

KLIMATICKÉ POMĚRY ZÁTOKY PETUNIA, BILLEFJORDEN (ŠPICBERKY) V OBDOBÍ 2008 – 2010

Climate conditions of the coastal zone of Petuniabukta, Billefjorden (Spitsbergen) in the period 2008 – 2010

Witoszová, D., Láska, K.

¹ – Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno

Abstrakt

Cílem této práce je zhodnotit variabilitu klimatických podmínek odledněné pobřežní oblasti, která se nachází v severozápadní části zátoky Petunia, Billefjorden na Špicberkách. V této oblasti je od roku 2008 nepřetržitě prováděno měření základních meteorologických prvků pomocí série automatických stanic (AWS) rozmístěných podél západního pobřeží v různých nadmořských výškách. Srovnávány byly zejména údaje z meteorologické stanice AWS1 nacházející se na staré mořské terase (15 m n. m.) se stanicí AWS4 umístěné na skalním hřbetu Mumien Peak (475 m n. m.). Všechny meteorologické stanice byly vybaveny identickým typem senzorů pro měření teploty a vlhkosti vzduchu ve 2 m, teploty půdy a objemové vlhkosti půdy v hloubkách 5 a 15 cm. Kromě toho, na stanici AWS1 byla měřena intenzita celkového krátkovlnného a odraženého slunečního záření, intenzita fotosynteticky aktivního záření, dále rychlost a směr větru, tlak vzduchu a půdní teplota v hloubkách 5 až 150 cm. V období 21. června 2008 – 11. září 2010 činila průměrná teplota vzduchu -3.9°C (AWS1), resp. -6.1°C (AWS4). Absolutní teplotní maximum 16.2°C bylo naměřeno na AWS1 dne 28. července 2009, absolutní teplotní minimum -36.0°C bylo dosaženo 12. ledna 2009. Průměrné teploty půdy v hloubkách od 5 do 75 cm kolísaly pouze nepatrně v rozmezí od -4.3°C do -3.4°C v 75 cm. Ve studovaném období činila průměrná intenzita celkového slunečního záření $79 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, zatímco v letním období (červen–srpen 2009) dosahovala $186 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Tomu odpovídaly maximální povrchové teploty tundrové vegetace (*Bryum taxa*, *Ditrichum sp. div.*, *Silene acaulis*, *Saxifraga*) dosahující až 26.5°C . Orografie pobřeží zátoky Petunia včetně ledovcových údolí Ragnarbreen, Hørbyebreen a Svenbreen významně ovlivnily četnost směru větru na AWS1. Ve studovaném období převládalo proudění z jižního až jihovýchodního směru. Průměrná rychlost větru činila $3.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Druhý dominantní směr větru se vyskytoval ze severovýchodu a byl vázán na osu údolí a ledovec Ragnarbreen.

Klíčová slova: Petunia, Špicberky, Billefjorden, Ragnarbreen, klimatické podmínky

Abstract:

The main goal of the presented study was to evaluate spatiotemporal variability of the climate conditions of the coastal ice-free zone of Petuniabukta, north-western branch of Billefjorden, Spitsbergen. Since 2008, several automatic weather stations (AWS) have been operated along the northern coast of Petuniabukta at different altitudes. To examine variation of the local climate conditions the meteorological data from lower (AWS1 – old marine terrace at 15 m a.s.l.) and higher part (AWS4 – mountain ridge of Mumien Peak at 475 m a.s.l.) of the coastal zone were used. Each AWS was equipped with an identical set of sensors to measure air temperature and relative humidity at a height of 2 m, soil temperature and volumetric water content (VWC) at the depths of 5 and 15 cm. Apart from that, an extended monitoring program was carried out at AWS1. It consisted of the measurements of global and reflected shortwave radiations, photosynthetically active radiation, wind speed and direction, air pressure, surface temperature and soil temperature profile up to 150 cm. In the period of 21

June 2008 to 11 September 2010, the mean air temperature ranged from -3.9°C (AWS1) to -6.1°C (AWS4). The absolute temperature maximum was recorded on 28 July 2009 at AWS1 (16.2°C), the absolute temperature minimum -36.0°C was recorded on 12 January 2009. We found that the mean soil temperatures at depths of 5 to 75 cm ranged slightly from -4.3°C to -3.4°C at 75 cm. For the whole investigated period, the mean global shortwave radiation was $79 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, meanwhile during the summer season (June-August 2009) was $186 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Contrastingly, it was found that during the short summer period the maximum surface temperature of tundra vegetation (*Bryum taxa*, *Ditrichum sp. div.*, *Silene acaulis*, *Saxifraga*) can reach up to 26.5°C . The wind direction at AWS1 was influenced by local orography of the coastal zone of Petuniabukta and location of the glacier valleys – Ragnarbreen, Hørbyebreen, and Svenbreen. In the study period, the predominant wind was from the S to SE direction. The mean wind speed was $3.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. The second prevailing wind occurred from the NE sector that could be connected with the location of Ragnarbreen glacier.

Keywords: Petuniabukta, Spitsbergen, Billefjorden, Ragnarbreen, climate conditions

Úvod

V oblasti Vysoké Arktidy je struktura vegetační pokrývky a biodiverzita půdních organismů podmíněna především lokálním klimatem, fyzikálně-chemickými, biologickými vlastnostmi půdního substrátu a v neposlední řadě také výskytem permafrostu. Specifické klimatické podmínky a geografická poloha mohou významně ovlivnit teplotní a fyzikální vlastnosti aktivní vrstvy permafrostu a přítomnost tekoucí vody, jež determinují výskyt rostlin a vývoj půdních organismů. Znalost sezónní variability mikroklimatických parametrů a dalších klimatických charakteristik se tedy stává základem pro studium aktivní vrstvy permafrostu a jiných parametrů terestrického ekosystému polárních oblastí.

Výstupy, jež jsou prezentovány v tomto příspěvku, byly získány v období let 2008 – 2010 během letních expedic na Špicberky v rámci interdisciplinárního výzkumného projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy (INGO LA341) – „Biologická a klimatická diverzita centrální části arktického souostroví Svalbard“. Hlavními řešiteli tohoto projektu byla Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a Botanický ústav Akademie věd v Třeboni. Na tomto projektu se rovněž podílela Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy a Česká geologická služba Praha. Projekt měl za cíl:

- zmapování biologické diverzity terestrického ekosystému (cyanobakterie, řasy, mechorosty, lišejníky a cévnaté rostliny)
- popsat diverzitu parazitů mořských živočichů
- studium klimatické diverzity zátoky Petunia – monitoring na vybraných stanovištích
- zkoumat fungování vybraných parametrů ekosystému

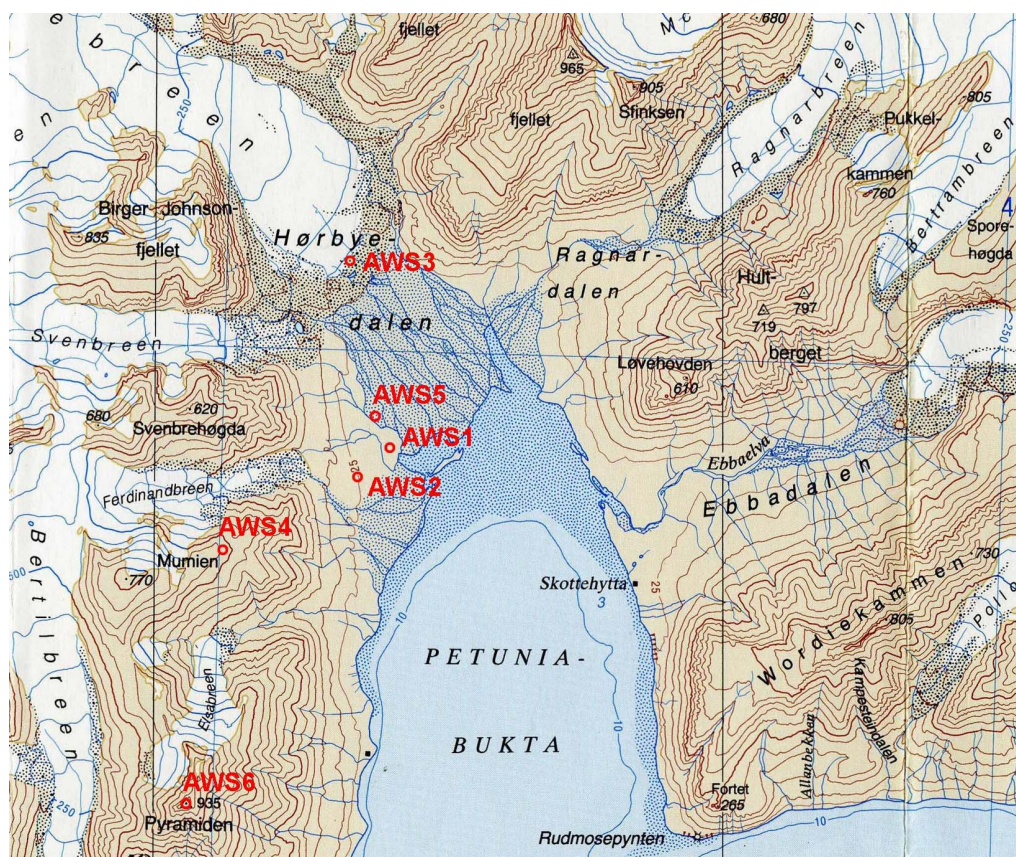
Tento projekt byl ukončen v roce 2010 a byl součástí velkého mezinárodního projektu – Network for ARctic Climate and Biological DIVersity Studies (ARCDIV). Mezinárodní projekt výzkumu biologické a klimatické diverzity Arktidy patří mezi jeden z dílčích úkolů výzkumu polárních oblastí v rámci programu Mezinárodního polárního roku (International Polar Year, IPY 2007 – 2008) a je koordinován Norským polárním institutem.

Materiál a metody

Zkoumaná oblast se nachází v severozápadní části zátoky Petunia (součást větší zátoky Billefjorden – Isfjorden) v centrální části ostrova Špicberky. Jedná se o odledněnou pobřežní zónu, která je v přímém kontaktu s četnými ledovci – Hørbyebreen, Ferdinandbreen a Svenbreen. Toto území je relativně snadně přístupné díky pravidelné lodní dopravě z Longyearbyenu do Pyramiden (bývalé ruské hornické město) během arktického léta.

V roce 2007 byla v této oblasti nainstalována série automatických meteorologických stanic (AWS), na nichž jsou od roku 2008 monitorovány vybrané meteorologické parametry. V současné době je v provozu již šest automatických meteorologických stanic (**Obr. 1**), které jsou umístěny v různých nadmořských výškách podél západního pobřeží zátoky Petunia:

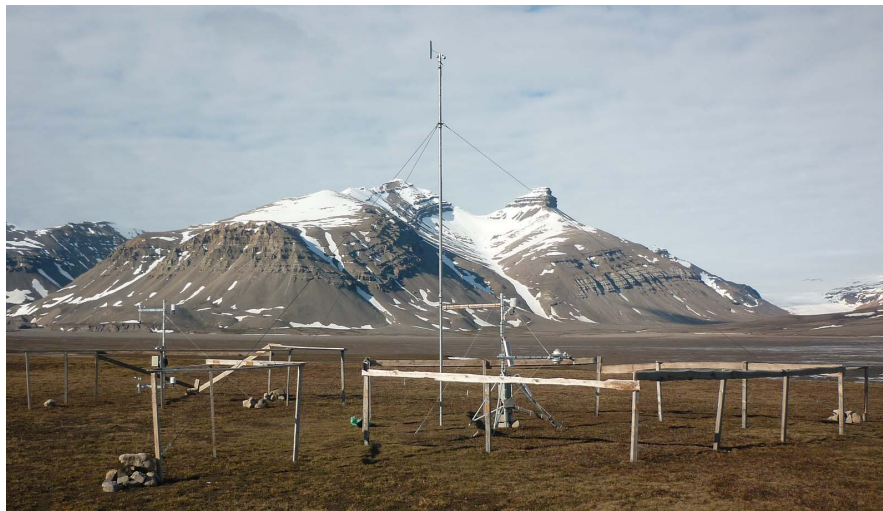
- **AWS1** – stará mořská terasa v nadmořské výšce 15 m n.m. (v provozu od roku 2008)
- **AWS2** – stará mořská terasa v nadmořské výšce 25 m n.m. (v provozu od roku 2008)
- **AWS3** – předpolí ledovce Hørbye v nadmořské výšce 67 m n.m. (v provozu od roku 2008)
- **AWS4** – výběžek horského hřebenu Mumien Peak v nadmořské výšce 475 m n.m. (v provozu od roku 2008)
- **AWS5** – oblast kopečkové tundry v nadmořské výšce 8 m n.m. (v provozu od roku 2009)
- **AWS6** – vrchol Pyramiden v nadmořské výšce 935 m n.m. (v provozu od roku 2009)



Obr. 1: Rozmístění automatických meteorologických stanic (AWS) podél severozápadního pobřeží zátoky Petunia – Billefjorden – Isfjorden.

Všechny automatické meteorologické stanice (AWS) byly vybaveny identickým typem senzorů pro měření teploty a vlhkosti vzduchu ve výšce 200 cm nad povrchem, teploty půdy a objemové vlhkosti půdy v hloubkách 5 a 15 cm. Kromě toho na základní meteorologické

stanici AWS1 (**Obr. 2**) se provádí měření intenzity celkového krátkovlnného a odraženého slunečního záření (tyto hodnoty jsou použity pro výpočet albeda), intenzity fotosynteticky aktivního záření (FAR), dále rychlosti větru a směru větru, povrchové teploty tundrové vegetace, tlaku vzduchu a teploty v půdním profilu do hloubky 150 cm (odporové platinové teploměry byly umístěny v následujících hloubkách: 5, 15, 30, 50, 75, 100 a 150 cm).



Obr. 2: Základní automatická meteorologická stanice (AWS1) umístěna na staré mořské terase v nadmořské výšce 15 m n.m – Petuniabukta.

Pro měření základních meteorologických parametrů byly použity následující přístroje, jež jsou uvedeny v tabulce dole (**Tab. 1**).

Tab. 1: Přehled nainstalovaných měřících přístrojů v zátocě Petunia – Billefjorden.

Parametr	Přístroj	Interval záznamu	Umístění nad povrchem (m)
Krátkovlnné sluneční záření	Shenk8101, Rakousko	10s	1.5
Odražené sluneční záření	Shenk8101, Rakousko	10s	1.5
FAR	EMS12, CZ	10s	1.5
Tlak vzduchu	CRESSTO 518, CZ	30min	1.7
Teplota vzduchu	EMS33, CZ	30min	2
Vlhkost vzduchu	EMS33, CZ	30min	2
Rychlost větru	MetOne 34B, USA	30min	6
Směr větru	MetOne 34B, USA	30min	6
Povrchová teplota	OS36-2 Omega, USA	30min	0
Teplota půdy	TC-5, Pt100/8, CZ	30min	----
Vlhkost půdy	10HS, Decagon, USA	30min	----

Výsledky a diskuse

Jedním z hlavních cílů projektu bylo studium klimatických poměrů vybraných stanovišť nacházejících se v různých nadmořských výškách podél západního pobřeží zátoky Petunia a následně provést srovnání variability klimatických podmínek mezi jednotlivými sezónami. Hodnocení variability klimatických podmínek bylo provedeno především na základě meteorologických dat ze základní stanice AWS1 umístěné na staré mořské terase (15 m n.m.)

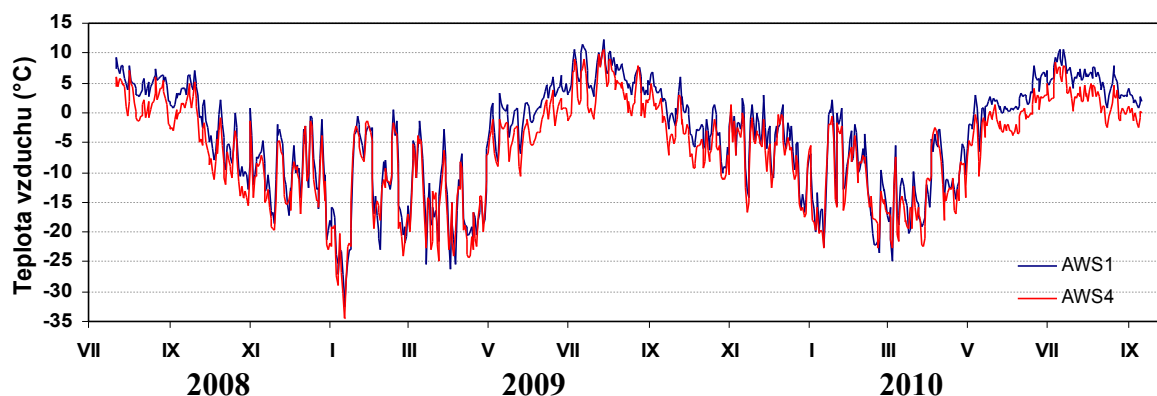
a AWS4 – stanice na skalním hřbetu Mumien Peak (475 m n.m). Pro potřeby meziročního srovnávání bylo sledované období rozděleno do dvou sezón. Trvání jednotlivých sezón je popsáno u každého meteorologického parametru zvlášť.

Teplota vzduchu

Teplota vzduchu ovlivňuje základní životní procesy rostlin jako např. rychlost dýchání, fotosyntézu, růst a odpařování vody a její denní a roční chod má primární vliv na rozšíření vegetace. Pro potřeby detailnější analýzy mikroklimatických podmínek zátoky Petunia bylo sledované období rozděleno do dvou sezón. V případě teploty vzduchu se jedná o tyto sezóny: sezóna 2008/2009 trvající od 1. srpna 2008 do 31. července 2009 a sezóna 2009/2010 zahrnující období od 1. srpna 2009 do 31. července 2010.

Ze srovnání průměrných teplot vzduchu je zřejmé, že nižší průměrné teploty byly naměřeny ve vyšší nadmořské výšce na stanici AWS4. Průměrná teplota vzduchu sezóny 2008/2009 na stanici AWS1 byla -5.5°C a -7.6°C na stanici AWS4, zatímco průměrná teplota druhé sezóny byla poněkud vyšší -3.6°C (AWS1) a -5.7°C (AWS4). Absolutní teplotní maximum sezóny 2008/2009 na stanici AWS1 činilo 16.2°C (28. července 2009) a 13.8°C (27. července 2009) na stanici AWS4, v následující sezóně dosáhla teplota vzduchu svého maxima dne 10. července 2010 na stanici AWS1 (13°C) a na stanici AWS4 dne 9. července 2010 (11.3°C). Z hlediska hodnoty absolutního teplotního minima byla situace obdobná, neboť extrémnější hodnoty připadly rovněž na první z uvedených sezón – absolutní minimum činilo -36°C (13. ledna 2009) na stanici AWS1 a -36.7°C (12. ledna 2009) na stanici AWS4. Oproti tomu, absolutní minimum druhé sezóny na stanici AWS1 -27.8°C se vyskytlo až 5. března 2010 a na stanici AWS4 až 23. února 2010 (-27.0°C). Z průměrných hodnot teploty vzduchu lze odvodit vertikální teplotní gradient, který by v tomto případě činil 0.46°C na 100 m výšky.

Během krátkého arktického léta průměrné denní teploty vzduchu ojedinele klesnou pod bod mrazu. Pro Arktidu je typické velmi krátké vegetační období, kdy roztává tenká svrchní vrstva půdy – tzv. aktivní vrstva permafrostu, což umožňuje život zakrslým formám vegetace. Kladné průměrné měsíční teploty vzduchu se vyskytují od června do září na stanici AWS1 a od července do srpna na stanici AWS4. Průměrná červnová teplota vzduchu byla 2.7°C (červen 2009) a 3.6°C (červen 2010) na stanici AWS1, průměrná červencová teplota vzduchu 7.3°C (červenec 2009) a 7.0°C (červenec 2010) na stanici AWS1, zatímco na stanici AWS4 – 4.4°C (červenec 2009) a 4°C (červenec 2010). Průměrná srpnová teplota vzduchu byla 6.2°C (srpen 2009) a 4.5°C (srpen 2010) na stanici AWS1, 3.6°C (srpen 2009) a 1.3°C (srpen 2010) na stanici AWS4. Z tohoto vyplývá, že letní sezóna 2009 (červen–srpen 2009) byla teplejší (5.4°C) než letní sezóna 2010 (červen–srpen 2010) – 4.9°C na stanici AWS1.



Obr. 2: Chod teploty vzduchu na základní stanici AWS1 (15 m n.m.) a na stanici AWS4 na skalním výběžku Mumien Peak (475 m n.m.) v období od 1. srpna 2008 do 31. července 2010.

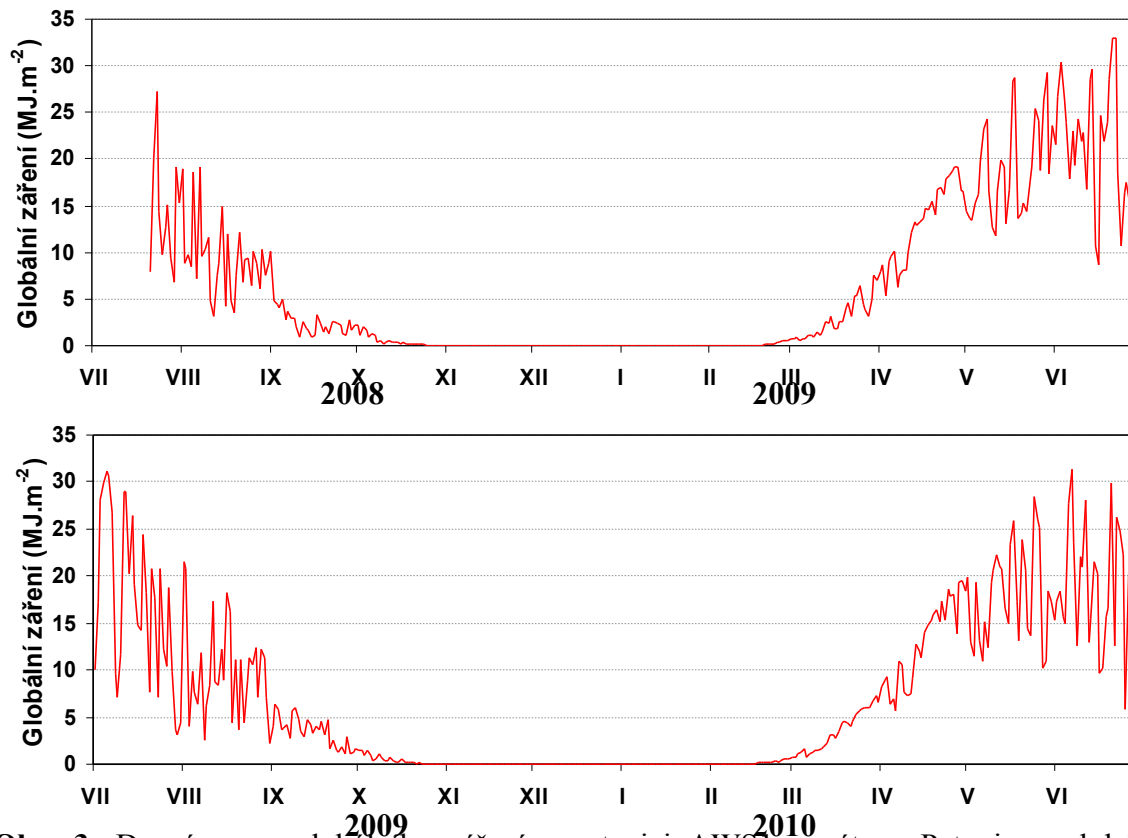
Závěrem lze tedy konstatovat, že sezóna 2008/2009 byla extrémnější a to jak z hlediska teplotních maxim a minim, tak dle průměrné teploty vzduchu.

Globální záření

Radiační bilance systému aktivní povrch–atmosféra souvisí s klimatickými podmínkami studované oblasti, fyzikálními vlastnostmi půdy a také energetickou bilancí zemského povrchu. Bilance energie krátkovlnného a dlouhovlnného záření se mění v souvislosti se střídáním polárního dne a polární noci. Důležitým faktorem je rovněž velikost albeda zemského povrchu zejména na jaře, dále atmosférická cirkulace spolu s častým výskytem oblastí nízkého tlaku vzduchu během zimního období, kdy velmi často dochází ke střídání období charakteristického vpády relativně teplého a vlhkého mořského vzduchu z jižního sektoru a období příznačného vpády chladného a suchého arktického vzduchu ze severu.

V období od 21. července 2008 do 29. června 2010 činila průměrná denní hodnota intenzity globálního slunečního záření 95.1 W.m^{-2} na stanici AWS1. Maximální průměrné hodnoty připadají na období arktického léta, kdy tyto hodnoty mohou překročit až 350 W.m^{-2} . Z hlediska meziročního srovnání lze konstatovat, že průměrná intenzita globálního slunečního záření za období 21. července 2008 až 30. června 2009 – 75.6 W.m^{-2} byla nižší než průměrná hodnota za následující období od 1. července 2009 do 29. června 2010 – 82.6 W.m^{-2} .

Avšak co se týče maximální hodnoty tak ta byla nepatrně vyšší v prvním období (21. července 2008 – 30. června 2009) – 381 W.m^{-2} (21. června 2009). Maximální hodnota za období od 1. července 2009 do 29. června 2010 činila 369 W.m^{-2} a byla dosažena dne 28. června 2010. Vliv na vývoj vegetace má především intenzita dopadajícího slunečního záření v období polárního dne – v letním období se průměrné hodnoty záření pohybují následovně – červen 2009 – 247 W.m^{-2} , červenec 2009 – 199 W.m^{-2} , září 2009 – 115 W.m^{-2} . Průměrná hodnota za letní období (červen–srpen 2009) tedy činila 186 W.m^{-2} .



Obr. 3: Denní sumy globálního záření na stanici AWS1 v zátocě Petunia v období od července 2008 do června 2010.

Sněhová pokrývka, albedo a objemová vlhkost půdy

Sněhová pokrývka je důležitým klimatickým, hydrologickým a biologickým činitelem. Významu sněhové pokrývky pro přežívání a rozšíření rostlin, typy vegetace ve vztahu ke sněhové pokrývce na Svalbardu byla již věnována řada odborných studií. Např. v povodí řeky Bayelva nacházející se západně od vědeckého města Ny-Ålesund (západní část Špicberků) byla distribuce sněhové pokrývky dávana do souvislosti s rozšířením vegetace. Byla zde nalezena těsná závislost mezi výškou sněhové pokrývky a prostorovými změnami v rozmístění vegetace či druhovém složení vegetace (Bruland, 2002). Tato skutečnost tak potvrzuje stěžejní vliv výšky sněhové pokrývky na arktickou flóru, která se tak stává velmi křehkou a zranitelnou v důsledku své závislosti na klimatických podmínkách. Jakákoliv změna klimatických podmínek má vliv na tvorbu a distribuci sněhové pokrývky, jež následně ovlivňuje arktickou vegetaci.

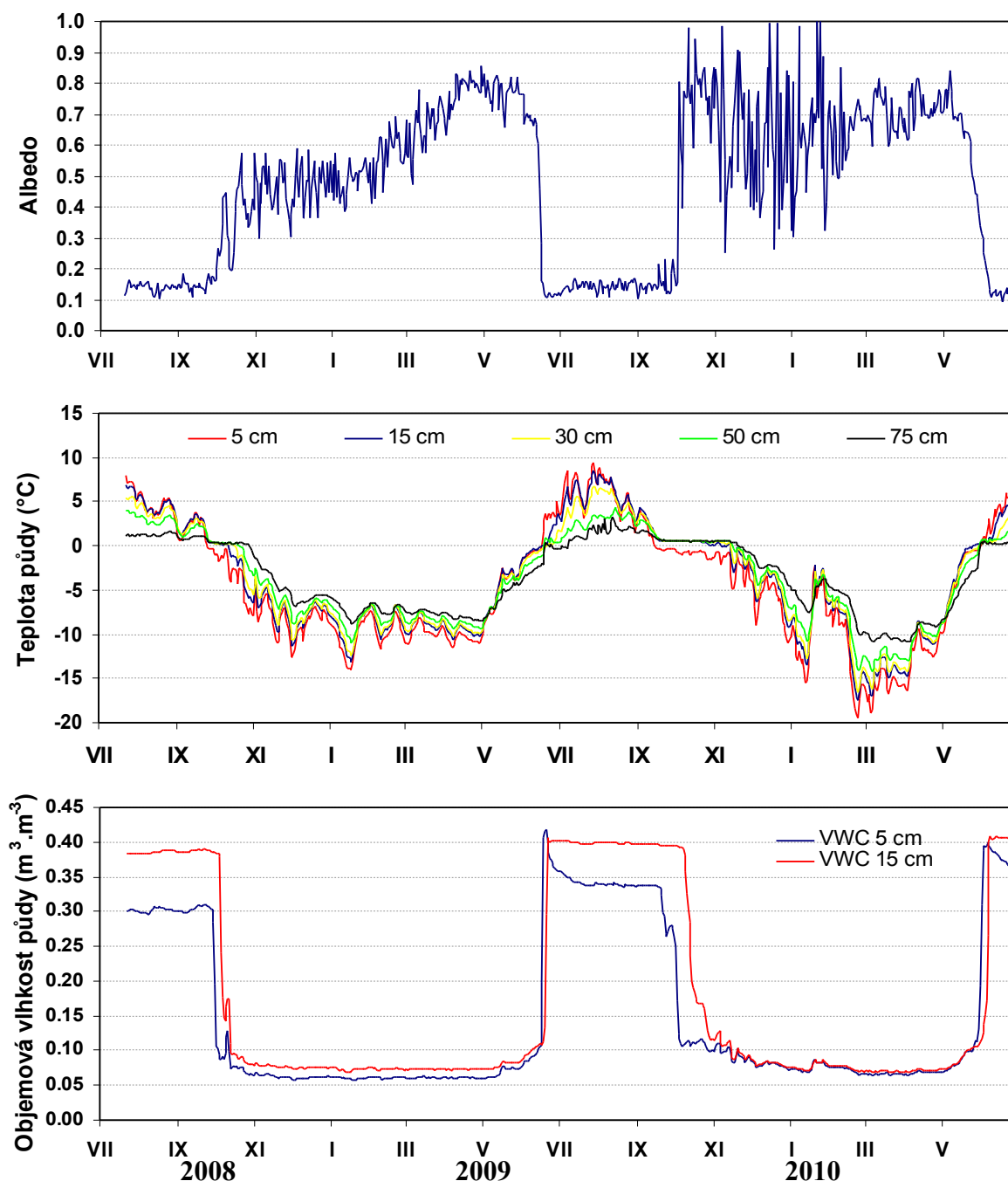
Pro tuto analýzu jsou použity data ze základní stanice AWS1 – stará mořská terasa v nadmořské výšce 15 m n.m. Nástup sněhové pokrývky je patrný jak z variability albeda v průběhu roku, tak z chodu průměrných denních objemových vlhkostí půdy (**Obr. 4**). Je zřejmé, že trvalá sněhová pokrývka se jak v roce 2008, tak v roce 2009 vytvořila již na začátku října, kdy dochází k nárůstu hodnoty albeda a poklesu objemové vlhkosti půdy.

K tání sněhové pokrývky dochází velmi rychle, avšak v tomto případě se nástup tání v jednotlivých letech podstatně lišil. V roce 2009 dochází k nástupu tání v polovině června, čemuž předcházela advekce teplého vzduchu trvající zhruba 6 dnů. Vliv na rychlý proces tání mělo samozřejmě i přímě sluneční záření, jehož průměrná denní hodnota v polovině června 2009 přesahovala hranici 300 W.m⁻². Tato událost ovlivnila i termální režim aktivní vrstvy permafrostu zejména v hloubkách 5 a 15 cm, což nám dokazují rapidně stoupající hodnoty objemové vlhkosti půdy. Během 48 hodin došlo k nárůstu hodnoty z 0.12 m³.m⁻³ (17. června 2009) na 0.42 m³.m⁻³ (19. června 2009) v hloubce 5 cm na stanici AWS1. V hloubce 15 cm dochází ke zpoždění – z hodnoty 0.13 m³.m⁻³ (19. června 2009) na 0.41 m³.m⁻³ (21. června 2009) na stanici AWS1.

Oproti tomu v roce 2010 dochází k nástupu tání sněhové pokrývky již na začátku června (viz pokles hodnoty albeda a nárůst objemové vlhkosti půdy) – **Obr. 4**. K nárůstu hodnoty objemové vlhkosti dochází rovněž během 48 hodin – z 0.13 m³.m⁻³ (30. května 2010) na 0.31 m³.m⁻³ (1. června 2010) v hloubce 5 cm a z 0.17 m³.m⁻³ (5. června 2010) na 0.40 m³.m⁻³ (7. června 2010) v hloubce 15 cm na stanici AWS1, z čehož lze nepřímo usuzovat na menší mocnost sněhové pokrývky (nižší hodnoty objemových vlhkostí půdy).

Menší mocnost sněhové pokrývky v sezóně 2009/2010 lze doložit i na základě chodu průměrných denních teplot půdy na přelomu února – března 2010, neboť jak je patrné z grafu (**Obr. 4**), tak během zimního období docházelo k většímu promrzání svrchní částí půdního pokryvu. Průměrné denní teploty půdy klesaly i pod -15°C v hloubce 5 cm, 15 a 30 cm na stanici AWS1. Absolutní minimum v hloubce 5 cm (-19.9°C) bylo zaznamenáno dne 23. února 2010, v hloubce 15 cm (-17.9°C) dne 23. února 2010, v hloubce 30 cm (-17.0°C) 24. února 2010, v hloubce 50 cm (-14.6°C) dne 24. února 2010 a v hloubce 75 cm (-11.0°C) 8. března 2010.

Závěrem lze říci, že objemová vlhkost půdy se v období 22. července 2008 – 24. června 2010 pohybuje od 0.06 m³.m⁻³ do 0.42 m³.m⁻³ v hloubce 5 cm a od 0.07 m³.m⁻³ do 0.41 m³.m⁻³ v hloubce 15 cm na základní stanici AWS1. Pro představu jsou zde uvedeny i hodnoty objemové vlhkosti půdy pro stanici AWS3 v předpolí ledovce Hørbye v nadmořské výšce 67 m, kde se objemová vlhkost půdy pohybuje od 0.02 m³.m⁻³ do 0.31 m³.m⁻³ v hloubce 5 cm a od 0.03 m³.m⁻³ do 0.28 m³.m⁻³ v hloubce 15 cm za stejné období.



Obr. 4: Chod průměrných denních hodnot albeda, půdních teplot ve vybraných hloubkách a objemové vlhkosti půdy v hloubce 5 a 15 cm na stanici AWS1 (Petuniabukta) v období 22. července 2008 až 24. června 2010.

Půdní teplota a povrchová teplota tundrové vegetace

Teplota v kořenové části rostlin je jedním z parametrů, které mohou být velmi důležité pro rostliny, zejména v období intenzivního růstu.

Průměrná teplota půdního profilu ve vybraných hloubkách se ve sledovaném období (od 22. července 2008 do 24. června 2010) lišila velmi nepatrně: T 5 cm: -4.3°C, T 15 cm: -3.7°C, T 30 cm: -3.7°C, T 50 cm: -3.6°C, T 75 cm: -3.4°C. Pokud bychom dané období opět rozdělili do dvou sezón za účelem meziročního srovnání, tak bychom zjistili, že v první sezóně (od 22. července 2008 do 7. července 2009) byly průměrné půdní teploty ve vybraných hloubkách

nižší než průměr za celé sledované období: T 5 cm (-4.7°C), T 15 cm: (-4.2°C), T 30 cm (-4.2°C), T 50 cm (-4.0°C) a T 75 cm (-3.9°C), což nám potvrzuje, že první sezóna byla z hlediska průměrných hodnot chladnější. Avšak z hlediska teplotních minim, jak již jsme uvedli výše, byla sezóna následující (od 8. července 2009 do 24. června 2010) extrémnější. Tato skutečnost měla souvislost s nižší výškou sněhové pokrývky, čímž docházelo k promrzání do větší hloubky.

Teplotní půdní maxima za celé období byla vázaná na teplotní maximum vzduchu 16.2°C ze dne 28. července 2009 – v hloubce 5 cm byla zaznamenána maximální půdní teplota 10.9°C dne 27. července 2009, v hloubce 15 cm – 8.7°C (28. července 2009), v hloubce 30 cm 6.9°C (28. července 2009), v hloubce 50 cm – 4.9°C (4. srpna 2009) a v hloubce 75 cm – 2.5°C (14. srpna 2009). Dle Fourierova zákona se čas maxima a minima se v denním a ročním chodu zpožďuje s hloubkou, což je patrné i v našem případě.

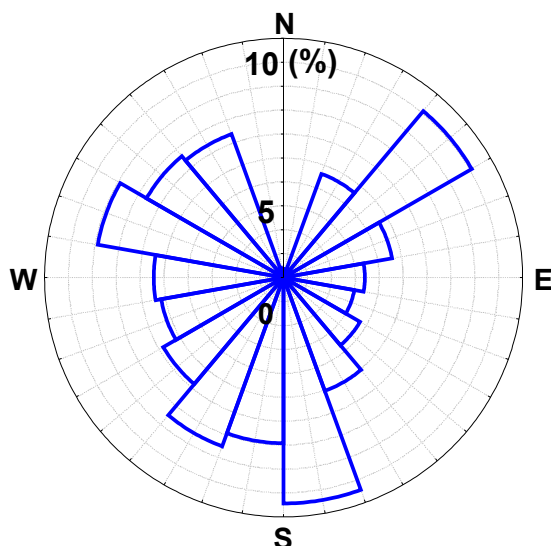
Povrchová teplota tundrové vegetace má úzkou spojitost s délkou trvání sněhové pokrývky, která v pobřežní zóně zátoky Petunia trvá zhruba 8 měsíců (**Obr. 4**). Průměrná povrchová teplota v období od 22. července 2008 do 29. června 2010 byla -5.7°C, absolutního maxima dosáhla dne 11. července 2009 (26.5°C) během krátkého arktického léta a absolutního minima (-36.2°C) dne 7. ledna 2009.

Směr a rychlost větru

Vliv na charakter atmosférické cirkulace nad Špicberky a v jeho nejbližším okolí mají především cirkulační procesy probíhající v Atlantickém sektoru Arktidy. Jedná se především o proces cyklogeneze (vývoj tlakových níží) v blízkosti Islandu. Tlakové níže se pohybují zpravidla k severovýchodu přes Norské moře a dále jižně od Špicberků přes Barentsové moře až k Nové Zemi nebo Zemi Františka Josefa. Proces cyklogeneze spojená s Islandskou tlakovou výší se vyskytuje nejčastěji v zimním období, poté jeho intenzita klesá. Během jara je počasí na Špicberkách pod vlivem Grónské tlakové výše nebo výběžku vysokého tlaku vzduchu, který se do této oblasti rozšiřuje z oblasti Kanadské Arktidy – Ostrovy královny Alžběty (Przybylak, 1996). Avšak výzkum Brümmera a spol. (2000) dokazuje, že intenzivnější průběh procesu cyklogeneze připadá na letní období, avšak tlak uvnitř tlakových níží je v létě podstatně vyšší než v zimním období.

Analýze atmosférické cirkulace nad Atlantickým oceánem v oblasti Arktidy byla věnována již řada studií, nejlépe byla zpracována pro území Špicberků. Četnost výskytu typů povětrnostní situace nad Špicberky byla zpracována na základě dat získaných během dlouhého období (prosinec 1950 až prosinec 2006). V ročním průměru se nad oblastí Špicberků nejčastěji vyskytuje anticyklonální povětrnostní situace typu Ka (10.4 %) – hřeben vysokého tlaku vzduchu zasahuje přes oblast Špicberků, dále z anticyklonálních povětrnostních situací – Východní anticyklonální Ea (7.0 %) a Severovýchodní anticyklonální NEa (6.8 %). Z hlediska cyklonálních synoptických typu se nejčastěji nad Špicberky vyskytuje Východní cyklonální situace Ec (9.9 %), Severovýchodní cyklonální situace NEc (8.7 %) a Jihovýchodní cyklonální situace Sec (6.4 %) (Niedźwiedz 2001, 2006).

Za účelem analýzy převládajícího směru a rychlosti větru byla použita data za období 7. července 2009 do 29. června 2010 ze základní stanice AWS1. Bohužel se však nejedná o zcela konzistentní (souvislou) řadu, během sledovaného období došlo několikrát k přerušení časové řady (přerušení půlhodinového záznamu) během zimního období, což bylo způsobeno sněhovou či ledovou akumulací na anemometrech. Z dostupných dat bylo zjištěno, že převládajícím směrem větru byl ve zkoumaném období vítr z jižního – jihovýchodního sektoru (směr S-SSE), který odpovídá lokální orografii a kopíruje průběh osy zátoky Petunia (**Obr. 5**). Druhým převládajícím směrem větru je vítr z severovýchodního sektoru (směr NE), jež může mít souvislost s výskytem ledovce Ragnarbreen v údolí Ragnar, kde se mohou vyskytovat místní větry (účinek výrazného reliéfu – např. katabatické proudění vzduchu).



V obou případech je zde zcela patrný výrazný efekt orografického usměrnění. Průměrná rychlost větru na základní stanici AWS1 byla naměřena 3.9 m.s^{-1} . Bylo zjištěno, že vyšší rychlosti dosahují větry, jež přicházejí z údolí ledovce Ragnar (severovýchodní směr) a v nárazech můžou přesahovat rychlost až 20 m.s^{-1} . Maximální půlhodinová rychlost větru byla naměřena 23.6 m.s^{-1} dne 27. ledna 2010, přinášející ochlazení do sledované oblasti (pokles průměrných denních hodnot teploty vzduchu).

Obr. 5: Větrná růžice pro stanici AWS1 na staré mořské terase (15 m n.m.) za období červenec 2009 – červen 2010, Petuniabukta.

Srážky

Během letní expedice 2010 bylo prováděno měření atmosférických srážek (od 24. června do 16. září 2010). Celkový úhrn srážek za sledované období byl 14 mm. Srážky spadly především v podobě mrholení. Maximum srážek 7 mm spadlo v období 12. až 14. srpna 2010.

Závěr

Během posledních desítek let dochází k výraznému oteplování polárních oblastí, zejména pak Arktidy, která se otepluje přibližně dvakrát rychleji než zbytek světa. Tato změna klimatu má za následek destabilizaci důležitých systému Arktidy včetně mořského ledu, Grónského ledového příkrovu, horských ledovců a jiných prvků arktického uhlíkového cyklu, do něhož spadá měnící se rozšíření permafrostu a rozšíření vegetace a také zvýšené uvolňování metanu z půdy, jezerních oblastí a mokřadů. Tyto uvedené skutečnosti jen potvrzují důležitost studia klimatických podmínek v Arktidě.

Klimatické poměry Svalbardu jsou vyhodnocovány především na půdě univerzitního centra UNIS (The University Centre in Svalbard) v Longyearbyenu. Tato výzkumná a vzdělávací instituce byla založena v roce 1993 především za účelem poskytování vzdělávání v oborech zaměřených na studium arktických oblastí (biologie, geologie, geofyzika a stavební inženýrství na permafrostu). V rámci univerzitního centra je prováděna rozsáhlá vědecká činnost zaměřená na studium permafrostu a klimatických poměrů Špicberků. V okolí Longyearbyenu byla instalována řada meteorologických stanic (Adventalen, Breinosa, Janssonhaugen, Gruvefjellet) a řada dalších je v provozu na ostatních ostrovech (např. Kapp Lee na ostrově Edgeøya nebo Rippfjorden na ostrově Nordaustlandet).

Otázkou klimatických poměrů Svalbardu se zabývá také řada zemí. Správa Svalbardu jim umožnila provádět vědeckou a výzkumnou činnost především v okolí městečka Ny-Ålesund na západním pobřeží Špicberků. Původně se jednalo o hornické město, teprve až od roku 1968 začala být tato oblast využívána pro vědecké účely (založení vědecké základny Norským polárním institutem). Během 80. a 90. let se do této oblasti začaly postupně stěhovat další skupiny vědců z různých zemí. Avšak Poláci mají povoleno provádět rozsáhlý výzkum již od 50.let minulého století (1957 – založení polské základny) v jižní části Špicberků v zátocě Hornsund.

V porovnání s ostatními státy začleněnými do výzkumu klimatických poměrů Svalbardu disponuje Česká republika bohužel krátkou časovou řadou dat od roku 2008, avšak

v současné době jsou dojednávány podmínky založení české vědecké stanice na Špicberkách. V minulých letech byla pro vědecké účely využívána ruská lovecká chata v zátocy Petunia, jež byla pronajata od ruské těžařské společnosti Trust Artikugol. Umístění české vědecké základny je zvažováno v následujících lokalitách – buď se začleníme do širší vědecké komunity v oblasti Ny-Ålesund nebo bude České republice povolena výstavba základny v okolí norské těžařské lokality Sveagruga v zátocy Van Mijenfjorden, jež se nachází jižněji od Longyearbyenu. Česká republika má zájem o druhou zmiňovanou lokalitu, neboť v této oblasti doposud neprobíhá rozsáhlejší monitorování klimatické a biologické diverzity na rozdíl od vědecké lokality Ny-Ålesund, kde probíhá výzkum od 70. let minulého století. I přes plánovanou výstavbu české vědecké základny v odlišné lokalitě bude monitoring klimatických poměrů zátoky Petunia pokračovat i nadále. Tato práce tedy shrnuje klimatické poměry severozápadního pobřeží zátoky Petunia za období 2008 – 2010. Budoucím cílem není pouze prodloužení dostupných časových řad (pokračování měření základních meteorologických prvků), ale především porovnání získaných výstupů s dalšími vybranými lokalitami na Špicberkách. Jedná se zejména o porovnání dat z meteorologické stanice nacházející se na letišti v Longyearbyenu.

Použitá literatura

- Bruland, O. (2002): Dynamics of the seasonal snowcover in the Arctic: disertační práce. Norsko, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Department of Hydraulic and Environmental Engineering, 150 s.
- Bruland, O., Sand, K., Killingtveit, Å. (2001): Snow distribution at a High Arctic site at Svalbard. *Nordic Hydrology* 32(1): 1–12
- Brümmer et al. (2000): A cyclone statistics for the Arctic based on European Centre reanalysis data. *Meteorology and Atmospheric Physics* 75: 233–250.
- Hanssen-Bauer I., Solås, M.K., Steffensen, E.L. (1990): The Climate of Spitsbergen. DNMI-Report 39/90 KLIMA, Norwegian Met. Inst., 40 s.
- Humlum et al. (2003): Permafrost in Svalbard: a review of reseach history, climatic background and engineering challenges. *Polar Research* 22(2): 191–215
- Killingtveitet et al. (2003): Water balance investigations in Svalbard. *Polar Research* 22(2): 161–174
- Niedźwiedz, T. (2001): Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku. *Problemy Klimatologii Polarnej* 11: 7–26.
- Niedźwiedz, T. (2006): Główne cechy cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem (XII.1950–IX.2006). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 16: 91–105.
- Przybylak, R. (1996): Zmienność cyrkulacji atmosfery w Arktyce w okresie 1939-1990. *Problemy Klimatologii Polarnej* 5: 133–147.
- Winther, J.G. et al. (2003): Snow research in Svalbard – an overview. *Polar Research* 22(2): 125–144

Kontaktní adresa 1. autora:

Mgr. Denisa Witoszová, Geografický ústav, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Kotlářská 2, 611 37 Brno, dratenicek@centrum.cz, 146072@mail.muni.cz