

Piotr Sewerniak<sup>1</sup>✉, Renata Bednarek<sup>1</sup>, Aneta Szymańska<sup>1</sup>

## Ekspozycja stoków wydm w Kotlinie Toruńskiej a wybrane elementy ekosystemu boru sosnowego – wstępne wyniki badań<sup>2</sup>

Preliminary studies on the influence of dune-slope exposure on a pine forest ecosystem in the Toruń Basin

**Abstract.** The characteristics of an old-growth (135 years old) *Pinus sylvestris* stand located in the Toruń Basin (central Poland) were compared on south- and north-facing dune slopes. The main variables compared were the microclimate (air temperature and relative air humidity), soil (morphology, intensity of the podzolization process, humidity, organic matter stock and total nitrogen stock) and phytocenosis (species composition and dry biomass of the ground vegetation, height and diameter at breast height of pines). The north-facing slope differed from the south-facing slope in several important ways: On the north-facing slope; (1) the mean annual air temperature was 0.5°C lower and relative air humidity 0.8% higher; (2) podzolization process was more intensive; (3) soil humidity was more than three times higher; (4) the organic horizon was thicker and stocks of soil organic matter greater (18.2 kg m<sup>-2</sup> compared with 11.9 kg m<sup>-2</sup>); and (5) the total soil nitrogen stock was greater (302 g m<sup>-2</sup> compared with 257 g m<sup>-2</sup>). These differences caused dissimilarities in phytocenosis (the plant community) between the opposing dune slopes. The species composition of the ground vegetation was significantly different between the slopes, due mainly to differences in the moss layer. The dry biomass of the ground vegetation on the north-facing slope was about twice that of the south-facing slope (138 g m<sup>-2</sup> compared with 68 g m<sup>-2</sup>). Surprisingly, average pine height was lower on the north-facing slope in spite of its more-favourable moisture and trophic conditions compared with the south-facing slope. This suggests that light conditions among these dunes may affect pine growth more than soil moisture or trophic structure. The study indicates that at a local scale the slope exposure of a dune is an important factor increasing the pine ecosystem heterogeneity in the Toruń Basin.

**Key words:** forest site, soil, *Pinus sylvestris*, podzols.

### 1. Wstęp

Ekspozycja stoku warunkuje długość usłonecznienia, co pociąga za sobą wpływ na pozostałe czynniki klimatyczno-glebowe (Puchalski, Prusinkiewicz 1990). Wpływ ekspozycji stoku na warunki wzrostu roślin jest na tyle wyraźny i wart uwagi, że problem ten jest stosunkowo często podnoszony w pracach naukowych. W badaniach dotyczących tego zagadnienia analizuje się najczęściej wpływ wystawy na określony element

ekosystemu leśnego, bez kompleksowej oceny ekosystemów poszczególnych stoków jako całości. Najczęściej analizuje się wpływ ekspozycji na właściwości gleby (Plichta 1970; Szafranek 1992; Sariyildiz et al. 2005; Egli et al. 2006; Seibert et al. 2007) lub na cechy fitocenozy (Ochrymowicz 1963; Różański, Szwagrzyk 1987; Kucharzyk, Sugiero 2007; Socha 2008). Ta druga zależność badana jest najczęściej w warunkach górskich lub wyżynnych, gdzie wpływ ekspozycji, np. na wzrost drzew, jest bardziej wyraźny oraz, ze względu na

<sup>1</sup> Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Instytut Geografii, Zakład Gleboznawstwa, ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń; ✉ Fax: +48 566112586, e-mail: sewern@umk.pl

<sup>2</sup> Badania zostały częściowo sfinansowane z grantu UMK nr 326-G.

występowanie rozległych stoków, ma większe znaczenie w prowadzeniu gospodarki leśnej niż w warunkach nizinnych.

Interdyscyplinarne prace, w których prezentowany jest wpływ wystawy stoku jednocześnie na szereg elementów ekosystemu leśnego są stosunkowo rzadkie, co szczególnie dotyczy terenów nizinnych Polski. Najczęściej prace te uwzględniają wybrane właściwości gleby i fitocenozy (Prusinkiewicz 1961; Uggla et al. 1978; Uggla 1980; Jankowski 2010). Dla borów sosnowych Kotliny Toruńskiej jedyną szerszą publikacją tego typu jest opracowanie Rząsy (1962).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wstępnych wyników interdyscyplinarnych badań dotyczących wpływu ekspozycji stoków wydm w Kotlinie Toruńskiej na wybrane, abiotyczne i biotyczne, elementy ekosystemu boru sosnowego. Podjęto także próbę wstępnej interpretacji wybranych zależności między tymi elementami w nawiązaniu do wystawy stoku.

## 2. Obiekt i metodyka badań

Kotlina Toruńska stanowi jeden z największych obszarów wydm śródlądowych w Polsce. Teren Kotliny cechuje się relatywnie niewielką średnią roczną sumą opadów atmosferycznych, wynoszącą 522,5 mm (wielolecie 1951–2000, Wójcik, Marciniak 2006). Badania przeprowadzono w środkowej części Kotliny na stokach o ekspozycji północnej i południowej (o niewielkim odchyleniu wschodnim) wydmy śródlądowej, porośniętej 135-letnim starodrzewem sosnowym, na siedlisku boru świeżego. Średnie nachylenie badanych stoków wynosi około 25°, a względna wysokość wydmy – około 20 m. Wydma położona jest w wydzieleniu 215i Obręb Orloczyn Nadleśnictwa Gniewkowo.

W środkowej części badanych stoków przeprowadzono następujące prace:

- w cyklu rocznym (08.2007–07.2008) rejestrowano temperaturę i wilgotność względną powietrza atmosferycznego na wysokości 2,5 m od powierzchni gruntu za pomocą zawieszonych na drzewach rejestratorów HOB0 U23-001. Rejestratory umieszczono w budkach (zabezpieczonych przed wlotem ptaków), które na obu stokach zawieszono po północnej stronie drzewa; pomiar był dokonywany codziennie o godzinie 14:00;

- wykonano kilka wkopów sondażowych w celu wstępnego rozpoznania pokrywy glebowej;

- wykopano profile glebowe (po 1 na każdym stoku), z których pobrano próbki glebowe do oznaczeń laboratoryjnych;

- w pięciu terminach (21.04.2007, 17.07.2007, 29.08.2007, 17.10.2007, 08.05.2008) pobrano próbki glebowe w celu określenia wilgotności aktualnej gleby.

Próbki każdorazowo były pobierane w 7–9 powtórzeniach z następujących głębokości: 0–4 cm (poziom eluwalno-próchniczny – AEes), 8–10 cm (poziom iluwalny – Bhfe), 20–30 cm (poziom iluwalny – Bfe), 40–50 cm (poziom przejściowy – BfeC), 95–105 cm (skała macierzysta – C);

- za pomocą metalowych kratek o wymiarach 10×10 cm pobrano w 6 powtórzeniach próbki glebowe do oznaczenia zasobów próchnicy w poziomie organicznym (O);

- wykonano zdjęcia fitosocjologiczne metodą Braun-Blanqueta (Braun-Blanquet 1964);

- w lipcu 2007 pobrano próbki roślin runa w celu określenia ich nadziemnej biomasy. Na obu stokach wykonano po 30 rzutów okręgiem wyznaczającym powierzchnię 0,1 m<sup>2</sup>, z której wycięto przy gruncie wszystkie rośliny runa;

- dokonano pomiaru pierśnicy oraz wysokości 50 sosen z 1 i 2 klasy Krafta (drzewa górujące i panujące).

Analizy laboratoryjne gleby wykonano z wykorzystaniem następujących metod:

- uziarnienie – metodą sitową,

- straty prażenia – metodą spalania w temperaturze 550°C,

- pH – metodą potencjometryczną w H<sub>2</sub>O i 1 M KCl, zawartość węgla organicznego – metodą Tiurina (próbki mineralne) i zmodyfikowaną metodą Altena (próbki organiczne),

- zawartość azotu ogółem – metodą Kjeldahla,

- wilgotność aktualną – metodą suszarkowo-wagową.

Pobrano materiał roślinny wysuszono w temperaturze 65°C, a następnie ważono w celu określenia nadziemnej suchej biomasy roślin runa.

Podczas obliczania średnich ważonych liczb wskaźnikowych roślin naczyniowych (Zarzycki et al. 2002) dokonano transformacji ilościowości w następujący sposób: r→1, +→2, 1→3, 2→5, 3→7, 4→8, 5→9 (van der Maarel 1979). Istotność różnic między zbiorami wykonano za pomocą pakietu STATISTICA wykorzystując test *T* Tukeya.

## 3. Wyniki i dyskusja

### Temperatura i wilgotność względna powietrza atmosferycznego

Pomimo dokonywania pomiarów na wysokości 2,5 m od powierzchni gruntu zaobserwowano różnice temperatury oraz wilgotności powietrza atmosferycznego na analizowanych stokach. Na stoku o ekspozycji południowej średnia roczna temperatura była o 0,5°C wyższa, a średnia wilgotność o 0,8% niższa niż na stoku

północnym (tab. 1). Różnice te prawdopodobnie zwiększają się wraz z obniżaniem wysokości nad powierzchnią gleby. Elementy meteorologiczne w przygruntowej warstwie powietrza ulegają znacznym zmianom w porównaniu z powietrzem z warstw wyższych, co wynika z bliskości silnie nagrzewającej się powierzchni gruntu (Tomanek 1972). Na stokach o różnym usłonecznieniu różnice w temperaturze i wilgotności powietrza atmosferycznego są wyraźnie większe w przygruntowej warstwie niż na wysokości 1 lub 2 metrów (Cantlon 1953).

Na badanej wydmy różnice temperatur w poszczególnych miesiącach wyraźnie związane są z długością usłonecznienia w ciągu roku. W cyklu rocznym długość ta jest najkrótsza w miesiącach półrocza zimowego, na co wpływa nie tylko długość dnia, lecz także fakt, iż zimą i późną jesienią w okolicach Torunia przeciętne zachmurzenie jest największe (Wójcik, Marciniak 2006). W efekcie średnia temperatura dla miesięcy półrocza chłodnego jest na obu stokach podobna, a dla dwóch miesięcy okresu badań była taka sama (3,2°C w listopadzie oraz 5,7°C w lutym, tab. 1).

Rola ekspozycji w kształtowaniu termiki badanych stoków jest znacznie większa w półroczu letnim, w którym dobowa długość usłonecznienia jest przeciętnie większa niż w półroczu zimowym. Różnice w średniej temperaturze powietrza na obu stokach były wyraźne od kwietnia do września. Największą różnicę średniej miesięcznej z godziny 14:00 stwierdzono dla maja (2,3°C, tab. 1). Prawdopodobnie wiązać to należy z niewielkim zachmurzeniem w tym miesiącu, a więc długimi okresami insolacji i wyraźnymi różnicami w pobieraniu ciepła przez oba stoki. Ilość ciepła otrzymanego przez jednostkę powierzchni gruntu zależy od natężenia promieniowania słonecznego, czasu trwania nasłonecznienia oraz kąta, pod jakim padają promienie słoneczne (Tomanek 1972). Badane stoki wyraźnie różni ostatni z tych czynników, co ma decydujące znaczenie dla zaobserwowanych różnic w temperaturze w miesiącach półrocza ciepłego (tab. 1).

Wilgotność względna powietrza jest w dużym stopniu określana przez temperaturę. Jest to zależność odwrotnie proporcjonalna, tak więc największe wartości wilgotności osiągała w miesiącach najchłodniejszych analizowanego okresu (tab. 1). Pomimo silnej zależności wilgotności względnej od temperatury, na badanej wydmy zaznacza się większa wilgotność powietrza atmosferycznego na stoku północnym niż na południowym. Te różnice wilgotności występują nawet w listopadzie i w lutym, czyli w miesiącach, w których odnotowano identyczną średnią temperaturę powietrza na obu ekspozycjach (tab. 1).

### Właściwości gleby

W obu analizowanych profilach występują gleby bieliceowe właściwe o uziarnieniu typowym dla terenu wydmy Kotliny Toruńskiej. Charakteryzuje się ono silnym wysortowaniem materiału z wyraźną dominacją frakcji o średnicy 0,5–0,1 mm (Mrózek 1958; Rząsa 1962; Bednarek, Jankowski 2006).

Badane gleby różnią się stopniem zbielicowania. Gleba na stoku północnym jest silniej zbielicowana w porównaniu z glebą stoku południowego, o czym świadczy stwierdzona wizualnie w terenie większa intensywność barwy oraz większa miąższość poziomu iluwalnego Bhfe na wystawie północnej (tab. 2). Obie te cechy gleby są dobrymi kryteriami morfologicznymi stopnia jej zbielicowania (Plichta 1970).

Wyższy stopień zbielicowania gleby na stoku północnym ma także potwierdzenie w wynikach analitycznych, o czym świadczą rezultaty analizy strat prażenia oraz zawartości węgla organicznego. W procesie bielcowania, oprócz żelaza i glinu, przemieszczana jest w głąb profilu glebowego także próchnica. Wyniki obu wspomnianych analiz są dla gleby stoku południowego wyraźnie niższe w poziomie iluwalnym Bhfe niż eluwalno-próchnicznym AEes. Na stoku północnym zawartość węgla organicznego w tych poziomach jest bardzo podobna, a straty prażenia w poziomie Bhfe są wyraźnie wyższe niż w poziomie AEes (tab. 2). Wyniki

**Tabela 1. Średnia temperatura (T) oraz wilgotność względna (W) powietrza atmosferycznego dla godziny 14:00 w okresie 08.2007 – 07.2008**

Table 1. Mean atmospheric air temperature (T) and relative air humidity (W) at 2 p.m. for the period 08.2007 – 07.2008

|   | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | Rok / Year |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| <b>Stok o ekspozycji południowej / South-facing slope</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |            |
| T [°C]  | 23,6 | 17,4 | 11,6 | 3,2  | 1,7  | 2,4  | 5,7  | 6,3  | 12,6 | 20,8 | 24,5 | 24,6 | 12,9       |
| W [%]   | 55,8 | 65,9 | 73,2 | 88,6 | 90,3 | 88,2 | 77,6 | 75,1 | 63,2 | 45,9 | 38,3 | 48,3 | 67,5       |
| <b>Stok o ekspozycji północnej / North-facing slope</b>   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |            |
| T [°C]  | 23,0 | 16,9 | 11,4 | 3,2  | 1,6  | 2,3  | 5,7  | 6,2  | 12,2 | 18,5 | 23,3 | 24,1 | 12,4       |
| W [%]   | 57,8 | 66,8 | 74,3 | 88,8 | 91,0 | 89,1 | 77,9 | 75,1 | 64,1 | 48,1 | 38,6 | 48,3 | 68,3       |

**Tabela 2. Wybrane właściwości gleb**  
Table 2. Some characteristics of soils

| Poziom genetyczny<br>Soil horizon   | Głębokość<br>Depth | Zawartość frakcji granulometrycznych, %<br>Particle size distribution, % |         |         |          |          |          |       | Straty prażenia<br>Ignition losses | C <sub>org.</sub><br>OC | N <sub>t</sub> | C : N | pH  |     |
|---|--------------------|--|---------|---------|----------|----------|----------|-------|------------------------------------|-------------------------|----------------|-------|-----|-----|
|   |                    | >2   | 2,0–1,0 | 1,0–0,5 | 0,5–0,25 | 0,25–0,1 | 0,1–0,05 | <0,05 |                                    |                         |                |       |     |     |
| <b>Profil glebowy na stoku o ekspozycji południowej</b><br>Soil on the south-facing slope |                    |  |         |         |          |          |          |       |                                    |                         |                |       |     |     |
| Ol  | 6–4                | -  | -       | -       | -        | -        | -        | -     | 74,6                               | 40,1                    | 1,36           | 29    | 4,3 | 3,4 |
| Of  | 4–2                | -  | -       | -       | -        | -        | -        | -     | 61,0                               | 34,2                    | 1,26           | 27    | 4,1 | 3,2 |
| Oh  | 2–0                | -  | -       | -       | -        | -        | -        | -     | 62,0                               | 33,7                    | 1,16           | 29    | 4,0 | 3,0 |
| AEes  | 0–5(7)             | 0,0  | 0,7     | 1,0     | 9,4      | 78,1     | 9,1      | 1,7   | 1,32                               | 0,88                    | 0,032          | 29    | 4,1 | 3,4 |
| Bhfe  | 5(7)–12            | 0,0  | 0,1     | 0,5     | 7,5      | 77,4     | 13,3     | 1,2   | 1,38                               | 0,59                    | 0,026          | 19    | 4,5 | 3,8 |
| Bfe   | 12–30              | 0,0  | 0,1     | 0,3     | 7,5      | 78,3     | 13,3     | 0,5   | 1,36                               | 0,27                    | 0,015          | 13    | 4,8 | 4,1 |
| BfeC  | 30–65              | 0,0  | 0,1     | 0,3     | 6,9      | 79,7     | 12,7     | 0,3   | 1,44                               | 0,14                    | 0,008          | 14    | 4,9 | 4,5 |
| C   | 65                 | 0,0  | 0,0     | 0,1     | 5,3      | 86,8     | 7,7      | 0,1   | 1,40                               | -                       | -              | -     | 5,1 | 4,6 |
| <b>Profil glebowy na stoku o ekspozycji północnej</b><br>Soil on the north-facing slope   |                    |  |         |         |          |          |          |       |                                    |                         |                |       |     |     |
| Ol  | 7–4                | -  | -       | -       | -        | -        | -        | -     | n.o.                               | 40,1                    | 1,36           | 29    | 4,4 | 3,7 |
| Of  | 4–1,5              | -  | -       | -       | -        | -        | -        | -     | n.o.                               | 44,6                    | 1,74           | 26    | 4,0 | 3,0 |
| Oh  | 1,5–0              | -  | -       | -       | -        | -        | -        | -     | n.o.                               | 32,0                    | 1,11           | 29    | 3,7 | 2,8 |
| (A)Ees  | 0–8                | 0,0  | 1,2     | 1,6     | 11,3     | 73,0     | 11,2     | 1,7   | 1,32                               | 1,16                    | 0,044          | 29    | 3,7 | 3,2 |
| Bhfe  | 8–18               | 0,0  | 0,7     | 1,0     | 8,0      | 78,0     | 11,4     | 0,9   | 1,19                               | 1,14                    | 0,050          | 23    | 4,6 | 4,1 |
| Bfe   | 18–30              | 0,0  | 0,1     | 0,6     | 7,0      | 78,0     | 13,8     | 0,5   | 1,38                               | 0,24                    | 0,015          | 12    | 4,8 | 4,5 |
| BfeC  | 30–65              | 0,0  | 0,0     | 0,4     | 7,4      | 78,5     | 13,3     | 0,4   | 1,53                               | 0,11                    | 0,008          | 11    | 5,1 | 4,5 |
| C   | 65                 | 0,0  | 0,0     | 0,6     | 13,2     | 76,2     | 9,7      | 0,3   | 1,51                               | -                       | -              | -     | 5,1 | 4,5 |

te jednoznacznie świadczą o przemieszczeniu głębiej próchnicy w glebie bielcowej na stoku północnym niż na południowym.

Szybsze tempo bielcowania na stokach północnych niż na południowych było sygnalizowane przez wielu badaczy (Prusinkiewicz 1961; Kuźnicki et al. 1974; Ugla 1980; Puchalski, Prusinkiewicz 1990; Szafranek 1992), jednak dotychczasowe wyniki badań prowadzonych w Kotlinie Toruńskiej nie są jednoznaczne. Powyższą orograficzną zmienność intensywności procesu bielcowania na wydmach Kotliny zaobserwował Rząsa (1962). Stopień zbielicowania gleb bielcowych badanych przez Jankowskiego (2003, 2010) był natomiast niezależny od ekspozycji stoku, jednak, jak sugeruje autor, mogło to być spowodowane odmłodzeniem profili glebowych na etapie zakładania uprawy leśnej.

Pod względem wartości proporcji C : N oraz pH badane gleby są typowe dla śródlądowych, wydmowych gleb w Polsce, charakteryzujących się niewielką aktywnością procesów humifikacji oraz kwaśnym odczynem (Rząsa 1962; Konecka-Betley et al. 1994; Bednarek, Jankowski 2006). Na uwagę zasługują nieco niższe wartości pH gleby stoku północnego w poziomach, których odczyn najsilniej zależy od procesów rozkładu materii organicznej (Of, Oh, AEs, tab. 2). Potwierdza to opinię, że poziomy powierzchniowe gleb stoków północnych cechują się silniejszym zakwaszeniem niż stoków południowych (Puchalski, Prusinkiewicz 1990; Seibert et al. 2007).

**Tabela 3. Wilgotność aktualna gleby, % wag.**

Table 3. Actual soil humidity, weight %

| Głębokość [cm]<br>Depth [cm]         | 21.04.2007 | 17.07.2007 | 29.08.2007 | 17.10.2007 | 08.05.2008 |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Stok o ekspozycji południowej</b> |            |            |            |            |            |
| South-facing slope                   |            |            |            |            |            |
| 0–4                                  | 2,6        | 9,4        | 7,8        | 4,8        | 11,4       |
| 8–10                                 | 3,0        | 6,6        | 3,3        | 2,9        | 4,2        |
| 20–30                                | 2,3        | 5,3        | 2,8        | 2,4        | 4,0        |
| 40–50                                | 3,5        | 5,2        | 3,4        | 2,9        | 4,2        |
| 95–105                               | 5,1        | 4,4        | 4,6        | 3,7        | 3,9        |
| <b>Stok o ekspozycji północnej</b>   |            |            |            |            |            |
| North-facing slope                   |            |            |            |            |            |
| 0–4                                  | 6,2        | 8,2        | 9,9        | 8,6        | 9,3        |
| 8–10                                 | 5,6        | 9,3        | 7,2        | 10,0       | 6,8        |
| 20–30                                | 3,1        | 4,8        | 4,5        | 6,5        | 4,1        |
| 40–50                                | 3,3        | 4,3        | 6,7        | 4,3        | 4,3        |
| 95–105                               | 3,7        | 4,3        | 4,9        | 3,3        | 4,1        |

Wilgotność aktualna gleby, dla większości pomiarów, odnoszących się zarówno do kolejnych terminów badań, jak i poszczególnych analizowanych głębokości, była wyższa na stoku północnym niż na południowym (z jednym wyjątkiem – 0–4 cm, 08.05.2008) do głębokości 30 cm (tab. 3). Na większej głębokości (40–50 cm, 95–105 cm) ekspozycja w znacznie mniejszym stopniu wpływa na wilgotność gleby (tab. 3). Charakterystyczne jest jednak, że w okresie późnego lata (29.08.2007) różnice w wilgotności gleby, większej na stoku północnym, sięgają głębiej – są wyraźne aż do głębokości 40–50 cm, a zaznaczają się nawet na głębokości 95–105 cm (tab. 3). Wiązać to należy z przesuszeniem gleby przez parowanie oraz pobór wody przez rośliny przy jednoczesnej niewielkiej ilości opadów atmosferycznych na terenie badań w sierpniu 2007 r.

Różnice między wilgotnością powierzchniowych poziomów badanych gleb były przeważnie wyraźne. Wartość tego parametru była na stoku północnym często dwukrotnie wyższa niż na stoku południowym, a maksymalna różnica między wilgotnością gleb obu stoków wyniosła 7,1% (8–10 cm, 17.10.2007, tab. 3). Różnice te są w dużym stopniu spowodowane odmienną ilością ciepła otrzymywanego przez oba stoki, co wpływa na temperaturę powietrza atmosferycznego, a także na temperaturę gleby i intensywność parowania z jej stropu. Gleba murawy kserotermicznej położona na stoku o ekspozycji południowej badana przez Bednarek i in. (1998) cechowała się temperaturą poziomów powierzchniowych wyższą niż porównawcza gleba rolna położona na terenie płaskim nawet o kilkanaście stopni.

Gleba na stoku północnym charakteryzowała się większą miąższością poziomu organicznego w porównaniu z glebą stoku południowego, co stwierdzono nie tylko w badanych profilach glebowych (tab. 2), lecz także we wkopach sondażowych na obu stokach. Miąższość ektopróchnicy wpływa na parowanie z powierzchniowego poziomu mineralnego gleby. Większa grubość poziomu organicznego na stoku północnym może być zatem dodatkową przyczyną większej wilgotności mineralnych poziomów powierzchniowych gleby na tej ekspozycji w porównaniu z wystawą południową. Jednocześnie relacje między miąższością poziomu organicznego a wilgotnością gleby są obustronne. Dodatnia zależność między wilgotnością gleby a miąższością tego poziomu była niejednokrotnie sygnalizowana w literaturze naukowej (Prusinkiewicz 1961; Ferczyńska 1969; Ugla 1980; Szafranek 1992; Seibert et al. 2007).

Zwraca uwagę fakt, że w dniu 08.05.2008 na głębokości 0–4 cm wilgotność gleby była wyraźnie wyższa na stoku południowym niż na północnym (tab. 3). Termin pomiaru reprezentuje okres, w którym na skutek inten-



sywnego rozwoju roślinności występuje szybkie zmniejszenie wilgotności gleby (Bednarek 1970). Prawdopodobnie zaobserwowana zależność wynika więc z większego zagęszczenia sosen oraz większej biomasy roślin runa na ekspozycji północnej niż na południowej. Może też być ona spowodowana przez określony układ warunków meteorologicznych, np. opady deszczu przy jednoczesnym wietrze południowym w dniach poprzedzających pomiar. Większe uwilgotnienie gleby na stoku południowym w porównaniu ze stokiem północnym wydm w Kotlinie Toruńskiej stwierdził także w jednorazowym pomiarze Jankowski (2010).

Dodatnia zależność między wilgotnością gleby a miąższością poziomu organicznego jest ważną przyczyną występowania większych zasobów próchnicy w glebie stoku północnego niż południowego (tab. 4). Na wielkość zasobów próchnicy, poza miąższością poziomów zawierających materię organiczną, wpływa także jej zawartość w poszczególnych poziomach genetycznych. Ta natomiast jest większa na stoku o ekspozycji północnej. Świadczą o tym większe wartości strat prażenia i zawartości węgla organicznego w większości powierzchniowych poziomów gleby na tej wystawie w porównaniu z ekspozycją południową (tab. 2).

Gleby stoków północnych są uważane, w porównaniu z glebami ekspozycji południowej, za zasobniejsze w składniki pokarmowe (Puchalski, Prusinkiewicz 1990). Co prawda, w niniejszych badaniach, poza azotem, nie analizowano zawartości makropierwiastków w glebie, jednak o wielu właściwościach chemicznych gleb powstałych z ubogich piasków decyduje przede wszystkim obecność próchnicy (Prusinkiewicz 1961; Plichta 1970), co odnieść można także do zawartości składników pokarmowych. Wyraźnie większe zasoby próchnicy na stoku o ekspozycji północnej (tab. 4) świadczą o korzystniejszych warunkach troficznych dla roślin na tej wystawie niż na stoku południowym. Ma to potwierdzenie w zawartości azotu

na badanym stoku, która w poziomie Of, AEes i Bhfe jest wyraźnie wyższa na ekspozycji północnej (tab. 2). W pozostałych poziomach zawartość tego pierwiastka jest podobna. W efekcie, zasoby pedogenicznego azotu są większe na stoku o wystawie północnej ( $302 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) niż południowej ( $257 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

Zarówno większe zasoby próchnicy, jak i większa wilgotność gleby na stoku północnym są związane z silniejszym jej zbielicowaniem na tej wystawie niż na ekspozycji południowej. Ektopróchnica jest źródłem kwasów humusowych, które odgrywają kluczową rolę w procesie bielicowania (Puchalski, Prusinkiewicz 1990), a dodatnia zależność między intensywnością bielicowania a wilgotnością gleby była często akcentowana w opracowaniach naukowych (Prusinkiewicz 1961; Uggla et al. 1978; Uggla 1980; Puchalski, Prusinkiewicz 1990).

### Cechy fitocenozy

W składzie gatunkowym runa badanej wydmy dominują typowe rośliny ubogich borów sosnowych. Na obu stokach w warstwie zielnej stwierdzono największą ilościowość śmiałka pogiętego (*Deschampsia flexuosa*), a w warstwie mszystej – rokitu pospolitego (*Pleurozium schreberi*) i widłozębu falistego (*Dicranum undulatum*, tab. 5). Różnice w warunkach mikroklimatyczno-glebowych występujących na obu stokach zaznaczają się natomiast w składzie gatunkowym runa. Niektóre taksony roślin o wysokich wymaganiach świetlnych (*Euphorbia cyparissias*, *Hieracium pilosella*, *Pohlia nutans*, *Polytrichum juniperinum*, *Cladonia sp.*) występują jedynie na stoku południowym, podczas gdy obecność gatunków znoszących większe ocienienie, wymagających jednocześnie przynajmniej nieco większej wilgotności siedliska (*Convallaria majalis*, *Pseudoscleropodium purum*, *Hylocomium splendens*) została stwierdzona wyłącznie na stoku o wystawie północnej (tab. 5).

Zależność kompozycji gatunków w runie od warunków mikroklimatyczno-glebowych ma wyraźne potwierdzenie w różnicach średniej ważonej liczby wskaźnikowych roślin naczyniowych występujących na obu stokach (tab. 6). Średni wskaźnik świetlny dla roślin zielnych stoku południowego jest wyraźnie wyższy, a wskaźnik wilgotności gleby i zawartości materii organicznej niższy niż na stoku północnym. Zależności dotyczące wilgotności gleby oraz zawartości materii organicznej mają bezpośrednie potwierdzenie w wynikach niniejszych badań.

Poszczególne liczby wskaźnikowe są ze sobą częściowo powiązane. Na przykład światłoządny wilczomlec sosnka (*Euphorbia cyparissias*) jest jednocześnie gatunkiem o relatywnie wysokich wymaganiach termicznych. Wydaje się jednak, że na podstawie

**Tabela 4. Zasoby próchnicy w glebie,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$**

Table 4. Organic matter stock,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

| Poziom genetyczny<br>Soil horizon | Ekspozycja południowa<br>South-facing slope | Ekspozycja północna<br>North-facing slope |
|-----------------------------------|---|---|
| Ol                                | 1,39±0,39                                   | 1,94±0,36                                 |
| Of                                | 1,26±0,93                                   | 3,97±1,00                                 |
| Oh                                | 3,31±1,19                                   | 3,22±0,59                                 |
| AEes                              | 1,35  | 2,42                                      |
| Bhfe                              | 1,08  | 3,21                                      |
| Bfe                               | 0,98  | 1,32                                      |
| BfeC                              | 2,52  | 2,14                                      |
| Razem                             | 11,89                                       | 18,22                                     |
| Total                             |   |   |

**Tabela 5. Wybrane cechy runa**

Table 5. Some characteristics of the ground vegetation

| Gatunek<br>Species  | Ilościowość na stoku<br>Species contribution on a slope |                           |
|---|---|---------------------------|
|   | południowym<br>south-facing                             | północnym<br>north-facing |
| <b>warstwa zielna / herb layer</b>                                |   |                           |
| Śmiełek pogięty ( <i>Deschampsia flexuosa</i> )                   | 3   | 4                         |
| Borówka brusznica ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> )                | 1   | 3                         |
| Wrzos zwyczajny ( <i>Calluna vulgaris</i> )                       | 1   | +                         |
| Trzcinnik piaskowy ( <i>Calamagrostis epigejos</i> )              | 1   | r                         |
| Jarząb zwyczajny ( <i>Sorbus aucuparia</i> )                      | r   | r                         |
| Czeremcha amerykańska ( <i>Prunus serotina</i> )                  | r   | r                         |
| Szczaw polny ( <i>Rumex acetosella</i> )                          | +   | .                         |
| Jastrzębiec kosmaczek ( <i>Hieracium pilosella</i> )              | 1   | .                         |
| Turzyca pigułkowa ( <i>Carex pilulifera</i> )                     | 1   | .                         |
| Wilczomlec sosnka ( <i>Euphorbia cyparissias</i> )                | +   | .                         |
| Grusza domowa ( <i>Pyrus communis</i> )                           | r   | .                         |
| Nieczelnica krótkoostna ( <i>Dryopteris carthusiana</i> )         | .   | r                         |
| Konwalia majowa ( <i>Convallaria majalis</i> )                    | .   | 1                         |
| Borówka czernica ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )                   | .   | +                         |
| Brzoza brodawkowata ( <i>Betula pendula</i> )                     | .   | r                         |
| Sosna zwyczajna ( <i>Pinus sylvestris</i> )                       | .   | r                         |
| Dąb szypułkowy ( <i>Quercus robur</i> )                           | .   | r                         |
| Kruszyna pospolita ( <i>Frangula alnus</i> )                      | .   | r                         |
| <b>warstwa mszysta / moss layer</b>                               |   |                           |
| Rokiet pospolity ( <i>Pleurozium schreberi</i> )                  | 2   | 3                         |
| Widłoząb falisty ( <i>Dicranum undulatum</i> )                    | 3   | 1                         |
| Knotnik zwiśły ( <i>Pohlia nutans</i> )                           | 1   | .                         |
| Płonnik jałowcowaty ( <i>Polytrichum juniperinum</i> )            | r   | .                         |
| Chrobotek ( <i>Cladonia sp.</i> )                                 | +   | .                         |
| Brodawkowiec czysty ( <i>Pseudoscleropodium purum</i> )           | .   | 2                         |
| Gajnik lśniący ( <i>Hylocomium splendens</i> )                    | .   | +                         |
| <b>Pokrycie warstwy zielnej, %</b><br>Cover of the herb layer, %  | 65  | 90                        |
| <b>Pokrycie warstwy mszystej, %</b><br>Cover of the moss layer, % | 60  | 80                        |

uzyskanych wyników można wartościować znaczenie poszczególnych czynników abiotycznych dla charakteru runa obu stoków.

Wśród liczb wskaźnikowych dla roślin obu stoków najbardziej wyraźna jest różnica w przypadku wskaźnika świetlnego, co sugeruje, że usłonecznienie odgrywa kluczową rolę dla charakteru runa badanych stoków. Wyraźnie różna jest także średnia liczba wskaźnikowa wilgotności gleby na obu stokach, a także wskaźnik zawartości materii organicznej (tab. 6), co sygnalizuje duże znaczenie tych czynników abiotycznych dla kompozycji gatunków roślin naczyniowych w runie na badanej wydmie. Pamiętać należy, że liczba wskaźnikowa zawartości materii organicznej ma zaledwie 3 stopnie (1–3), a pozostałe analizowane liczby wskaźnikowe 5 (*L*, *T*, *Tr*, *R*) lub 6 (*W*; Zarzycki et al. 2002). Różnica wartości wskaźnika zawartości materii

organicznej dla obu stoków, wynosząca 0,09 (tab. 6), może więc odzwierciedlać istotną różnicę preferencji występujących tam roślin naczyniowych runa odnośnie tej cechy gleby. Niewielka różnica dla obu stoków w średnich wartościach liczb wskaźnikowych związanych z trofizmem gleby (*Tr*, *R*) sugeruje, że zasobność w makropierwiastki oraz odczyn gleby mają stosunkowo niewielkie znaczenie dla charakteru runa w warstwie zielnej na badanej wydmie.

W składzie gatunkowym warstwy mszystej runa badane stoki różnią się na poziomie gatunku dominującego. Na ekspozycji południowej największą ilościowością cechuje się widłoząb falisty (*Dicranum undulatum*), a na wystawie północnej – rokiet pospolity (*Pleurozium schreberi*). Dodatkowo, na stoku cienistym, z relatywnie dużym pokryciem, występuje brodawkowiec czysty (*Pseudoscleropodium purum*), którego brak na

**Tabela 6. Liczby wskaźnikowe (średnia ważona) roślin naczyniowych dla badanych stoków (Zarzycki et al. 2002)**  
Table 6. Ecological indicator values (weighed mean) of vascular plants for the investigated slopes (Zarzycki et al. 2002)

| Stok<br>Slope                     | <i>L</i> | <i>T</i> | <i>W</i> | <i>Tr</i> | <i>R</i> | <i>H</i> |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| <b>Południowy</b><br>South-facing | 3,94     | 3,05     | 2,63     | 2,34      | 2,63     | 1,74     |
| <b>Północny</b><br>North-facing   | 3,40     | 2,96     | 2,81     | 2,30      | 2,61     | 1,83     |

**Oznaczenia:** *L* – wskaźnik świetlny, *T* – wskaźnik termiczny, *W* – wskaźnik wilgotności gleby, *Tr* – wskaźnik trofizmu, *R* – wskaźnik kwasowości gleby, *H* – wskaźnik zawartości materii organicznej

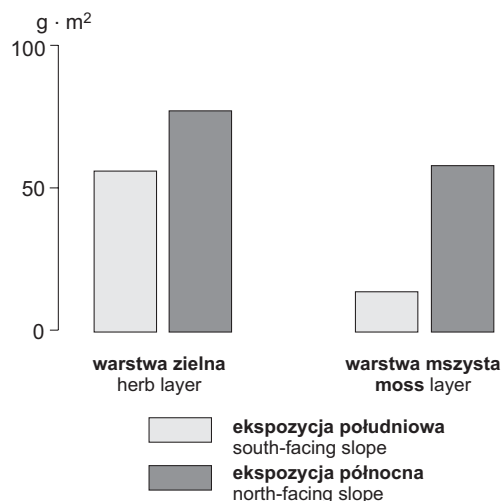
**Abbreviations:** *L* – light indicator, *T* – thermal indicator, *W* – soil moisture indicator, *Tr* – trophic indicator, *R* – soil acidity indicator, *H* – organic matter content indicator

stoku południowym (tab. 5). Należy również podkreślić, że Rząsa (1962) zwrócił uwagę na częstsze występowanie chrobotków na stokach południowych wydm Kotliny Toruńskiej, co ma potwierdzenie w naszych badaniach. Zaprezentowane wyniki świadczą o tym, że szczególnie wyraźną florystyczną cechą różniącą stoki o wystawie południowej i północnej jest charakter warstwy mszystej runa. Jest to zbieżne z wynikami jakie przedstawił Cantlon (1953).

Pokrycie obu warstw runa jest większe na badanym stoku północnym niż południowym (tab. 5). Jest to ważną przyczyną występowania ponad dwukrotnie większej suchej biomasy roślin runa na ekspozycji cienistej ( $138 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) w porównaniu z wystawą południową ( $68 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Zależności te dotyczą obu warstw runa, jednak są wyraźniejsze dla warstwy mszystej (ryc. 1). Z pewnością w dużym stopniu wynika to z różnic w składzie gatunkowym tej warstwy, np. knotnik zwisły (*Pohlia nutans*), mech o niewielkich rozmiarach i biomase, występuje jedynie na stoku południowym (tab. 5).

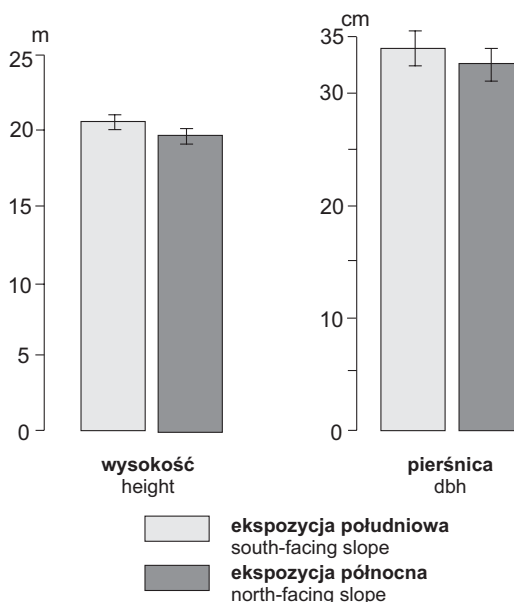
Interesująco przedstawiają się wyniki badań dendrometrycznych przeprowadzonych w drzewostanie sosnowym porastającym analizowaną wydmę. Sosna na wystawie południowej cechuje się większą przeciętną wysokością oraz pierśnicą niż na stoku północnym (ryc. 2), przy czym jedynie różnice dotyczące wysokości są istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ). Uzyskane wyniki są o tyle zaskakujące, że stok północny oferuje warunki troficzne oraz wilgotnościowe potencjalnie bardziej korzystne dla roślin, co na tle niewielkiej ilości opadów atmosferycznych na terenie badań mogłoby mieć kluczowe znaczenie dla wzrostu sosny.

W literaturze najczęściej podkreśla się występowanie drzewostanów o bardziej korzystnych cechach przyrostowych na stokach północnych niż na stokach



**Rycina 1. Sucha biomasa roślin runa w warstwie zielnej i przyziemnej**

Figure 1. Dry biomass of the ground vegetation in the herb layer and in the moss layer



**Rycina 2. Średnia wysokość i pierśnica sosny (linie pionowe oznaczają przedziały ufności dla 95%)**

Figure 2. Mean height and breast height diameter (dbh) of pines (vertical lines indicate the confidence interval for 95%)

południowych (Ochrymowicz 1963; Puchalski, Prusinkiewicz 1990; Socha 2008), a większy przyrost drzew na stokach południowych jest wiązany głównie ze strefą górnej granicy lasu (Kucharzyk, Sugiero 2007).

Większa wysokość i pierśnica sosny na stoku południowym badanej wydmie może wynikać z uwarunkowań ekologicznych. Sosna zwyczajna jest gatunkiem wybitnie światłożądnym, a jej wymagania świetlne są szczególnie wysokie w starszym wieku (Obmiński 1970). Być



może na analizowanej powierzchni badawczej korzystniejsze warunki świetlne na stoku południowym są dla wzrostu sosny nadrzędne w stosunku do stwierdzonych różnic w warunkach wilgotnościowych i troficznych na obu stokach. Nasze wyniki nie mają potwierdzenia w badaniach Rząsy (1962), który na terenie Kotliny Toruńskiej stwierdził występowanie drzewostanów wyższych bonitacji (przeważnie IV, z odchyleniem w kierunku III) na północnych i wschodnich stokach wydym, niższych zaś (V) – na stokach południowych i zachodnich. Badacz ten analizował jednak głównie drzewostany młodsze niż drzewostan badany przez nas. Uzyskane wyniki badań dendrometrycznych wymagają weryfikacji w innych starodrzewach sosnowych na wydymach w Kotlinie Toruńskiej, z uwzględnieniem m.in. zagęszczenia drzew oraz zasobności drzewostanów.

## 5. Wnioski

1. Ekspozycja wyraźnie wpływa na warunki siedliskowe występujące na stokach wydym. Dotyczy to zarówno cech mikroklimatu, jak i właściwości gleby. Na ekspozycji północnej, w porównaniu z wystawą południową, stwierdzono:

- niższą o 0,5°C średnią temperaturę powietrza oraz wyższą o 0,8% średnią wilgotność względną powietrza w skali roku,

- wyższy stopień zbielicowania gleby,

- większą, nawet ponad trzykrotnie, wilgotność gleby; okresowo większa wilgotność gleby może występować nawet w skale macierzystej,

- większą miąższość poziomu organicznego oraz wyraźnie większe zasoby próchnicy i azotu ogółem w glebie.

2. Odmienne warunki siedliskowe występujące na stokach o ekspozycji południowej i północnej powodują różnice cech fitocenozy tych stoków. Szczególnie wyraźne są różnice cech runa stoków o różnej ekspozycji, co przede wszystkim dotyczy warstwy mszystej. Sucha biomasa roślin runa była ponad dwukrotnie większa na ekspozycji północnej niż południowej badanej wydmy.

3. Urozmaicona rzeźba pól wydymowych w Kotlinie Toruńskiej jest ważnym czynnikiem zwiększającym różnorodność ekosystemów borów sosnowych. Występowanie w bezpośrednim sąsiedztwie stoków o odmiennej ekspozycji powoduje zróżnicowanie ekosystemów w skali lokalnej. Zróżnicowanie to ma charakter powtarzających się, zależnych od ekspozycji stoku, sekwencji przestrzennych.

4. Znaczenie ekspozycji wydym jako czynnika wpływającego na cechy ekosystemu leśnego jest niedoceniane i wciąż nie w pełni zbadane. W związku z tym

należy prowadzić dalsze badania w celu zweryfikowania wstępnych wyników przedstawionych w niniejszej pracy. W szczególności dotyczy to stwierdzonej wyższej wysokości starodrzewu sosnowego na ekspozycji południowej niż północnej stoku, co jest dyskusyjne w świetle dotychczasowego stanu wiedzy.

## Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania pracownikom Nadleśnictwa Gniewkowo za pomoc w realizacji badań.

## Literatura

- Bednarek R. 1970. Dynamika stosunków wodnych w glebach piaskowych rezerwatu Las Piwnicki pod Toruniem. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Nauki Matematyczno-Przyrodnicze 24, Geografia*, 7: 43–64.
- Bednarek R., Jankowski M. 2006. Gleby. w: Toruń i jego okolice. Monografia przyrodnicza. (red. Andrzejewski L., Weckwerth P., Burak Sz.). Toruń, Wyd. UMK: 153–176.
- Bednarek R., Marciniak K., Grzyb R. 1998. Dynamika stosunków termicznych i wilgotnościowych w glebie pod roślinnością kserotermiczną w strefie zboczowej doliny Wisły w Płutowie (Pojezierze Chełmińskie). w: IX Sympozjum ZMŚP „Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geokoosystemów Polski”, Szczecinek-Storkowo, 2–4.09.1998: 46–49.
- Braun-Blanquet J. 1964. *Pflanzensoziologie 3*. Wien, Springer Verlag.
- Cantlon J.E. 1953. Vegetation and microclimates on north and south slopes of Cusketunk Mountain, New Jersey. *Ecological Monographs*, 3: 241–270.
- Egli M., Mirabella A., Sartori G., Zanelli R., Bischof S. 2006. Effect of north and south exposure on weathering rates and clay mineral formation in Alpine soils. *Catena*, 67: 155–174.
- Ferczyńska Z. 1969. Morfologia i odczyn próchnicy nadkładowej w katenie siedlisk borowych. *Zeszyty Naukowe WSR w Olsztynie*, 25, 710: 739–747.
- Jankowski M. 2003. Historia rozwoju pokrywy glebowej obszarów wydymowych Kotliny Toruńskiej. Praca doktorska. Zakład Gleboznawstwa UMK (maszynopis).
- Jankowski M. 2010. Some aspects of site conditions of heathlands in the Toruń Basin. *Ecological Questions*, 12: 145–151.
- Konecka-Betley K., Czępińska-Kamińska D., Janowska E. 1994. Właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb w Kampinoskim Parku Narodowym (stan na rok 1991). w: Prognozowanie przemian właściwości gleb Kampinoskiego Parku Narodowego na tle innych komponentów środowiska przyrodniczego. (red. Konecka-Betley K.). Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”: 17–70.

- Kucharzyk S., Sugiero D. 2007. Zróżnicowanie dynamiki procesów lasotwórczych w buczynach bieszczadzkich w zależności od wystawy i wzniesienia. *Sylvan*, 7: 29–38.
- Kuźnicki F., Białousz S., Rusiecka D., Skłodowski P. 1974. Charakterystyka procesu bielnicowania w glebach wytworzonych z piasków wydmywanych Puszczy Kampinoskiej. *Roczniki Gleboznawcze*, 2: 25–51.
- Mrózek W. 1958. Wydmy Kotliny Toruńsko-Bydgoskiej. w: Wydmy śródlądowe Polski, 2 (red. Galon R.). Warszawa, PWN: 7-55.
- Ochrymowicz F. 1963. Wpływ wystawy na kształtowanie się zasobności drzewostanów bukowych. *Sylvan*, 1: 35–50.
- Obmiński Z. 1970. Zarys ekologii. w: Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. (red. Białobok S.). Warszawa-Poznań, PWN: 152–231.
- Plichta W. 1970. Wpływ wieku na stopień zbielicowania gleb wytworzonych z piasków wydmywanych mierzei Świny. *Studia Societatis Scientiarum Torunensis*, 7, 3: 1–64.
- Prusinkiewicz Z. 1961. Zagadnienia leśno-gleboznawcze na obszarze wydmy nadmorskich Bramy Świny. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, 7: 25–127.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. Warszawa, PWRiL.
- Różański W., Szwaagrzyk J. 1987. Wzniesienie, wystawa i nachylenie jako czynniki kształtujące rozmieszczenie zbiorowisk roślinnych na Pogórzu Wielickim i w przyległej części Beskidów. *Sylvan*, 7: 59–69.
- Rząsa S. 1962. Badania terenowe i laboratoryjne nad produktywnością gleb leśnych wytworzonych z piasków luźnych w Nadleśnictwie Osiek. *Folia Forestalia Polonica, Seria A*, 1: 83–171.
- Sariyildiz T., Anderson J.M., Kucuk M. 2005. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality and decomposition in Northeast Turkey. *Soil Biology et Biochemistry*, 37: 1695–1706.
- Seibert J., Stendahl J., Sørensen R. 2007. Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma*, 141: 139–148.
- Socha J. 2008. Effect of topography and geology on the site index of *Picea abies* in the West Carpathian, Poland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23: 203–213.
- Szafranek A. 1992. Wpływ rzeźby terenu i skały macierzystej na kształtowanie się gleb z piaskowców dewońskich i triasowych regionu świętokrzyskiego. *Roczniki Gleboznawcze*, 1/2: 121–131.
- Tomanek J. 1972. Meteorologia i klimatologia dla leśników. Warszawa, PWRiL.
- Uggla Z. 1980. Studium nad glebami zespołów roślinnych w borach sosnowych Pojezierza Olsztyńskiego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie*, 9: 3–68.
- Uggla H., Ferczyńska-Uggla Z., Róg Z., Wójciak H. 1978. Z badań nad próchnicą leśną gleb bielicoziemnych w falistym mikrokrajobrazie Pojezierza Olsztyńskiego. *Roczniki Gleboznawcze*, 2: 13–29.
- van der Maarel E. 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effect on community similarity. *Vegetatio*, 39: 97–114.
- Wójcik G., Marciniak K. 2006. Klimat. w: Toruń i jego okolice. Monografia przyrodnicza, (red. Andrzejewski L., Weckwerth P., Burak Sz.). Toruń Wyd. UMK: 99–128.
- Zarzycki K., Trzcicka-Tacik H., Różański W., Szeląg Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski. Kraków, PAN.