

Charakterystyka cech przyrostowych krzewinek *Salix polaris* poddanych działaniu osuwisk oraz soliflukcji

Liliana Siekacz

Abstrakt. W ostatnich latach wzrasta znaczenie krzewinek arktycznych w badaniach dendrochronologicznych. Pojawił się szereg prac oceniających ich przydatność do interpretacji paleośrodowiskowych, jak również prace wykorzystujące informacje zawarte w słojach przyrostu rocznego do interpretacji intensywności oraz datowania poszczególnych procesów i zjawisk. Niniejsza praca skupia się na opisie oraz interpretacji przyrostów rocznych krzewinki *Salix polaris* ze stanowiska poddanego działaniu osuwisk oraz soliflukcji na stokach w otoczeniu zatoki Petunia w środkowej części Spitsbergenu. Zaobserwowano iż analizowane rośliny reagują prawie w taki sam sposób na zachodzące procesy. Największą różnicę zaobserwowano w udziale przyrostów wyklinowujących się, które w obrębie osuwiska stanowią 31,1% a w obrębie otaczającego stoku 23,4% przyrostów. Wśród badanych roślin zaobserwowano również zjawisko selektywnej alokacji przyrostów.

Słowa kluczowe: *Salix polaris*, Svalbard, osuwiska warstwy czynnej wieloletniej zmarzliny, soliflukcja, dendrogeomorfologia

Abstract. Characteristic of *Salix polaris* radial increments exposed to landslides and solifluction. In recent years, the importance dwarf shrubs in dendrochronological research in the Arctic increases. A number of studies assessing their suitability for paleoenvironmental studies appeared, as well as works using the information contained in annual increments for the interpretation of the intensity and the dating of individual processes and phenomena. This work focuses on the description and interpretation of *Salix polaris* annual increments from site exposed to landslides and solifluction on the slopes surrounding Petunia bay in the central part of Spitsbergen. It has been observed that the analyzed plants react much the same way on the analyzed processes. The greatest difference was noticed in the share of the wedging rings that, within the landslide represent 31.1% and on surrounding slope 23.4% of the radial increments. Among the tested plants phenomenon of selective growth allocation was observed.

Keywords: *Salix polaris*, Svalbard, active layer detachment, solifluction, dendrogeomorphology

Wstęp

W ostatnich latach szczególne zainteresowanie badaczy środowiska przyrodniczego skupia się na Arktyce, gdzie oczekiwany jest największy wpływ wzrostu temperatury na środowisko (IPCC 2013). Badania paleośrodowiskowe w Arktyce ciągle poszukują nowych źródeł

informacji o zmianach środowiskowych. Wielu badaczy w ostatnich latach zajmuje się rozpoznaniem potencjału informacji środowiskowych zapisanych w tkankach krzewinek arktycznych. Przydatność sygnału przyrostowego tych roślin w badaniach środowiska przyrodniczego została pokazana w szeregu prac (Woodcock i Bradley 1994, Rayback i Henry 2005, Au i Tardiff 2007, Tape i in. 2012, Schmidt i in. 2006, Schweingruber i in. 2013, Weijers i in. 2010, Buchwał i in. 2013, Owczarek 2009, 2010a,b, Myers-Smith i in. 2011, Owczarek i in. 2014).

Krzewinki arktyczne charakteryzują się szeregiem cech utrudniających zarówno datowanie przyrostów rocznych, jak i w interpretację uzyskanych danych. Należą do nich ekstremalnie wąskie przyrosty, przyrosty brakujące, częściowo brakujące, wyklinowujące się.

Problem charakterystyki wzoru przyrostowego wierzby polarnej (*Salix polaris*) z otoczenia zatoki Petunia był już poruszany w pracach Buchwał i in. (2013) czy Buchwał (2014). Jednak dotyczył on materiału dendrochronologicznego ze stabilnych stanowisk dolinnych i odnosił obserwowane cechy przyrostowe do parametrów klimatu. Niniejsza praca jest próbą charakterystyki cech przyrostowych krzewinki arktycznej *Salix polaris* w kontekście reakcji przyrostowych na oddziałujące procesy morfogenetyczne.

Procesy kształtujące powierzchnię ziemi wpływają na rośliny w sposób pośredni poprzez zmianę warunków siedliskowych, które doprowadzają do zmian w strukturach tkankowych rośliny, te z kolei mogą zostać odczytane i interpretowane. Wykorzystanie dendrogeomorfologii we wnioskowaniu o procesach morfogenetycznych w Arktyce było przedmiotem kilku prac z obszaru Spitsbergenu (Owczarek 2009, 2010a, b), w których analiza zebranego materiału służyła głównie do odpowiedzi na pytanie kiedy i w jakiej częstotliwości zachodzą analizowane procesy morfogenetyczne.

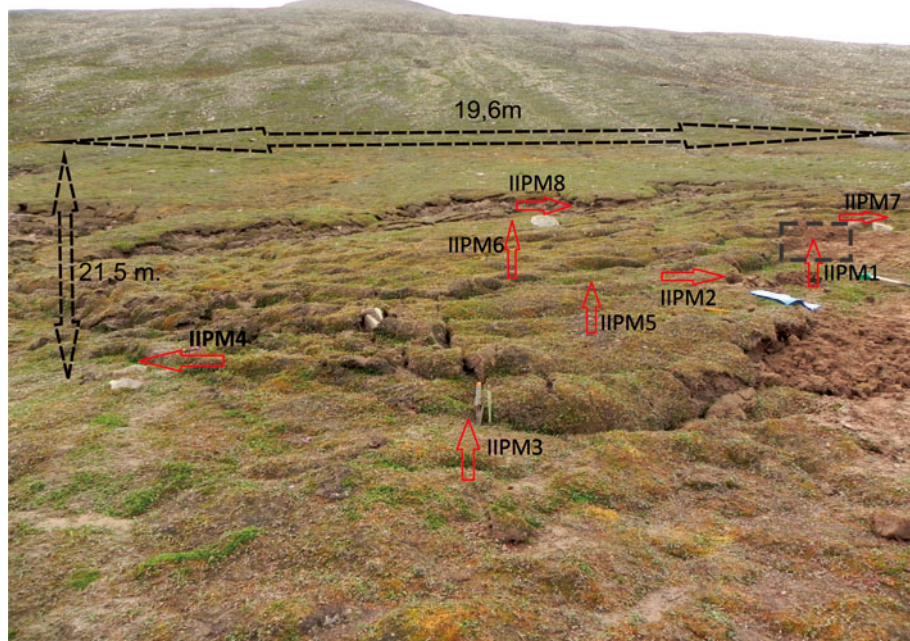
Ze względu na wiele trudności metodycznych oraz interpretacyjnych w pracy ze strukturami przyrostowymi krzewinek arktycznych, głównym celem pracy jest przedstawienie charakterystyki zaobserwowanych cech przyrostowych i związanych z nimi ograniczeń.

Obszar badań

Materiał został pobrany w ramach ekspedycji do Stacji Polarnej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu znajdującej się w otoczeniu Zatoki Petunia. Zatoka ta stanowi północną odnogę Billefjordu, będącego częścią Isfjordu największego systemu fiordowego Spitsbergenu, wcinającego się głęboko w jego środkową część. Roczne sumy opadów na tym obszarze nie przekraczają 200 mm (Hagen i in. 1993), a średnia temperatura lata wynosi ok. 5°C, z maksimum dziennym rzadko przekraczającym 10°C (Rachlewicz 2009).

Obiekt badań stanowiło jedno z wielu osuwisk, jakie można zaobserwować na północnych zboczach masywu Wordiekammen, oraz otaczająca je pozornie stabilna część stoku. Badany obiekt jest klasyfikowany jako osuwisko warstwy czynnej wieloletniej zmarzliny i należy do osuwisk translacyjnych (Lewkowicz i Harris 2005). Osuwiska te są charakterystyczne dla wysokich szerokości geograficznych i występują z reguły na słabo lub średnio nachylonych stokach, zachodzą w okresie propagacji warstwy czynnej w głąb wieloletniej zmarzliny, na powierzchni poślizgu podścielającego je permafrostu. Powierzchnia poślizgu znajduje się najczęściej płytko pod powierzchnią gruntu i jest do niej równoległa (Lewkowicz i Harris 2005). Procesy te często zachodzą pod wpływem ekstremalnych impulsów termicznych takich jak szczególnie wysoka temperatura powietrza czy pożary (np. w Arktyce Kanadyjskiej Lewkowicz, Harris 2005). Badane osuwisko (Ryc. 1) jest długie na 22 m oraz szerokie na 15-20 m

w zależności od części, charakteryzuje się rozwiniętym planem, posiada dwie wyraźne nisze osuwiskowe oraz trzecią zdecydowanie mniejszą. Jego jęzor oraz strefa nabrzmienia mają nieregularny zarys. Zgodnie z typologią opracowaną przez Lewkowicza i Harrisa (2005) analizowane osuwisko jest zaliczanie do typu zwarteo.



Ryc. 1. Analizowane osuwisko z zaznaczonymi miejscami poboru okazów *Salix polaris* oraz wymiarami
Fig. 1. The analyzed active layer detachment showing places of *Salix polaris* collection and its dimensions

Material i metody

Preparatyka

W czasie prac terenowych w lipcu 2012 roku pobrano 8 okazów wierzby polarnej w obrębie wytypowanego osuwiska oraz 6 z sąsiadującej, stabilnej części stoku. Zebrane okazy poddano dokładnym oględzinom w celu wytypowania miejsc poboru krążków. Analizowane osobniki poddano seryjnemu próbkowaniu (ang. serial sectioning) pobierając nawet 11 przekrojów w obrębie jednego osobnika, w celu uzyskania jak najpełniejszej serii przyrostów. Z pobranych wycinków na mikrotomie saneczkowym GLS1 przygotowano przekroje cienkie (grubość 15-20 μm) obejmujące całość każdego z przekrojów. Dalej przekroje zostały przygotowane zgodnie z preparatyką opisaną przez Schweingruber i Poschloda (2005). Kolejnym etapem prac było przygotowanie cyfrowych zdjęć. Zostały one wykonane za pomocą aparatu Color-View III, Olympus sprzężonego z mikroskopem Olympus BX41. Zdjęcia fragmentów prze-

krójów zostały złożone w oprogramowaniu Adobe Photoshop (Adobe Systems Incorporated, USA) używając funkcji Photomerge. W celu ułatwienia zliczania przyrostów rocznych oraz łatwiejszego śledzenia ich ciągłości, w programie Adobe Photoshop dokonano manualnego wyznaczenia poszczególnych przyrostów zaznaczając naczynia następujących po sobie przyrostów odmiennymi kolorami. Następnie dokonano pomiaru szerokości przyrostów rocznych w czterech promieniach w obrębie każdego przekroju w oprogramowaniu ImageJ. Przyrosty roczne zliczono śledząc każdy z nich dookoła całego przekroju, nie tylko w strefie wyznaczonych promieni, aby wykryć obecność wyklinowujących się pierścieni oraz wskazówki dotyczące możliwego braku przyrostów w danym miejscu.

Okazy *Salix polaris* zostały poddane tzw. badaniu pomostowemu (cross-dating) składającemu się z czterech etapów, aby dokonać pełnej analizy cech przyrostowych w badanym materiale unikając luk w sekwencji przyrostowej, Pierwszy z nich obejmował wizualne porównanie sekwencji pierścieni rocznych w obrębie czterech promieni poprowadzonych na danym przekroju rośliny. Pozwoliło to na identyfikację słoży wyklinowujących się. Drugi etap polegał na przeprowadzeniu badania pomostowego pomiędzy przekrojami pochodzącymi z różnych części tej samej rośliny w celu wykrycia przyrostów niewykształconych na danym przekroju, dalej zwanych lokalnie brakującymi przyrostami. Trzecim etapem było badanie pomostowe pomiędzy różnymi osobnikami w obrębie danego stanowiska. W ten sposób wykryto część przyrostów brakujących. Następnie uśredniając szerokości przyrostów rocznych z każdej z analizowanych roślin, stworzono sekwencję średnich szerokości przyrostów rocznych danych stanowisk. Czwartym etapem badania pomostowego było porównanie między sobą krzywych z osuwiska i stoku z opublikowaną w pracy Buchwał i in. (2013) krzywą dla dna doliny Ebby. W ten sposób dendrogramy uzupełniono o pozostałe brakujące przyrosty.

Typologia obserwowanych cech przyrostowych *Salix polaris*

Dla potrzeb opisu i ilościowej charakterystyki cech przyrostów rocznych zaobserwowanych w badanym materiale opracowano następującą klasyfikację.

- stłumienie wzrostu w_s – jako stłumiony przyrost roczny zaklasyfikowano każdy przyrost, którego szerokość była o połowę mniejsza od średniej szerokości przyrostu wyliczonej dla danego osobnika
- uwolnienie wzrostu w_u – jako uwolniony przyrost roczny zaklasyfikowano każdy przyrost którego szerokość była o połowę większa od średniej szerokości przyrostu wyliczonej dla danego osobnika
- dekoncentryczność wzrostu w_d – wyrażona jako stosunek liczby przyrostów wyklinowujących się do ogólnej liczby przyrostów na danym przekroju
- udział przyrostów lokalnie brakujących w_{lb} – oznacza stosunek liczby przyrostów brakujących w danym przekroju do ogólnej liczby przyrostów w danym przekroju
- udział przyrostów brakujących w_b – oznacza stosunek liczby przyrostów brakujących w danej roślinie do ogólnej liczby przyrostów danej rośliny

Wyniki i dyskusja

Liczba brakujących przyrostów, średnia szerokość przyrostu, maksymalna szerokość przyrostu stłumionego, minimalna szerokość przyrostu uwolnionego, udział przyrostów stłumionych, udział przyrostów uwolnionych, udział przyrostów brakujących oraz udział przyrostów

lokalnie brakujących są prawie identyczne w obrębie osuwiska oraz otaczającej pozornie stabilnej części stoku (Tab. 1). Różnice nie przekraczają 2-3%. Wartości poszczególnych parametrów zaobserwowanych w roślinach pobranych w części otaczającej osuwisko w porównaniu do samego osuwiska wskazują, iż analizowany obszar jest tylko pozornie stabilny. W rzeczywistości rosnące tam rośliny są poddane silnej presji siedliskowej, która zapisuje się w ich wzorze przyrostowym prawie takimi samymi cechami jak w roślinach z osuwiska. Czynnikiem wywołującym ten stres jest prawdopodobnie soliflukcja, która, co można wnioskować dodatkowo na podstawie mikroskopowej analizy rozkładu poszczególnych cech w sekwencji przyrostowej, jest procesem stale i w miarę jednostajnie postępującym w czasie. Jediną znaczącą różnicę pomiędzy materiałem pochodzącym z osuwiska i ze stoku można zaobserwować w udziale przyrostów wyklinowujących się, który w obrębie osuwiska jest większy (Tab. 1). Na tej podstawie można wnioskować, iż przyrosty wyklinowujące się są efektem głównie stresu mechanicznego wywołanego destabilizacją i przemieszczeniem podłoża, kiedy to roślina przrastając jednokierunkowo prawdopodobnie stabilizuje swoją pozycję. Znaczna różnica w udziale przyrostów wyklinowujących się pomiędzy tymi dwoma stanowiskami jest proporcjonalna do różnicy w sile przemieszczenia. Stale postępująca jednostajna soliflukcja jest procesem powolnym i zaburza pozycję rośliny w mniejszym stopniu niż nagłe przemieszczenie o kilkadziesiąt centymetrów połączone ze zmianą nachylenia powierzchni gruntu, jakie pomierzono w obrębie osuwiska.

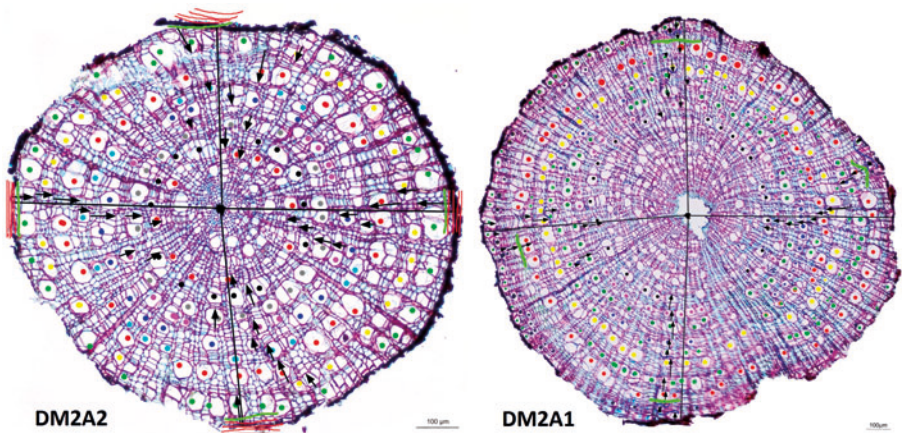
Tab. 1. Zbiornicze przedstawienie wszystkich analizowanych cech przyrostów rocznych *Salix polaris* dla analizowanych stanowisk

Table 1. Collective presentation of all analyzed characteristics of Salix polaris annual increments for the analyzed sites

Symbol	Wiek	Liczba wytworzonych przyrostów	Liczba brakujących przyrostów	Średnia szerokość przyrostu [μm]	Maksymalna szerokość przyrostu słumionego $w_{s[\mu m]}$	Minimalna szerokość wzrostu uwolnionego $w_{u[\mu m]}$	w_d [%]	w_s [%]	$\%w_u$ [%]	w_{lb} [%]	w_b [%]
DM1A1_M	26	23	3	49	25	74	43,48	34,78	26,09	3,85	7,69
DM2 A2_M	15	9	6	46	23	68	14,29	0,00	0,00	33,33	6,67
DM3B1_M	25	23	2	41	20	61	52,17	8,70	13,04	0,00	8,00
DM4A1_M	38	34	4	40	20	60	29,41	2,94	11,76	0,00	10,53
DM5A1_M	30	26	4	44	22	66	30,77	23,08	15,38	3,33	10,00
DM6A1_M	36	31	5	40	20	60	25,00	13,89	16,67	0,00	13,89
DML61A1_M	27	25	2	28	14	43	22,22	14,81	3,70	0,00	7,41
DML63A2-M	16	12	4	51	25	76	31,25	25,00	8,33	12,50	12,50
Średnia	26,6	22,9	3,8	42	21	63	31,1	15,4	11,9	6,6	9,6
DS1A2-M	21	18	3	34	17	52	33,33	14,29	9,52	0,00	9,52
DS8A1_M	43	36	7	51	25	76	17,07	9,30	11,63	2,33	13,95
DS20A2-M	20	14	6	36	18	54	20,00	15,00	10,00	25,00	5,00
DS21A1_M	13	11	2	35	18	53	15,38	7,69	15,38	7,69	7,69
DS30A1_M	22	19	3	37	19	56	27,27	9,09	4,55	9,09	4,55
DS31A2-M	41	38	3	50	25	75	27,27	19,51	9,76	2,44	4,88
Średnia	26,7	22,7	4,0	41	20	61	23,4	12,5	10,1	7,8	7,6

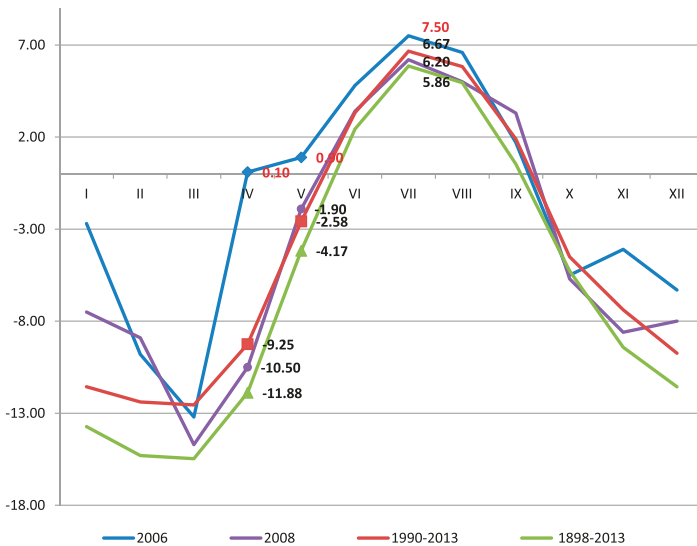
Buchwał i in. (2013), charakteryzując przyrosty roczne wierzby arktycznej w obrębie dna doliny Ebby, stwierdzili średnią szerokość przyrostu na poziomie 79 μm , co jest jedną z najniższych wartości przyrostu kiedykolwiek odnotowanych u tego gatunku. Udział przyrostów brakujących i lokalnie brakujących na dnie doliny kształtował się na poziomie odpowiednio 11,2% i 13,6%. Analizowane rośliny rosnące na stoku doliny Ebby wykazują prawie dwukrotnie niższe wartości przyrostu rocznego (41 μm), oraz większy udział przyrostów brakujących i lokalnie brakujących. Udział przyrostów brakujących u roślin rosnących w obrębie osuwiska warstwy czynnej wieloletniej zmarzliny oraz na otaczającej części stoku wynosi 16,2% i 15,4%. Jeszcze większe różnice są obserwowane w przypadku przyrostów wyklινωνujących się, których udział w obrębie osuwiska wynosi 31,1%, na otaczającym stoku 23,4% natomiast w dolinie wartości te są ponad dwukrotnie niższe i wynoszą tylko 13,6% (Buchwał i in. 2013).

Porównując wzór przyrostowy w częściach nadziemnych i podziemnych analizowanych roślin zaobserwowano różnicę w alokacji biomasy. Przyrost w roku, w którym wystąpiło analizowane osuwisko (datowanie dendrochronologiczne wskazuje na rok 2006) nie został wykształcony w żadnej części rośliny (przyrost brakujący), cztery następujące po nim przyrosty roczne zostały wykształcone tylko w nadziemnych częściach rośliny (przyrost lokalnie brakujący) (Ryc. 2). Wskazuje to iż w roku 2006 roślina została poddana silnej presji mechanicznej w efekcie której nie była w stanie wytworzyć przyrostu radialnego. Analiza danych dotyczących temperatury pochodzących z oddalonej o ok. 70 km stacji meteorologicznej Svalbard Lufthavn (Ryc. 3) wskazuje na to iż rok 2006 charakteryzował się stosunkowo wysokimi temperaturami czerwca, lipca i sierpnia. Buchwał i in. (2013) wskazują iż przyrosty *Salix polaris* z doliny Ebby wykazują najsilniejszą pozytywną korelację z temperaturami właśnie tych miesięcy. Zatem biorąc pod uwagę sprzyjające warunki termiczne w roku 2006 można by się spodziewać wykształcenia szerokiego słoja przyrostu rocznego, w rzeczywistości nie został on jednak wykształcony. Fakt ten potwierdza wystąpienie czynnika trzeciego zaburzającego wzrost roślin jakim było osuwisko. Należy zwrócić uwagę iż cztery kolejne przyrosty alokowane w części nadziemnej rośliny po roku 2006 tworzą strefę bardzo wąskich trudno wyróżnialnych pierścieni, składających się głównie z serii prostokątnych w przekroju komórek drewna późnego. Zapis ten oraz brak wykształcenia tych przyrostów w części podziemnej wskazuje iż w trudnych warunkach siedliskowych Arktyki po wystąpieniu osuwiska w 2006 roku roślina przez kilka kolejnych lat wracała do równowagi przyrostowej. Alokowane przyrostów w nadziemnym pędzie rośliny zgadza się z obserwacjami poczynionymi przez Buchwał i in. (2013). Autorzy ci wskazują na rozbieżny wzór alokacji przyrostów w obrębie części nadziemnych i podziemnych rośliny zależny od warunków klimatycznych. Przyrost radialny w częściach podziemnych jest większy niż w nadziemnych w czasie długich i ciepłych sezonów wegetacyjnych, natomiast mniejszy w latach o chłodnym początku okresu wegetacyjnego. Dzieje się tak dlatego, że przyrost w obrębie korzenia następuje po wzroście części nadziemnych i warunkach krótkiego sezonu wegetacyjnego może nie zdążyć do niego dojść. Na podstawie poczynionych obserwacji można wstępnie postawić podobny wniosek w przypadku wystąpienia innych niekorzystnych czynników ograniczających wzrost rośliny takich jak destabilizacja środowiska wzrostu. Prawdopodobnie rośliny w takiej sytuacji stosują podobną strategię inwestując w pierwszej kolejności w fotosyntetyzujące części nadziemne, podczas gdy części podziemne znajdują się w stagnacji przyrostowej nie wykształcając przyrostu radialnego.



Ryc. 2. Przykład selektywnej alokacji wzrostu. Po lewej stronie przekrój podziemnej części rośliny po prawej części nadziemnej. Zielone linie przyrost brakujący, czerwone linie przyrost lokalnie brakujący, niebieskie linie przyrost wyklinowujący się

Fig. 2. The example of selective growth allocation. Left photo - underground part of the plant, right photo - aboveground plant part. Green lines missing rings, red lined locally missing rings, blue lines wedging rings



Ryc. 3. Średnia miesięczna temperatura powietrza dla stacji Svalbard Lufthavn. Źródło: opracowanie własne na podstawie Nordli (2014)

Fig. 3. Mean monthly temperatures from Svalbard Lufthavn meteorological station. Source: author's own work based on Nordli (2014)

Podsumowanie

Charakterystyka przyrostowa badanych roślin wskazuje na ekstremalnie trudne warunki ich wzrostu. Są one poddawane ciągłej presji związanej ze stresem mechanicznym wywołanym prawdopodobnie przez stale postępujący proces soliflukcji obejmującej cały analizowany obszar. Dodatkowo w obrębie samego osuwiska wszystkie zaobserwowane zaburzenia wzrostu wykazują nieznacznie większy udział, najbardziej zauważalny w przypadku przyrostów wyklonowujących się u których jest on wyższy o prawie 8%. Wskazuje to iż przyrosty wyklonowujące się są efektem działania stresu mechanicznego, a ich udział jest proporcjonalny do siły zaburzenia. W sytuacji destabilizacji podłoża *Salix polaris* wykazuje selektywną alokację wzrostu inwestując w pierwszej kolejności w fotosyntetyzujące części nadziemne, podczas gdy części podziemne znajdują się w stagnacji przyrostowej nie wykształcając przyrostu radialnego. Analizy dendrogeomorfologiczne w Arktyce są stosunkowo nową metodą badań nad procesami morfogenetycznymi, jednak potencjalnie bardzo ważną, ponieważ mogą dostarczyć informacji o chronologii oraz intensywności zachodzących procesów. Rośliny rejestrują wiele zmiennych środowiskowych, które wpływają na ich wzrost, dlatego aby lepiej zrozumieć informacje zapisane w strukturach przyrostowych krzewinek arktycznych konieczne są dalsze pogłębione analizy porównawcze odpowiedzi anatomicznych roślin na różne warunki środowiskowe.

Literatura

- Au R., Tardiff J.C. 2007. Allometric relationships and dendroecology of the dwarf shrub *Dryas integrifolia* near Churchill, subarctic Manitoba. *Canadian Journal of Botany*, 85: 585-597.
- Buchwał A., Rachlewicz G., Fonti P., Cherubini P., Gartner H. 2013. Temperature modulates intra-plant growth of *Salix polaris* from a high Arctic site (Svalbard). *Polar Biology*, 36: 1305-1318.
- Buchwał A. 2014. Constraints on dendrochronological dating of *Salix polaris* from central Spitsbergen. *Czech Polar Reports* 4(1): 73-79, 2014.
- Hagen J.O., Liestøl O., Roland E., Jørgensen T. 1993. Glacier atlas of Svalbard and Jan Mayen. *Norsk Polarinstittutt Meddelelser* 129: 160.
- Myers-Smith I. H., Forbes B. C., Wilmsking M., Hallinger M., Lantz T., Blok D., Tape K.D., Macias-Fauria M., Sass-Klaassen U., Levesque E., Boudreau S., Ropars P., Hermanutz L., Trant A., Collier L.S., Weijers S., Rozema J., Raybak S.A., Schmidt N.M., Schaepman-Strub G., Wipf S., Rixen C., Menard C.B., Venn S., Goetz S., Aandreu-Hayles L., Elmendorf S., Ravolainen V., Welker J., Grogan P., Epstein H.E., Hik D.S. 2011. Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental Research Letters*, 6(4). doi:10.1088/1748-9326/6/4/045509.
- Lewkowicz A.G., Harris T.C. 2005. Morphology and geotechnique of active-layer detachment failures in discontinuous and continuous permafrost, northern Canada. *Geomorphology* 69: 275-297.
- Owczarek P. 2009. Dendrogeomorphological potential of *Salicaceae* from SW Spitsbergen, Svalbard. R. Kaczka, I. Malik, P. Owczarek, H. Gärtner, G. Helle, I. Heinrich (eds.): TRACE -Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology 7, Scientific Technical Report. GFZ, Potsdam. 181-186.
- Owczarek P. 2010a. Talus cone activity recorded by tree-rings of Arctic dwarf shrubs: a study case from SW Spitsbergen, Norway. *Geologija* 52: 34-39. doi: 10.2478/v10056-010-0003-3.
- Owczarek P. 2010b. Dendrochronological dating of geomorphic processes in the High Arctic. *Landform Analysis* 14: 45-56.
- Owczarek P., Nawrot A., Migala K., Malik I., Korabiewski B. 2014. Flood-plain responses to contemporary climate change in small High Arctic basin (Svalbard, Norway). *Boreas*, 43: 384-402.
- Rachlewicz G. 2009. Contemporary sediment fluxes and relief changes in high Arctic glacierized valley systems (Billefjorden, Central Spitsbergen). *Wyd. Nauk. UAM Poznań, seria Geografia* 87:204.
- Raybak S.A., Henry G. 2005. Dendrochronological potential of the Arctic dwarf-shrub *Cassiope*

- tetragona*. Tree-Ring Research, 61: 43-53.
- Schmidt N.M., Baittinger C., Forchhammer M.C. 2006. Reconstructing century-long snow regimes using estimates of High Arctic *Salix arctica* radial growth. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 38: 257-262.
- Schroder, J. F. 1980. Dendrochronology: Review and new techniques of tree-ring dating. Progress in Physical Geography 4(2): 161-188.
- Schiengruber F.H., Hellmann L., Tegel W., Braun S., Nievergelt D., Buntgen U. 2013. Evaluating the wood anatomical and dendroecological potential of Arctic dwarf shrub communities. IAWA Journal, 34: 485-497.
- Schweingruber F.H., Poschod P. 2005. Growth rings in herbs and shrubs: life span, age determination and stem anatomy. For Snow Landsc Res 79:195-415.
- Tape K.D., Hallinger M., Welker J.M., Ruess R.W. 2012. Landscape heterogeneity of shrub expansion in Arctic Alaska. Ecosystems, 15: 711-724.
- Weijers S., Broekman R., Rozema J. 2010. Dendrochronology in the High Arctic: July air temperatures reconstructed from annual shoot length growth of the circumpolar dwarf shrub *Cassiope tetragona*. Quaternary Science Review, 29: 3831-3842.
- Woodcock H., Bradley R.S. 1994. *Salix arctica* (Pall.): Its potential for dendroclimatological studies in the High Arctic. Dendrochronologia, 12: 11-22.
- Zielski A., Krapiec M. 2004. Dendrochronologia. Warszawa, PWN.

Liliana Siekacz

Zakład Badań Kriosfery, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
liliana.siekacz@amu.edu.pl