

Robert Zubel, dr

Institute of Botany and Mycology, Faculty of Biology and Biotechnology, UMCS
 robert.zubel@umcs.pl

Mateusz Rybak, mgr

Department of Agroecology, Faculty of Biology and Agriculture, University of Rzeszów

Anita Poradowska, mgr inż.

Institute of Landscape Architecture, Faculty of Biology and Agriculture, University of Rzeszów

Bryophytes as an element of cultural landscape: biology, place, role

Mszaki jako element krajobrazu kulturowego: biologia, miejsce, rola

Abstract

Bryophytes are small spore plants which occurs in all climates zones and plant formations. They form zonal (tundra) and azonal (bogs) environments or are integral part of other communities. They are very well adapted to the colonization of extreme and initial habitats. Civilization development has created for them adequate ecological niches like walls, roofs, sidewalks, lawns, parks or cemeteries. The bryophytes spontaneously colonize them, becoming an integral part of the small-town and metropolitan landscape.

This paper presents the biology of bryophytes, pays attention to the key features enabling them to inhabit architectural elements. The role and place of these plants in the urbanized space were characterized, the urbanophile bryophyte species were pointed, and places in the cultural landscape where they abundantly grow were indicated. Also the potential exploiting of bryophytes in the urban conditions in utilitarian, functional and decorative form were highlighted.

key words: *bryophytes, mosses, liverworts, utilisation of anthropogenic side, urbane space, cultural landscape, urban landscape*

Streszczenie

Mszaki to niewielkie rośliny zarodnikowe obecne we wszystkich strefach klimatycznych i ekosystemach. Tworzą zonalne (tundra) i ekstrazonalne (torfowiska) formacje roślinne lub są integralnym elementem innych zbiorowisk. Są bardzo dobrze przystosowane do kolonizacji ekstremalnych i inicjalnych siedlisk, a rozwój cywilizacyjny wykreował dla nich tak e

nisze ekologiczne w postaci murów, dachów, chodników, trawników, parków czy cmentarzy. Mszaki spontanicznie je zasiedliły, stając się integralną częścią krajobrazów małomiasteczkowych i wielkomiejskich.

W niniejszym opracowaniu przybliżono biologię mszaków, zwracając uwagę na cechy kluczowe przy zasiedlaniu elementów architektonicznych. Określono rolę i miejsce tych roślin w przestrzeni zurbanizowanej, wskazano gatunki urbanofilne oraz miejsca w krajobrazie kulturowym, gdzie obficie występują. Zwrócono także uwagę na potencjał wykorzystania mszaków w warunkach miejskich w utylitarnej, funkcjonalnej i dekoracyjnej formie.

słowa kluczowe: mszaki, mchy, w trobowce, wykorzystanie siedlisk antropogenicznych, przestrzeń zurbanizowana, krajobraz kulturowy, krajobraz miejski

Introduction

Bryophytes are small plants that form an integral part of the natural landscape, although they usually are not perceived. Similar to all elements of animated and inanimated nature, they are existing in the megasystem of the geographic environment shaped by phenomena of both the natural and the anthropogenic environment. In this way bryophytes are present at every typological and structural level of the landscape – from natural to cultural.

These plants have been accompanying humans since the beginning of civilization development and from this time they have been used extensively by people as e.g. building material, sealing, dressing or healing and simultaneously in the unnoticed and spontaneous way they have been integrated with the architectural space of villages, towns, cities and metropolises. Due to their biology and adaptability, they have found adequate ecological niches in the cultural landscape – suitable substrates and habitats (side conditions). Small and less demanding bryophytes colonized in this way various surfaces available in urban conditions, e.g. walls and roofs of houses, sidewalks, cemeteries, soil or bark of trees living in parks, etc. It must be emphasized that the occurrence of bryophytes in the architectural urban space has a qualitative (species richness) and quantitative (abundance of occurrence – the cover degree of occupied area) form.

The considerations presented below: (1) define and describe the elementary features of bryophyte biology that allow these plants to spontaneously integrate with the human transformed environment (cultural landscape); (2) identify the habitat and substrate offer for bryophytes, their place and role in such colonized space, and (3) provide a starting point for separate deliberations of the actual and potential utilitarian, functional and decorative use of these plants in the architecture and human life.

Explication

Bryophyte biology

Bryophytes are spore plants – similarly to horsetails or ferns do not create flowers and seeds but produce and spread spores. In contrast to flowering plants they have a simple morphological and anatomical structure, but differ from them among other in: size, habit, biology, ecology and physiology. Despite their uncomplicated construction, they are not primitive ancestors of seed plants, but their peers – the first bryophytes appeared over 400 million years ago and evolved in parallel with the first terrestrial plants.

Described plant group is divided into three development lines (phyla): the *Anthocerotophyta* (hornworts), the *Marchantiophyta* (liverworts), and the *Bryophyta* (mosses). The global number of bryophyte species is estimated at 22,000 – including mosses (more than half), liverworts (40%), and only 1% of hornworts [Magill 2010: 167-174, Villarreal et al. 2010: 150-155, von Konrat i in. 2010: 23-26, Söderström i in. 2016: 13]. In the wild, bryophytes rarely occur separately, and their basic living form are colonies (e.g. turfs, cushions or thalloid mats) composed of many individuals (fig. 1), [Mägdefrau 1982: 47-55, During 1992: 4-15]. In described forms these plants occurs in the nature where they play a significant role in the carbon cycle, succession of vegetation, phytomass production, water retention and nutrient circulation [Vanderporten & Goffinet 2009: 26-40, von Konrat et al. 2010: 5].

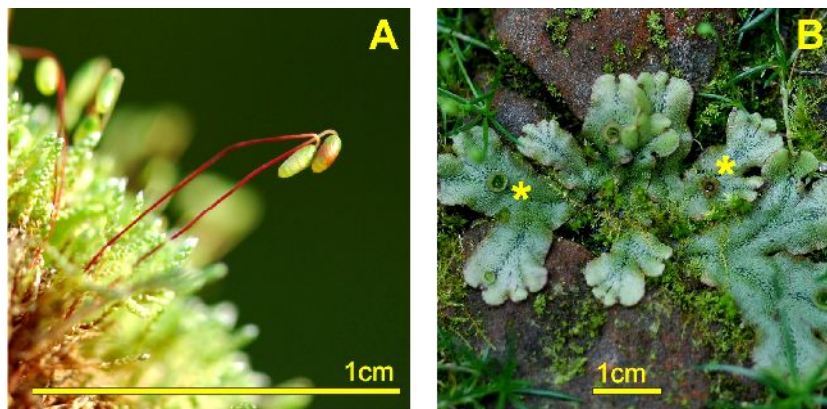


Fig. 1. Bryophytes of anthropogenic sides: A – moss *Bryum argenteum* Hedw., leafy stems (gametophyte) with stalked capsules (sporophyte); B – *Marchantia polymorpha* L., thallus (gametophyte) with gemmae cups (*) photo by R. Zubel, 2010.
Ryc. 1. Mszaki siedlisk antropogenicznych: A – mech pr tnik srebrzysty (*Bryum argenteum* Hedw.), ulistnione łody ki (gametofit) z zarodnikami na trzonkach (sporofit); B – w trobowiec porostnica wielokształtna (*Marchantia polymorpha* L.), plecha (gametofit) z widocznymi rozmnożkami w kubkowatych zbiorniczkach (*) fot. R. Zubel, 2010.

In the life history of bryophytes the alternation of generations with the dominance of haploid phase (gametophyte) occurs. Mature bryophyte body has the form of a leafy stem or thallus, where after fertilization the sporophytes are developed (fig. 1). The full life

cycle of these plants includes sexual, asexual and vegetative cycles, and all these elements and stages take place within a single cushion or turf (fig. 2).

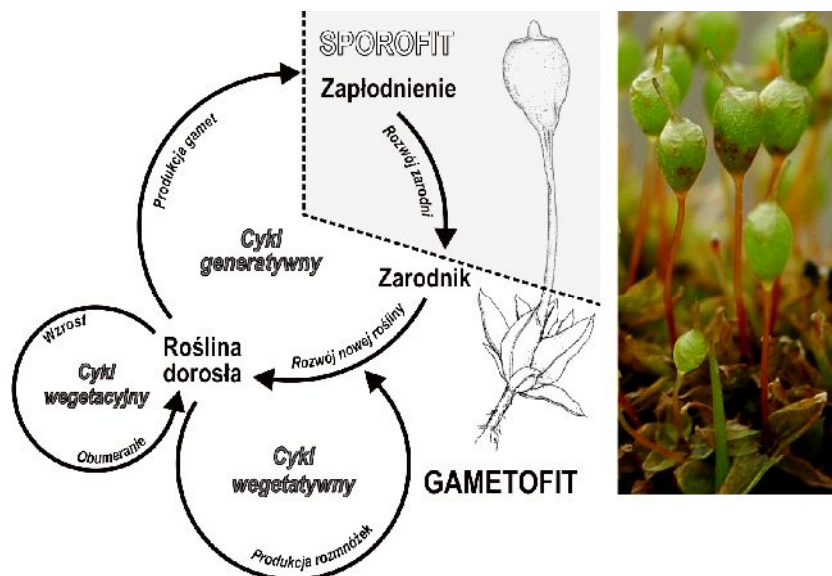


Fig. 2. Ecological life cycle of bryophytes (in accordance with Söderström & Gunnarsson 2003, simplified and changed) on the picture moss *Physcomitrium pyriforme* (Hedw.) Hampe, photo by R. Zubel, 2007.

Ryc. 2. Ekologiczny cykl życiowy mszaków (za Söderström & Gunnarsson 2003, uproszczone i zmienione); na zdjęciu mech *Physcomitrium pyriforme* (Hedw.) Hampe, fot. R. Zubel, 2007.

In the life cycle of discussed plants the asexual reproduction plays very significant role. Bryophytes produce special one-celled or multicellular gemmae as well as easily fragile fragments of gametophyte (stems, leaves, thalli). In this way bryophytes quickly overgrow colonized substrate and create colonies (patches). Only within such aggregations the sexual sub-cycle and spore production take place. Bryophytes have small, very slight spore, which can be easily transported by the wind (sometimes across the stratosphere). This way of reproduction allows the establishment of supplementary colonies even at the considerable distance from the originally occupied place. Both methods of propagation are used effectively by bryophytes in the urbanized areas. Mosses mainly produce the spores, while liverworts form a gemmae.

Small, structurally compact, ecological forms of bryophytes: turfs, mats or cushions facilitate their survival in severe climatic and humidity conditions. These structures also create an environment for the occurrence of many organisms – bryosphere, an important living space for Cyanobacteria, algae, fungi, protozoa, numerous invertebrate and some vertebrates groups [Lindo & Gonzalez 2010: 613-618].

Bryophytes, in contrast to herbaceous plants, are not as demanding concerning the quality and structure of the substrate. They do not need a thick, well-developed soil layer to grow, and they use the substrate as an anchorage structure only. They also utilize habitats inaccessible or poorly colonized by other plants. Among the bryophytes we distinguish *epigeic*, *epiphytic* and *epixylic* species. Among them are also ubiquitous taxa (multi-substrate) not strictly connected with the one substrate type. At the same time, it

should be emphasized that the rhizoids are delicate, very thin structures, sometimes branched, which, apart from fixing the plant to the ground, do not perform other typical root functions. In addition, the penetration of the substrate is small, ranging from a few millimeters (rocks, wood, bark) up to 1-2 centimeters (soil, humus, sand).

One of the physiological characteristics of bryophytes increasing their resistance to unfavorable conditions, including urban ones, is the type of water management. In contrast to flowering plants, bryophytes cannot prevent desiccation – they having no mechanism to store the water. They take it from the precipitation, fog or rain all over the body, dry easily, but in this stage are able to survive the drought. Such organisms are called poikilohydric. In addition to bryophytes, such properties have lichens and some algae. It puts these organisms in the group of active precursors of succession in difficult conditions.

All bryophyte adaptations described above are useful in natural conditions, which highly affects the spread of these plants (from poles to tropics) and the broad ecological spectrum (from deserts to rainforests). On the one hand, they are sensitive indicators of environmental pollution and changes of natural ecosystems, and on the other, resistant to the anthropoppression and synanthropization colonizers of urban elements. The bryophytes, together with the algae and lichens, initiate the succession of vegetation and consolidate the vegetation on the natural habitat of the initial species, among other: in the stream valleys, on rocks, sands, clay and loess, where erosion processes are intensive [Shaw & Goffinet 2009: 302-310, Frey & Kürschner 2011: 74-82]. These features also become crucial in cultural landscapes. Thanks to the specific morphological and physiological characteristics bryophytes are able to survive in harsh urban conditions (tab. 1). Spontaneously and effectively colonize new emerging architectural structures that appear in the urbanized space, and which are often similar in structure, hardness and properties to the natural substrates and replaced them.

Tab. 1. A comparison of selected adaptabilities of bryophytes to the natural and anthropogenic conditions; [M – mosses, W – liverworts]

Adaptation groups	Adaptation		Bryophyta group	Adaptability on the habitats	
				Natural	Anthropogenic
Morphological	Small size		M, W	medium	very high
	Formation of colonies composed of many individuals		M W	high high	very high high
Physiological	Poikilohydry		M, W	high	very high
	Vegetative reproduction		M W	medium high	small high
	Generative reproduction		M W	high medium	very high medium
	Utilisation of habitats		M, W		
Epipetric		high		very high	
Terrestrial		very high		medium	
Epiphytic		very high		medium	
Ecological	Epixylic			very high	small

Mosses in the cultural landscapes. Definitions and classifications of the landscape

By specifying the place of the bryophytes in an anthropogenic cultural space, it is necessary first to clarify the concepts of landscape and its transformation. Already at the beginning of the twentieth century, Nałkowski wrote that geography is a dualistic science of content as it examines nature and man; but it is a monistic form of method, because its task is precisely the causal binding of both [Nałkowski 1901: 31]. The concept mentioned above is very close to the commonly accepted definition of the European Landscape Convention, adopted by Poland in 2004, where 'landscape' is an area, perceived by people. It's whose character is the result of action and interaction of natural and / or human factors (Dz. U. 2006 nr 14 poz. 98). The above definition, which was adopted for the purpose of the study, treats the existing and interpreted elements of the landscape through geographical and spatial (physical) and physiognomic aesthetics of their perception (perceived by humans) and, at the same time, abiotic and biotic and useful, historical and cultural aspects – implemented through interaction with natural factors and human factors, respectively [Solon 2013: 17-18]. Polish contemporary landscapes are classified into three groups, divided into types (15) and subtypes (49), depending on the level of their anthropogenic deformation [Chmielewski et al., 2015: 390]. At group level these are:

- Natural landscapes (rivers, lakes, forests, meadows and grasslands, highland areas above the upper forest boundary), cultural (usually extensively) used, mainly shaped by natural processes, to varying degrees of modification by human activity.
- Natural and cultural landscapes, formed by the joint action of natural processes and the conscious modalization of forms of land cover and spatial structure by man (rural areas, natural and cultural mosaic of suburban areas).
- Cultural landscapes in which the structure and function are fully shaped by human activity (e.g. urban, industrial, communication).

In the paper we will move primarily within the third group, in the space of cultural landscapes, with particular regard to small-town and metropolitan landscapes. They are almost entirely shaped by human activity, and the occurrence of bryophytes is here to varying degrees.

The species richness of bryophytes in urban space

The bryophyte flora associated with natural areas, unchanged by human for centuries has been the main subject of scientific studies. Whereas the investigation of urban bryoflora were started just at the end of 20th century (tab. 2). One of the earliest works was the broad study of the bryophyte flora of West Berlin [Schaepe 1986]. Further research usually centered around the parks and cemeteries. In the recent studies all elements of the cultural landscape accessible to the bryophytes in the urban space are taken into consideration. In our country these studies were made, among others, for few cites: Oświęcim [Żarnowiec 1996], Szczecin [Fudali 1996] or Katowice [Fojcik & Stebel 2001] and also for the regions strongly transformed by industry, as like GOP [Jędrzejko 1990].

Tab. 2. Number of moss and liverworts species in the selected European towns and cities [in accordance with Fudali 2005: 14 and cited literature]

City	Number of species			Year of data publication
	Mosses	Liverworts	Total	
Berlin (West)	219	46	265	1986
Hamburg	208	72	280	1994
Oświęcim	114	15	129	1996
Szczecin	150	15	165	1996
Brusseles	185	40	225	1997
Salzburg	258	65	323	2001
Katowice	177	34	211	2001
Bratysłava	206	38	244	2003

The first, mainly floristic studies of urban areas have examined the existing local biodiversity, while the later, ecological investigations have identified the spread of species, their extent of distribution, the conditions and factors affecting the occurrence as well as growth of bryophytes in urban environment. For this reason, our knowledge about the species richness and habitat preferences of bryophytes occurring in urban areas is more considerable.

Mosses (80-90% of species) predominate in the urban areas of temperate climatic zone. They are more resistant to the drying out than liverworts which consist usually 10-15% of flora only. Whereas, hornworts occur only in natural-cultural landscapes (farmlands in rural areas), where they do not play a significant role.

The richness of bryophyte species in European cities is relatively high and ranges from 150 to 300 species, (average about 200 taxa) (see tab. 2). This number depends mainly on the size of the city and its age – bigger and older towns have richer bryophyte flora. It should be noted that 80% of the species (mosses and liverworts) found in the cities have a single or few sites – usually in parks and cemeteries. Among the remaining bryophytes is about 30 species which (1) were found in all studied cities, (2) they are noted on a high number of sites and (3) they occurs abundantly. In this group we can find several bryophytes, which abundance of occurrence and extend of distribution in the urban areas have not changed or increased during last decades. They obtain the status of urbanophile bryophyte, which in urban areas have achieved higher evolutionary success and are more frequent than in the wild [Fudali 2011: 92]. Among them are mainly mosses (fig. 3, fig. 4a-b): *Amblystegium serpens*, *Brachythecium rutabulum*, *Bryum argenteum*, *Rosulabryum capillare*, *Ceratodon purpureus*, *Oxyrrhynchium hians*, *Dryptodon pulvinatus*, *Homalothecium sericeum*, *Orthotrichum diaphanum*, *O. anomalum*, *Schistidium apocarpum*, *Syntrichia ruralis* and *Tortula muralis* and one liverwort species *Marchantia polymorpha* (fig. 4c-d).



Fig. 3. Common bryophytes of urban areas: *Tortula muralis* Hedw. (A), *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber & D. Mohr (B), *Dryptodon pulvinatus* (Hedw.) Brid. (C); *Orthotrichum anomalum* Hedw. (D); *Rosulabryum capillare* (Hedw.) J.R. Spence (E), *Oxyrrhynchium hians* (Hedw.) Loeske (F); photos by R. Zubel, 2008-14.

Ryc. 3. Mchy pospolite w miastach: *Tortula muralis* Hedw. (A), *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber & D. Mohr (B), *Dryptodon pulvinatus* (Hedw.) Brid. (C); *Orthotrichum anomalum* Hedw. (D); *Rosulabryum capillare* (Hedw.) J.R. Spence (E), *Oxyrrhynchium hians* (Hedw.) Loeske (F); fot. R. Zubel, 2008-14.

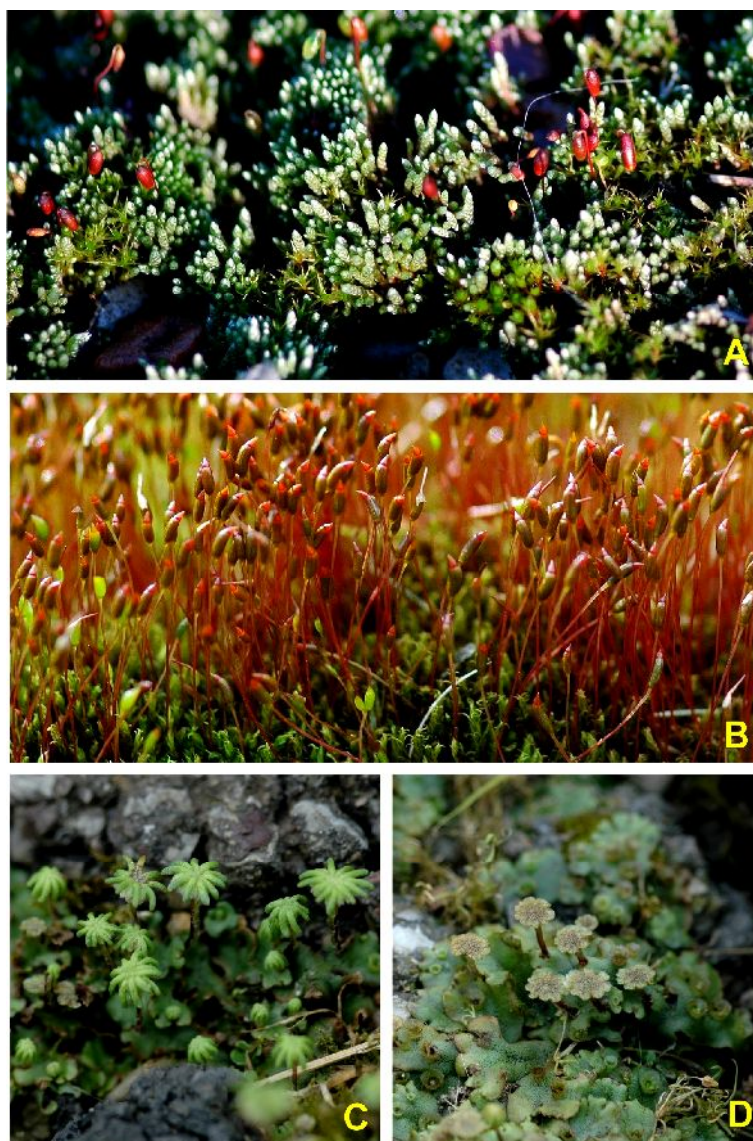


Fig. 4. Urbanophilous species, very common in urban space: mosses *Bryum argenteum* Hedw.(A), *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., and liverwort *Marchantia polymorpha* L. – female (C) and male thallus (D); photo by R. Zubel, 2007-2010.

Ryc. 4. Gatunki urbanofilne, bardzo pospolite w przestrzeni zurbanizowanej: mchy *Bryum argenteum* (A) i *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. (B), oraz w trobowiec *Marchantia polymorpha* L. – plecha e ska (C) i m ska (D) fot. R. Zubel, 2007-2010.

The city as a living environment of bryophytes

The conditions in the city for many plants, including bryophytes, are often extreme. This applies to both available substrates and microclimate conditions (high temperature, low humidity, pollution). For this reason, spontaneous colonization of urban elements by flowering plants, due to their considerable substrate and habitat requirements and propagation ability, is limited. Usually, man decides where and in what form and abundance herbaceous plants, trees and shrubs function in the cultural landscape the case of bryophytes is different. The specific character of their biology, described in the first part of the text, significantly affect the colonization ability and the ability to spontaneous overgrow new substrates of anthropogenic origin. However, it should be emphasized that the presence of bryophytes in individual subtypes of small town and metropolitan landscapes is varied qualitatively and quantitatively (tab. 3), [Fudali 2006: 14-19, Kowarik et. al 2016: 76].

Tab. 3. Bryophyte species richness and abundance of occurrence in the structure and space of subtypes of small-town and metropolitan landscape; places where bryophytes may be used in high-scale in utilitarian and decorative form are marked in gray, (typology of the landscape in accordance with: [Chmielewski et al. 2015: 397-399]).

Cultural landscapes		Bryophytes	
Types	Subtypes	Species richness	Abundance of occurrence
Small town C.9 a-b	Towns with preserved historical layout	medium	low
	Towns of a contemporary character	low	low
Big city C.10 a-f	Townships with preserved historical complexes	medium	medium
	City - strongly centralized space, focus on modern architecture, multi-storey development with service functions (finance, commerce, culture)	very low	very low
	Residential development areas	low	low
	Shopping centers, logistics and warehousing areas	very low	very low
	Large sports and leisure areas with accompanying urban greenery	high	medium
	Great necropolis	very high	high

The city offers to bryophytes a variety of substrate and habitat conditions, which are directly related to the type of urban landscape. In urbanized areas, bryophytes are found on four types of substrates: soil, rock-like surfaces, bark of trees and rotting wood. The durability and accessibility of these substrates, as well as the surface occupied by them, is varied (tab. 4). An additional and important factor influencing on the abundance of bryophytes in the city is the humidity and light conditions in which these substrates are placed.

Tab. 4. Habitat offer for bryophytes in the urban areas.

Habitats	Substrates	Occupied surface	Availability	Durability
Epixylic	Rotting wood	very small	very low	medium
Epiphytic	Bark of living trees	medium	medium	very high
Epigeic	Mineral soil, sand	high	high	low
Epilithic	Rock-like surfaces (concrete, stone, brick, roofs)	high	very high	very high

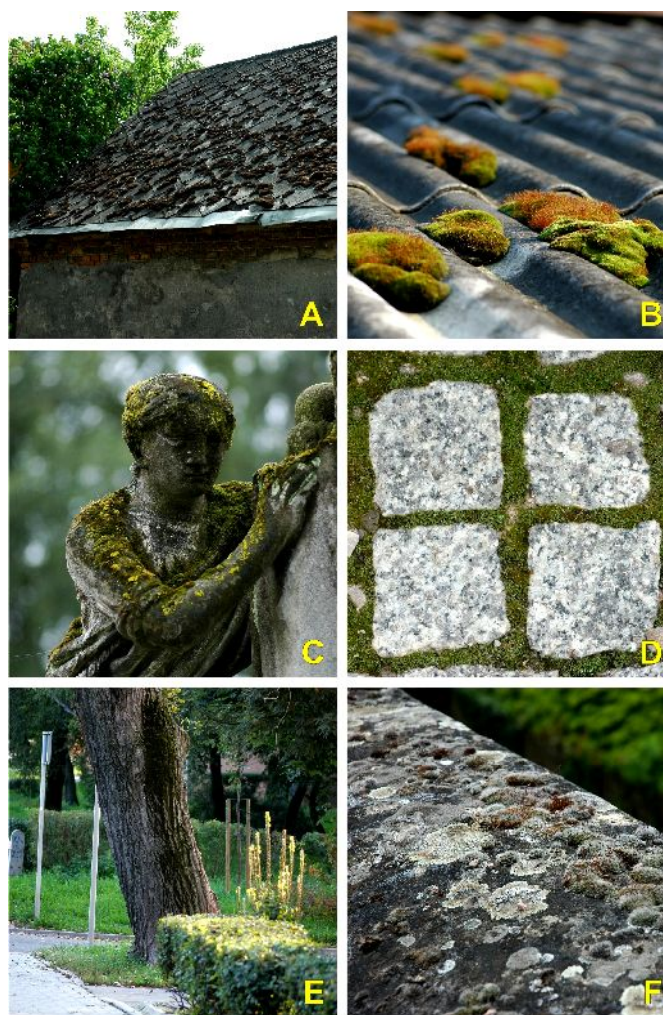


Fig. 5. Sides of occurrence of bryophytes in an anthropogenic landscape: roofs (A, B), monuments (C), pavements (D), bark of trees (E), concrete elements (F), photos by R. Zubel, 2007-12.

Ryc. 5. Miejsca wyst powania mszaków w krajobrazie zurbanizowanym: dachy (A, B), pomniki (C), chodniki (D), kora drzew (E), elementy betonowe (F), fot. R. Zubel, 2007-12.

The most durable elements in the urban environment are various concrete structures and stony surfaces. They can be classified into rock habitats of anthropogenic origin (rock-like). These include sidewalks, cobbled roads, masonry, monuments, walls and fences. Similar character have roofs which are covered with tiles and eternit (Figs 5a-e), but also gravestones and stone plates in cemeteries – especially old ones. The shading and high humidity of such places are factors that significantly increase the biodiversity and abundance of the bryoflora.

An important substrate type of urban areas is the bark of trees. Most of the trees can be found in cemeteries, parks and recreation areas, along major access roads and in suburbs, where loose housing predominate (fig. 5f). This is a fairly sustainable and convenient substrate for bryophytes.

Mineral soils, sand and earth are the substrates present on lawns, flower beds and home gardens. This type of substrate in urban conditions, except of parks and cemeteries, is characterized by low durability and frequent changes. The bryoflora of these frequent plac is limited to the several pioneer species that are able to survive in such conditions.

Summary

Intensively urbanized and man-made areas do not provide a comfortable living space for bryophytes, but these plants find there sufficient substrate and habitat conditions for development. Bryophytes together with lichens and algae are the group of organisms that spontaneously inhabits house roofs, sidewalks, or building walls. Due to their biology, despite constant and direct human pressure, these plants have achieved more evolutionary success in urban conditions than vascular plants. They used their dispersal abilities to colonize urban structures.

The city offers for bryophytes many types of substrates and habitats, but pervasive stone or concrete structures, walls, sidewalks and fences play the most important role. These substrates are excellent substitute habitats for epipetric mosses. The unstable but permanent element of the urban landscape is the exposed mineral substrate produced by construction, gardening and earthwork, which create favorable conditions for the formation of initial bryophyte communities [Fudali 2005: 38-41, 2006: 135-136]. In this way, in the architectural space of cities and towns, ecological niches are created for common bryophytes (dominant), but also protected or endangered species, find adequate microhabitats and potential refuges in places with constant microclimatic conditions such as urban parks or cemeteries [Fudali 2005: 45-47; Fojcik & Stebel 2006: 187-189]. This phenomenon appears also in a case of other organisms. For many plant and animal species, some types of urban landscapes and urban structures offer good conditions for growth and development, becoming centers of biodiversity of flora and fauna [Smith i in. 2010: 876-880, Kowarik et al. 2016: 70-76].

In the last twenty years of the twentieth century, green roofs and green walls have appeared in urban space, are used more often and taking into account in spatial planning. Recently, tools and systems based on the GIS methodology have been developed for modeling and designing a networks of green roof ecosystems. These tools have the ability to extrapolate the effects of greening to direct positive changes in urban living conditions [Grunwald i in. 2017: 58-62]. It is well-known that the above-described ecosystems are measurably improving urban microclimatic conditions, and are excellent precipitation waters buffers [Grant 2006: 52-55, Wong et al. 2010: 664, Berardi 2016: 224-227, Sims et

al. 2016: 118-123, Vijayaraghavan 2016: 742-747]. At the beginning of the 21st century the bryophytes are used more widely in creation of mentioned micro-ecosystems. Due their biology and physiology bryophytes can be an important and integral element or main component of green roofs or walls [Chiaffredo 2004, Chiaffredo & Denayer 2004, Köhler 2006: 22-26, Glime 2008: 2-5, Studlar & Peck 2009: 54-62]. Use of bryophytes has also economical benefits because the installation, and maintenance costs of mossy green roofs are smaller than using herbaceous plants, trees and shrubs (IGRAs). However, this is a topic for separate considerations. In this paper, (1) the biology of bryophytes has been described; (2) the place, role and potential of these organisms in urban terms have been described, and (3) was indicated that the bryophyte green roofs and walls exist close to us in its discrete and spontaneous forms. This can not be the *signum temporis* of the modern history of civilization, but the consequence of thousands of years of coexistence of bryophytes and humans. On the one hand alternate acts of devastation and renaturalization of the environment, and on the other *de novo* creation of structures, conditions and spaces adequate to settle by these small, quiet but resilient and faithful companions of a man. It is worth to use the potential of these less demanding plants fully, in spaces where they are scarce (see tab. 1), give it an utilitarian form (e.g. improvement of urban microclimate conditions), and also esthetic and decorative.

Wstęp

Mszaki, to niewielkie rośliny, które stanowią integralny komponent krajobrazu naturalnego, chociaż zazwyczaj są niedostrzegane. Podobnie jak wszystkie elementy przyrody ożywionej i nieożywionej, funkcjonują w megasystemie środowiska geograficznego, kształtowanego pod wpływem zjawisk zachodzących zarówno w systemie środowiska przyrodniczego, jak i systemie środowiska antropogenicznego. W ten sposób mszaki są obecne na każdym poziomie typologicznym i strukturalnym krajobrazu – od przyrodniczego po kulturowy.

Rośliny te towarzyszą człowiekowi od początku rozwoju cywilizacji i od zarania dziejów wykorzystywane były doraźnie przez ludzi m.in. jako materiał budulcowy, uszczelniający, opatrunkowy czy leczniczy, by z czasem niepostrzeżenie i spontanicznie wkomponować się w przestrzeń architektoniczną wsi, miasteczek, miast i metropolii. Ze względu na swoją biologię i zdolności adaptacyjne odnalazły w krajobrazie kulturowym adekwatne nisze ekologiczne – odpowiednie do wzrostu i rozwoju substratu (podłoża) oraz siedliska (warunki). Niewielkie i mało wymagające mszaki skolonizowały w ten sposób różne elementy dostępne w warunkach miejskich. Wśród nich są m.in. mury i dachy domów, chodniki, nagrobki na starych cmentarzach ziemia czy kora żywych drzew w parkach. Trzeba pamiętać, że występowanie mszaków w architektonicznej przestrzeni miejskiej ma wymiar jakościowy (bogactwo gatunkowe) i ilościowy (obfitość występowania – stopień pokrycia zasiedlanej powierzchni).

Zaprezentowane poniżej rozważania: (1) definiują i opisują podstawowe cechy biologii mszaków, które pozwoliły tym roślinom na spontaniczną integrację ze środowiskiem przekształconym antropogenicznie (krajobrazem kulturowym); (2) określają ofertę siedliskowo-substratową dla mszaków, ich miejsce i rolę w tak skolonizowanej przestrzeni oraz (3) stanowią punkt wyjścia do oddzielnych rozważań obejmujących rzeczywisty

i potencjalny zakres użytkowego, funkcjonalnego i dekoracyjnego wykorzystania tych roślin w architekturze i życiu człowieka.

Rozwinięcie

Biologia mszaków

Mszaki to rośliny zarodnikowe – podobnie jak skrzypy lub paprocie nie tworzą kwiatów i nasion, ale produkują i rozsiewają zarodniki. W przeciwieństwie do roślin kwiatowych mają prostą budowę morfologiczną i anatomiczną, a różnią się od nich m.in. rozmiarami, pokrojem oraz biologią, ekologią i fizjologią. Pomimo nieskomplikowanej budowy nie są to prymitywni przodkowie roślin nasiennych, a ich rówieśnicy – pierwsze mszaki pojawiły się już 400 milionów lat temu i ewoluowały równolegle z pierwszymi roślinami lądowymi.

W omawianej grupie roślin występują trzy linie rozwojowe, w randze gromad: glewiki (*Anthocerotophyta*), wątrobowce (*Marchantiophyta*) i mchy (*Bryophyta*). Liczbę gatunków mszaków na świecie szacuje się na 22 000 – ponad połowę stanowią mchy, 40% wątrobowce, a glewiki zaledwie 1% [Magill 2010: 167-174, Villarreal i in. 2010: 150-155, von Konrat i in. 2010: 23-26, Söderström i in. 2016: 13].

W przyrodzie mszaki bardzo rzadko występują pojedynczo, a podstawową ich formą życiową są złożone z wielu osobników skupienia (kolonie) np. darnie, poduchy czy plechowate maty, o swoistym dla danego gatunku pokroju (ryc. 1, Mägdefrau 1982: 47-55, During 1992: 4-15). W takiej formie rośliny te spotykamy w naturze, gdzie odgrywają ważną rolę w obiegu węgla, sukcesji roślinności, produkcji fitomasy, retencji wody oraz krążeniu składników odżywczych [Vanderporten & Goffinet 2009: 26-40, von Konrat i in. 2010: 5].

W rozwoju mszaków występuje przemiana pokoleń z dominacją gametofitu. Jest nim zielona ulistniona łodyżka albo plecha, na którym po zapłodnieniu wyrasta zarodnia na trzonku, czyli sporofit (ryc. 1). Pełny proces życiowy tych roślin obejmuje cykl: generatywny, wegetatywny i wegetacyjny, a wszystkie jego elementy i etapy zachodzą w obrębie pojedynczej poduchy czy darni (ryc. 2).

W cyklu życiowym omawianych roślin bardzo duże znaczenie ma rozmnażanie wegetatywne (bezpłciowe). Odbywa się ono za pomocą specjalnych jedno- lub wielokomórkowych rozmnożeń i łatwo łamliwych fragmentów gametofitu (łodyżek, liści, plech). W ten sposób mszaki szybko zdobywają nowe przestrzenie w najbliższym swoim otoczeniu aby stworzyć zwarte kolonie (płaty). Dopiero po ich powstaniu zachodzi cykl generatywny (płciowy) i produkcja zarodników. Spory mają niewielkie rozmiary, są bardzo lekkie i mogą być łatwo przenoszone z wiatrem (docierają nawet do stratosfery). Ten sposób rozmnażania pozwala na stworzenie kolejnych kolonii nawet w znacznej odległości od pierwotnie zasiedlanego miejsca. Obydwa sposoby propagacji wykorzystywane są skutecznie przez mszaki na obszarach zurbanizowanych. Mchy głównie produkują zarodniki, natomiast wątrobowce rozmnożki.

Niskie, zwarte strukturalnie formy ekologiczne mszaków: darnie, maty czy poduchy ułatwiają im znacząco przetrwanie w trudnych warunkach klimatycznych i wilgotnościowych. Struktury te tworzą też środowisko dla występowania wielu organizmów tzw. briosferę – ważną przestrzeń życiową dla m.in. sinic, glonów, grzybów,

pierwotniaków, licznych grup bezkręgowców oraz niektórych kręgowców [Lindo & Gonzalez 2010: 613-618].

Mszaki w odróżnieniu od roślin zielnych są mało wymagające co do jakości i struktury podłoża. Nie potrzebują grubej, zróżnicowanej warstwy gleby, aby się rozwijać, a substrat służy im tylko jako miejsce zakotwiczenia. Wykorzystują też siedliska niedostępne lub słabo kolonizowane przez inne rośliny. Wśród mszaków wyróżniamy gatunki naziemne (*epigeity*), naskalne (*epility*), nadrzewne (*epifity*) i porastające butwiejące drewno (*epiksylity*). Są też taksony ubikwistyczne (wielopodłożowe) nie wykazujące przywiązania do jednego typu substratu. Jednocześnie należy podkreślić, że ryzoidy (chwytniki) to delikatne, bardzo cienkie struktury, czasem porozgałęziane, które oprócz mocowania rośliny do podłoża nie pełnią innych, typowych dla korzeni funkcji. Dodatkowo penetracja porastanego substratu jest niewielka, od kilku milimetrów (skały, drewno, kora drzew) do 1-2 centymetrów (gleba, humus, piasek).

Jedną z cech fizjologicznych mszaków zwiększającą ich odporność na niekorzystne warunki, w tym miejskie, jest typ gospodarki wodnej. W odróżnieniu od roślin kwiatowych mszaki są zależne od wody w środowisku (ekstracelularnej). Pobierają ją z rosy, mgły lub opadów całą swą powierzchnią, nie magazynują, łatwo wysychają, ale w dobrej kondycji są w stanie przetrwać okres suszy. Tak funkcjonujące organizmy nazywamy poikilohydrycznymi. Oprócz mszaków takie właściwości mają porosty i niektóre glony, co stawia te organizmy w grupie aktywnych prekursorów sukcesji w trudnych warunkach.

Tab. 1. Porównanie przydatności wybranych przystosowań mszaków w warunkach naturalnych i antropogenicznych.

Grupa przystosowa	Przystosowanie		Grupa mszaków	Przydatność przystosowania na siedliskach	
				naturalnych	antropogenicznych
morfologiczne	niewielkie rozmiary		M, W	rednia	b. du a
	tworzenie kolonii złożonych z wielu osobników		M	du a	b. du a
			W	du a	du a
fizjologiczne	poikilohydryczno		M, W	du a	b. du a
	rozmnażanie wegetatywne		M	rednia	mała
			W	du a	du a
	rozmnażanie generatywne		M	du a	b. du a
			W	rednia	rednia
ekologiczne	wykorzystanie siedlisk	naskalnych	M, W	du a	b. du a
		naziemnych		b. du a	rednia
		epifitycznych		b. du a	rednia
		epiksylicznych		b. du a	mała

Wszystkie opisane powyżej przystosowania mszaków doskonale sprawdzają się w warunkach naturalnych, co wpływa na znaczne rozprzestrzenienie tych roślin (od biegunów po tropiki) oraz szerokie spektrum ekologiczne (od pustyń po lasy deszczowe). Są z jednej strony użytecznymi indykatorami skażenia środowiska i przemian w nim zachodzących, a z drugiej – odpornymi na antropopresję i synantropizację siedlisk kolonizatorami elementów urbanistycznych. Mszaki, wspólnie z glonami i porostami,

uruchamiają sukcesję roślinności i utrwalają podłoże na naturalnych siedliskach inicjalnych, m.in. w dolinach cieków wodnych, na skałach, piaskach, glinie i lessach, gdzie procesy erozyjne zachodzą intensywnie [Shaw & Goffinet 2009: 302-310, Frey & Kürschner 2011: 74-82]. Te umiejętności stają się również kluczowe w krajobrazie kulturowym. Dzięki specyficznym właściwościom morfologicznym i fizjologicznym mszaki są w stanie przeżyć w trudnych warunkach miejskich (tab. 1). Spontanicznie i skutecznie kolonizują nowo powstałe struktury architektoniczne pojawiające się w przestrzeni zurbanizowanej, które często są zbliżone strukturą, twardością i właściwościami do siedlisk naturalnych i je zastępują.

Mszaki w krajobrazie kulturowym

Definicje i klasyfikacje krajobrazu

Określając miejsce mszaków w przestrzeni kulturowej podlegającej antropopresji należy najpierw sprecyzować pojęcia dotyczące krajobrazu i jego przekształceń. Już na początku XX wieku Nałkowski bardzo trafnie stwierdził, że geografia jest nauką dualistyczną co do treści, gdyż bada przyrodę i człowieka; ale jest monistyczną co do formy metody, ponieważ zadaniem jej jest właśnie przyczynowe wiązanie obu [Nałkowski 1901: 31].

Przytoczone powyżej pojęcie jest bardzo bliskie powszechnie uznawanej i ratyfikowanej przez Polskę w 2004 roku, definicji Europejskiej Konwencji Krajobrazowej, gdzie „krajobraz” oznacza obszar, postrzegany przez ludzi, którego charakter jest wynikiem działania i interakcji czynników przyrodniczych i/lub ludzkich (Dz. U. 2006 nr 14 poz. 98). Powyższa definicja, którą przyjęto na potrzeby opracowania, w sposób zbiorczy traktuje istniejące i interpretowane elementy krajobrazu poprzez geograficzno-przestrzenne (obszar) i fizjonomiczno-estetyczne ich ujęcie (postrzegany przez ludzi), a równocześnie aspekty abiotyczne i biotyczne oraz użytkowe, historyczne i kulturowe – implementowane na drodze interakcji odpowiednio z czynnikami przyrodniczymi oraz czynnikami ludzkimi [Solon 2013: 17-18].

Krajobrazy aktualne Polski klasyfikuje się do trzech grup, dzielonych na typy (15) i podtypy (49), w zależności od poziomu ich antropogenicznej deformacji [Chmielewski i in. 2015: 390]. Na poziomie grup są to:

- Krajobrazy przyrodnicze (m.in. rzeki, jeziora, lasy, łąki i murawy, obszary wysokogórskie powyżej górnej granicy lasu), kulturowo (zazwyczaj ekstensywnie) użytkowane, funkcjonujące głównie w wyniku działania procesów naturalnych, jedynie w różnym stopniu modyfikowanych przez działalność człowieka.
- Krajobrazy przyrodniczo-kulturowe, ukształtowane w wyniku wspólnego działania procesów naturalnych oraz świadomych modyfikacji form pokrycia terenu i struktury przestrzennej przez człowieka (obszary wiejskie, mozaikowe przyrodniczo-kulturowe i podmiejskie).
- Krajobrazy kulturowe, w których struktura i funkcja są w pełni ukształtowane przez działalność ludzką (m.in. miejskie, przemysłowe, komunikacyjne).

W opracowaniu będziemy poruszać się przede wszystkim w obrębie trzeciej grupy, czyli w przestrzeni krajobrazów kulturowych ze szczególnym uwzględnieniem krajobrazów małomiasteczkowych i wielkomiejskich. Są one prawie w całości ukształtowane przez działalność ludzką, a występowanie mszaków jest tutaj w różnym stopniu zaznaczone.

Bogactwo gatunkowe mszaków w przestrzeni miejskiej

Flora mszaków związana z obszarami o naturalnym, niezmienionym przez człowieka charakterze od stuleci, jest obiektem zainteresowań naukowców. Natomiast badania brioflory obszarów miejskich rozpoczęto dopiero pod koniec XX w. (tab. 2). Jedną z pierwszych prac, było obszerne opracowanie flory mszaków Berlina Zachodniego [Schaepe 1986]. Kolejne badania zwykle skupiały się wokół parków i cmentarzy, by z czasem objąć swym zasięgiem wszystkie elementy krajobrazu kulturowego dostępne dla mszaków w przestrzeni miejskiej. W naszym kraju takie opracowania zostały wykonane m.in. dla Oświęcimia [Żarnowiec 1996], Szczecina [Fudali 1996], czy Katowic [Fojcik & Stebel 2001], jak również dla regionów silnie przekształconych przemysłowo jak np. GOP [Jędrzejko 1990].

Tab. 2. Liczba gatunków mchów i wątrobowców w wybranych miastach i aglomeracjach europejskich [za Fudali 2005: 14 i cyt. lit.]

Miasto	Liczba gatunków			Rok publikacji danych
	Mchy	W wątrobowce	Ł cznie	
Berlin (West)	219	46	265	1986
Hamburg	208	72	280	1994
O wi cim	114	15	129	1996
Szczecin	150	15	165	1996
Bruksela	185	40	225	1997
Salzburg	258	65	323	2001
Katowice	177	34	211	2001
Bratysława	206	38	244	2003

Pierwsze opracowania brioflory terenów miejskich – zwykle florystyczne, pozwoliły zbadać istniejącą, lokalną bioróżnorodność gatunkową, a późniejsze badania ekologiczne określiły częstość występowania gatunków, stopień ich rozprzestrzenienia oraz warunki i czynniki wpływające na występowanie i wzrost mszaków w warunkach miejskich. Z tego względu coraz więcej wiadomo o bogactwie gatunkowym i preferencjach siedliskowych mszaków występujących na obszarach zurbanizowanych.

W krajobrazie miejskim strefy umiarkowanej przeważają mchy (80-90% gatunków). Są one bardziej odporne na wysychanie od wątrobowców, których w miastach jest znacznie mniej – zwykle 10-15% flory. Natomiast gwałki występują tylko w krajobrazach przyrodniczo-kulturowych (pola uprawne w obszarach wiejskich), gdzie nie odgrywają znaczącej roli.

Bogactwo gatunkowe mszaków w miastach europejskich jest stosunkowo duże – waha się od 150 do 300 gatunków, średnio wynosi ok. 200 taksonów (por. tab. 2). Liczba ta zależy głównie od wielkości miasta i jego wieku – większe i starsze miasta mają bogatszą florę mszaków. Trzeba zaznaczyć, że 80% gatunków stwierdzonych w miastach, to mchy i wątrobowce występujące na pojedynczych, lub niewielu stanowiskach – zwykle w parkach i na cmentarzach. Wśród pozostałych mszaków jest około 30 gatunków, które (1) stwierdzono we wszystkich badanych miastach, (2) notowane są na dużej liczbie stanowisk oraz (3) zwykle występują obficie. W tej grupie jest kilka mszaków, które w ciągu ostatnich kilkunastu lat albo nie ograniczyły swoich miejskich zasięgów występowania, albo wykazują

tendencje do zwiększania liczby stanowisk i zajmowanej powierzchni. Zyskały przez to status gatunków urbanofilnych, które w krajobrazie zurbanizowanym osiągnęły większy sukces ewolucyjny i są częstsze niż w środowisku naturalnym [Fudali 2011: 92]. Należy tu wymienić przede wszystkim mchy (ryc. 3, ryc. 4a-b): *Amblystegium serpens*, *Brachythecium rutabulum*, *Bryum argenteum*, *Rosulabryum capillare*, *Ceratodon purpureus*, *Oxyrrhynchium hians*, *Dryptodon pulvinatus*, *Homalothecium sericeum*, *Orthotrichum diaphanum*, *O. anomalum*, *Schistidium apocarpum* (s. l.), *Syntrichia ruralis* i *Tortula muralis* oraz jeden gatunek wątrobowca *Marchantia polymorpha* (ryc. 4c-d).

Miasto jako środowisko życia mszaków

Warunki panujące w mieście dla wielu roślin, w tym mszaków, często mają charakter ekstremalny. Dotyczy to zarówno dostępnych podłoży jak i warunków mikroklimatycznych (wysoka temperatura, niska wilgotność, zanieczyszczenia). Z tego powodu spontaniczna kolonizacja elementów urbanistycznych przez rośliny kwiatowe, ze względu na ich znaczne wymagania substratowo-siedliskowe i posiadane zdolności propagacji, jest ograniczona. Zwykle człowiek decyduje gdzie, w jakiej formie i obfitości rośliny zielne, drzewa i krzewy funkcjonują w krajobrazie kulturowym. W przypadku mszaków jest inaczej. Specyficzne cechy ich biologii, wpływają znacząco na zdolności kolonizacyjne i umiejętność spontanicznego zajmowania nowych przestrzeni, także antropogenicznego pochodzenia. Jednakże należy podkreślić, że obecność mszaków w poszczególnych podtypach krajobrazów małomiasteczkowych i wielkomiejskich jest zróżnicowana jakościowo i ilościowo (tab. 3), [Fudali 2006: 14-19, Kowarik i in. 2016: 76].

Tab. 3. Bogactwo gatunkowe i obfitość wyst. pow. mszaków w strukturze i przestrzeni wybranych podtypów krajobrazów małomiasteczkowych i wielkomiejskich; na szaro oznaczono przestrzenie, gdzie mszaki mogą być wykorzystane utylitarnie i dekoracyjnie na szeroką skalę, (typologia krajobrazów za: [Chmielewski i in. 2015: 397-399].

Krajobrazy kulturowe		Mszaki	
Typy	Podtypy	bogactwo gatunkowe	obfitość występowania
Małomiasteczkowe C.9 a-b	Miasteczka z zachowanym układem historycznym	średnie	mała
	Miasteczka o charakterze współczesnym	małe	mała
Wielkomiejskie C.10 a-f	Zespoły urbanistyczne o zachowanych założeniach historycznych	średnie	średnie
	City – silnie wyodrębnione przestrzenie centrum, o skupionych obiektach o nowoczesnej architekturze, wielokondygnacyjnej zabudowie której funkcje są podporządkowane usługom (finanse, handel, kultura)	b. małe	b. mała
	Obszary zabudowy mieszkaniowej	małe	mała
	Wielkie centra handlowe, logistyczne i składowo-magazynowe	b. małe	b. mała
	Duże tereny sportowo-rekreacyjne wraz z towarzyszącą im zielenią miejską	duże	średnia
	Wielkie nekropolie	b. duże	duża

Miasto oferuje mszacom zróżnicowane warunki substratowo-siedliskowe, które związane są bezpośrednio z typem krajobrazu miejskiego. Na terenach zurbanizowanych mszaki występują na czterech rodzajach podłoża: ziemi, powierzchniach skałopodobnych, korze drzew i butwiejącym drewnie. Trwałość i dostępność tych substratów, jak również zajmowana przez nie powierzchnia jest zróżnicowana (tab. 4). Dodatkowym i ważnym czynnikiem wpływającym na obfitość występowania mszaków w mieście jest wilgotność i warunki świetlne w jakich znajdują się wymienione typy substratów.

Tab. 4. Oferta siedliskowa dla mszaków na terenach zurbanizowanych.

Siedliska	Substraty	Zajmowana powierzchnia	Dostępność	Trwałość
epiksyliczne	butwiejące drewno	b. mała	b. mała	średnia
epifityczne	kora drzew żyjących	średnia	średnia	b. duża
epigeiczne	mineralna gleba, piasek, ziemia	duża	duża	mała
epilityczne	powierzchnie skałopodobne (beton, kamień, cegły, dachy)	duża	b. duża	b. duża

Najtrwalszymi elementami w warunkach miejskich są różnorodne betonowe konstrukcje i powierzchnie kamienne. Można je zakwalifikować do siedlisk naskalnych antropogenicznego pochodzenia (skałopodobnych). Należą tu chodniki, brukowane drogi, murki, pomniki, ściany i ogrodzenia. Podobny charakter mają dachy kryte dachówką i eternitem (ryc. 5a-e), ale także nagrobki i płyty kamienne na cmentarzach – zwłaszcza starych. Zacienienie i duża wilgotność takich miejsc, to czynniki wpływające znacząco na zwiększenie bioróżnorodności brioflory i obfitości jej występowania.

Ważnym typem podłoża na terenach zurbanizowanych jest kora drzew. Najwięcej drzew spotkać można na cmentarzach, w parkach i miejscach rekreacyjnych, wzdłuż większych dróg dojazdowych oraz na przedmieściach, gdzie przeważa luźna zabudowa domków jednorodzinnych (ryc. 5f). Jest to w miarę trwałe i dogodne dla mszaków substrat.

Mineralna gleba, piasek i ziemia to substraty obecne na trawnikach, rabatkach kwiatowych i ogrodach przydomowych. Omawiany typ podłoża w warunkach miejskich, poza parkami i cmentarzami, charakteryzuje się małą trwałością i podlega częstym zmianom, a jego brioflora jest ograniczona do kilku gatunków pionierskich, które w takich warunkach są w stanie przeżyć.

Zakończenie

Tereny silnie zurbanizowane i przekształcone przez człowieka nie stanowią komfortowej przestrzeni życiowej dla mszaków, a jednak rośliny te znajdują wystarczające warunki substratowe i siedliskowe do rozwoju. Są też często obok porostów i glonów jedyną grupą organizmów, która spontanicznie zasiedla dachy domów, chodniki czy elewacje budynków. Ze względu na swoją biologię, pomimo ciągłej i bezpośredniej presji człowieka, rośliny te osiągnęły większy sukces ewolucyjny w warunkach miejskich niż rośliny naczyniowe. Wykorzystały posiadane zdolności rozprzestrzeniania do kolonizacji struktur urbanistycznych.

Miasto oferuje mszakom wiele typów podłoża i siedlisk, jednak największą rolę odgrywają tu wszechobecne kamienne lub betonowe konstrukcje, murki, chodniki i ogrodzenia. Stanowią one znakomite siedliska zastępcze dla mchów naskalnych. Nietrwałym, ale stałym elementem krajobrazu miejskiego są odsłonięcia mineralnego podłoża powstałe na skutek prac budowlanych, ogrodniczych i ziemnych, które stwarzają dogodne warunki do powstawania skupień mszaków o inicjalnym charakterze [Fudali 2005: 38-41, 2006: 135-136]. W ten sposób, w architektonicznej przestrzeni miast i miasteczek tworzy się nisza ekologiczna dla mszaków pospolitych (dominują), ale również gatunki chronione czy zagrożone, odnajdują tu adekwatne mikrosiedliska i potencjalne refugia w miejscach o stałych warunkach mikroklimatycznych jak parki miejskie czy cmentarze [Fudali 2005: 45-47; Fojcik & Stebel 2006: 187-189]. Ta zależność dotyczy nie tylko mszaków, ale też innych organizmów. Dla wielu gatunków roślin i zwierząt niektóre typy krajobrazu miejskiego oraz struktury urbanistyczne oferują dobre warunki do wzrostu i rozwoju, stając się centrami bioróżnorodności flory i fauny [Smith i in. 2010: 876-880, Kowarik i in. 2016: 70-76].

W ostatnim dwudziestolecu XX wieku w przestrzeni miejskiej pojawiły się zielone dachy (*green roofs*) i zielone ściany (*green walls*), które coraz częściej są stosowane i uwzględniane w planowaniu architektonicznym. Niedawno powstały również narzędzia i systemy oparte o metodologię GIS, które służą do modelowania i projektowania sieci ekosystemów zielonych dachów. Mają one możliwość ekstrapolacji efektów działań „zazieleniania” na bezpośrednie pozytywne zmiany warunków życia w miastach [Grunwald i in. 2017: 58-62]. Powszechnie wiadomo, że opisane powyżej ekosystemy w wymierny sposób poprawiają miejskie warunki mikroklimatyczne, termiczne i są doskonałym buforem wody opadowej [Grant 2006: 52-55, Wong i in. 2010: 664, Berardi 2016: 224-227, Sims i in. 2016: 118-123, Vijayaraghavan 2016: 742-747]. Także mszaki na początku XXI wieku zaczęły być szerzej wykorzystywane do takich celów, a ze względu na swoją biologię i fizjologię mogą stanowić ważny i integralny element lub główny komponent zielonych dachów czy ścian [Chiaffredo 2004, Chiaffredo & Denayer 2004, Köhler 2006: 22-26, Glime 2008: 2-5, Studlar & Peck 2009: 54-62]. Jest to także korzystne ze względów ekonomicznych, ponieważ instalacja, pielęgnacja i koszty utrzymania mszystych zielonych dachów są mniejsze niż przy użyciu roślin zielnych, drzew i krzewów (IGRA). Jest to jednak temat na oddzielne rozważania. W tym opracowaniu: (1) opisano biologię mszaków, (2) starano się przedstawić miejsce, rolę i potencjał tych organizmów w warunkach miejskich, oraz (3) wskazać, że zielone dachy i ściany dzięki mszakom funkcjonowały kiedyś i egzystują obecnie blisko nas w swojej dyskretnej i spontanicznej formie. Nie wydaje się to być zatem *signum temporis* najnowszej historii cywilizacji, a konsekwencja tysięcy lat koegzystencji mszaków i ludzi. Z jednej strony naprzemiennych aktów dewastacji i renaturyzacji środowiska, a z drugiej tworzenia *de novo* struktur, warunków i przestrzeni adekwatnych do zasiedlenia przez tych niewielkich, cichych, ale odpornych i wiernych towarzyszy człowieka. Warto potencjał tych mało wymagających roślin wykorzystać w pełni, w przestrzeniach gdzie obecnie jest ich mało (por. tab. 1) i nadać mu przez to formę użyteczną (m.in. poprawa miejskich warunków mikroklimatycznych), a przy okazji też estetyczną i dekoracyjną.

References Bibliografia

- Berardi, U. (2016). *The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits*. *Energy and Buildings* 121: 217-229.
- Chiaffredo, M.K. (2004). *MCK Environnement & BRYOTEC Technology*. When mosses recreate the landscape on the roof, accessed 10.01.2017 at http://www.greenroofs.com/archives/gf_feb04.htm.
- Chiaffredo, M.K., Denayer, F.-O. (2004). *Mosses, a necessary step for perennial plant dynamics. Greening Rooftops for Sustainable Communities*, accessed 03.03.2017 at http://greenroofs.org/grtok/materials_browse.php?id=34&wha=view.
- Chmielewski, T.J., Myga-Pitek, U., Solon, J. (2015). *Typologia aktualnych krajobrazów Polski*. *Przeł d Geograficzny* 87(3): 377-408.
- During, H. J. (1992). *Ecological classifications of bryophytes and lichens*. [in:] J.W. Bates, A.M. Farmer (eds.), *Bryophytes and lichens in changing environment*. Oxford: Clarendon Press: 1-31.
- Dz. U. 2006 nr 14 poz. 98. Europejska Konwencja Krajobrazowa, sporządzona we Florencji dnia 20 października 2000 r.
- Fojcik, B. & Stebel, A. (2001). *Struktura ekologiczna i przestrzenna bryoflory miasta Katowice*. Centrum Dziedzictwa Górnego Śląska. Materiały Opracowania. Tom 5 Fojcik, B., Stebel, A. (2006). *Chosen aspects of threatened moss species occurrence in urban areas – a case study of Katowice*. *'Biodiv. Res. Conserv.'* 1-2: 187-189.
- Frey, A., Kürschner, H. (2011). *Asexual reproduction, habitat colonization and habitat maintenance in bryophytes*. *'Flora'* 206: 173-184.
- Fudali, E. (1996). *Distribution of bryophytes in various urban-use complexes of Szczecin (NW Poland)*. *'Fragm. Flor. Geobot.'* 41 (2): 717-745.
- Fudali, E. (1998). *Investigations of bryophytes in Polish towns – a review of the bryological research and data*. *'Fragm. Flor. Geobot.'* 43 (1): 77-101.
- Fudali, E. (2000). *Some open questions of the bryophytes of urban areas and their response to urbanization's impact*. *'Perspectives in Environmental Sciences'*. 2 (1): 14-18.
- Fudali, E. (2005). *Bryophyte species diversity and ecology in the parks and cemeteries of selected Polish cities*. Wrocław: Wyd. Akad. Rol.
- Fudali, E. (2006). *Influence of city on bryophyte floristical and ecological diversity in parks and cemeteries*. *'Biodiv. Res. Conserv.'* 1-2: 131-137.
- Fudali, E. (2011). *Zmiany zachodzące w bryoflorze miast na przykładzie parków Wrocławia (obserwacje z lat 2000, 2006 i 2011)*. [in:] Z. Kęcki & E. Stefańska-Krzaczek (eds): *Synantropizacja w dobie zmian różnorodności biologicznej*. *Acta Botanica Silesiaca* 6: 81-95.
- Glime, J.M. (2008). *Bryophyte Ecology* Vol. 5. Uses, Chapter 5. Construction. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. accessed on 12.01.2017 at <http://www.bryoecol.mtu.edu/>.
- Grant, G. (2006). *Green roofs and biodiversity: Extensive green roofs in London*. *'Urban Habitats'* 4(1): 51-65. http://www.urbanhabitats.org/v04n01/london_pdf.pdf
- Grolle, R. & Long, D.G. (2000). *An annotated check-list of the Hepaticae and Anthocerotae of Europe and Macaronesia*. *'Journal of Bryology'* 22: 103-140.
- Grunwald, L., Heusinger, J., Weber, S. (2017). *A GIS-based mapping methodology of urban green roof ecosystem services applied to a Central European city*. *'Urban Forestry & Urban Greening'* 22: 54-63.
- Hill, M.O., Bell, N., Bruggeman-Nannenga, M.A., Brugués, M., Cano, M.J., Enroth, J., Flatberg, K.I., Frahm, J.P., Gallego, M.T., Garilleti, R., Guerra, J., Hedenäs, L., Holyoak, D.T., Hyvönen, J., Ignatov, M.S., Lara, F., Mazimpaka, V., Muñoz, J., Söderström, L. (2006). *An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia*. *'Journal of Bryology'* 28: 198-267.
- IGRA (The International Green Roof Association). *Green Roof Types*, accessed 03.03.2017 at http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php.
- J. Drzejko, K. (1990). *Mchy (Bryopsida) Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego i jego pasy ochronnego wobec antropopresji*. Polska Akademia Nauk. Wrocław, Warszawa, Kraków.

- Klama, H. (2006a). *Systematic catalogue of Polish liverwort and hornwort taxa*. [in:] J. Szwejkowski. An annotated checklist of Polish liverworts and hornworts. Kraków: W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences 83–100.
- Köhler, M. (2006). *Green roofs and biodiversity: Long-term vegetation research on two extensive green roofs in Berlin*. 'Urban Habitats' 4(1): 3-26; http://www.urbanhabitats.org/v04n01/berlin_pdf.pdf
- Kowarik, I., Buchholz, S., von der Lippe, M., Seitz B. (2016) Biodiversity functions of urban cemeteries: Evidence from one of the largest Jewish cemeteries in Europe. *Urban Forestry & Urban Greening* 19: 68-78.
- Lindo, Z., Gonzales, A. (2010). *The bryosphere: an integral and influential component of the Earth's biosphere*. 'Ecosystems' 13: 612–627.
- Mägdefrau, K. (1982). *Life-forms of bryophytes*. [in:] A.J.E. Smith (ed.). *Bryophyte ecology*, London: 45-58.
- Magill, R.E. (2010). *Moss diversity: New look at old numbers*. 'Phytotaxa' 9: 167-174.
- Nalkowski, W. (1901). *Ziemia i człowiek. Szkice i studia geograficzne*. Warszawa: Wyd. Jan Fisher.
- Schaepe, A. (1986). *Veränderungen der Moosflora von Belin (West)*. 'Bryophytorum Bibliotheca' 33: 1-392.
- Shaw, A.J., Goffinet, B. (2009). *Bryophyte Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sims, A.W., Robinson, C.E, Smart, Ch.C., Voogt, J.A., Hay, G.J., Lundholm, J.T., Powers, B., O'Carroll, D.M. (2010). *Retention performance of green roofs in three different climate regions*. *Journal of Hydrology* 542: 115-124.
- Smith, R.M., Thompson, K., Warren, P.H., Gaston, K.J. (2010). *Urban domestic gardens (XIII): Composition of the bryophyte and lichen floras, and determinants of species richness*. 'Biological Conservation' 143: 873-882.
- Söderström, L., Gunnarsson, U. (2003). *Life history strategies. A catalogue of population biology parameters for bryophytes occurring in North-Western Europe. Manual 1.0*. Trondheim: BryoPlanet 1-68.
- Söderström, L., Hagborg, A., von Konrat, M., Bartholomew-Began, S., Bell, D., Briscoe, L., Brown, E., Cargill, DC., Costa, DP., Crandall-Stotler, BJ., Cooper, ED., Dauphin, G., Engel, JJ., Feldberg, K., Glenny, D., Gradstein, SR., He, X., Heinrichs, J., Hentschel, J., Ilkiu-Borges, AL., Katagiri, T., Konstantinova, NA., Larraín, J., Long, DG., Nebel, M., Pócs, T., Puche, F., Reiner-Drehwald, E., Renner, MA., Sass-Gyarmati, A., Schäfer-Verwimp, A., Moragues, JG., Stotler, RE., Sukkharak, P., Thiers, BM., Uribe, J., Vá a, J., Villarreal, JC., Wigginton, M., Zhang, L., Zhu, RL. (2016). *World checklist of hornworts and liverworts*. World Checklist of Hornworts and Liverworts. *PhytoKeys*, 59: 1–828.
- Solon, J. (2013). *Wybrane podejścia do typologii krajobrazu w Polsce i ich przydatność dla implementacji Europejskiej Konwencji Krajobrazowej*. [w:] Identyfikacja i waloryzacja krajobrazów – wdrażanie Europejskiej Konwencji Krajobrazowej, Generalna Dyrekcja Ochrony środowiska, Warszawa: 17–25.
- Studlar, S.M., Peck, J.E. (2009). *Extensive Green Roofs and Mosses: Reflections from a Pilot Study in Terra Alta, West Virginia*. 'Evansia' 26(2): 52-63.
- Vanderporten, A., Goffinet, B. (2009). *Introduction to bryophytes*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo.
- Vijayaraghavan, K. (2016). *Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57: 740-752.
- Villarreal, J.C., Cargill, D.C., Hagborg, A., Söderström, L., Renzaglia, K.S. (2010). *Synthesis of hornwort diversity: Patterns, causes and future work*, *Phytotaxa* 9: 150-166.
- von Konrat, M., Söderström, L., Renner, M.A.M., Hagborg, A., Briscoe, L., Engel, J.J. (2010). *Early Land Plants Today (ELPT): How many liverwort species are there?* 'Phytotaxa' 9: 22-40.
- Wong, N.H., Tan, A.Y.K, Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D., Chiang, K., Wong, N.C. (2010). *Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls*. *Building and Environment* 45: 663-672.
- arnowiec, J. (1996). *The bryoflora of urban areas-a floristic-ecological case study of Owićim town (S Poland)*. *Fragm. Flor. Geobot.* 41 (1): 355-377.