (okrajová čtvrť Liberce) a Machnínem tyto druhy epifytických lišejníků: *Anaptychia ciliaris*, *Evernia prunastri*, *Parmelia tiliacea*,

*Physcia stellaris*, *Physconia pulverulenta*, *Pseudevernia furfuracea*, *Ramalina fraxinea*, *Ramalina pollinaria*. Tato oblast náleží k nejznečištěnějším částem zájmového území a všechny zmíněné druhy lišejníků odtud již vymizely. Kromě *Pseudevernia furfuracea*, která byla sbírána pouze na 4 stanovištích v okrajové nejčistší části území, všechny ostatní druhy jsme nenalezli vůbec. V místech navštívených Matouschkem byla nyní nalezena na 6 stanovištích pouze *Lecanora conizaeoides* a na 1 stanovišti v Karlově pod Ještědem kromě ní ještě *Bacidia chlorococca*, *Hypogymnia physodes*, *Lecanora subfusca* sp. agg. a *Lepraria incana*. NÁDVORNÍK (1951) si částečně všímá podhůří Jizerských hor a označuje je jako okrajovou (nitrofilní) oblast. Protože neuvádí většinou přesnější lokality, nelze s jistotou říci, zda dále jmenované druhy se nacházely přímo v území námi studovaném. Na listnatých stromech podél silnic a v osadách našel např. tyto zástupce: *Evernia prunastri*, *Hypogymnia tubulosa*, *Parmelia acetabulum*, *Ramalina farinacea*, *R. fastigiata*, *R. fraxinea* a zakrnělé jedince r. *Usnea*. Ani jeden z těchto lišejníků jsme ve zkoumaném území nenalezli. NÁDVORNÍK (l. c.) při závěrečném hodnocení lišejníkové vegetace v Jizerských horách upozorňuje na její celkovou chudost ve srovnání např. se Šumavou. Příčinu spatřuje v radikálních zásadách člověka a jeho hospodářství do přírody, především do života dřevin.

Přestože doklady o dřívějším výskytu lišejníků jsou zde jen útržkovité, zřetelně dokazují, že ekologické podmínky zde v minulosti umožňovaly růst bohaté lišejníkové vegetace. Je tedy zřejmé, že její ústup byl podmíněn vlivem postupného zamořování průmyslovými exhaláty, ke kterému zde dochází již více než sto let. Tím lze vysvětlit, že řada velmi citlivých lišejníků (zástupci r. *Alectoria* s. l., *Anaptychia*, *Evernia*, *Lobaria*, *Pertusaria*, *Ramalina*, *Usnea* a další) z celého území úplně vymizela a nebyla nalezena ani v odumírající formě. S otázkou dlouhodobého působení znečištěného ovzduší souvisí patrně i skutečnost, že v zájmovém území bylo nalezeno jen velmi málo odumírajících nebo poškozených exemplářů. Pokud se některý druh vyskytoval, šlo převážně o „normálně“ vyvinuté stélky. Domníváme se, že zde po předcházejících obdobích ústupu lišejníkové vegetace došlo k ustálenému stavu, do něhož přežily pouze druhy přízpusobené určitému stupni znečištění. Kolonizace nových/neosídlených substrátů je zřejmě aspoň ztížena.

Celý komplex problémů indikace čistoty ovzduší pomocí lišejníků vyžaduje při závěrečném posuzování respektovat co možná největší počet hledisek. Domníváme se, že samotný výskyt jednoho indikačního druhu nebo pouhá hodnota IAP, popř. počet druhů na stanovišti nepostačuje k dostatečnému posouzení čistoty ovzduší. Teprve komplexní pohled na všechny tyto ukazatele a jejich rozmístění v území má výraznější indikační hodnotu.

## SOUHRN

1. Na 206 stanovištích rozmístěných  $\pm$  rovnoměrně na území zhruba 350 km<sup>2</sup> v okolí Liberce byla studována epifytická lišejníková vegetace a její vztah ke znečištěnému ovzduší.

2. Všechna stanoviště byla do jisté míry standardizována. Sbírali jsme pouze na  $\pm$  osamělé rostoucích listnatých stromech středního a staršího věku (především *Fraxinus excelsior*), pokud možno neovlivněných lidskou činností.

3. Studované území patří mezi oblasti silně zasažené průmyslovými exhalacemi. Základní znečištěninou je SO<sub>2</sub>. Zdroje exhalací jsou soustředěny především v údolí řeky Nisy. Mnohem vydatnější než zdroje uvnitř zkoumaného území jsou průmyslové podniky v pohraničním pásmu PLR a NDR, jejichž vliv zřetelně zasahuje hluboko na naše území. Nemůžeme ovšem vyloučit ani vliv exhalátů z Podkrušnohorských pánví.



4. Vzhledem k dlouhodobému a stále silicimu znečištění ovzduší došlo zde k výraznému ústupu lišejníků. Celkem bylo nalezeno 35 druhů. Jako nejtoxikolerantnější se ve zkoumané oblastijevily *Lecanora conizaeoides*, *Bacidia chlorococca*, *Hypogymnia physodes*, *Lecidea scalaris* a *Leprraria incana*. Jako nejcitlivější se zdají být *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria chlorophylla*, *Parmeliopsis hyperopta* a *Lecanora varia*.

5. Pro celkové zhodnocení lišejníkové vegetace na jednotlivých stanovištích byla použita metoda IAP (LEBLANC et DE SLOOVER 1970, PIŠŮT et LISICKÁ-JELÍNKOVÁ 1974) a srovnání počtu druhů lišejníků na nich nalezených.

6. Podle stupně znečištění jsme území rozdělili na tři zóny: I. zóna nejméněji zasažená průmyslovými exhalacemi leží v podélné ose území, především podél řeky Nisy; II. zóna středně zasažená tvoří přechod mezi mezními zónami I a III. III. zóna nejméně zasažená zahrnuje především svahy Jizerských hor a část Ještědského hřbetu. Dělíme ji podle lišejníkové vegetace na dvě subzóny: IIIa — vnitřní subzóna, IIIb — vnější subzóna.

7. Jako indikační druhy jsme zvolili: *Hypogymnia physodes* a *Bacidia chlorococca* (hranice mezi II a I), *Parmelia saxatilis*, *P. sulcata*, *Parmeliopsis ambigua* (hranice mezi III a II), *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria chlorophylla* a *Parmeliopsis hyperopta* (mezi IIIb a IIIa).

8. Na základě rozboru rozšíření nitrofilních druhů a závislosti mezi ekologickým koeficientem *Q* a frekvencí *A* nepovažujeme jednotlivé nitrofilní druhy ve zkoumaném území za vhodné indikatory stupně znečištění. Ale do celkového hodnocení lišejníkové vegetace jsme je zahrnuli.

9. U druhu *Lecanora conizaeoides* se zde projevil jistý vliv míry znečištění ovzduší na stupeň sorediозnosti stélky.

10. Znečištěné ovzduší je jen jedním, i když v průmyslových oblastech rozhodujícím ekologickým faktorem působícím na lišejníkovou vegetaci. Ve zkoumaném území má na ni jistý vliv i blízkost vodních zdrojů, lesa a morfologie terénu.

11. Metodou mnohohodnotné lineární regrese byly zjištěny korelační koeficienty mezi nadmořskou výškou, průměrnou roční koncentrací SO<sub>2</sub>, průměrnou roční prašností, hodnotami IAP a počtem druhů lišejníků na stanovišti na základě údajů z 22 lokalit. Výsledky potvrzují vhodnost epifytických lišejníků k charakterizování čistoty ovzduší ve zkoumaném území.

## ZUSAMMENFASSUNG

1. An 206 Standorten, die  $\pm$  regelmässig auf einem Gebiet von ungefähr 350 km<sup>2</sup> in der Umgebung von Liberec (Nordböhmen) verteilt sind, wurde die epiphytische Flechtenvegetation und ihre Beziehung zur Luftverschmutzung studiert.

2. Alle Standorte wurden gewissermassen standardisiert. Wir sammelten nur auf  $\pm$  einzelstehenden Laubbäumen vom mittleren bis höheren Alter (vor allem *Fraxinus excelsior*), die möglichst durch menschliche Tätigkeit unbeeinflusst geblieben waren.

3. Das behandelte Gebiet gehört zu den durch Industrieexhalationen stark verunreinigten Gegenden. Am entscheidendsten ist der Einfluss von SO<sub>2</sub>. Die Emissionsquellen sind besonders im Tal des Flusses Nisa (Neisse) konzentriert. Viel ausgiebiger als diejenigen im studierten Gebiet sind die Exhalationsquellen im Grenzgebiet der Volksrepublik Polen und der Deutschen Demokratischen Republik. Ihr Einfluss greift deutlich tief bis in unser Gebiet ein. Wir können allerdings nicht einmal den Einfluss der aus den Becken Podkrušnohorské pánve (Erzgebirgsbecken) stammenden Emissionen ausschliessen.

4. Infolge der jahrelangen und ständig steigenden Luftverunreinigung kam es hier zu einem auffallenden Abnehmen der Flechten. Insgesamt wurden nur 35 Arten gefunden. Als toxisoleranteste erwiesen sich im behandelten Gebiet *Lecanora conizaeoides*, *Bacidia chlorococca*, *Hypogymnia physodes*, *Lecidea scalaris* und *Leprraria incana*. Am empfindlichsten scheinen dagegen *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria chlorophylla*, *Parmeliopsis hyperopta* und *Lecanora varia* zu sein.

5. Für die Gesamtbewertung der Flechtenvegetation an den einzelnen Standorten wurde die IAP-Methode (LEBLANC et DE SLOOVER 1970, PIŠŮT et LISICKÁ-JELÍNKOVÁ 1974) und die Anzahl der hier gefundenen Flechtenarten angewendet.

6. Der Stufe der Verunreinigung nach haben wir das ganze Gebiet in drei Zonen geteilt: I. die von Industrieexhalationen am stärksten verschmutzte Zone liegt in der Längsachse des studierten Gebiets, vor allem längs des Flusses Nisa (Neisse);

II. die mittelbeeinflusste Zone stellt einen Übergang zwischen der Zone I und III dar;

III. die am schwächsten betroffene Zone umfasst vor allem die Abhänge der Gebirge Jizerské hory (Isergebirge) und Ještědský hřbet. Wir gliedern sie in eine innere (IIIa) und eine äussere (IIIb) Subzone.

7. Als Indikatoren wählten wir *Hypogymnia physodes* und *Bacidia chlorococca* (Grenze zwischen II und I), *Parmelia saxatilis*, *P. sulcata* und *Parmeliopsis ambigua* (Gr. zwischen III

und II), *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria chlorophylla* und *Parmeliopsis hyperopta* (Gr. zwischen IIIb und IIIa).

8. Die Analyse der Verbreitung von nitrophilen Arten und der Abhängigkeit zwischen ihrem ökologischen Koeffizienten  $Q$  und ihrer Frequenz  $A$  im studierten Gebiet zeigt, dass einzelne nitrophile Arten hier nicht als geeignete Indikatoren der Luftverunreinigungsstufen dienen können. Aber in die Gesamtbewertung der Flechtenvegetation wurden sie einbezogen.

9. Bei *Lecanora conizaeoides* ergab sich im behandelten Gebiet ein gewisser Einfluss der Luftverunreinigungsintensität auf den Grad der Soredienbildung.

10. Die verschmutzte Luft ist nur einer, wenn auch in Industriegebieten entscheidender ökologischer Faktor, der die Flechtenvegetation beeinflusst. Ausser ihm kommt hier auch die Entfernung des Standortes vom Wasser, vom Walde und die Morphologie des Terrains in Betracht.

11. An Hand der Angaben von 22 Lokalitäten wurden mit Hilfe der vielfachen linearen Regression die Korrelationskoeffizienten zwischen der Seehöhe, der durchschnittlichen jährlichen  $SO_2$ -Konzentration, dem durchschnittlichen jährlichen Staubfall, den IAP-Werten und der Anzahl der Flechtenarten an einzelnen Standorten berechnet. Die Ergebnisse bestätigen, dass die epiphytischen Flechten zum Charakterisieren der Luftverunreinigung im studierten Gebiet zweckdienlich sind.

## LITERATURA

- ANDĚL P. (1976): Lišejníky a znečištěné ovzduší na Liberecku. — [Ms., Dipl. pr., knihovna kat. bot. přír. fak. UK Praha].
- ANDERS J. (1921): Zur Flechtenflora des Isergebirges. — Mitt. Ver. Heimatkd. Jeschken-Isergau, Reichenberg, 15 : 136–140.
- (1925): Zur Flechtenflora des Isergebirges. Nachtrag. — Ibid. 19 : 32–36.
- ANONYMUS (1968): Koncepce rozvoje životního prostředí města Liberce. — Liberec.
- ANONYMUS (1972): Ochrana čistoty ovzduší podle zákona č. 35/1967 Sb. — Praha.
- BALATKA B. et al. (1973): Regionální členění reliéfu ČSR. — Sborn. Čs. Společ. Zeměp., Praha, 78 : 81–96.
- BARKMAN J. J. (1958): Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. — Assen.
- DAHL E. et H. KROG (1973): Macrolichens of Denmark, Finland, Norway and Sweden. — Oslo—Bergen—Tromsø.
- DEMEK J. et al. (1965): Geomorfologie Českých zemí. — Praha.
- DOSTÁL J. (1960): The phytogeographical regional distribution of the Czechoslovak flora. — Sborn. Čs. Společ. Zeměp., Praha, 65 : 193–202.
- EHRlich E. (1927): Die Pflanzen des Bezirkes Friedland. — Mitt. Ver. Naturfreunde Reichenberg 49 : 57–91.
- FENTON A. F. (1960): Lichens as indicators of atmospheric pollution. — Irish Natur. J., Belfast 13 : 153–159.
- FERRY B. W., M. S. BADDELEY et D. L. HAWKSWORTH [red.] (1973): Air pollution and lichens. — London.
- HAJDÚK J., E. LISICKÁ et I. PIŠŮT (1975): Häufigkeit epiphytischer Flechten einiger Parkanlagen im Gebiet von Bratislava. — Zborn. Slov. Nár. Muz., Přír. Vedy, Bratislava, 21 : 75–117.
- HAWKSWORTH D. L. (1973): Mapping studies. — In: FERRY B. W. et al. [red.], Air pollution and lichens, p. 38–76, London.
- (1974–1977): Literature on air pollution and lichens I.–VII. — Lichenologist, London, 6 : 122–125, 1974; vol. 7 : 62–66 et 173–177, 1975; vol. 8 : 87–91 et 179–182, 1976; vol. 9 : 77–82 et 147–151, 1977.
- HAWKSWORTH D. L., F. ROSE et B. J. COPPINS (1973): Changes in the lichen flora of England and Wales attributable to pollution of air by sulphur dioxide. — In: FERRY B. W. et al. [red.], Air pollution and lichens, p. 330–367, London.
- HILTZER A. (1925): Étude sur la végétation épiphyte de la Bohême. — Spisy Přír. Fak. Karl. Univ., Praha, no. 41 : 1–202.
- HRDÁ J. et al. (1977): Znečištění ovzduší kyslíčником siričičitým a polétavým prachem v zájmových oblastech ČSR. — Praha.
- HURKA H. et S. WINKLER (1973): Statistische Analyse der rindenbewohnenden Flechtenvegetation einer Allee Tübingens. — Flora, Jena, 162 : 61–80.
- JAMES P. W. (1965): A new check-list of British lichens. — Lichenologist, London, 3 : 95–153.
- (1966): A new check-list of British lichens: Additions and corrections I. — Ibid. 3 : 242 to 247.

- JELÍNKOVÁ E. (1973): Bemerkungen zur Einwirkung von Exhalationsprodukten auf epiphytische Flechten in der Umgebung des chemischen Werks Duslo Šaľa. — Acta Fac. Rer. Natur. Univ. Comen., Bot., Bratislava, 21 : 119–127.
- LAUNDON J. R. (1967): A study of lichen flora of London. — Lichenologist, London, 3 : 277 to 327.
- LEBLANC F. (1972): The epiphytic vegetation of *Populus balsamifera* and its significance as an air pollution indicator in Sudbury, Ontario. — Canad. J. Bot., Ottawa, 50 : 519–528.
- LEBLANC F. et J. DE SLOOVER (1970): Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. — Ibid. 48 : 1485–1496.
- MATERNA J. (1973): Vztah mezi koncentrací kyslíčnicku siričitého a poškozením lesních dřevin v oblasti Slavkovského lesa. — Pr. Výzk. Úst. Lesn. Hosp. a Mysl., Praha, 43 : 167–180.
- LIŠKA J. (1975): Lišejníky a znečištěné ovzduší na Táborsku. — [Ms., Dipl. pr., knihovna kat. bot. přír. fak. UK Praha].
- MATOUSCHEK F. (1903): Verborgtblütige Pflanzen. — In: RESSEL A. F. et al., Heimatkunde des Reichenberger Bezirkes, p. 93–110, Reichenberg.
- MENZEL G. (1849): Beiträge zur Flora des Iser- und Jeschkengebirges. — In: PLUMERT J., Der Kurort Libwerda und seine Heilquellen, p. 64–86, Prag.
- NÁDVORNÍK J. (1951): Lišejníky Jizerských hor. — Čas. Nár. Mus., sect. natur., Praha, 116 : 44–48.
- OZENDA P. et G. CLAUZADE (1970): Les lichens. Étude biologique et flore illustrée. — Paris.
- PIŠÚT I. (1962): Bemerkungen zur Wirkung der Exhalationsprodukte auf die Flechtenvegetation in der Umgebung von Rudňany (Nordotslowakei). — Biológia, Bratislava, 17 : 481–494.
- (1971): Verbreitung der Arten der Flechtengattung *Lobaria* (Schreb.) Hue in der Slowakei. — Zborn. Slov. Nár. Múz., Prír. Vedy, Bratislava, 17 : 105–130.
- PIŠÚT I. et E. LISICKÁ-JELÍNKOVÁ (1974): Epiphytische Flechten in der Umgebung einer Aluminiumhütte in der Mittelslowakei. — Biológia, Bratislava, 29 : 29–38.
- POELT J. (1969): Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. — Lehre.
- QUITT E. (1971): Klimatické oblasti Československa. — Stud. Geogr., Brno, fasc. 16 : 1–74.
- ROSE F. (1973): Detailed mapping in south-east England. — In: FERRY B. W. et al. [red.], Air pollution and lichens, p. 77–88, London.
- RUDA V. (1966): Z dějin Liberecka v XVIII.–XX. století. — In: TOMSA J. et al. [red.], Liberecko, p. 21–29, Liberec.
- SEAWARD M. R. D. (1976): Lichens in air-polluted environments: Multivariate analysis of the factors involved. — In: KÄRENLAMP I. L. [red.], Proceedings of the Kuopio meeting on plant damages caused by air pollution, p. 57–63, Kuopio.
- SERVÍT M. (1925): Dvě československé lokality lišejníku *Belonia russula* Krb. — Čas. Nár. Mus., sect. natur., Praha, 99 : 139–141.
- SKYE E. (1958): Luftföroreningars inverkan på busk- och bladlavfloran kring skifferoljeverket i Närke Kvarntorp. — Svensk Bot. Tidskr., Uppsala, 52 : 133–190.
- (1968): Lichens and air pollution. — Acta Phytogeogr. Suec., Uppsala, 52 : 1–123.
- SOBOTKOVÁ V. (1969): Bioindikace znečištění ovzduší Ostravska. — Spisy Pedag. Fak. Ostrava, fasc. 14 : 1–139.
- STUHLÍK F. et H. KRIVÁNKOVÁ (1966): Vymezení oblastí s převládajícími směry větru a rychlostí větru v západní polovině ČSSR. — Meteor. Zpr., Praha, 19 : 43–48.
- ŠTĚPÁN J. (1976): Prognóza krajinoekologických podmínek fytogeografických okresů v ČSR. — Preslia, Praha, 48 : 165–185.
- VESECKÝ A. et al. [red.] (1958): Atlas podnebí Československé republiky. — Praha.
- [red.] (1961): Podnebí Československé socialistické republiky. Tabulky. — Praha.
- WALTER H. et H. LIETH (1960–1967): Klimadiagramm-Weltatlas. — Jena.
- DE WIT T. (1976): Epiphytic lichens and air pollution in the Netherlands. — Vaduz.
- ŽITNÝ L. (1966): Geologie Jizerských hor. — Liberec.

Došlo 16. března 1977