

LICHENOINDYKCJA ZMIAN ŚRODOWISKA NATURALNEGO BESKIDU SĄDECKIEGO

THE USE OF LICHENS FOR ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL CHANGES
IN THE BESKID SĄDECKI MTS. (SOUTHERN POLAND)

Lucyna ŚLIWA

Instytut Botaniki, Uniwersytet Jagielloński, ul. Kopernika 27, 31-501 Kraków; sliwa@ib.uj.edu.pl

Treść. Changes in the natural environment of the Beskid Sądecki Mountains were evaluated on the basis of lichenological studies carried out by M. Olech in 1965–1970 and the author's own data from 1989–1991. For selected sites a „historical” and present point of the biological scale was determined. Based on the distribution of indicator species, the zone-maps of the Beskid Sądecki Mountains were drawn. They illustrate the extent of air pollution (mainly by sulphur dioxide) in the study periods. It has been shown that during a period of 25 years the state of the environment has drastically decreased in the investigated area. The regions suffering the strongest human impact and those with the relatively well-preserved lichen flora were indicated as well.

Key words: lichens, biological scale, environmental changes, Beskid Sądecki, southern Poland.

Manuscript received: May 1999

accepted: June 2000

Treść: Zmiany środowiska naturalnego Beskidu Sądeckiego oceniono w oparciu o badania lichenologiczne M. Olech z lat 1965–1970 oraz dane własne autorki z lat 1989–1991. Dla wybranych miejsc określono „historyczny” i aktualny stopień skali biologicznej. Na podstawie rozmieszczenia gatunków wskaźnikowych sporządzono mapy lichenoindykacyjne Beskidu ilustrujące poziom zanieczyszczeń powietrza (głównie dwutlenkiem siarki) w badanych okresach. Wykazano, że w okresie 25 lat nastąpiło drastyczne pogorszenie stanu środowiska na tym terenie. Wskazano również rejon o najsilniejszej antropopresji oraz obszary o stosunkowo dobrze zachowanej florze porostów.

WSTĘP

Szczególne wrażliwość porostów na zmiany środowiska, a zwłaszcza na zanieczyszczenia powietrza sprawiła, że stały się one jednymi z częściej stosowanych biowskaźników. O szerokim zastosowaniu lichenoindykacji świadczą liczne ekspertyzy zarówno lokalne, jak i o szerszym zasięgu, a także prace metodyczne (np. Kiszka 1977, Wetmore 1988, 1989, Fabiszewski i in. 1983, Farkas i in. 1985, Showman 1988, Wirth 1988, Faltynowicz i in. 1991, Pustelniak 1991, Diamantopoulos i in. 1992, Liška 1994, Gordon i in. 1995, Jeran i in. 1995, 1996, Batić i Mayrhofer 1996, Bieber i in. 1999).

Jedną z bardziej popularnych metod lichenoindykacji polega na zastosowaniu skali biologicznej Hawkswortha i Rose'a (1970). Autorzy ci wykorzystali różną wrażliwość

poszczególnych gatunków porostów na zanieczyszczenia powietrza, przede wszystkim dwutlenkiem siarki. Na tej podstawie sporządzili tabelę gatunków wskaźnikowych dla 10-ciu różnych poziomów stężenia SO_2 w powietrzu w miesiącach zimowych. Skala ta przystosowana została do polskich warunków klimatycznych oraz do krajowej lichenoflory przez Kiszkę (1990), który wykazał jej przydatność do sporządzania map lichenoindykacyjnych (Kiszka 1992, Kiszka i Piórecki 1990, 1994, Kiszka i Kościelniak 1996, Kiszka 1998). W swoich opracowaniach Kiszka wprowadził uogólniony sposób interpretacji danych uzyskanych metodą skali biologicznej. Autor ten stosuje termin „strefa lichenoindykacyjna” i wyróżnia siedem takich stref: strefa I = stopień skali biologicznej 0 i 1, strefa II = stopień skali biologicznej 2 i 3, strefa III = stopień skali biologicznej 4, strefa IV = stopień skali biologicznej 5, strefa V = stopień

skali biologicznej 6, strefa VI = stopień skali biologicznej 7 i 8, strefa VII = stopień skali biologicznej 9 i 10.

Celem niniejszej pracy było porównanie stanu środowiska naturalnego Beskidu Sądeckiego w różnych okresach obecnego stulecia przy zastosowaniu wspomnianej skali. Obszar ten był niezmiennie obiektem zainteresowania lichenologów już od końca ubiegłego stulecia (Rehman 1879, Boberski 1883a, 1883b, 1885a, 1885b, 1886, 1889, 1892, Moryka 1936–1938, 1962, Rydzak 1955, Tobolewski 1958, 1966). Obecnie Beskid Sądecki jest jedynym, tak rozległym obszarem w Polsce, gdzie dwukrotnie przeprowadzono kompleksowe, szczegółowe badania nad składem gatunkowym i rozmieszczeniem porostów (Olech 1967, 1972, 1973, Śliwa 1998a, 2000). W pełni uzasadnione jest więc wykorzystanie tych danych w celu monitoringu środowiska.

Ogółem z Beskidu Sądeckiego znanych jest 465 taksonów porostów, co świadczy o jego ogromnych walorach lichenologicznych. W latach sześćdziesiątych teren miał szczególnie interesującą lichenoflorę w porównaniu z innymi pasmami beskidzkimi (Olech 1973). Świadczyła o tym zarówno ogólna liczba gatunków, jak i duży udział taksonów rzadkich w skali kraju oraz liczna grupa gatunków o charakterze górskim. Niestety, do chwili obecnej wiele gatunków wyginęło na tym terenie. Za wymarłe uznano aż 106 taksonów, co stanowi ponad 25% flory (Śliwa 1998a). Znalazło się wśród nich wiele porostów z grupy tzw. *macrolichenes*. Wyginęła również zdecydowana większość taksonów o wąskich amplitudach ekologicznych, m.in. gatunki związane z poszczególnymi piętrami górskimi oraz charakterystyczne dla ściśle określonych rodzajów podłoża. Wiele interesujących taksonów nadal występujących na tym terenie należy do zagrożonych i znalazło się na lokalnej czerwonej liście porostów (Śliwa 1998b). Równocześnie, ustępowaniu pewnych gatunków towarzyszy rozprzestrzenianie się innych, bardziej tolerancyjnych na zmiany środowiska. Wynikiem tych dwóch procesów jest zmiana składu gatunkowego flory. Obecnie zręb jej stanowią porosty eurytopowe, pospolite w skali kraju. Zubożeniu uległy również poszczególne zbiorowiska porostów (Śliwa 2000).

Za tak ogromne przeobrażenia w szacie porostów odpowiedzialnych jest wiele czynników związanych z działalnością człowieka. Są to przede wszystkim zanieczyszczenia środowiska o charakterze zarówno lokalnym, jak i globalnym oraz gospodarka leśna, która prowadzi do bezpośredniego (wycinanie drzew) i pośredniego (zmiana warunków mikroklimatycznych) eliminowania siedlisk.

Krynicka (1116 m n.p.m.) (ryc. 1). O dużych walorach przyrodniczych i krajobrazowych tego terenu świadczy fakt, że na jego obszarze znajduje się 12 rezerwatów przyrody, a od 1987 roku wchodzi on w skład Popradzkiego Parku Krajobrazowego. Przyroda Sądeczyzny jest stosunkowo dobrze poznana, o czym świadczą liczne opracowania na ten temat (m.in. Staszkiwicz red. 2000). Tradycje uzdrowskowe w Beskidzie Sądeckim sięgają ubiegłego stulecia.

Środowisko przyrodnicze Beskidu Sądeckiego pozostaje pod znacznym wpływem działalności człowieka. Pierwsze ślady jego pobytu na tym terenie pochodzą z epoki neolitu (4000–1700 lat p.n.e.) (Czarnačka i in. 1988). Ze stopniowym rozwojem osadnictwa wiązał się karczunek lasów. Nasilające się wraz z rozwojem przemysłu zapotrzebowanie na drewno powodowało coraz większe ich niszczenie. Gospodarka leśna, w dużej mierze nastawiona na pozyskiwanie drewna, trwa na tym terenie do chwili obecnej. Wynikiem tej działalności jest znaczne zmniejszenie powierzchni lasów i utrata ich pierwotnego charakteru. Współcześnie, jedną z ważniejszych form aktywności człowieka na terenie Beskidu Sądeckiego jest turystyka i rekreacja, o czym świadczy m.in. uzdrowski charakter wielu miejscowości. Rozwój turystyki w obrębie Beskidu Sądeckiego pociągnął za sobą budowę sieci dróg, nasilenie ruchu samochodowego oraz postępującą urbanizację niewielkich kiedyś uzdrowsk.

Szczególnie niekorzystnym efektem działalności człowieka są zanieczyszczenia atmosferyczne. Stopień zanieczyszczenia powietrza w obrębie byłego województwa nowosądeckiego dobrze ilustrują następujące dane liczbowe: roczna emisja pyłów wynosi 4 tys. ton (z tego popioły lotne 3 tys. ton), a gazów (bez CO₂) 10 tys. ton, w tym: SO₂ – 5 tys. ton a CO – 1 tys. ton (Miczynski 1990). Porosty są szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki. Rozkład oraz wartości średnich stężeń tego związku w powietrzu zmieniają się w sposób istotny w zależności od pory roku (ryc. 2). Głównym producentem wszelkich zanieczyszczeń powietrza na obszarze Sądeczyzny są zakłady przemysłowe i przetwórcie zlokalizowane na terenie Nowego Sącza. Miasto to skupia na swym terenie 5 dużych i około 100 małych obiektów przemysłowych emitujących do atmosfery substancje szkodliwe. Istotnym źródłem zanieczyszczeń są również liczne lokalne kotłownie (Miczynski 1990). Na stan aerosanitarny omawianego terenu wpływają również zanieczyszczenia powietrza nanoszone z licznych ośrodków przemysłowych południowej Polski oraz krajów sąsiadujących.

TEREN BADAŃ

Beskid Sądecki jest najbardziej na wschód wysuniętą częścią Beskidu Wysokiego i rozciąga się między Górcami na zachodzie a Beskidem Niskim na wschodzie. W jego skład wchodzi dwa pasma górskie – pasmo Radziejowej i pasmo Jaworzyny Krynickiej. Najwyższe kulminacje w obrębie tych pasm to Radziejowa (1265 m n.p.m.) oraz Jaworzyna

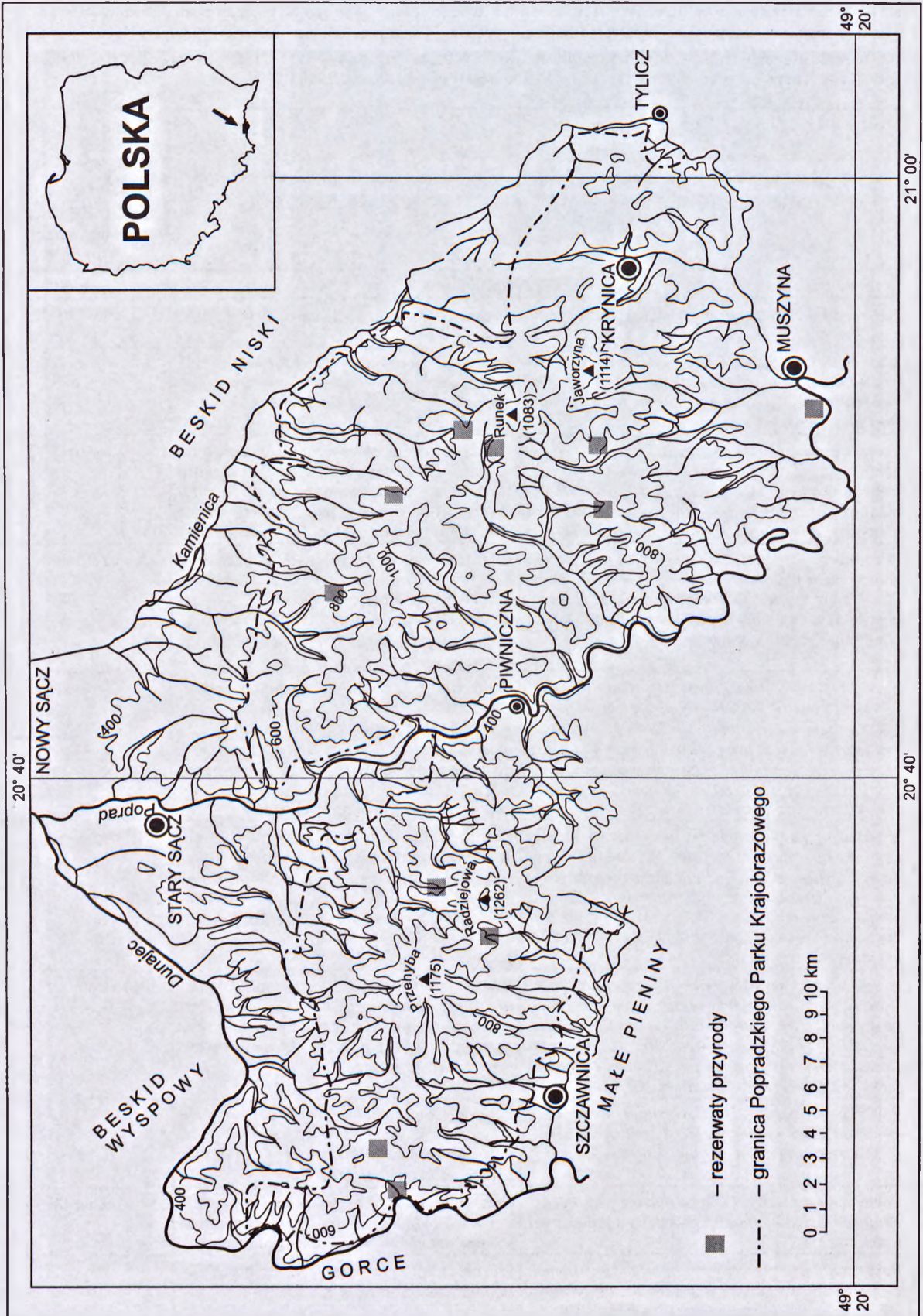
METODYKA

Lichenoindykację stanu środowiska naturalnego na badanym terenie oparto na skali biologicznej Hawkswortha i Rose'a (1970), w modyfikacji Kiszki (1990) (Tab. 1). Materiał wyjściowy dla niniejszej pracy stanowiły: szczegółowe opracowanie lichenologiczne Beskidu Sądeckiego, wykonane w latach 1965–1970 przez Olech (1972, 1973) oraz

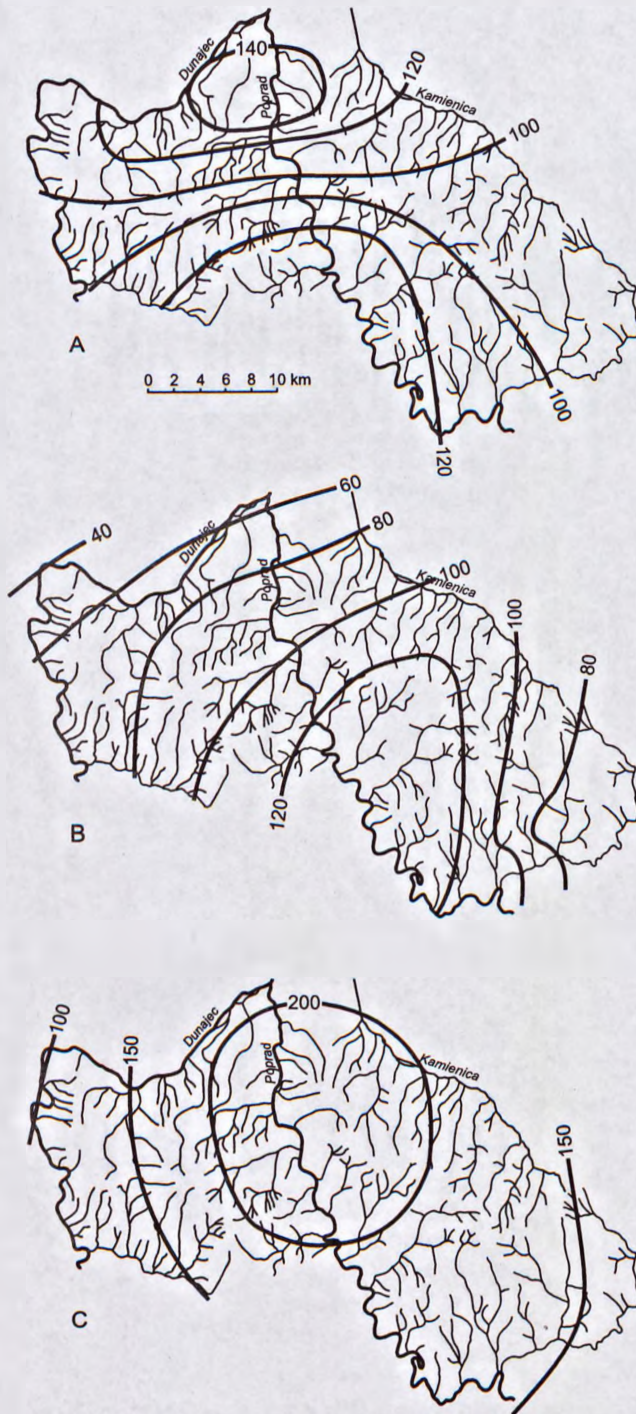
Tabela 1. Skala biologiczna porostów epifitycznych (Hawksworth i Rose 1970) dostosowana do polskiej flory porostów (Kiszka 1990). Stężenia SO₂ są adekwatne do warunków klimatycznych panujących w Polsce południowej (Kiszka 1990).

Table 1. Biological scale of epiphytic lichens (Hawksworth and Rose 1970), as adapted by Kiszka (1990) to the Polish lichen flora. Concentrations of SO₂ correspond with conditions prevailing in southern Poland (Kiszka 1990).

Stopień skali Point of scale	Kora kwaśna i słabo kwaśna Acid and semi acid bark	Kora neutralna i zasadowa Neutral and alkaline bark	Średnie stężenie SO ₂ w powietrzu w okresie zimowym Mean SO ₂ concentration in air during winter months [µg/m ³]
0	Epifitów brak	Epifitów brak	około 200
1	<i>Desmococcus viridis</i> s.l. występuje u nasady pnia	<i>Desmococcus viridis</i> s.l. na całej wysokości pnia.	około 170–200
2	<i>Desmococcus viridis</i> na całej wysokości pnia. <i>Lecanora conizaeoides</i> ograniczony do nasady pnia. Rzadko występują: <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> , <i>Bacidina phacodes</i> i <i>Lepraria incana</i>	<i>Lecanora conizaeoides</i> występuje często. Okazjonalnie pojawiają się: <i>Lecanora expallens</i> , <i>L. sarcopis</i> <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> , <i>Amandinea punctata</i> i <i>Lepraria incana</i>	około 170
3	<i>Lecanora conizaeoides</i> zarówno u nasady jak i w górze pnia. U nasady pnia <i>Cladonia coniocraea</i> , rzadziej <i>Cladonia macilenta</i> , <i>C. bacillaris</i> . Występują też: <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> , <i>Bacidina phacodes</i> , <i>Trapeliopsis flexuosa</i> i <i>Lepraria incana</i>	<i>Lecanora conizaeoides</i> i <i>Amandinea punctata</i> obficie. W mniejszych ilościach: <i>Lecanora sarcopis</i> , <i>L. expallens</i> , <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> . U nasady pnia zdegenerowane plechy <i>Physcia adscendens</i> for. <i>subbreviata</i> .	około 150
4	U nasady pnia występują zdegenerowane plechy: <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>P. saxatilis</i> . Pojawiają się: <i>Lecanora expallens</i> , <i>Hypoconomyce scalaris</i> , <i>Chaenotheca ferruginea</i> . Na pniu dominują gatunki stopnia 3.	U nasady pnia występują: <i>Physcia adscendens</i> , <i>P. tenella</i> , <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , <i>Xanthoria parietina</i> , <i>X. polycarpa</i> . Pojawiają się zdegenerowane plechy: <i>Physconia grisea</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia sulcata</i> .	około 100
5	<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>P. saxatilis</i> występują na całej wysokości pnia. Dodatkowo osiedlają się: <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>Imshaugia aleurites</i> , <i>Lecanora pulicaris</i> , <i>L. carpinea</i> . Pojawiają się nielicznie zdegenerowane plechy: <i>Evernia prunastri</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>R. pollinaria</i> i <i>Platismatia glauca</i> .	<i>Physconia enteroxantha</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Evernia prunastri</i> , <i>Opegrapha rufescens</i> , <i>O. varia</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>L. carpinea</i> , <i>Physcia stellaris</i> występują z gatunkami stopnia 4. Pojawiają się zdegenerowane plechy: <i>Pleurosticta acetabulum</i> , <i>Melanelia exasperatula</i> i <i>Candelaria concolor</i> .	około 70
6	U nasady pnia pojawiają się zdegenerowane plechy <i>Flavoparmelia caperata</i> . Występują: <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Evernia mesomorpha</i> , <i>Bryoria</i> sp., <i>Usnea hirta</i> , <i>U. filipendula</i> , <i>Graphis scripta</i> i <i>Punctelia subrudecta</i> o zdegenerowanej pleśze. Licznie rosną gatunki z rodzaju <i>Lecanora</i> , <i>Lecidella</i> i <i>Pertusaria</i> .	Pojawiają się: <i>Physconia distorta</i> , <i>Physcia aipolia</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Parmelina tiliacea</i> , <i>Acrocordia gemmata</i> , <i>Anisomeridium biforme</i> . Często na pniach: <i>Candelaria concolor</i> , <i>Physconia enteroxantha</i> , <i>Physcia stellaris</i> i inne.	około 50
7	Często występują: <i>Flavoparmelia caperata</i> , <i>Punctelia subrudecta</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> . Pojawiają się plechy: <i>Cetrelia olivetorum</i> , <i>C. cetrarioides</i> , <i>Hypotrachyna revoluta</i> , <i>Normandina pulchella</i> , <i>Usnea subfloridana</i> , <i>U. florida</i> i inne gatunki rodzaju <i>Usnea</i> , <i>Ramalina</i> i <i>Bryoria</i> .	Dominują: <i>Physconia distorta</i> , <i>Physcia aipolia</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Bacidia rubella</i> , <i>Ramalina fastigiata</i> , <i>Acrocordia gemmata</i> oraz szereg gatunków o pleśze listkowatej, skorupiastej i krzaczkowatej.	około 40
8	Pojawiają się plechy: <i>Usnea ceratina</i> , <i>Menegazzia terebrata</i> , <i>Hypogymnia vittata</i> , <i>Parmotrema arnoldii</i> . Licznie występują gatunki stopnia 7.	Pojawiają się: <i>Ramalina fraxinea</i> , <i>Caloplaca cerina</i> , <i>C. herbidella</i> , <i>C. ochroleuca</i> , <i>Gyallecta truncigena</i> i <i>Melanelia laciniatula</i> . Liczne są gatunki stopnia 7	około 35
9	Pojawiają się plechy: <i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>Pachyphiale cornea</i> . Na pniach i gałęziach dominują gatunki stopnia 7 i 8	Dominuje <i>Ramalina fraxinea</i> . Występuje <i>Physcia semipinnata</i> , <i>Caloplaca aurantia</i> i szereg gatunków wyżej wymienionych.	około 30
10	Pojawiają się plechy: <i>Lobaria amplissima</i> , <i>L. scrobiculata</i> , gatunki rodzajów <i>Sticta</i> , <i>Nephroma</i> i <i>Pannaria</i> . Liczne taksony stopnia 8 i 9.	Licznie i bez objawów degeneracji plech występują gatunki stopnia 8 i 9.	„czyste”



Ryc. 1. Mapa Beskidu Sadeckiego – obszar badań lichenologicznych [opracowała Małgorzata Matyjaszkiewicz].
 Fig. 1. The map of a study area, Beskid Sadecki Mountains [drawn by Małgorzata Matyjaszkiewicz].



Ryc. 2. Rozkład średnich stężeń dwutlenku siarki na terenie byłego województwa nowosądeckiego w latach osiemdziesiątych [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]: A – rocznych, B – letnich, C – zimowych (według Miczyńskiego 1990, uproszczone).

Fig. 2. Distribution of mean SO_2 concentrations in the former Nowy Sącz district in the eighties [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]: A – all-year, B – summer, C – winter (according to Miczyński 1990, simplified).

wyniki badań przeprowadzonych na tym terenie powtórnie w latach 1989–1991 (Śliwa 1998a). Na podstawie rozmieszczenia gatunków wskaźnikowych opracowano mapy lichenoindykacyjne Beskidu Sądeckiego – jedną dla końca lat sześćdziesiątych (1965–70), drugą dla przełomu lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych (1989–91). Dla tych miejsc, dla których udało się odtworzyć florę porostów z obu okresów badawczych, określono „historyczny” i aktualny stopień skali porostowej. W celach porównawczych przeanalizowano również dostępne dane lichenologiczne z końca ubiegłego stulecia (Rehman 1879, Boberski 1883a, 1883b, 1885a, 1885b, 1886, 1889, 1892), jednak ze względu na ich fragmentaryczność, jedynie dla trzech miejsc Beskidu Sądeckiego udało się określić stan czystości powietrza w tamtym okresie.

WYNIKI

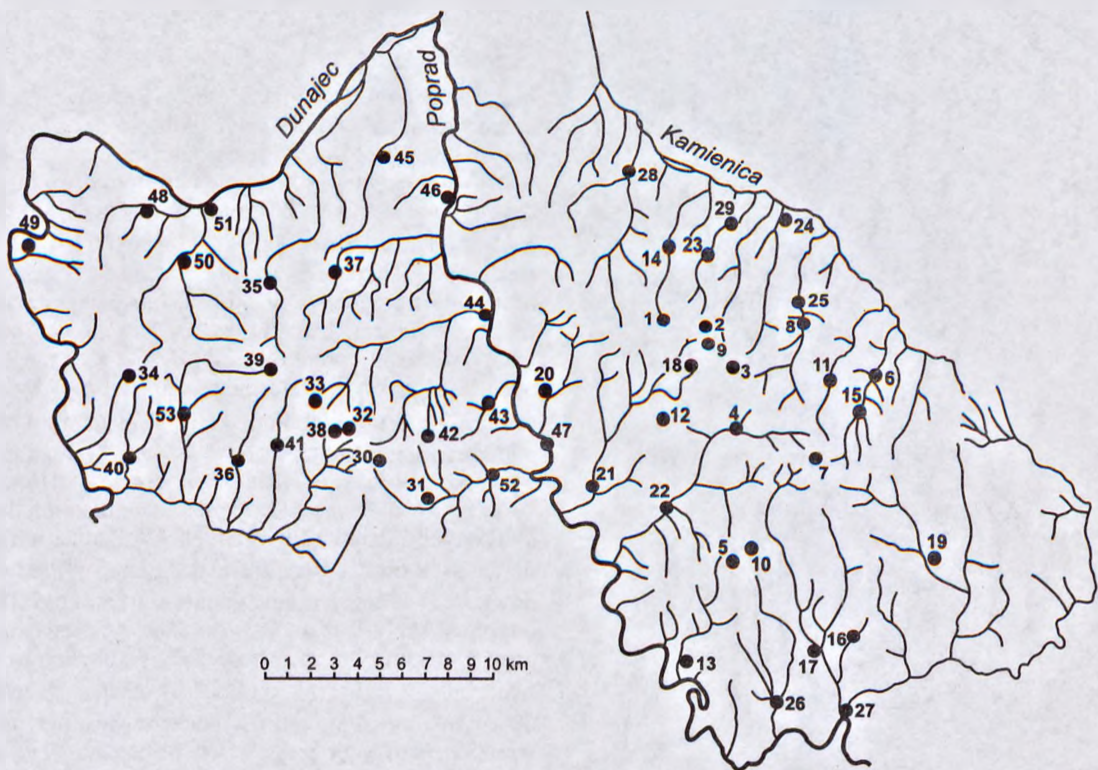
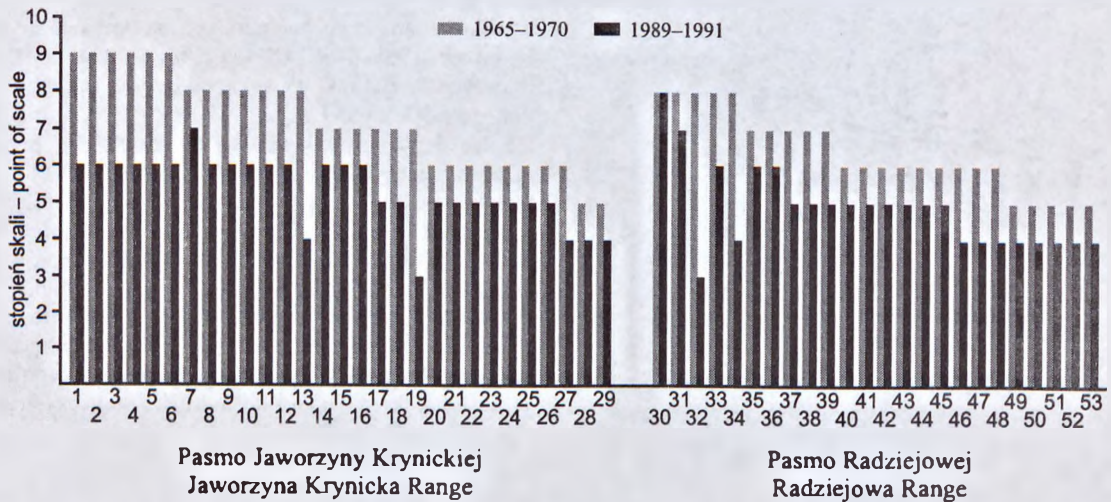
Mapy lichenoindykacyjne Beskidu Sądeckiego i diagramy przedstawiające stopnie skali biologicznej dla wybranych miejsc (ryc. 3–6) ilustrują poziom zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki (dla sezonu zimowego) na badanym terenie w różnych okresach obecnego stulecia.

W latach sześćdziesiątych na większej części obszaru Beskidu Sądeckiego zawartość dwutlenku siarki w powietrzu w miesiącach zimowych wahała się w granicach 30–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (stopnie skali 6–9) (ryc. 3). Jedynie w rejonach dolnych odcinków potoków, gdzie zaznacza się wyraźnie obecność człowieka, stężenie tego związku było wyższe (około 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, stopnie skali 5). W tamtym czasie najwyższe stężenia SO_2 , równe 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (stopnie skali 4) występowały jedynie lokalnie na obrzeżach Beskidu.

Z mapy lichenoindykacyjnej dla przełomu lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych wynika, że w tym czasie największy obszar Beskidu Sądeckiego był pod wpływem powietrza o stężeniu dwutlenku siarki około 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (stopnie skali 4) (ryc. 4). Wyraźnie zaznacza się również obszar, na którym zawartość SO_2 w powietrzu wynosiła około 50–70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (stopnie 5 i 6). Niższe stężenia, około 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (stopnie skali 7), występowały jedynie na niewielkich, najwyżej położonych obszarach – w okolicach Wielkiego Rogacza w paśmie Radziejowej i na Jaworzynie Krynickiej.

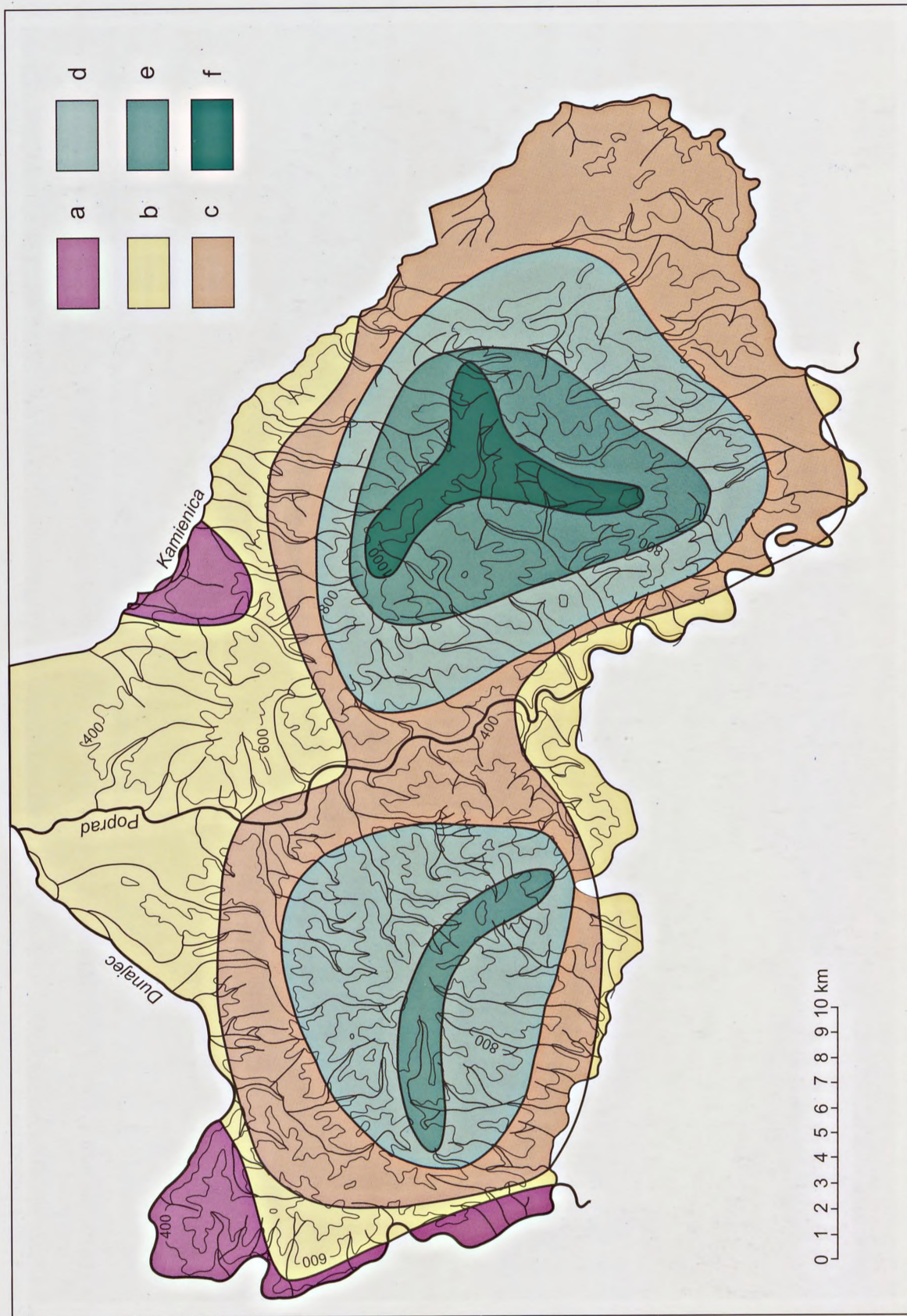
Na przestrzeni 25 lat zupełnie zanikły obszary, którym można by było przypisać 8. i 9. stopnie skali (stężenie SO_2 około 30–35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Natomiast drastycznie zwiększył się obszar o stopniu 4. (stężenia SO_2 około 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (por. ryc. 3 i 4).

Analiza aktualnego i „historycznego” stopnia skali biologicznej dla wybranych miejsc pokazała, że poza jednym wyjątkiem, tzn. okolicami Wielkiego Rogacza, we wszystkich przeanalizowanych punktach w okresie 25. lat zaznaczył się znaczny wzrost stężenia dwutlenku siarki w powietrzu (ryc. 5). W wielu miejscach omawianego obszaru nastąpiła zmiana o więcej niż jeden stopnie skali.



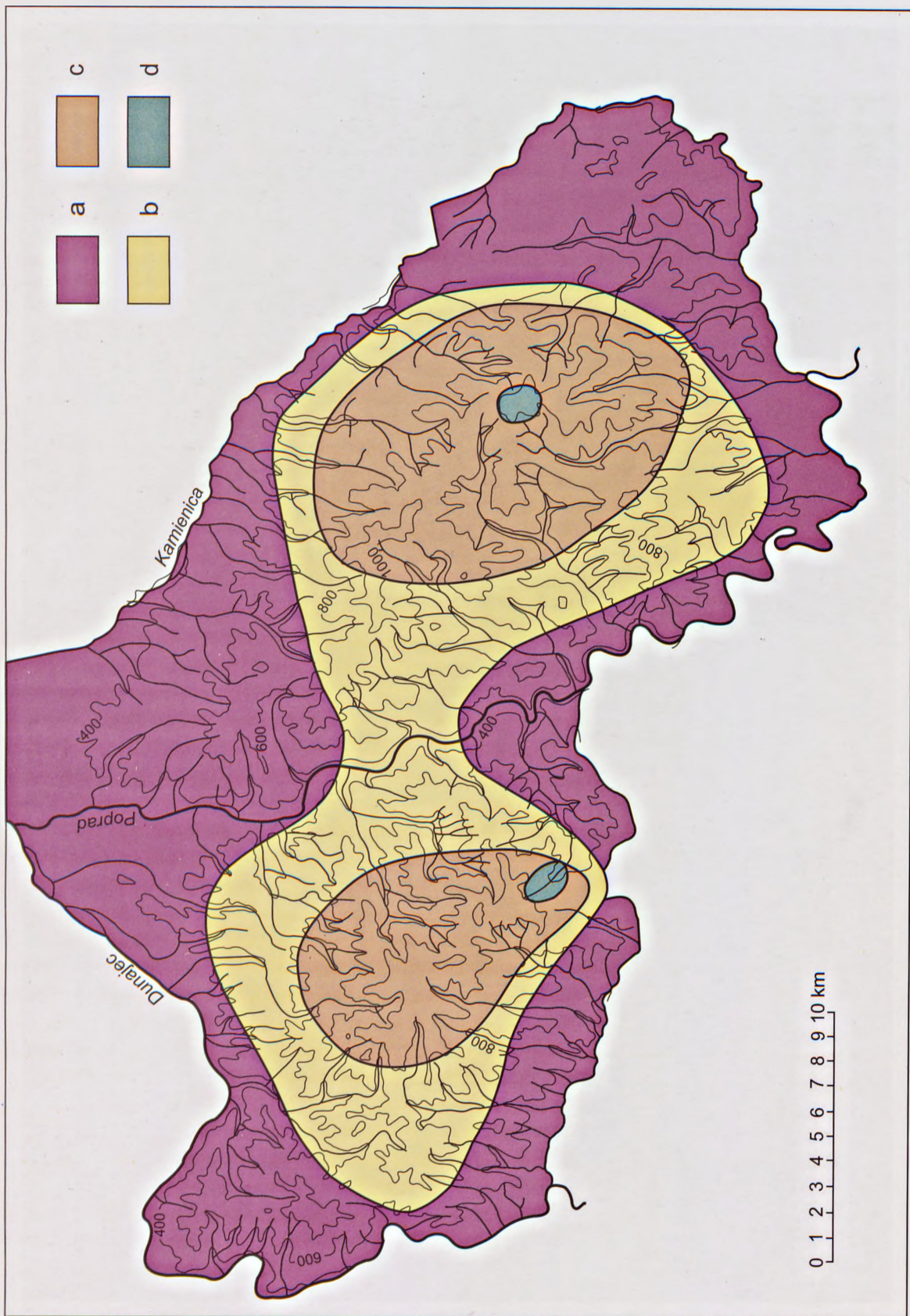
Ryc. 5. Historyczny (1965–1970) i aktualny (1989–1991) stopień skali biologicznej dla wybranych miejsc. Pasma Jaworzyny Krynickiej: 1 – Wierch Nad Kamieniem, 2 – Hala Krajnia, 3 – Rez. Łabowiec, 4 – potok Potasznia, 5 – Pusta Wielka, 6 – Potok Łosiański, 7 – Runek, 8 – potok Uhryń, 9 – Hala Łabowska, 10 – Jaworzynka koło Pustej Wielkiej, 11 – Potok Kryśców, 12 – Parchowatka, 13 – Żegiestów, 14 – Potok Składziszczanski, 15 – Łosie, 16 – Złockie, 17 – Szczawnik, 18 – Skotarki, 19 – Krynica, 20 – Kokuszka, 21 – Łomnica, 22 – Wierchomla, 23 – potok Feleczyn, 24 – Łabowa, 25 – Uhryń, 26 – Milik, 27 – Muszyna, 28 – Homerka, 29 – Składziste. Pasma Radziejowej: 30 – Rogacz Wielki, 31 – potok Czercz, 32 – Radziejowa, 33 – Złomisty Wierch, 34 – Dzwonkówka, 35 – Gaboń, 36 – potok Sielski, 37 – Przysietnica, 38 – Rez. Kłodne nad Dunajcem, 39 – Przehyba, 40 – Potok Kozłeckki, 41 – potok Stary, 42 – Niemcowa, 43 – Pot. Młodowski, 44 – Rytro, 45 – Moszczenica, 46 – Barcice, 47 – Piwniczna, 48 – potok Brzinka, 49 – Klempy, 50 – Potok Obidzki, 51 – Jazowsko, 52 – Czercz, 53 – potok Skotnicki (Nazwy geograficzne wg mapy: Beskid Sądecki – Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa-Wrocław, 1990).

Fig. 5. Former (1965–1970) and present (1989–1991) point of the biological scale for selected sites. Jaworzyna Krynicka range: 1–29 as above. Radziejowa range: 30–53 as above.



Ryc. 3. Mapa lichenoidykcacyjna Beskidu Śląckiego oparta na danych z lat 1965–1970 (Olech 1972, 1973). Stopień skali: a – 4, b – 5, c – 6, d – 7, e – 8, f – 9 [graficzne opracowała Małgorzata Matyjaszkiewicz].

Fig. 3. The zone-map of the Beskid Ślącki Mountains, based on the lichenological data from 1965–1970 (Olech 1972, 1973). Point of scale: a – 4, b – 5, c – 6, d – 7, e – 8, f – 9 [drawn by Małgorzata Matyjaszkiewicz].



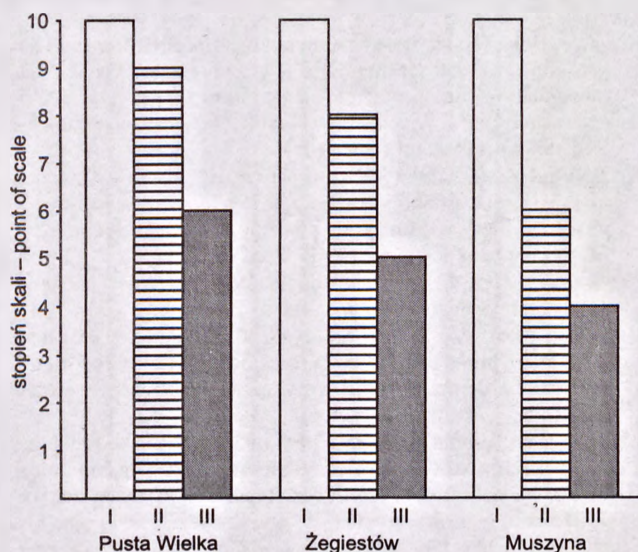
Ryc. 4. Mapa lichenoidnykacyjna Beskidu Sąddeckiego oparta na danych z lat 1989–1991 (Śliwa 1998). Stopień skali: a – 4, b – 5, c – 6, d – 7 [graficznie opracowała Małgorzata Matyjaszkiewicz].

Fig. 4. The zone-map of the Beskid Sąddecki Mountains, based on the lichenological data from 1989–1991 (Śliwa 1998). Point of scale: a – 4, b – 5, c – 6, d – 7, e – 8, f – 9 [drawn by Małgorzata Matyjaszkiewicz].

Najbardziej pogorszyły się warunki aerosanitarnie na terenie takich miejscowości uzdrowskowych, jak Krynica (obniżenie stopnia skali z 7 na 3), Żegiestów (z 8 na 4) i Muszyna (z 6 na 4). Mniej drastyczne zmiany w lichenoflorze obserwuje się w obrębie pasma Radziejowej. Wynika to z faktu, że obszar Radziejowej jest mniej licznie zamieszkały, a więc w mniejszym stopniu odlesiony i zagospodarowany.

W znanych uzdrowskach, takich jak Krynica, Muszyna, Żegiestów, podobnie jak w innych miejscowościach wypoczynkowych, np. Barcice, Piwniczna, Homerka, Składziste, Klempy, Jazowsko, Czercz, panują najgorsze w całym Beskidzie warunki, jeśli chodzi o czystość powietrza. Miejscowościom tym odpowiada aktualnie 4. stopień skali biologicznej, oznaczający stężenie dwutlenku siarki rzędu $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a więc takie samo jak w okolicach Krakowa (Kiszka 1990).

Dla kilku miejsc Beskidu Sądeckiego udało się odtworzyć stopień skali biologicznej z końca ubiegłego stulecia. Okazało się, że stan czystości powietrza w miejscach o charakterze naturalnym (Pusta Wielka) i w miejscowościach uzdrowskowych (Żegiestów, Muszyna) był wówczas taki sam (ryc. 6). Zawartość dwutlenku siarki w powietrzu wynosiła poniżej $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Według skali biologicznej taki poziom stężenia SO_2 świadczy o „czystym” powietrzu (tab. 1). W ciągu minionych blisko 100 lat nastąpiło więc znaczne pogorszenie warunków aerosanitarnych (obniżenie stopnia skali) na badanym terenie (ryc. 6).



Ryc. 6. Stopnie skali biologicznej dla Pustej Wielkiej (nr 5 – szczyt górski), Żegiestowa (nr 13 – uzdrowsko) i Muszyny (nr 27 – miasteczko) w trzech okresach: I – koniec ubiegłego stulecia, II – 1965–1970, III – 1989–1991.

Ryc. 6. Points of the biological scale for Pusta Wielka (no. 5, mountain top), Żegiestów (no. 13, health resort) and Muszyna (no. 27, small town), estimated for three periods: I – end of the nineteenth century, II – 1965–1970, III – 1989–1991.

DYSKUSJA

Skala biologiczna jest bardzo dobrą metodą służącą do określenia stanu aerosanitarnego środowiska, a przede wszystkim stopnia zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki. Stężenia tego związku w powietrzu oszacowane dla Beskidu Sądeckiego na podstawie skali biologicznej dla końca lat osiemdziesiątych generalnie pokrywają się ze stężeniami określonymi metodami pomiarowymi (ryc. 2). Można więc z dużą dozą prawdopodobieństwa przyjąć, że zrekonstruowana mapa lichenoindykacyjna Beskidu Sądeckiego dla lat sześćdziesiątych oraz „historyczne” stopnie skali stanowią wiarygodny materiał dla oceny zmian zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki.

Uzyskane dane należy jednak interpretować bardzo ostrożnie. Złożoność naturalnych warunków panujących w górach (skomplikowana rzeźba terenu, zróżnicowanie mikroklimatyczne) wpływa z różnym nasileniem zarówno na rozkład zanieczyszczeń powietrza jak i na vegetację porostów. Dodatkowo trzeba pamiętać, że choć porosty wykazują największą wrażliwość właśnie na dwutlenek siarki, to jednak o ich zanikaniu decyduje więcej czynników. Stan lichenoflory na danym terenie jest efektem sumarycznego wpływu tych czynników, przy czym niektóre z nich mogą mieć oddziaływanie synergiczne. Czynnikami mającymi wpływ na stan porostów są także inne, poza dwutlenkiem siarki, składniki zanieczyszczonego powietrza, np. związki azotu, metale ciężkie, jak również w dużym stopniu poziom wilgotności powietrza. Tak więc dane ilościowe o zanieczyszczeniach powietrza dwutlenkiem siarki, otrzymane przy zastosowaniu lichenoindykacji, traktować należy jako orientacyjne.

Rozpatrując stan środowiska Beskidu Sądeckiego w kategoriach stref lichenoindykacyjnych wprowadzonych przez Kiszkę (1990) można stwierdzić, że pod koniec ubiegłego stulecia prawdopodobnie cały obszar Beskidu obejmowała strefa VII, co oznaczało korzystne warunki bioekologiczne. W latach sześćdziesiątych strefa ta zanikła, rozszerzyły się natomiast strefy VI, V i IV, co świadczy o wyraźnym negatywnym wpływie zanieczyszczonego powietrza na porosty. Na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych znaczny obszar był objęty strefami V i IV, ale wyraźnie zaznaczyła się również strefa III. Pojawienie się tej strefy świadczy dobitnie o degradacji warunków ekologicznych na przestrzeni około 30 lat.

Podobne zmiany w różnorodności gatunkowej porostów stwierdzono dla części Beskidu Śląskiego, pozostającego pod jeszcze silniejszym wpływem zanieczyszczeń powietrza (Kiszka 1998). Tak więc drastyczne pogorszenie stanu środowiska naturalnego w Polsce następuje nie tylko na terenach sąsiadujących z dużymi ośrodkami przemysłowymi, ale również na obszarach bardziej od nich oddalonych, o znacznie mniej intensywnej gospodarce człowieka.

Możliwy jest jeszcze inny sposób wykorzystania informacji uzyskanych przy zastosowaniu skali biologicznej. Otóż każdemu kolejnemu stopniowi skali odpowiada coraz większa różnorodność gatunkowa porostów. Zatem wyższe stopnie skali wskazywać mogą obszary o stosunkowo bogatej lichenoflorze. Interpretując sporządzone mapy w tym

aspekcie, stwierdzić można, że najcenniejsze rejony Beskidu Sądeckiego pod względem flory porostów obejmowały w latach sześćdziesiątych wyższe partie Pasma Jaworzyny Krynickiej, a szczególnie okolice Hali Łabowskiej (ryc. 3). Znajduje to potwierdzenie w pracy Olech z 1973 roku, w której autorka podkreśla szczególne walory tej części omawianego terenu. Z aktualnej mapy lichenindykacyjnej wynika niestety, że właśnie w obrębie wspomnianego pasma zaszły szczególnie duże, negatywne zmiany w bogactwie gatunkowym porostów (ryc. 4). Obecnie najcenniejsze lichenologicznie obszary Beskidu Sądeckiego to okolice Wielkiego Rogacza i górny bieg Potoku Czercz w pasmie Radziejowej, a w pasmie Jaworzyny okolice Runka. Wymienione partie Beskidu Sądeckiego należy traktować jako ważne ostoje tej grupy organizmów.

Podsumowując, można stwierdzić, że mapy lichenindykacyjne, sporządzone w oparciu o skalę biologiczną, dobrze ilustrują stan środowiska naturalnego również na terenie górskim. Pozwoliły określić rozmiar zmian jakie w nim zaszły, a w przyszłości będą mogły stanowić punkt odniesienia do dalszych badań monitoringowych. Beskid Sądecki jest pierwszym tak rozległym obszarem o charakterze górskim, dla którego wykonano mapy lichenindykacyjne z zastosowaniem skali biologicznej.

Podziękowania. Składam podziękowania prof. dr hab. Marii Olech za cenne uwagi w trakcie przygotowywania niniejszej pracy. Szczególnie serdecznie dziękuję mgr Małgorzacie Matyjaszkiewicz za opracowanie graficzne.

PIŚMIENNICTWO

- BATIĆ F., MAYRHOFFER H. 1996. Bioindication of air pollution by epiphytic lichens in forest decline studies in Slovenia. *Phyton (Horn, Austria)* 36 (3): 85–90.
- BIEBER W., BENETKA E., TÜRK R. 1999. Contrastive analysis of heavy metals in lichens in Alpine National Parks in Alaska, Canada and Austria. *Phyton (Horn, Austria)* 39 (1): 71–78.
- BOBERSKI W. 1883a. Porosty galicyjskie. *Kosmos* 8: 83–92, 200–209.
- BOBERSKI W. 1883b. Przyczynek do flory lichenologicznej w Galicji. *Kosmos* 8: 469–474.
- BOBERSKI W. 1885a. Przyczynek do lichenologicznej flory Galicji ze szczególnym uwzględnieniem galicyjskiego Podola. Sprawozdanie z wycieczki odbytej w r. 1884. *Spraw. Kom. Fizjogr.* 19: 183–204.
- BOBERSKI W. 1885b. Drugi przyczynek do flory lichenologicznej Galicji. *Kosmos* 10: 68–75.
- BOBERSKI W. 1886. Systematische Übersicht der Flechten Galiziens. *Verh. zool.-bot. Ges. Wien* 36: 243–286.
- BOBERSKI W. 1889. Trzeci przyczynek do lichenologii Galicji. *Spraw. Kom. Fizjogr. PAU* 23: 36–49.
- BOBERSKI W. 1892. Czwarty przyczynek do lichenologii Galicji. *Spraw. Kom. Fizjogr.* 27: 157–169.
- CZARNECKA A., KRUCZEK Z., RYPUSZYŃSKI S. 1988. Województwo nowosądeckie. Krajowa Agencja Wydawnicza, Kraków.
- DIAMANTOPOULOS J., PIRINTSOS S., LAUNDON J.R., VOKOU D. 1992. The epiphytic lichens around Thessaloniki (Greece) as indicators of sulphur dioxide pollution. *Lichenologist* 24 (1): 63–71.
- FABISZEWSKI J., BREJ T., BIELECKI K. 1983. Fitoindykacja wpływu hutnictwa na środowisko biologiczne (Plant indication examinations on environmental influence of copper smelter). *Prace Wrocl. Tow. Nauk., Seria B* 207: 1–109.
- FALTYNOWICZ W., IZYDOREK I., BUDZBON E. 1991. The lichen flora as bioindicator of air pollution of Gdańsk, Sopot and Gdynia. *Mon. Bot.* 73: 5–52.
- FARKAS E., LOKÓS L., VERSEGHY K. 1985. Lichens as indicators of air pollution in the Budapest agglomeration. I. Air pollution map based on floristic data and heavy metal concentration measurements. *Acta Bot. Hung.* 31 (1–4): 45–68.
- GORDON C.A., HERRERA R., HUTCHINSON T.C. 1995. The use of a common epiphytic lichen as a bioindicator of atmospheric inputs to two Venezuelan cloud forests. *J. Ecol.* 11: 1–26.
- HAWKSWORTH D. L., ROSE T. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145–148.
- JERAN Z., BYRNE A.R., BATIĆ F. 1995. Transplanted epiphytic lichens as biomonitors of air contamination by natural radionuclides around the Zirovski VRH Uranium mine, Slovenia. *Lichenologist* 27 (5): 375–385.
- JERAN Z., JACIMOVIĆ R., SMODIŠ B., BATIĆ F. 1996. The use of lichens in atmospheric trace element deposition studies in Slovenia. *Phyton (Horn, Austria)* 36 (3): 91–94.
- KISZKA J. 1977. Wpływ emisji miejskich i przemysłowych na florę porostów (*Lichenes*) Krakowa i Puszczy Niepołomickiej (The effect of town and industry emissions on the lichen flora of Cracow and the Niepołomice Forest). *Prace Monogr. WSP w Krakowie* 19: 5–132.
- KISZKA J. 1990. Lichenindykacja obszaru województwa krakowskiego (Licheno-indication of the area of the Cracow voivodeship). *Stud. Ośr. Dokument. Fizjogr.* 18: 201–212.
- KISZKA J. 1992. Lichen indication in the Przemysł District (S.E. Poland). *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 107: 287–291.
- KISZKA J. 1998. Lichen flora as indicative of the environmental degradation in the Czarna Wiselka and Biała Wiselka catchments. W: *Environmental degradation of the Czarna Wiselka and Biała Wiselka catchments, Western Carpathians*. Red. S. Wróbel. *Studia Naturae* 44: 53–71.
- KISZKA J., KOŚCIELNIAK R. 1996. Porosty miasta Krakowa oraz waloryzacja ich warunków bioekologicznych (Lichens of Cracow city and valorisation of their bioecological conditions). *Stud. Ośr. Dokument. Fizjogr.* 24: 21–72.
- KISZKA J., PIÓRECKI J. 1990. Badania nad lichenindykacją obszaru woj. przemysłowego. *Rocznik Przemysłowy* 27: 282–290.
- KISZKA J., PIÓRECKI J. 1994. Waloryzacja przyrodnicza porostów (*Lichenes*) projektowanego Turnickiego Parku Narodowego. Materiały z Sympozjum „Porosty apofityczne jako wynik antropopresji”. *Arboretum Bolestraszyce* 2: 95–122.
- LIŠKA J. 1994. Bioindikace znečištění ovzduší v České republice pomocí lišejníků (The use of epiphytic lichens for bioindication of air pollution in the Czech Republic). *Příroda, Praha* 1: 7–21.
- MICZYŃSKI J. 1990. Zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w warunkach górskich, na przykładzie województwa nowosądeckiego (Air pollution in mountain conditions on the example of Nowy Sącz voivodeship). *Zesz. Nauk. Akad. Roln. Rozprawa habilitacyjna* Nr 134.
- MOTYKA J. 1936–1938. *Lichenium generis Usnea studium monographicum*. Pars systematica. *Lwów*.
- MOTYKA J. 1962. Rośliny zarodnikowe Polski i ziem ościennych. Porosty (*Lichenes*) 5/2. *Usneaceae*. Warszawa, PWN.
- OLECH M. 1967. Interesujące i rzadkie gatunki porostów z Beskidu Sądeckiego [Interesting and rare lichen species of the Beskid

- Sądecki Mts. (Polish Western Carpathians)]. *Fragm. Flor. Geobot.* 13 (4): 529–533.
- OLECH M. 1972. Porosty Pasma Radziejowej [Lichens of the Radziejowa Range (Polish Western Carpathians)] *Fragm. Flor. Geobot.* 18 (3–4): 359–398.
- OLECH M. 1973. Porosty Beskidu Sądeckiego [Lichens of the Beskid Sądecki Mts. (Western Carpathians)]. *Zesz. Nauk. Univ. Jagiell., Prace Bot.* 1: 87–192.
- PUSTELNIAK L. 1991. Application of the transplantation method in studies on the influence of the urban environment upon the vitality of *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. thalli. *Zesz. Nauk. Univ. Jagiell., Prace Bot.* 22: 193–201.
- REHMAN A. 1879. Systematyczny przegląd porostów znalezionych w Galicji Zachodniej. *Spraw. Komis. Fizjogr.* 13: 3–66.
- RYDZAK J. 1955. Wpływ małych miast na florę porostów. Cz. II. Beskidy Zachodnie. Wisła, Ustroń, Muszyna, Iwonicz, Rymanów, Lesko (The influence of small towns on lichen vegetation. Part II. The West Beskidy: Wisła, Ustroń, Muszyna, Iwonicz, Rymanów, Lesko). *Ann. UMCS, Sec. C* 10 (2): 33–66.
- SHOWMAN R. E. 1988. Mapping Air Quality with Lichens, the North American Experience. *Lichens, Bryophytes and Air Quality. Bibl. Lichenol.* 30: 67–89.
- STASZKIEWICZ J. (red.) 2000. *Przyroda Popradzkiego Parku Krajobrazowego, Popradzki Park Krajobrazowy, Stary Sącz.*
- ŚLIWA L. 1998a. Antropogeniczne przemiany lichenoflory Beskidu Sądeckiego [Anthropogenic changes in the lichen flora of the Beskid Sądecki Mts. (southern Poland)]. *Prace Bot.* 31: 1–158.
- ŚLIWA L. 1998b. Czerwona lista porostów zagrożonych Beskidu Sądeckiego (Red list of threatened lichens of the Beskid Sądecki Mts.). W: *Różnorodność biologiczna porostów*. Red. K. Czyżewska, s. 57–74. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- ŚLIWA L. (2000). Environmental changes impact on lichen flora of different habitats in the Beskid Sądecki Mts. (southern Poland). *Msc. Instytut Botaniki UJ, Kraków.*
- TOBOLEWSKI Z. 1958. Porosty Pienin (The lichen flora in the Pieniny). *Prace Komis. Biol. PTPN* 17 (5): 1–124.
- TOBOLEWSKI Z. 1966. Rodzina *Caliciaceae* (Lichenes) w Polsce [The family *Caliciaceae* (Lichenes) in Poland]. *Prace Komis. Biol. PTPN* 14 (5): 1–106.
- WETMORE C.M. 1988. Lichen floristics and air quality. *Lichens, Bryophytes and Air Quality. Bibl. Lichenol.* 30: 55–65.
- WETMORE C.M. 1989. Lichen and air quality in Cuyahoga Valley National Recreation Area, Ohio. *The Bryologist* 92 (3): 273–281.
- WIRTH V. 1988. Phytosociological approaches to air pollution monitoring with lichens. *Lichens, Bryophytes and Air Quality. Bibl. Lichenol.* 30: 91–107.

SUMMARY

The Beskid Sądecki Mountains are the easternmost part of the Beskid Wysoki Mountains in the Western Carpathians (Fig. 1). They are protected as a whole within the Popradzki Landscape Park. This area remains under the strong influence of human activity, which manifests among others through air pollution (Fig. 2).

The Beskid Sądecki Mountains is the only so large area in the Polish Carpathians where detailed studies on lichen species diversity and distribution were twice carried out (Olech 1972, 1973; Śliwa 1998). The aim of the present study was to evaluate the state

of the natural environment of the Beskid Sądecki Mountains, particularly in the aspect of its transformation. The Author used table of indicator species (Kiszka 1990), based on Hawksworth and Rose's scale (1970). The study material consisted of lichenological data collected in 1965–1970 by Olech (1972, 1973) and in 1989–1991 by Śliwa (1998). The results of these studies allowed an examination of the distribution of indicator species in the investigated area and the drawing of zone-maps of the Beskid Sądecki Mountains: one for the end of the sixties (1965–70) and the other for the end of the eighties (1989–91) (Figs 3 and 4). These maps show the picture of air pollution, mainly from sulphur dioxide, in the investigated area

In the sixties in the winter months the sulphur dioxide content in the air over a large area of the Beskid Sądecki varied from 30 to 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (points of scale 6–9) (Fig. 3). Only in the regions of the lower courses of streams where human activity was clearly marked, was the concentration of this compound higher (about 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, point of scale 5). During those times the highest concentrations of SO_2 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; point of scale 4) occurred only locally at the margins of Beskid. The zone-map for the end of the eighties shows that in that time the largest area of Beskid Sądecki was influenced by sulphur dioxide concentrations amounting to approximately 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of the air (point of scale 4) (Fig. 4). Also clearly marked was the area with an SO_2 content of about 50–70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the air (points 5 and 6). Lower concentrations, approx. 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (point of scale 7) were noted only on the highest situated, small areas at Wielki Rogacz in the Radziejowa Range and at Jaworzyna Krynicka. Over the twenty five years areas that could be ascribed to points of scale 8 and 9 (with an SO_2 concentration of about 30–35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) disappeared completely, while the area with point 4 (an SO_2 concentration of about 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) increased drastically (see Figs 3 and 4)

An analysis of the present and „historical” points of the biological scale for selected sites showed that, except for the environs of Wielki Rogacz, at all analysed places the concentration of sulphur dioxide in the air increased considerably over a period of 25 years (Fig. 5). In many places it was a change greater than 1 point of the scale. The aero-sanitary conditions worsened most in the area of the health-resorts. Less drastic changes in the lichen flora were observed in the Radziejowa Range where human activity is less intense.

It was possible to reconstruct a point of the biological scale for several places in the Beskid Sądecki Mountains for the end of the past century. It appeared that the air cleanliness in places of a natural character (Pusta Wielka) and in health-resorts (Żegiestów, Muszyna) was in those times the same (Fig. 6). The concentration of sulphur dioxide in the air was then below 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. According to the biological scale this level of SO_2 is evidence of the „clean” air (Tab. 1). Thus, over nearly the last 100 years the aero-sanitary conditions worsened in much of the investigated area (Fig. 6).

In evaluating the state of the Beskid Sądecki environment using the lichen indicative zones introduced by Kiszka (1990), one found that at the end of the past century the whole of the Beskid area was probably in zone VII, which meant favourable bioecological conditions. In the sixties this zone disappeared and dominated zones VI, V and IV, which was evidence of the strong influence of polluted air on lichens at that time. At the end of the eighties large areas were in zones V and IV but zone III was also marked. The appearance of this zone is evidence of the degeneration of environmental conditions

The zone-maps elaborated by the Author can serve as a comparative material for further monitoring studies in the Beskid Sądecki Mountains.