

STRUKTURA FIZYCZNA GRUNTU, ZAWARTOŚĆ SUBSTANCJI ORGANICZNEJ ORAZ SKŁAD CHEMICZNY GLEB W PODŁOŻACH 21 STANOWISK ZIELENI MIEJSKIEJ NA TERENIE POZNANIA

CZĘŚĆ III

ZAWARTOŚĆ MAKROELEMENTÓW: N, P, K, S, Ca i Mg

SZYMON ŁUKASIEWICZ

Ogród Botaniczny Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dąbrowskiego 165, 60-594 Poznań, Poland

Abstract: This article is a continuation of a four-piece work describing the condition of soil in what has been broadly defined as central Poznań. This article presents the content of active forms of six chemical elements which tend to be absorbed by plants in biggest quantities. Relations between these chemical elements are discussed and indications are made of how to counteract the negative effects of deficits as well as overdoses of specific chemical elements in the substrate.

Keywords: soil macroelements N, P, K, S, Ca, Mg, anthropogenic soils, city ecology, horse-chestnut, *Aesculus hippocastanum* L.

WSTĘP

Stan środowiska glebowego jest wynikiem kompleksowego oddziaływań czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych. Zawartość oraz wzajemne relacje głównych składników pokarmowych decydują o zaspokojeniu wymagań pokarmowych roślin, co ma bezpośredni wpływ na stan zdrowotny oraz możliwości ich rozwoju. Prawidłowy skład chemiczny podłoża ma szczególne znaczenie w przypadku roślin drzewiastych, o perspektywie rozwoju od kilkadziesiąt do ponad stu lat.

Częstokroć w środowisku zurbanizowanym występuje mozaika siedliskowa, w której na niewielkiej nawet przestrzeni obserwuje się znaczne zróżnicowanie warunków ekologicznych. Według Zimnego (1973), miasto jest układem ekologicznym o daleko posuniętej deformacji środowiska w kierunku jego kseryzmu i toksyfikacji. Może to prowadzić do powstania układu czynników abiotycznych, niespotykanych w naszych warunkach klimatyczno-glebowych, co

nie pozostaje bez wpływu na drzewa w tym środowisku (Łukasiewicz, Oleksyn 2007). Ze względu na złożoność oraz wielorakość interakcji między roślinami i kompleksem warunków miejskich nie były one łatwym i atrakcyjnym tematem badań ekologicznych. Wspomniane trudności stanowią nie tylko wyzwanie naukowe, ale stwarzają szerokie możliwości badawcze. Słusznie McDonnell i Pickett (1990) ekosystemy miejskie nazwali „niewykorzystanymi możliwościami w ekologii”.

Obszary zurbanizowane charakteryzują się specyficznymi warunkami ekologicznymi w zależności od: lokalnie panujących czynników klimatycznych i hydrologicznych, gleb, szaty roślinnej, fauny itp. (Landsberg 1981; Wittig 1991; Blume 1989; Bullock, Gregory 1991; Schleuss i in. 1998). Jednocześnie duże zróżnicowanie tych czynników występuje także w obrębie samych aglomeracji.

W wielu przypadkach system zieleni aglomeracji miejskich może obejmować różnorodne siedliska – od wodnych, wilgotnych i bagiennych, poprzez ziemie użytkowane rolniczo o różnym stopniu żyzności, położone w granicach miast kompleksy leśne, promenady, powierzchnie zadarnione, jak łąki czy błonia, parki, skwery, zieleń przyuliczną, do terenów zdegradowanych i zdewastowanych włącznie (Czarnecki 1968; A. Łukasiewicz 1982; Stachak 1997; Stępniewska-Janowska 2000). Cechą charakterystyczną obszarów zurbanizowanych jest pogorszenie jakości siedlisk od peryferii do centrów miast. Przejawia się to wzrostem sztucznych nawierzchni, zagruzowanych i zdegradowanych, z gruntami bezglebowymi zabudowanych śródmieść włącznie. Typowymi cechami tych obszarów są także: zaburzenia w zawartości składników mineralnych, obniżenie zwierciadła wód gruntowych, wzrost zagęszczenia gleby, zniekształcenie lub przykrycie naturalnych profili glebowych warstwami nasypowymi, deformacja powierzchni oraz przemieszanie skały macierzystej z materiałami pochodzenia antropogenicznego (Schleuss i in. 1998; Konecka-Betley i in. 1999).

Celem badań było poznanie i przedstawienie składu chemicznego, tj. zawartości makro- i mikroelementów w podłożach 21 stanowisk zieleni miejskiej, z rosnącymi na nich osobnikami kasztanowca zwyczajnego (białego) *Aesculus hippocastanum* L.

ŚRODOWISKO GLEBOWE W MIASTACH

Środowisko glebowe aglomeracji miejskich jest utworem antropogenicznym, powstałym na przestrzeni kilkuset lat jego istnienia. Wykształcony w ten sposób układ pokryw glebowych cechują m.in.: nienaturalny skład chemiczny, wadliwa struktura fizyczna gruntu oraz brak warstwy próchnicy (S. Łukasiewicz 2011a, b). Odizolowanie powierzchni gruntu sztuczną nawierzchnią, wysokie wartości albedo oraz obniżenie zwierciadła wód gruntowych w rejonach śródmiejskich stwarzają środowisko typu pustyni kamiennej, niespotykane

w naturze w naszych warunkach klimatycznych (Łukasiewicz, Oleksyn 2007; Zimny 1973).

Dlatego za najważniejszy czynnik ekologiczny warunkujący nieprawidłowy rozwój drzew i krzewów w miastach należy uznać pogorszenie jakości i ilości dostępnej, naturalnej pokrywy glebowej dla roślin. Skaleę przekształceń środowiska glebowego najlepiej oddaje fakt, że na potrzeby klasyfikacji gleb w klasie gleb antropogenicznych utworzono rząd gleb industrio- i urbanoziemnych. Zniszczenie najważniejszej dla drzew i krzewów warstwy próchnicznej, kilkumetrowej miąższości warstwy nasypowe, wielokrotne przekopanie i głębokie wymieszanie profilu glebowego, niekontrolowane zanieczyszczenie podłoża gruzem, jonami wapnia, chloru i sodu oraz substancjami ropopochodnymi stworzyły w centrach miast martwy substrat dla rozwoju roślin (A. Łukasiewicz 1989; Zimny 1973).

Gleby w warunkach miejskich charakteryzują się znaczną heterogenicznością. Dominującymi podłożami są tu grunty nasypowe, które stwarzają różnorodne przeszkody w zaspokojeniu podstawowych potrzeb pokarmowych roślin, a swobodny rozwój systemów korzeniowych drzew i krzewów jest utrudniony bądź niemożliwy. W tych warunkach mało zmienione gleby zachowują się zazwyczaj w obrębie większych kompleksów leśnych i starych parków, natomiast w centrach miast dominują układy glebowe poddane całkowitej transformacji.

Miąższość gruntów nasypowych (tzw. poziom kulturowy) na terenie szeroko rozumianego centrum Poznania waha się w granicach od 2 do 5 (10) m (Kaniecki 1996; Karolczak 1993; Naumowicz-Śmigielska 2000 [informacja ustna]). Podobne trendy występują w większości starych miast w Europie i na świecie. Na przykład, w centralnej części Moskwy miąższość tej warstwy sięga od 2 do 20 m (Alexandrovskaya, Alexandrovskiy 2000), a w Eckernförde (północne Niemcy) od roku 1200 poziom kulturowy osiągnął miąższość od 1 do 10 m (Schleuss i in. 1998). Warstwa nasypowa charakteryzuje się specyficznymi właściwościami i kompozycją (Lindsay i in. 1973; Blume 1989; Burghart 1994). Może się ona składać z materiałów o różnorodnym pochodzeniu: gruzu budowlanego, odpadów komunalnych, wydobytej przy wykopie fundamentów skały macierzystej, odpadów i zanieczyszczeń przemysłowych, które częstokroć są przykryte pozyskaną z zewnątrz warstwą żyzniejszej gleby (Thornton 1991; Bullock, Gregory 1991; Alexandrovskaya, Alexandrovskiy 2000). Wymienione przykłady nie obejmują oczywiście wszystkich możliwych materiałów, które mogą składać się na omawiany poziom.

Generalnie procesy glebotwórcze w gruntach nasypowych na terenach miast charakteryzują się znaczną zmiennością ogółu parametrów fizykochemicznych, determinujących przebieg i kierunek procesów glebotwórczych (Bullock, Gregory 1991). Stanowią one specyficzny zapis interakcji człowieka ze środowiskiem. Przy użyciu metod gleboznawczych i paleoekologicznych można go wykorzystać do odtworzenia warunków środowiska, rodzaju zanieczyszczeń i historii

rozwoju osadnictwa. W przeciwieństwie do nich, tereny leżące na peryferiach miast odznaczają się mozaiką typów podłoża ze względu na wzrastający udział gleb naturalnych. W związku z tym właściwości fizykochemiczne substratu w śródmieściach są mniej zróżnicowane od analogicznych cech, jakimi odznaczają się pokrywy glebowe na obrzeżach aglomeracji (Schleuss i in. 1998).

Istotnym źródłem wtórnych zanieczyszczeń pokryw glebowych na terenach miast jest także komunikacja samochodowa. W wyniku spalania paliwo silników samochodowych może być źródłem podwyższonej obecności w środowisku takich metali, jak: Cu, Fe, Pb oraz Zn. Pył ze ścierających się opon samochodowych jest odpowiedzialny za wnoszenie Ba, Zn i Cd, eksploatacja klocków hamulcowych „wzbogaca” środowisko w Cu i Mn, a wycieki płynów hamulcowych i oleju są źródłem: Ca, Mg, Fe oraz Zn (Ball i in. 1991; Cadle i in. 1997).

Pomimo tak dużego zróżnicowania zdegradowane tereny dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych charakteryzują się wieloma cechami wspólnymi, takimi jak: zanieczyszczenie powietrza, istnienie „wysp termicznych”, w których średnie temperatury dobowe i ich amplitudy różnią się znacznie (do kilku °C) od terenów niezurbanizowanych (Łukasiewicz, Oleksyn 2007), zaburzeniami stosunków wodnych, obiegu pierwiastków itp. (Bornstein 1968; Douglas 1983; Moll, Ebenreck 1989; Hodge 1995; Miller 1996; Bredshaw i in. 1996).

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Analizy chemiczne przyswajalnych form makro- i mikroelementów wykonano według metody uniwersalnej (zmodyfikowana metoda Spurwaya–Lawtona), zaproponowanej przez Nowosielskiego (Nowosielski 1974, 1978; IUNG 1983; Breś i in. 2003), w powietrznie suchej glebie. Składniki pokarmowe: N (NH_4 i NO_3), P, K, Ca, Mg, S-SO, B oraz Na i Cl (zanieczyszczenia) ekstrahowano roztworem kwasu octowego (wyciąg 0,03 M CH_3COOH), natomiast: Fe, Mn, Zn, Cu, Pb i Cd ekstrahowano wyciągiem Lindseya. Analizy wykonano w Katedrze Nawożenia Roślin Ogrodniczych AR w Poznaniu.

Po ekstrakcji poszczególne składniki pokarmowe oznaczano metodami:

- N- NH_4 – metodą mikrodestylacyjną według Bremnera z modyfikacją według Starcka,
- N- NO_3 – z zastosowaniem elektrod jonoselektywnych,
- P – kolorymetrycznie z wanadomolibdenianem amonu,
- K, Ca, Na – fotometrycznie,
- S-SO₄ – nefelometrycznie,
- Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cl – atomową spektrometrią absorpcyjną (AAS),
- B – kolorymetrycznie z kurkumą.

Wskaźnik zasolenia EC, rozumiany jako przewodność elektryczna właściwa, został oznaczony metodą konduktometryczną. Polega ona na pomiarze

przewodności elektrycznej właściwej zawiesiny gleby (przy stosunku gleby do H_2O jak 1 : 2) między dwoma elektrodami konduktometru. Oznaczone w ten sposób sumaryczne zasolenie roztworu glebowego to suma rozpuszczonych w glebie soli. Najsilniej na zasolenie wpływają aniony: chlorkowe, azotanowe, siarczanowe i boranowe, a w nieco mniejszym stopniu kationy: sodu, potasu, amonu i żelaza (Breś i in. 2003). Omawiany wskaźnik został wyrażony w $\mu S \cdot cm^{-1}$.

Próby glebowe były pobierane w warstwach 30-centymetrowych. W sumie pobierano cztery próby, co 30 cm, do głębokości 1,20 m z jednego profilu. Ze względu na to, iż grunty nasypowe zwykle cechuje przypadkowość uformowania warstw, nie można było opierać się na pobraniu prób tylko z jednego profilu. Dlatego, aby uniknąć przypadkowych błędów w pobieraniu materiału, przy każdym drzewie nawiercano dwa profile, których odpowiadające sobie warstwy mieszano z sobą. Analizowano 15 makro- i mikroelementów.

Zawartość: P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Al, B, Pb, Ni, Cr i Cd w liściach oznaczono za pomocą spektrometru ICP-AES (model ARL 3560) w Research Analytical Laboratory na Uniwersytecie w Minnesocie (St. Paul, USA, <http://ral.coafes.umn.edu/>). Analizy chemiczne liści dotyczyły drzew z ośmiu stanowisk: aleja Wielkopolska, Bema, Dominikańska, Grunwaldzka I, Matejki, Noskowskiego, Ogród Botaniczny i Wojskowa. Dla stanowisk tych prowadzone były, wcześniejsze o trzy lata, badania rytmiki sezonowej roślin. Wykazały one największe zróżnicowanie długości i intensywności pojavów fenologicznych wśród obserwowanych 21 stanowisk.

POMIARY BIOMETRYCZNE

1. Pomiarów powierzchni liści wykonano przy użyciu skanera ScanJet 6100CT, z zastosowaniem programu komputerowego *WinNeedle* (wersja 3.5, Regent Instruments INC., Quebec, Kanada). Po wysuszeniu były one ważone (waga typu BP 210 S Sartorius, Göttingen, Niemcy; dokładność pomiarów do 0,0001 g).
2. Pomiarów przyrostów rocznych (długości i grubości pędów) dokonano we wrześniu 1997 r. Pędy (po 3 z każdego drzewa) ścinano przy użyciu sekatora osadzonego na wysięgniku teleskopowym, z wysokości około 5 m, z zewnętrznej części korony. Długość przyrostów określano z dokładnością do 1 mm. Pomiarów grubości pędów dokonywano za pomocą dwóch, zapisując ich średnią z dokładnością do 0,1 mm. Pędy mierzono pośrodku długości najmłodszego przyrostu przy użyciu suwmiarki.
3. Obwód pnia mierzono dwukrotnie w 1997 i 2000 r., na wysokości pierśnicy 1,3 m nad powierzchnią terenu, z dokładnością do 1 cm.
4. Specyficzną powierzchnię liści SLA obliczono, dzieląc powierzchnię rzutu liści przez ich suchą masę ($cm^2 \cdot g^{-1}$).

Badania rytmiki sezonowej roślin prowadzone były na podstawie metodyki obserwacji fenologicznych (A. Łukasiewicz 1984; S. Łukasiewicz 1999). Metodyka ta obejmuje wszystkie pojawy fenologiczne w rozwoju wegetatywnym i generatywnym roślin. Są to następujące fazy rozwoju:

FAZY WEGETATYWNE

- faza pąków liściowych,
- faza listnienia,
- faza jesiennego przebarwiania liści,
- faza zamierania i opadania liści.

FAZY GENERATYWNE

- faza pąków kwiatowych,
- faza kwitnienia,
- faza owoców niedojrzałych,
- faza owoców dojrzałych,
- faza rozsiewania nasion.

Obserwacje prowadzono średnio co 7 dni w okresie wegetacyjnym. Dokładność uzyskiwanych tą drogą dat obserwacji wynosi ± 1 dzień, co przy przeciętnej długości faz rzędu kilkudziesięciu dni stanowi wielkość nieistotną. Na potrzeby analiz, do określania długości faz wegetacyjnych, przyjęto 30-dniowy podział każdego miesiąca. Powyższe założenie (każdy miesiąc składa się z 30 dni) jest także stosowane przy graficznej prezentacji rytmiki sezonowej roślin w formie diagramów (S. Łukasiewicz 1999).

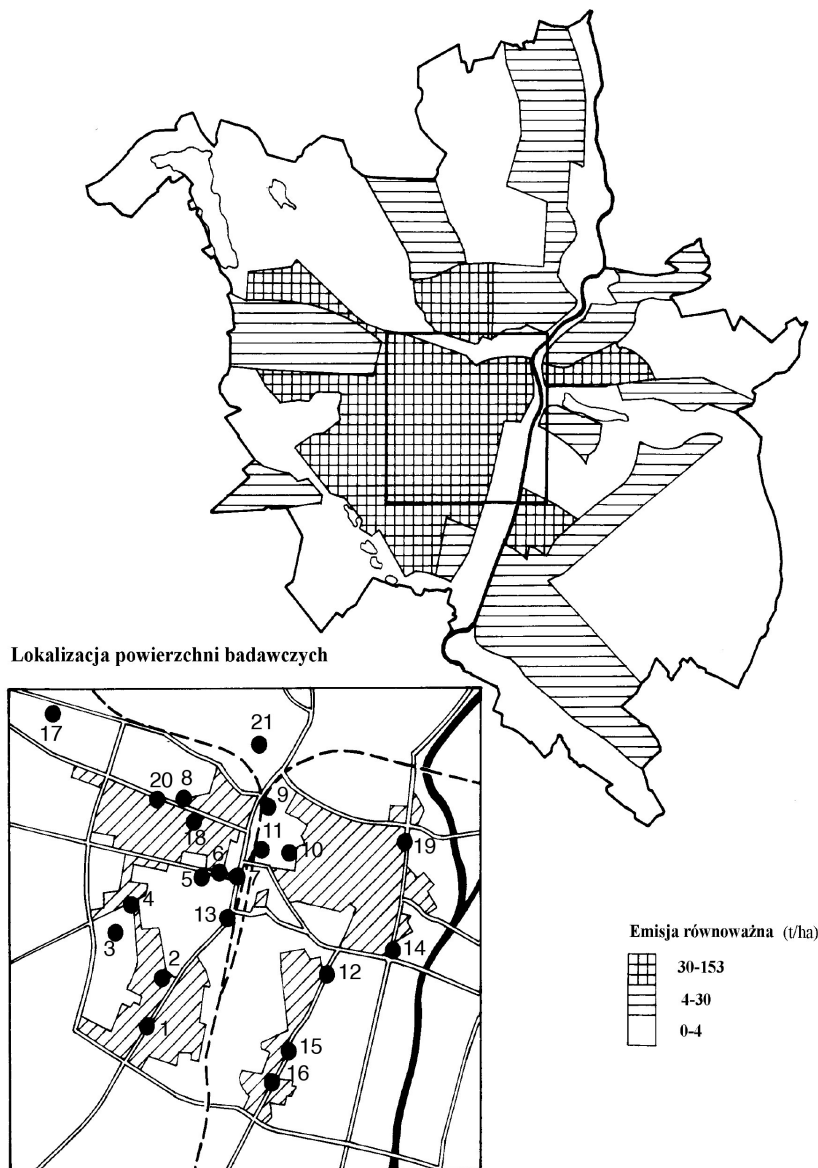
W celu powiązania obserwacji fenologicznych z dynamiką zmian wybranych parametrów atmosfery na każdym z 21 stanowisk w marcu 1999 r. zainstalowano mikrorejestratory temperatury i wilgotności powietrza (Hobo Pro Series Data Loggers, Onset Computer Corporation, USA). Dysponując informacjami o sumie opadów i ich rozkładzie rocznym (dane z IMGW), wilgotności powietrza na stanowiskach oraz temperaturze określonego miejsca, można określić dominujące cechy występującego tam reżimu pogód. Wymienione parametry są bowiem głównymi elementami określającymi klimat danego obszaru (Makowska 1995). Wyniki zróżnicowania przestrzennego elementów meteorologicznych zostały przedstawione we wcześniejszej pracy (Łukasiewicz, Oleksyn 2007).

WYNIKI I ICH DYSKUSJA

Azot amonowy i azotanowy

Zawartość azotu amonowego wzrasta z głębokością podłoża (tab. 1–4). Jednocześnie w podłożach dziewięciu stanowisk (prawie 40% ogółu badanych) stwierdzono jedynie śladowe ilości tej formy azotu. W pierwszych trzech

Obciążenie powietrza atmosferycznego w Poznaniu emisją zanieczyszczeń



Ryc. 1. Rozmieszczenie 21 stanowisk badawczych kasztanowca zwyczajnego (białego) *Aesculus hippocastanum* L. na terenie Poznania na tle obciążenia powietrza emisją zanieczyszczeń

Fig. 1. Location of 21 sites of horsechestnut, *Aesculus hippocastanum* L. in Poznań in relation to pollution immission

Tabela 1. Średnia zawartość składników pokarmowych w warstwie gleby 0–30 cm z 21 stanowisk na terenie Poznania

Table 1. Average amount of nutritive elements in the 0–30 cm soil layer, from 21 locations in the city of Poznań

Stanowisko – ulica Post – street	NH ₄	NO ₃	N-Tot	P	K	Ca	Mg	S-SO ₄
aleja Wielkopolska	0,35	0,55	0,90	1,25	8,40	747	11	0,0
Bema	0,55	0,35	0,90	1,15	4,70	746	4	1,6
Dominikańska	0,35	0,40	0,75	3,40	10,85	680	6	0,1
Głogowska-I	0,40	0,40	0,80	1,10	3,30	746	5	2,6
Głogowska-II	0,23	1,63	1,87	1,73	9,27	671	7	3,4
Grunwaldzka-I	0,00	0,40	0,40	0,85	3,75	705	6	0,0
Grunwaldzka-II	0,20	1,15	1,35	0,85	11,00	465	6	8,6
Jerzego	1,10	2,75	3,85	2,70	14,90	538	14	0,5
Kościelna	0,40	0,40	0,80	1,20	4,80	393	7	1,4
Kościuszki	0,00	0,70	0,70	1,90	5,90	394	8	2,4
Kosińskiego	0,00	0,90	0,90	4,00	5,60	586	10	4,1
Matejki	0,00	0,60	0,60	6,35	8,25	274	23	3,0
Noskowskiego	0,20	0,25	0,45	1,50	5,25	395	12	4,5
Ogród Botaniczny	0,00	0,65	0,65	7,10	11,85	86	12	0,6
Prusa	0,00	5,60	5,60	2,10	9,90	387	11	9,1
Spadzista	0,40	1,90	2,30	1,80	16,75	737	10	8,0
Staszica	0,55	1,75	2,30	3,60	5,65	373	11	7,6
Święckiego	0,00	0,35	0,35	0,85	5,75	352	11	6,1
Ułańska	0,35	0,20	0,55	1,65	4,20	240	32	4,8
Wieniawskiego	0,00	0,30	0,30	1,90	2,90	391	8	2,4
Wojskowa	0,00	0,20	0,20	1,05	3,45	297	12	1,1
Średnia/Average	0,25	0,98	1,24	2,31	7,83	491	11	3,4
<i>P > F</i>	ns	***	****	***	*	***	ns	ns
Średnia gleby leśne ¹ Average for forest soils	1,26	0,04	1,30	0,08	0,68	7,60	0,15	0,11
Gleby średnio zasobne ² Moderately abundant soils	2,5-5,0	2,5-5,0	1,3-3,3	8-12	25-40	2,5-5	1,6-2,5	

Poziom istotności/Level of significance: **** – 0,0001; *** – 0,001; * – 0,1, ns – brak istotnych różnic/lack of significant differences between locations; ¹ Modrzyński i in.; ² Baran 2000; Breś, Komosa 2003; Faber 1987a–c; Fotyma 1999; Gliński 1999; Hoffmann, Komosa 1973; Kabata-Pendias 1999; Komosa [inf. ust.] 2011; Kowaliński 1999; Krzywy 1997; Monitor Polski 1986; Nowosielski 1974, 1988; Opracowanie zaleceń 1996; Terelak 1995; Uggła 1979; Lokalizację stanowisk przedstawiono na ryc. 1. Próby pobrano między 15.09 a 15.10.1997 r. Wyniki podano w mg/100g. N-Tot = NH₄ + NO₃. The site of these locations has been presented in Fig. 1. Samples were collected between 15 September and 15 October 1997. The results have been given in mg/100g. N-Tot = NH₄ + NO₃

Tabela 2. Średnia zawartość składników pokarmowych w warstwie gleby 30–60 cm z 21 stanowisk na terenie Poznania

Table 2. Average amount of nutritive elements in the 30–60 cm soil layer, from 21 locations in the city of Poznań

Stanowisko – ulica Post – street	NH ₄	NO ₃	N-Tot	P	K	Ca	Mg	S-SO ₄
aleja Wielkopolska	0,75	0,35	1,10	1,10	3,85	752	25	0,9
Bema	0,35	0,40	0,75	1,95	5,40	737	5	0,9
Dominikańska	0,20	0,45	0,65	2,85	8,10	731	7	1,2
Głogowska-I	0,50	0,90	1,40	3,00	8,07	608	8	1,9
Głogowska-II	0,40	0,20	0,60	0,50	2,35	505	7	0,5
Grunwaldzka-I	0,55	0,20	0,75	2,05	13,80	365	5	11,8
Grunwaldzka-II	0,00	2,35	2,35	2,00	11,05	705	12	3,3
Jerzego	0,00	0,20	0,20	3,50	6,40	383	8	19,1
Kościelna	0,00	0,50	0,50	1,00	5,40	395	12	5,9
Kościuszki	0,40	0,50	0,90	9,70	4,80	338	9	2,2
Kosińskiego	0,35	0,20	0,55	3,10	3,80	130	15	8,8
Matejki	0,00	0,25	0,25	3,20	3,50	392	11	1,9
Noskowskiego	0,00	0,20	0,20	2,40	5,35	42	4	0,6
Ogród Botaniczny	0,70	1,70	2,40	1,20	1,60	369	19	12,2
Prusa	0,00	1,65	1,65	2,05	16,60	745	12	45,4
Spadzista	0,70	0,20	0,90	1,40	1,90	525	5	0,8
Staszica	0,20	1,55	1,75	1,90	4,25	367	12	17,1
Święcickiego	0,00	0,20	0,20	1,35	3,10	303	11	3,6
Ułańska	0,70	0,15	0,85	1,80	1,35	172	10	10,7
Wieniawskiego	0,00	0,20	0,20	1,60	2,30	392	8	3,3
Wojskowa	0,00	0,15	0,15	0,75	1,85	98	12	2,0
Średnia/Average	0,28	0,61	0,89	2,20	5,82	441	10	7,2
<i>P > F</i>	ns	****	**	***	**	**	**	ns

Poziom istotności/Level of significance: **** – 0,0001; *** – 0,001; * – 0,1, ns – brak istotnych różnic/lack of significant differences between locations; Lokalizację stanowisk przedstawiono na ryc. 1. Próby pobrano między 15.09 a 15.10.1997 r. Wyniki podano w mg/100g. N-Tot = NH₄ + NO₃. The site of these locations has been presented in Fig 1. Samples were collected between 15 September and 15 October 1997. The results have been given in mg/100g. N-Tot = NH₄ + NO₃

Tabela 3. Średnia zawartość składników pokarmowych w warstwie gleby 60–90 cm z 21 stanowisk na terenie Poznania

Table 3. Average amount of nutritive elements in the 60–90 cm soil layer, from 21 locations in the city of Poznań

Stanowisko – ulica Post – street	NH ₄	NO ₃	N-Tot	P	K	Ca	Mg	S-SO ₄
aleja Wielkopolska	0,75	0,40	1,15	1,05	2,45	747	31	3,8
Bema	0,35	0,35	0,70	2,20	4,60	736	6	1,5
Dominikańska	0,35	0,65	1,00	2,80	7,90	664	7	1,3
Głogowska-I	0,27	0,93	1,20	4,00	5,83	484	9	0,4
Głogowska-II	0,40	0,30	0,70	0,70	3,75	744	9	0,1
Grunwaldzka-I	0,40	0,15	0,55	1,10	5,85	205	7	28,3
Grunwaldzka-II	0,20	1,90	2,10	1,90	8,40	726	12	5,8
Jerzego	0,00	0,20	0,20	7,40	3,30	322	9	101,5
Kościelna	1,10	0,40	1,50	1,40	5,20	382	13	5,1
Kościuszki	0,00	0,30	0,30	10,00	5,40	125	7	4,3
Kosińskiego	0,35	0,30	0,65	0,85	1,85	320	18	5,3
Matejki	0,20	0,20	0,40	3,50	2,75	384	16	2,9
Noskowskiego	0,20	0,15	0,35	1,90	5,85	40	6	0,6
Ogród Botaniczny	0,40	0,50	0,90	6,10	1,60	196	13	51,5
Prusa	0,20	1,55	1,75	2,05	14,40	707	17	38,9
Spadzista	0,70	0,20	0,90	2,10	1,50	251	4	2,2
Staszica	0,00	0,65	0,65	1,85	3,80	242	10	7,4
Święcickiego	0,55	0,25	0,80	1,45	1,50	292	11	5,7
Ułańska	0,35	0,15	0,50	1,25	1,10	136	10	3,1
Wieniawskiego	0,00	0,30	0,30	0,80	3,30	395	14	3,5
Wojskowa	0,20	0,15	0,35	1,10	1,15	90	9	1,4
Średnia/Average	0,32	0,51	0,84	2,36	4,55	410	11	10,3
<i>P > F</i>	ns	***	*	***	**	****	**	*

Poziom istotności/Level of significance: **** – 0,0001; *** – 0,001; * – 0,1, ns – brak istotnych różnic/lack of significant differences between locations; Lokalizację stanowisk przedstawiono na ryc. 1. Próby pobrano między 15.09 a 15.10.1997 r. Wyniki podano w mg/100g. N-Tot = NH₄ + NO₃. The site of these locations has been presented in Fig. 1. Samples were collected between 15 September and 15 October 1997. The results have been given in mg/100g. N-Tot = NH₄ + NO₃

Tabela 4. Średnia zawartość składników pokarmowych w warstwie gleby 90–120 cm z 21 stanowisk na terenie Poznania

Table 4. Average amount of nutritive elements in the 90–120 cm soil layer, from 21 locations in the city of Poznań

Stanowisko – ulica Post – street	NH ₄	NO ₃	N-Tot	P	K	Ca	Mg	S-SO ₄
aleja Wielkopolska	0,20	0,35	0,55	0,85	4,15	694	47	96,6
Bema	0,75	0,35	1,10	2,05	4,50	740	6	1,3
Dominikańska	0,00	0,30	0,30	6,25	8,50	334	7	0,4
Głogowska-I	0,50	0,77	1,27	5,00	4,53	353	5	0,0
Głogowska-II	0,55	0,30	0,85	0,75	3,70	746	8	0,3
Grunwaldzka-I	0,55	0,20	0,75	1,10	2,55	116	8	13,7
Grunwaldzka-II	0,20	2,10	2,30	1,10	8,70	745	17	3,7
Jerzego	0,00	0,20	0,20	1,30	6,80	351	8	74,9
Kościelna	1,40	0,30	1,70	0,90	2,90	395	10	4,0
Kościuszki	0,40	0,20	0,60	4,90	3,10	67	3	0,3
Kosińskiego	0,00	0,35	0,35	0,45	1,35	345	20	20,3
Matejki	0,20	0,30	0,50	6,60	3,70	362	32	12,1
Noskowskiego	0,70	0,20	0,90	2,00	3,50	50	8	14,4
Ogród Botaniczny	0,00	0,30	0,30	2,40	0,60	75	8	13,2
Prusa	0,20	1,20	1,40	6,85	9,20	617	31	69,1
Spadzista	0,00	0,20	0,20	1,00	2,30	177	6	35,3
Staszica	0,00	0,40	0,40	0,75	4,45	245	14	6,7
Święcickiego	0,00	0,25	0,25	1,15	1,65	395	13	26,1
Ułańska	0,00	0,10	0,10	0,55	0,65	99	14	15,1
Wieniawskiego	2,80	0,30	3,10	0,40	1,30	395	11	2,5
Wojskowa	0,00	0,25	0,25	0,50	1,30	380	19	15,6
Średnia/Average	0,35	0,46	0,81	2,37	3,96	385	15	19,5
<i>P > F</i>	***	*	*	ns	***	**	ns	ns

Poziom istotności/Level of significance: **** – 0,0001; *** – 0,001; * – 0,1, ns – brak istotnych różnic/lack of significant differences between locations; Lokalizację stanowisk przedstawiono na ryc. 1. Próby pobrano między 15.09 a 15.10.1997 r. Wyniki podano w mg/100g. N-Tot = NH₄ + NO₃. The site of these locations has been presented in Fig. 1. Samples were collected between 15 September and 15 October 1997. The results have been given in mg/100g. N-Tot = NH₄ + NO₃

poziomach – do 90 cm brak jest istotnych różnic statystycznych między lokalizacjami.

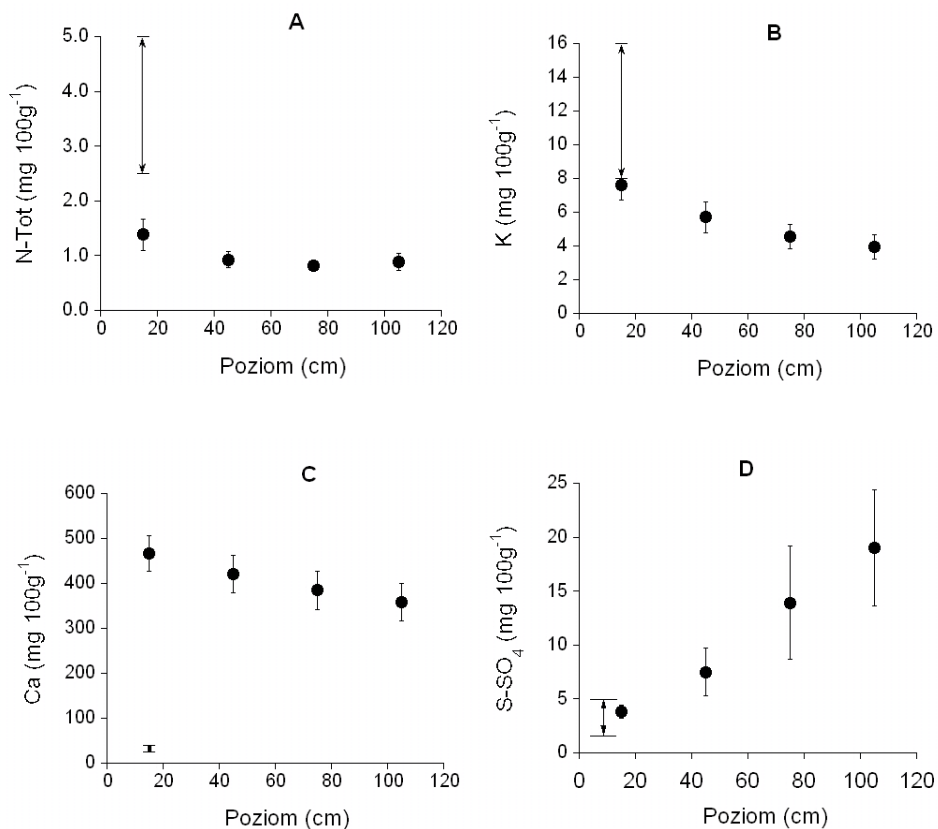
W odróżnieniu od N-NH₄ występowanie azotu azotanowego N-NO₃ odnotowano na wszystkich badanych powierzchniach. Charakterystycznymi cechami występowania N-NO₃ są: spadek zawartości postępujący w głąb profilu glebowego oraz wysoce istotne zróżnicowanie wartości między stanowiskami w pierwszych trzech analizowanych warstwach, od 0 do 90 cm głębokości.

Azot całkowity

Cechą charakterystyczną występowania azotu całkowitego, rozumianego tu jako suma N-NH₄ i N-NO₃, jest spadek jego wielkości z głębokością profilu glebowego oraz wysoce istotne zróżnicowanie wyników między poszczególnymi stanowiskami w dwóch wierzchnich poziomach podłoża. Dwa pozostałe przedziały, 60–120 cm, nie wykazują istotnego zróżnicowania wyników między stanowiskami. Średnia zawartość całkowitego azotu w podłożach badanych stanowisk wskazuje przy tym na znaczny niedobór tego makroelementu w porównaniu do oczekiwanych zawartości w glebach polowych (ryc. 2A).

Zawartość w podłożu azotu całkowitego była dodatnio, istotnie skorelowana ze wskaźnikiem zasolenia EC w trzech górnych warstwach podłoża, od 0 do 90 cm (tab. 5–7). Brak było natomiast, istotnych statystycznie zależności między zawartością azotu całkowitego w górnej warstwie gleby, 0–30 cm, i zawartością pierwiastków w liściach (tab. 9). Odnotowano natomiast istotne, dodatnie korelacje między azotem całkowitym, zawartym w warstwie 30–60 cm, a poziomem potasu, niklu i chromu w liściach (tab. 10). Także istotne statystyczne korelacje sumy form azotu zanotowano ze wskaźnikiem specyficznej powierzchni liści, SLA, dla trzech poziomów – od 0 do 90 cm głębokości (S. Łukasiewicz 2002). Specyficzna powierzchnia liścia wyraża wagę [g] 1 cm² liścia. Uwidacznia ona stan „wypełnienia struktury liścia” (Chabot, Hicks 1982; Reich i in. 1992). Specyficzna powierzchnia liści zebranych w pełni sezonu wegetacyjnego, w sierpniu, była dobrym wskaźnikiem odzwierciedlającym kondycję drzew na różnych stanowiskach (S. Łukasiewicz 2002).

Według danych z literatury, w warunkach klimatycznych Polski przewagę w mineralnej frakcji azotu mają jony NH₄⁺, co oznacza istnienie warunków ograniczających proces nityfikacji (Fotyma 1987). Uzyskane na terenie Poznania wyniki analiz wykazują natomiast istnienie tendencji odwrotnej dla wartości średnich ze wszystkich stanowisk (tab. 1–4). Zdecydowana przewaga jonów NO₃⁻ w podłożu wskazuje na istnienie warunków sprzyjających szybszej przemianie form azotu w glebie. Tak wyraźna przewaga w podłożu formy azotanowej wynika z odczynu podłoża (patrz: *Odczyn gleby* w cz. II, Łukasiewicz 2011b) i pobierania form tego składnika przez drzewa. Produkcja NO₃⁻ jest bowiem



Ryc. 2. Średnie zawartości oraz zakresy zmienności form aktywnych pierwiastków w czterech poziomach gleby. Dane dla 21 stanowisk zieleni miejskiej w Poznaniu Strzałką zaznaczono poziom średnio zasobnych gleb polowych. Wykresy sporządzono dla: azotu (A), potasu (B), wapnia (C) oraz siarki (D)

Fig. 2. Average quantities and ranges of variability of active forms of chemical elements in four soil levels. Data for 21 locations of municipal green areas in Poznań

An arrow marks the level for averagely abundant field soils. Diagrams have been prepared for: nitrogen (A), potassium (B), calcium (C) and sulphur (D)

zależna od kwasowości gleby. Jako optymalne dla procesu nityfikacji wartości pH podaje się zakres 6,6–8,0. Należy także pamiętać, że siła sorpcji anionów wiązanych elektrostatycznie, tzn. SO_4^{2-} , NO_3^- i Cl^- , maleje w miarę wzrostu pH, natomiast w glebie o odczynie obojętnym niemal wszystkie te jony znajdują się w roztworze glebowym. Ważny jest fakt, że maksymalna absorpcja jonu NH_4^+ przez rośliny występuje przy pH około 7,0, a jonu NO_3^- przy pH około 4,0. Różnica ilościowa pomiędzy obiema formami azotu może, w omawianym przypadku, wynikać z braku sorbowania jonu NO_3^- w glebie. W przeciwieństwie do

Tabela 5. Macierz korelacyjna dla: zawartości pierwiastków oraz odczynu gleby (pH), przewodności elektrycznej (EC) i wilgotności (Wilg)
 Table 5. Correlation matrix for: the amounts of chemical elements and soil reaction (pH), electrical conductivity (EC) and humidity (Wilg)

Czynnik Factor	pH	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Tot	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S-SO ₄	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Cd	EC
N-NH ₄	0,22																	
N-NO ₃	-0,28	0,16																
N-Tot	-0,22	0,36	0,98															
P	-0,63	-0,14	0,06	0,03														
K	-0,2	0,36	0,50	0,55	0,32													
Ca	0,84	0,36	0,01	0,09	-0,45	0,13												
Mg	-0,43	0	-0,03	-0,03	0,33	0	-0,54											
Na	-0,11	-0,26	0,74	0,65	0,05	0,07	-0,02	-0,09										
Cl	-0,24	-0,32	0,71	0,60	0,01	0,02	-0,19	0,01	0,90									
S-SO ₄	-0,07	-0,11	0,51	0,46	-0,12	0,21	-0,16	0,13	0,43	0,47								
Fe	-0,22	0,24	0,03	0,08	0,62	0,40	-0,14	0,36	0	-0,06	0,03							
Mn	-0,64	-0,19	0,15	0,10	0,67	0,23	-0,53	0,25	0,16	0,26	-0,05	0,65						
Zn	-0,59	-0,22	0,25	0,19	0,52	0,28	-0,34	0,34	0,18	0,16	0,01	0,16	0,17					
Cu	0,01	0,65	0,23	0,35	0,30	0,45	0,25	0,30	0,01	-0,16	0,03	0,53	0,07	0,19				
B	-0,65	-0,19	0,24	0,19	0,36	-0,11	-0,72	0,59	0,27	0,32	0,32	0,04	0,30	0,34	0,09			
Cd	0,19	0,38	0,01	0,09	0,22	0,49	0,48	0,09	-0,26	-0,29	-0,24	0,36	-0,06	0,32	0,52	-0,47		
EC	-0,36	-0,04	0,88	0,82	0,19	0,30	-0,16	0,14	0,84	0,78	0,60	0,10	0,21	0,34	0,23	0,35	-0,05	
Wilgotność Humidity	-0,56	-0,01	0,39	0,37	0,40	0,36	-0,40	0,29	0,13	0,28	0,42	0,46	0,53	0,39	0,17	0,38	0,13	0,36

Korelowano średnie wartości dla 21 stanowisk kasztanowca białego (*Aesculus hippocastanum* L.) na terenie Poznania, pobranych 15.10.1997 r. z głębokości 0–30 cm. Wytluszczoneym drukiem zaznaczono wartości istotne na poziomie ufności $p \leq 0,05$; Correlation concerned the average values for 21 horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) locations on the territory of Poznań, collected on 15 October 1997 from a depth of 0–30 cm. Values of significance at the level of confidence $p \leq 0,05$ have been marked in bold

Tabela 6. Macierz korelacyjna dla: zawartości pierwiastków oraz odczynu gleby (pH), przewodności elektrycznej (EC) i wilgotności (Wilg)
 Table 6. Correlation matrix for: the amounts of chemical elements and soil reaction (pH), electrical conductivity (EC) and humidity (Wilg)

Czynnik Factor	pH	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Tot	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S-SO ₄	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Cd	EC
N-NH ₄	0,33																	
N-NO ₃	0,11	-0,08																
N-Tot	0,24	0,34	0,91															
P	-0,10	0	-0,04	-0,04														
K	0,08	-0,23	0,44	0,32	0,11													
Ca	0,75	0,14	0,41	0,44	-0,08	0,46												
Mg	0,11	0,25	0,33	0,41	-0,17	-0,15	0,12											
Na	0,27	0,03	0,04	0,05	0,23	-0,17	-0,05	0,10										
Cl	-0,19	0,09	0,05	0,08	0,27	-0,35	-0,48	0,22	0,65									
S-SO ₄	-0,07	-0,16	0,43	0,33	-0,03	0,57	0,12	0,15	-0,07	0								
Fe	-0,17	0,28	-0,17	-0,04	0,57	0,13	-0,22	-0,44	0,02	0,26	-0,13							
Mn	-0,57	0,19	-0,25	-0,16	0,24	-0,27	-0,73	-0,10	0,19	0,62	-0,20	0,66						
Zn	-0,19	-0,24	0,43	0,31	0,42	0,68	0,21	-0,17	-0,25	-0,11	0,50	0,35	-0,05					
Cu	0,09	0,07	0,47	0,47	0,24	0,36	0,31	0,06	-0,06	-0,08	0,33	0,33	-0,06	0,50				
B	-0,45	-0,35	-0,21	-0,35	0,02	-0,24	-0,59	0,11	0,17	0,20	0,22	-0,14	0,14	-0,04	-0,10			
Cd	0,50	0,35	0,46	0,59	0,21	0,55	0,78	0,16	-0,10	-0,17	0,19	0,17	-0,31	0,50	0,40	-0,74		
EC	0,02	0,04	0,61	0,59	0,02	0,25	0,03	0,50	0,38	0,46	0,73	-0,21	-0,02	0,14	0,25	0,21	0,13	
Wilgotność Humidity	0,21	0,19	0,27	0,33	-0,22	-0,02	0,37	0,59	0,23	0,08	0,18	-0,30	-0,23	-0,04	0,41	0,07	0,26	0,36

Korelowano średnie wartości dla 21 stanowisk kasztanowca białego (*Asculus hippocastanum* L.) na terenie Poznania, pobranych 15.10.1997 r. z głębokości 30–60 cm. Wytluszczoneym drukiem zaznaczono wartości istotne na poziomie ufności $p \leq 0,05$; Correlation concerned the average values for 21 horse chestnut (*Asculus hippocastanum* L.) locations on the territory of Poznań, collected on 15 October 1997 from a depth of 30–60 cm. Values of significance at the level of confidence $p \leq 0,05$ have been marked in bold

Tabela 7. Macierz korelacyjna dla: zawartości pierwiastków oraz odczynu gleby (pH), przewodności elektrycznej (EC) i wilgotności (Wilg)
 Table 7. Correlation matrix for: the amounts of chemical elements and soil reaction (pH), electrical conductivity (EC) and humidity (Wilg)

Czynnik Factor	pH	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Tot	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S-SO ₄	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Cd	EC
N-NH ₄	0,37																	
N-NO ₃	0,32	-0,15																
N-Tot	0,49	0,41	0,84															
P	-0,13	-0,38	-0,03	-0,23														
K	0,15	-0,17	0,74	0,59	0,04													
Ca	0,77	0,17	0,56	0,61	-0,24	0,47												
Mg	0,21	0,24	0,19	0,30	-0,23	-0,02	0,37											
Na	0,32	0,50	-0,09	0,19	0,16	-0,05	0,17	0,33										
Cl	-0,12	-0,01	-0,28	-0,26	0,31	-0,39	-0,41	-0,12	0,46									
S-SO ₄	-0,22	-0,24	0,04	-0,10	0,49	0,10	-0,09	0,01	0,05	0,09								
Fe	-0,24	-0,36	-0,17	-0,35	0,68	-0,13	-0,44	-0,57	-0,08	0,49	0,19							
Mn	-0,56	-0,06	-0,40	-0,40	0,20	-0,44	-0,74	-0,28	0,04	0,65	0,03	0,52						
Zn	-0,18	-0,45	0,62	0,33	0,31	0,64	0,16	-0,10	-0,34	-0,18	0,47	0,25	-0,19					
Cu	0,08	-0,09	0,26	0,19	0,43	0,09	-0,01	-0,28	-0,13	0,21	0,50	0,57	0,16	0,47				
B	-0,46	0,13	-0,18	-0,10	-0,06	-0,31	-0,38	0,19	0,08	0,17	0,19	-0,13	0,16	0,09	-0,02			
Cd	0,67	0	0,56	0,52	-0,04	0,53	0,80	0,16	-0,06	-0,45	-0,03	-0,14	-0,60	0,22	0,16	-0,69		
EC	0,08	0,16	0,46	0,51	0,07	0,44	0,12	0,36	0,25	0,26	0,22	-0,12	0,08	0,34	0,25	0,15	0,04	
Wilgotność Humidity	0,38	0,26	0,18	0,31	-0,14	0,04	0,50	0,67	0,61	0,33	0,05	-0,21	-0,05	-0,10	0	-0,05	0,26	0,40

Korelowano średnie wartości dla 21 stanowisk kasztanowca białego (*Aesculus hippocastanum* L.) na terenie Poznania, pobranych 15.10.1997 r. z głębokości 60–90 cm. Wytużonym drukiem zaznaczono wartości istotne na poziomie ufności $p \leq 0,05$; Correlation concerned the average values for 21 horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) locations on the territory of Poznań, collected on 15 October 1997 from a depth of 60–90 cm. Values of significance at the level of confidence $p \leq 0,05$ have been marked in bold

Tabela 8. Macierz korelacyjna dla: zawartości pierwiastków oraz odczynu gleby (pH), przewodności elektrycznej (EC) i wilgotności (Wilg)
 Table 8. Correlation matrix for: the amounts of chemical elements and soil reaction (pH), electrical conductivity (EC) and humidity (Wilg)

Czynnik Factor	pH	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Tot	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S-SO ₄	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Cd	EC
N-NH ₄	0,07																	
N-NO ₃	0,27	-0,07																
N-Tot	0,22	0,81	0,53															
P	0,02	-0,17	0,18	-0,04														
K	0,29	-0,19	0,64	0,22	0,51													
Ca	0,66	0,11	0,52	0,39	-0,03	0,49												
Mg	0,13	-0,19	0,22	-0,03	0,10	0,15	0,42											
Na	0,42	0,01	-0,08	-0,04	-0,17	-0,01	0,30	0,57										
Cl	0,25	-0,17	-0,23	-0,28	-0,14	-0,21	0,01	0,39	0,88									
S-SO ₄	0,03	-0,29	0,01	-0,24	-0,03	0,24	0,22	0,64	0,48	0,32								
Fe	-0,09	-0,24	-0,12	-0,27	0,51	0,16	-0,45	-0,44	-0,26	-0,01	-0,31							
Mn	-0,40	-0,23	-0,14	-0,27	0,23	-0,07	-0,60	-0,21	-0,05	0,23	-0,08	0,65						
Zn	0,12	-0,08	0,29	0,10	0,59	0,44	0,12	-0,26	-0,33	-0,27	-0,21	0,65	0,26					
Cu	0,20	-0,21	0,31	0	0,64	0,61	0,05	-0,19	-0,16	-0,11	-0,26	0,74	0,28	0,80				
B	-0,44	0,12	-0,13	0,03	-0,11	-0,06	-0,14	0,15	-0,24	-0,22	0,16	-0,39	-0,20	-0,40	-0,31			
Cd	0,70	-0,17	0,52	0,16	0,27	0,47	0,71	0,22	0,26	0,13	0,13	0,11	-0,21	0,42	0,33	-0,62		
EC	0,09	-0,36	0,05	-0,28	-0,07	0,15	0,22	0,74	0,67	0,56	0,94	-0,35	-0,04	-0,34	-0,30	0,07	0,18	
Wilgotność Humidity	0,34	-0,28	0,15	-0,15	-0,03	0,17	0,42	0,71	0,77	0,73	0,40	-0,13	-0,02	-0,17	0,06	-0,15	0,38	0,60

Korelowano średnie wartości dla 21 stanowisk kasztanowca białego (*Aesculus hippocastanum* L.) na terenie Poznania, pobranych 15.10.1997 r. z głębokości 90–120 cm. Wytuszczonym drukiem zaznaczono wartości istotne na poziomie ufności $p \leq 0,05$; Correlation concerned the average values for 21 horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) locations on the territory of Poznań, collected on 15 October 1997 from a depth of 90–120 cm. Values of significance at the level of confidence $p \leq 0,05$ have been marked in bold

Tabela 9. Macierz korelacyjna zawartości pierwiastków wierzchniego poziomu gleby (0–30 cm) i liści zebranych 9.08.1997 r.
Table 9. The correlation matrix for the amounts of elements in the surface soil layer (0–30 cm) and leaves collected on 9.08.1997.

Czynnik Factor	Gleba/Soil																		
	pH	N-NO ₃	N-calk	C	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S-SO ₄	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Cd	EC	
N-NO ₃ /gl	<u>-0.54</u>																		
N-Tot/gł	0.10	0.44																	
C/gł	<u>-0.38</u>	<u>0.62</u>	0.21																
P/gł	<u>-0.78</u>	<u>0.63</u>	0.11	0.41															
K/gł	<u>-0.29</u>	0.26	0.09	0.34	0.48														
Ca/gł	<u>0.89</u>	<u>-0.19</u>	0.32	<u>-0.19</u>	<u>0.66</u>	<u>-0.21</u>													
Mg/gł	<u>-0.48</u>	0.20	<u>-0.18</u>	<u>0.57</u>	<u>0.51</u>	0.27	<u>-0.60</u>												
Na/gł	0.35	0.07	<u>-0.03</u>	<u>-0.06</u>	0.07	<u>-0.05</u>	0.27	<u>-0.17</u>											
Cl/gł	<u>-0.15</u>	<u>-0.10</u>	0.04	<u>-0.09</u>	0.15	<u>-0.13</u>	<u>-0.34</u>	0.01	0.30										
S-SO ₄ /gl	<u>-0.19</u>	<u>-0.12</u>	0.28	0.12	0.12	<u>-0.18</u>	<u>-0.32</u>	0.44	0.00	0.24									
Fe/gł	<u>-0.50</u>	<u>0.70</u>	0.38	<u>0.37</u>	<u>0.85</u>	<u>0.53</u>	<u>-0.33</u>	0.29	0.26	0.14	0.01								
Mn/gł	<u>-0.82</u>	<u>0.50</u>	<u>-0.15</u>	0.09	<u>0.75</u>	<u>0.42</u>	<u>-0.73</u>	0.31	<u>-0.16</u>	0.19	<u>-0.20</u>	<u>0.63</u>							
Zn/gł	<u>-0.73</u>	<u>0.73</u>	0.03	<u>0.61</u>	<u>0.81</u>	0.30	<u>-0.61</u>	<u>0.59</u>	0.02	0.06	0.27	<u>0.70</u>	<u>0.65</u>						
Cu/gł	0.03	<u>0.68</u>	0.40	<u>0.54</u>	0.26	0.27	0.24	0.15	0.45	0.09	<u>-0.07</u>	0.47	0.04	0.33					
B/gł	<u>-0.67</u>	<u>0.48</u>	0.00	<u>0.37</u>	<u>0.81</u>	0.31	<u>-0.64</u>	<u>0.80</u>	<u>-0.10</u>	0.05	0.27	<u>0.65</u>	<u>0.65</u>	0.75	0.25				
Cd/gł	<u>-0.03</u>	<u>0.70</u>	<u>0.51</u>	<u>0.74</u>	0.22	0.08	0.25	0.14	0.18	<u>-0.08</u>	0.20	0.37	<u>-0.11</u>	<u>0.51</u>	<u>0.73</u>	0.16			
EC/gł	<u>-0.52</u>	0.34	<u>-0.09</u>	<u>0.71</u>	0.43	0.14	<u>-0.49</u>	<u>0.59</u>	0.05	0.15	<u>0.76</u>	0.28	0.11	<u>0.59</u>	0.42	0.40	0.45		
N/ł	<u>-0.26</u>	0.37	0.14	0.39	<u>0.69</u>	<u>0.54</u>	<u>-0.28</u>	0.44	0.38	0.24	0.16	0.12	0.00	<u>0.54</u>	0.60	0.15	0.34	0.20	
P/ł	0.11	0.17	0.22	0.43	0.09	0.20	0.11	0.28	0.24	0.16	0.12	0.00	<u>-0.26</u>	0.00	0.29	<u>-0.22</u>	0.27	<u>-0.08</u>	
K/ł	0.31	0.13	0.42	0.35	<u>-0.22</u>	<u>-0.09</u>	0.44	0.02	0.03	<u>-0.19</u>	<u>-0.34</u>	<u>-0.08</u>	<u>-0.37</u>	<u>-0.26</u>	0.10	<u>-0.19</u>	0.11	<u>-0.27</u>	
Ca/ł	0.37	0.01	0.43	0.09	<u>-0.05</u>	<u>0.48</u>	<u>0.50</u>	<u>-0.20</u>	0.06	<u>-0.34</u>	<u>-0.33</u>	0.31	<u>-0.18</u>	<u>-0.20</u>	0.10	<u>-0.19</u>	0.11	<u>-0.27</u>	
Mg/ł	0.30	0.05	<u>-0.09</u>	0.34	<u>-0.23</u>	0.07	0.36	0.16	0.04	<u>-0.39</u>	<u>-0.25</u>	<u>-0.08</u>	<u>-0.17</u>	<u>-0.03</u>	0.16	<u>-0.08</u>	0.22	<u>-0.07</u>	
Mn/ł	<u>-0.85</u>	<u>0.54</u>	<u>-0.13</u>	0.20	<u>0.85</u>	0.28	<u>-0.78</u>	0.47	<u>-0.10</u>	0.14	<u>-0.11</u>	<u>0.65</u>	<u>0.92</u>	0.22	0.04	<u>0.77</u>	<u>-0.08</u>	0.22	
Al/ł	<u>0.72</u>	<u>-0.29</u>	0.01	<u>-0.33</u>	<u>-0.36</u>	<u>-0.13</u>	<u>0.71</u>	<u>-0.39</u>	0.38	<u>-0.29</u>	<u>-0.51</u>	<u>-0.12</u>	<u>-0.38</u>	<u>-0.48</u>	0.00	<u>-0.36</u>	<u>-0.13</u>	<u>-0.64</u>	
Fe/ł	<u>0.73</u>	<u>-0.23</u>	0.06	<u>-0.39</u>	<u>-0.55</u>	<u>-0.36</u>	<u>0.80</u>	<u>-0.55</u>	0.18	<u>-0.29</u>	<u>-0.36</u>	<u>-0.35</u>	<u>-0.46</u>	<u>-0.45</u>	0.04	<u>-0.44</u>	0.08	<u>-0.65</u>	
Na/ł	<u>0.65</u>	<u>-0.01</u>	0.27	<u>-0.39</u>	<u>-0.36</u>	<u>-0.03</u>	<u>0.69</u>	<u>-0.61</u>	<u>0.52</u>	<u>-0.16</u>	<u>-0.36</u>	0.06	<u>-0.28</u>	<u>-0.25</u>	0.23	<u>-0.44</u>	0.15	<u>-0.49</u>	
Zn/ł	<u>0.56</u>	<u>-0.18</u>	<u>-0.05</u>	<u>-0.32</u>	<u>-0.23</u>	<u>-0.11</u>	<u>0.56</u>	<u>-0.31</u>	0.37	<u>-0.16</u>	<u>-0.39</u>	0.04	<u>-0.14</u>	<u>-0.22</u>	0.01	<u>-0.18</u>	<u>-0.04</u>	<u>-0.56</u>	
Cu/ł	0.46	<u>-0.16</u>	<u>-0.17</u>	0.01	<u>-0.40</u>	<u>-0.21</u>	<u>0.52</u>	<u>-0.20</u>	0.00	<u>-0.05</u>	<u>-0.25</u>	<u>-0.35</u>	<u>-0.32</u>	<u>-0.34</u>	0.24	<u>-0.27</u>	0.13	<u>-0.35</u>	
B/ł	0.28	<u>-0.62</u>	<u>-0.13</u>	<u>-0.24</u>	<u>-0.50</u>	<u>-0.28</u>	0.08	<u>-0.04</u>	<u>-0.32</u>	0.01	0.24	<u>-0.41</u>	<u>-0.33</u>	<u>-0.36</u>	<u>-0.66</u>	<u>-0.32</u>	<u>-0.37</u>	<u>-0.10</u>	
Pb/ł	<u>0.62</u>	<u>-0.21</u>	<u>-0.03</u>	<u>-0.01</u>	<u>-0.29</u>	<u>-0.18</u>	<u>0.61</u>	<u>-0.04</u>	0.25	<u>-0.10</u>	<u>-0.23</u>	<u>-0.16</u>	<u>-0.39</u>	<u>-0.28</u>	0.22	<u>-0.11</u>	0.15	<u>-0.39</u>	
Ni/ł	<u>0.52</u>	0.02	0.38	<u>-0.06</u>	<u>-0.23</u>	<u>-0.01</u>	<u>0.63</u>	<u>-0.15</u>	0.14	<u>-0.24</u>	<u>-0.51</u>	0.05	<u>-0.23</u>	<u>-0.32</u>	0.26	<u>-0.09</u>	0.11	<u>-0.54</u>	
Cr/ł	<u>0.62</u>	<u>-0.11</u>	0.14	<u>-0.06</u>	<u>-0.35</u>	<u>-0.02</u>	<u>0.76</u>	<u>-0.25</u>	0.17	<u>-0.50</u>	<u>-0.20</u>	<u>-0.20</u>	<u>-0.43</u>	<u>-0.45</u>	0.18	<u>-0.28</u>	0.09	<u>-0.49</u>	
Cd/ł	<u>-0.10</u>	0.38	0.08	<u>0.54</u>	0.14	0.22	0.06	0.31	<u>-0.18</u>	<u>-0.35</u>	<u>-0.41</u>	0.10	0.07	0.11	0.36	0.20	0.19	<u>-0.06</u>	
Sl/ł	<u>-0.31</u>	<u>0.48</u>	0.04	<u>0.52</u>	<u>0.70</u>	<u>0.28</u>	<u>-0.29</u>	<u>0.50</u>	0.45	0.15	0.32	<u>0.73</u>	0.31	<u>0.71</u>	0.41	<u>0.61</u>	0.42	<u>0.48</u>	

Czynnik Factor	Liście/Leaves															
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Na	Zn	Cu	B	Pb	Ni	Cr	Cd
N-NO ₃ /gl																
N-Tot/gl																
C/gl																
P/gl																
K/gl																
Ca/gl																
Mg/gl																
Na/gl																
Cl/gl																
S-SO ₄ /gl																
Fe/gl																
Mn/gl																
Zn/gl																
Cu/gl																
B/gl																
Cd/gl																
EC/gl																
N/li	0,42															
P/li	-0,16	0,19														
K/li	0,32	-0,04	0,39													
Ca/li	0,08	0,08	<u>0,49</u>	0,44												
Mg/li	0,43	-0,16	-0,22	-0,23	-0,14											
Al/li	0,05	-0,06	0,39	<u>0,58</u>	<u>0,55</u>	-0,34										
Fe/li	-0,24	-0,05	0,08	0,25	0,28	<u>-0,51</u>	<u>0,71</u>									
Na/li	-0,02	-0,18	-0,01	0,44	0,14	-0,42	<u>0,56</u>	<u>0,64</u>								
Zn/li	0,18	-0,18	0,09	<u>0,50</u>	<u>0,57</u>	-0,17	<u>0,88</u>	<u>0,74</u>	<u>0,62</u>							
Cu/li	-0,19	0,18	0,26	0,04	0,27	-0,36	<u>0,44</u>	<u>0,60</u>	<u>0,07</u>	0,37						
B/li	-0,21	-0,40	0,02	0,26	0,26	-0,34	0,18	0,13	0,00	0,25	-0,06					
Pb/li	0,12	0,22	0,38	0,33	<u>0,53</u>	-0,32	<u>0,76</u>	<u>0,72</u>	<u>0,25</u>	<u>0,73</u>	-0,06	0,12				
Ni/li	0,14	0,16	<u>0,56</u>	<u>0,63</u>	<u>0,62</u>	-0,19	<u>0,77</u>	<u>0,62</u>	<u>0,44</u>	<u>0,73</u>	0,34	0,16	0,72			
Cr/li	-0,06	0,20	<u>0,54</u>	<u>0,55</u>	<u>0,58</u>	-0,36	<u>0,81</u>	<u>0,73</u>	<u>0,39</u>	<u>0,66</u>	<u>0,49</u>	0,02	<u>0,76</u>	<u>0,84</u>		
Cd/li	0,24	0,40	<u>0,60</u>	0,29	<u>0,56</u>	0,22	0,24	-0,01	-0,27	0,08	0,34	-0,16	0,35	0,47	0,44	
S/li	<u>0,89</u>	0,26	-0,12	0,18	0,18	0,46	0,02	-0,22	-0,04	0,20	-0,18	-0,18	0,14	0,06	-0,09	0,21

Przedstawione wartości są średnimi dla 8 stanowisk *Aesculus hippocastanum* L. na terenie Poznania; gl – gleba, li – liście. Podkreślono wyniki korelacji na poziomie $p \leq 0,05$. The values presented are averages for 8 locations of *Aesculus hippocastanum* L. in the city of Poznań; gl – soil, li – leaves. The results of correlation at a level of $p \leq 0,05$ have been underlined

Table 10. The correlation matrix for the amounts of elements in the surface soil layer (0–30 cm) and leaves collected on 9.08.1997
 Tabela 10. Macierz korelacyjna zawartości pierwiastków wierzchniego poziomu gleby (0–30 cm) i liści zebranych 9.08.1997 r.

Czynnik Factor	Gleba/Soil																		
	pH	N-NO ₃	N-calk	C	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S-SO ₄	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Cd	EC	
N-NO ₃ /g	<u>0.56</u>																		
N-Tot/g	<u>0.55</u>	0.37																	
C/g	-0.38	-0.01	0.14																
P/g	-0.18	0.06	-0.20	0.06															
K/g	0.00	0.42	0.04	0.00	<u>0.67</u>														
Ca/g	<u>0.80</u>	<u>0.75</u>	<u>0.65</u>	-0.10	-0.11	0.32													
Mg/g	0.16	-0.07	0.44	0.22	-0.04	-0.12	0.16												
Na/g	0.34	-0.03	0.25	-0.09	-0.06	-0.01	0.01	-0.15											
Cl/g	-0.16	<u>-0.51</u>	-0.17	-0.08	-0.20	-0.34	<u>-0.56</u>	-0.15	<u>0.72</u>										
S-SO ₄ /g	-0.11	-0.22	0.18	-0.04	0.10	-0.25	-0.33	-0.11	0.14	0.28									
Fe/g	-0.22	-0.05	-0.05	0.09	0.16	0.28	-0.32	-0.44	<u>0.50</u>	<u>0.57</u>	0.22								
Mn/g	<u>-0.64</u>	<u>-0.64</u>	-0.41	0.22	-0.14	-0.21	<u>-0.80</u>	-0.18	0.33	<u>0.74</u>	0.17	<u>0.60</u>							
Zn/g	<u>-0.51</u>	-0.07	-0.12	0.08	<u>0.56</u>	<u>0.65</u>	-0.16	-0.25	-0.13	-0.11	0.13	0.39	0.16						
Cu/g	0.30	0.31	<u>0.71</u>	0.23	0.22	0.42	<u>0.50</u>	0.34	0.03	-0.22	-0.10	0.20	-0.34	0.20					
B/g	-0.46	-0.39	-0.19	0.27	0.30	-0.20	<u>0.62</u>	0.15	-0.12	0.15	<u>0.64</u>	0.30	0.43	0.17	-0.12				
Cd/g	<u>0.64</u>	<u>0.59</u>	<u>0.63</u>	0.05	-0.15	0.34	<u>0.92</u>	0.27	-0.01	-0.46	-0.44	-0.33	-0.67	-0.10	<u>0.57</u>	-0.72			
EC/g	0.16	-0.36	0.30	-0.09	-0.09	-0.30	-0.21	0.47	<u>0.59</u>	<u>0.67</u>	<u>0.61</u>	0.19	0.30	-0.17	0.03	0.26	-0.16		
N/g	-0.23	0.22	-0.01	0.17	<u>0.56</u>	0.47	-0.16	-0.08	-0.17	-0.14	0.37	<u>0.51</u>	0.12	<u>0.52</u>	0.29	<u>0.53</u>	-0.21	-0.09	
P/g	0.20	0.24	0.46	0.14	0.28	-0.01	0.13	0.43	-0.08	-0.17	0.19	-0.12	-0.30	-0.13	<u>0.50</u>	0.16	0.14	0.15	
K/g	0.36	0.16	<u>0.62</u>	0.05	-0.19	-0.01	0.28	<u>0.65</u>	0.38	0.19	0.18	0.05	-0.05	-0.30	0.42	0.01	0.25	<u>0.60</u>	
Ca/g	0.34	<u>0.63</u>	0.28	-0.04	0.14	<u>0.67</u>	<u>0.50</u>	0.11	0.19	-0.15	-0.17	0.32	-0.17	0.27	0.40	-0.27	0.47	0.01	
Mg/g	0.38	0.01	0.36	-0.05	-0.37	-0.09	0.20	<u>0.55</u>	0.21	0.18	0.16	0.06	0.13	-0.26	0.17	0.00	0.28	<u>0.53</u>	
Na/g	<u>-0.82</u>	<u>-0.48</u>	-0.37	<u>0.48</u>	0.10	-0.05	-0.75	-0.21	-0.07	0.28	0.27	<u>0.51</u>	<u>0.80</u>	0.37	-0.22	<u>0.67</u>	<u>-0.71</u>	-0.06	
Cl/g	<u>0.70</u>	<u>0.53</u>	0.33	-0.17	-0.25	0.17	<u>0.54</u>	-0.03	<u>0.50</u>	0.14	-0.19	0.33	-0.10	-0.33	0.23	-0.28	0.44	0.14	
Fe/g	<u>0.71</u>	0.43	0.41	-0.19	-0.41	-0.11	<u>0.62</u>	-0.14	0.40	0.04	-0.29	0.06	-0.28	-0.25	0.23	-0.44	<u>0.56</u>	-0.01	
N/g	<u>0.63</u>	<u>0.51</u>	0.44	-0.25	-0.16	0.33	<u>0.75</u>	-0.30	0.10	-0.36	-0.28	0.10	-0.47	0.03	0.42	-0.49	<u>0.62</u>	-0.34	
Zn/g	<u>0.52</u>	0.35	0.20	-0.17	-0.28	0.14	0.40	-0.19	0.36	0.18	-0.11	0.44	0.04	-0.09	0.21	-0.19	0.35	0.06	
Cu/g	0.36	0.24	0.38	0.07	-0.29	-0.13	0.39	0.31	0.12	-0.01	-0.23	-0.13	-0.19	-0.24	0.21	-0.21	<u>0.49</u>	0.12	
B/g	0.17	0.00	-0.39	<u>-0.54</u>	-0.23	-0.14	-0.05	-0.05	-0.04	0.22	-0.01	-0.01	-0.02	-0.12	-0.31	-0.14	-0.08	0.19	
Pb/g	<u>0.57</u>	0.31	0.39	-0.10	-0.13	0.00	0.39	0.26	0.37	0.18	-0.02	0.22	-0.10	-0.20	0.35	-0.01	0.37	0.33	
Ni/g	<u>0.51</u>	0.40	<u>0.51</u>	0.08	-0.27	0.09	0.42	0.25	0.40	0.19	-0.11	0.40	0.01	-0.18	<u>0.57</u>	-0.10	0.40	0.26	
Cr/g	<u>0.67</u>	0.38	<u>0.54</u>	-0.02	-0.21	0.08	<u>0.49</u>	0.24	<u>0.67</u>	0.26	-0.20	0.26	-0.04	-0.29	<u>0.41</u>	-0.27	<u>0.48</u>	0.36	
Cd/g	0.00	0.12	0.40	0.35	-0.26	-0.17	-0.03	<u>0.61</u>	0.09	0.08	0.18	0.11	0.24	-0.22	0.18	0.34	-0.01	0.36	
S/g	-0.20	0.02	0.05	0.14	0.45	0.28	-0.23	-0.06	-0.02	0.01	<u>0.67</u>	<u>0.51</u>	0.20	<u>0.49</u>	0.14	<u>0.68</u>	-0.31	0.18	

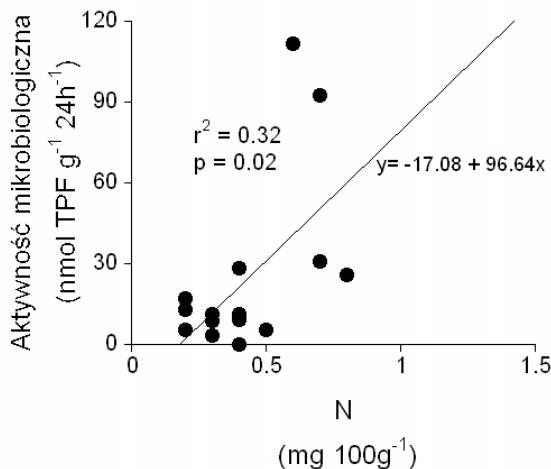
Czynnik Factor	Liście/Leaves															
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Na	Zn	Cu	B	Pb	Ni	Cr	Cd
N-NO ₃ /gl	0,42															
N-Tot/gl	-0,16	0,19														
C/gl	0,32	-0,04	0,39													
P/gl	0,08	0,08	0,49	0,44												
K/gl	0,43	-0,16	-0,22	-0,23	-0,14											
Ca/gl	0,05	-0,06	0,39	0,58	0,55	-0,34										
Mg/gl	-0,24	-0,05	0,08	0,25	0,28	-0,51	0,71									
Na/gl	-0,02	-0,18	-0,01	0,44	0,14	-0,42	0,56	0,64								
Cl/gl	0,18	-0,18	0,09	0,50	0,57	-0,17	0,88	0,74	0,62							
S-SO ₄ /gl	-0,19	0,18	0,26	0,04	0,27	-0,36	0,44	0,60	0,07	0,37						
Fe/gl	-0,21	-0,40	0,02	0,26	0,26	-0,34	0,18	0,13	0,00	0,25	-0,06					
Mn/gl	0,12	0,22	0,38	0,33	0,53	-0,32	0,76	0,72	0,25	0,73	0,77	0,12				
Zn/gl	0,14	0,16	0,56	0,63	0,62	-0,19	0,77	0,62	0,44	0,73	0,34	0,16	0,72			
Cu/gl	-0,06	0,20	0,54	0,55	0,58	-0,36	0,81	0,73	0,39	0,66	0,49	0,02	0,76	0,84		
B/gl	0,24	0,40	0,60	0,29	0,56	0,22	0,24	-0,01	-0,27	0,08	0,34	-0,16	0,35	0,47	0,44	
Pb/gl	0,89	0,26	-0,12	0,18	0,18	0,46	0,02	-0,22	-0,04	0,20	-0,18	-0,18	0,14	0,06	-0,09	0,21

Przedstawione wartości są średnimi dla 8 stanowisk *Aesculus hippocastanum* L. na terenie Poznania; gl – gleba, li – liście. Podkreślono wyniki korelacji na poziomie $p \leq 0,05$. The values presented are averages for 8 locations of *Aesculus hippocastanum* L. in the city of Poznań; gl – soil, li – leaves. The results of correlation at a level of $p \leq 0,05$ have been underlined

niego, mający dodatni ładunek jon NH_4^+ jest sorbowany zarówno wymiennie, jak i niewymiennie przez koloidy ilaste, nie ulegając wymywaniu z gleby (Czerwiński 1976; Bohn 1979; Parr 1972, za: Fotyma 1987; Gabryś 1998; Gliński 1999; Paul, Clark 2000). Dysproporcje występowania obydwu form w roztworze glebowym można więc tłumaczyć zarówno odczynem gleby zapewniającym przewagę jonów NO_3^- , jak i intensywniejszym wykorzystywaniem formy NH_4^+ przez rośliny w środowisku obojętnym lub lekko zasadowym. Azot amonowy jest przy tym preferowany zarówno przez rośliny, jak i przez mikroorganizmy glebowe do ich wzrostu i rozwoju, a zachodząca jednocześnie jego adsorpcja przez minerały ilaste i substancję organiczną wskazuje na częściową immobilizację tej formy azotu.

Podawany w literaturze przedział 2,5–5,0 mg sumy azotu ($\text{N-NH}_4 + \text{N-NO}_3$)/100 g gleby proponowany jest jako zasobność średnia dla warunków polowych, zarówno warstwy ornej, jak i podornej (Nowosielski 1988; Breś i in. 2003). Dla gleb leśnych porównawczo przyjęto wartość średnią 1,3 mg/100 g gleby sumy obydwu form azotu, ze zdecydowaną przewagą azotu amonowego NH_4^+ (Modrzyński i in. [dane niepubl.]).

Azot – jeden z najważniejszych w sensie ilościowym pierwiastków odżywczych dla roślin (Starck 1998) jest ściśle skorelowany z ich głównymi procesami życiowymi, współdecydując o aktywności biologicznej substratu (ryc. 3). Zasobność analizowanych podłoży w związku azotu (w porównaniu do warunków polowych, jak i leśnych) wskazuje na jego znaczny niedobór (ryc. 2A).



Ryc. 3. Zależność aktywności mikrobiologicznej gleby od całkowitej zawartości form aktywnych azotu w podłożu

Fig. 3. Dependence between the microbiological activity of soil and the total content of active forms of nitrogen in the subsoil

W zdecydowanej większości badanych powierzchni suma form $N-NH_4$ i $N-NO_3$ świadczy o stanie ostrego deficytu omawianego składnika pokarmowego, szczególnie w formę NH_4^+ (tab. 1). Wyjaśnia to limitujący wpływ związków azotu na możliwości prawidłowego rozwoju drzew w warunkach aglomeracji Poznania.

Przedstawione wyniki tłumaczą celowość nawożenia gleb miejskich nawozami amonowymi. Ze względu na jednoczesne przesylenie gleb miejskich jonami wapnia i chloru szczególnie korzystne efekty może przynieść stosowanie siarczanu amonu.

Fosfor

Zawartość form dostępnych tego pierwiastka nie wykazuje większego zróżnicowania na poszczególnych poziomach, zmieniając się między stanowiskami w niewielkim zakresie – od 2,2 do 2,3 mg P/100 g gleby. Zaznacza się przy tym wysoce istotne zróżnicowanie wyników między stanowiskami na pierwszych trzech poziomach – do 90 cm głębokości (tab. 1–3).

W całym badanym profilu, 0–120 cm, stwierdzono dodatnią korelację między zawartością przyswajalnych form P i jonami żelaza (tab. 5–8). Warstwę wierzchnią, 0–30 cm, cechują dodatnie korelacje między P i manganem, a ujemne z jonami wapnia i odczynem pH gleby. Istotnie statystycznie korelacje występowania fosforu i cynku odnotowano na trzech poziomach, tj. od 0 do 60 cm i od 90 do 120 cm (tab. 5, 6 i 8), a istotne korelacje P z miedzią stwierdzono na dwóch ostatnich poziomach, tj. od 60 do 120 cm.

Porównanie zawartości P w glebie z pierwiastkami w liściach dla ośmiu stanowisk wykazało istotną korelację fosforu w glebie od 0 do 60 cm głębokości z zawartością azotu w liściach (tab. 9, 10). Zawartość fosforu w wierzchniej warstwie podłoża, 0–30 cm, była istotnie, dodatnio skorelowana z zawartością w liściach manganu i siarki, a ujemnie z zawartością w liściach żelaza i boru. Stwierdzone w wynikach analiz glebowych zawartości fosforu wskazują na jego deficyt (tab. 1–4). Dane literaturowe na temat poziomu tego pierwiastka w glebach miejskich nie są jednoznaczne. Część badaczy stwierdza bowiem wzbogacanie środowiska glebowego w miastach w ten pierwiastek (Alexandrovskaya, Alexandrovskiy 2000; Birke, Rauch 2000; Zhang i in. 2001), podczas gdy inni odnotowali jego deficyt (Hiller 2000). Różnice te wynikają zapewne z genetyki utworów glebowych, sposobu wcześniejszego użytkowania gleby oraz lokalnej specyfiki składu chemicznego substratu.

Zawartość fosforu, jaka może być uznana za dostateczną lub średnią w warunkach polowych, mieści się od 1,3 do 3,3 mg/100 g gleby, natomiast zakres 3–6 mg uznany jest za zasobność dobrą (poprawną) podłoża w ten pierwiastek (Nowosielski 1978; Breś i in. 2003). Według innych autorów, za zasobność średnią podłoża w formy aktywne fosforu można przyjąć przedział dopiero od

4,5 do 6,6 mg/100 g gleby (Baran 2000). Jednakże rozpatrywanie zawartości danego pierwiastka w podłożu należy prowadzić, opierając się na analizie całego spektrum dostępnych form pierwiastków. Uwzględnianie całego zestawu makro- i mikroelementów w podłożach miejskich jest postępowaniem tym bardziej celowym, ponieważ dotyczy dalece zróżnicowanych i zmienionych warunków środowiska glebowego.

Dobrze widocznym zewnętrznym przejawem zasobności gleby w fosfor, jak i jego dostępności dla roślin, może być natężenie owocowania, ze względu na pełnienie przez ten pierwiastek ważnej roli w procesie generatywnym. Dane statystyczne potwierdzają istotny związek, $p = 0,04$, między zasobnością wierzchnich warstw w fosfor a intensywnością owocowania obserwowanych drzew (tab. 11). Odpowiedzialne za różnice w skali owocowania są prawdopodobnie współzależności blokowania między pierwiastkami oraz heterogeniczność podłoża miejskich. Dotyczy to relacji fosforu z wapniem, manganem i cynkiem, a także możliwości jego wspólnego wytrącania z żelazem. Z wymienionych układów największe znaczenie może mieć oddziaływanie jonów wapnia ze względu na ich nienaturalnie zawyżony poziom w podłożu (tab. 1–4 i 11). Wiadomo bowiem, iż w substracie o odczynie $\text{pH} > 7,0$, obserwuje się znacznie wolniejsze pobieranie P na skutek wytrącania fosforu z jonami wapnia i magnezu. Powstają wówczas trudno rozpuszczalne fosforany wapnia i magnezu, co jest przyczyną utrudnionego przyswajania fosforu przez rośliny w środowisku zasadowym (Fotyma 1987; Gliński 1999). Inną przyczyną utrudnionej dostępności fosforu może być niedorozwój grzybów mikoryzowych, które w przeniesieniu P do rośliny odgrywają ważniejszą rolę niż ogólna populacja glebowa (Paul, Clark 2000). Ponieważ rozwój grzybni jest ściśle związany z warunkami środowiska, w alkalicznym podłożu ich obecność i funkcjonowanie mogą być silnie ograniczane.

Ten związek potwierdza istotna, ujemna korelacja między występowaniem jonów fosforu w podłożu 0–30 cm z pH gleby i zawartością jonów Ca (tab. 9). Wyniki analiz podłoża dla poszczególnych drzew są zbieżne z prowadzonymi podczas kilku lat obserwacjami fenologicznymi. W przypadku obecności fosforu w glebie, lecz przy niekorzystnym oddziaływaniu kompleksu czynników fizyczno-chemicznych, obserwowano wykształcanie mniejszej liczby, lecz w pełni dorodnych owoców, co potwierdziły pomiary masy owoców oraz ich składu chemicznego (Łukasiewicz 2003; Łukasiewicz, Kmiec 2003). Okazało się, że nasiona drzew ze stanowisk ogólnie zasobnych oraz ubogich w składniki pokarmowe nie wykazują istotnych różnic w ich składzie chemicznym (Łukasiewicz 2003). Może to świadczyć o znanym, na podstawie analiz nasion innych gatunków roślin, mechanizmie ochrony procesów generatywnych przed oddziaływaniem niekorzystnych elementów środowiska (Palowski 2000).

Odczyn podłoża badanych stanowisk zieleni miejskiej, a szczególnie jego zasobność w jony wapnia, tworzy środowisko niespotykane w warunkach

Tabela 11. Zależność intensywności owocowania osobników kasztanowca białego od zawartości składników pokarmowych na różnych głębokościach podłoża w 1997 r.
 Table 11. Relationship of fruiting intensity of white horse chestnut to the amount of nutrient components at various depths of the substrate in 1997

Czynnik Factor	Poziom [cm] Level [cm]	Poziom istotności Level of significance
pH	0–30	***(-)
pH	30–60	****(-)
pH	60–90	****(-)
pH	90–120	****(-)
P	0–30	**
P	30–60	**
P	90–120	**
Ca	0–30	***(-)
Ca	30–60	**(-)
Ca	60–90	**(-)
Ca	90–120	**(-)
Fe	0–30	***
Mn	0–30	***
Mn	90–120	***
Pb	0–30	**

Poziom istotności/Level of significance: ** – 0,5; *** – 0,01; **** – 0,001; (-) – korelacja ujemna (negative correlation); Dane dla 20 stanowisk na terenie Poznania. W tabeli przytoczono korelacje, które były istotne statystycznie; $p > F$ – istotność różnic między stanowiskami określona na podstawie analizy wariancji; Data from 20 stands in the area of Poznań. Correlations were provided in the table which were statistically significant; $p > F$ significance of differences between stands was determined on the basis of an analysis of variances

uprawowych. Dlatego wydaje się, iż wykazywany w analizach relatywnie poprawny poziom fosforu w roztworze glebowym, oscylujący wokół 1–1,5 mg P/100 g gleby, nie odzwierciedla całkowicie dostępności tego pierwiastka dla roślin. Jako przykład może posłużyć dodatnia korelacja fosforu i żelaza w glebie, która zachodzi w całym badanym profilu do 120 cm głębokości (tab. 5–8). W normalnych warunkach należałoby się spodziewać raczej odwrotnej zależności (Gliński 1999). W roślinie, w przeciwieństwie do układów glebowych, zależność między zawartością P i Fe w liściach kasztanowca jest jednak ujemna, co może świadczyć o istnieniu antagonizmu między tymi pierwiastkami w substracie (tab. 9, 10). Zatem, w gruntach miejskich wyniki analiz chemicznych podłoża nie zawsze są adekwatne do zasobności gleby z jednej strony i zaspokojenia potrzeb pokarmowych roślin z drugiej. Przyczyną tego stanu rzeczy jest

znaczna zmienność przestrzenna utworów glebowych oraz heterogeniczność ich składu chemicznego. Dlatego w takich warunkach, przy podejmowaniu decyzji rekultywacyjnych, celem może okazać się ostateczne wnioskowanie oparte na analizach chemicznych materiału roślinnego.

Potas

Cechą występowania tego makroelementu w podłożach miejskich jest postępujący z głębokością spadek jego zawartości oraz wysoce istotnie statystycznie zróżnicowanie wyników między stanowiskami dla trzech głębokości, od 30 do 120 cm (tab. 2–4). Także w tym przypadku analizy podłoży spod badanych drzew wykazały niewielką zawartość tego pierwiastka (ryc. 2B).

Na wszystkich poziomach K w podłożu był istotnie, dodatnio skorelowany z N-NO₃ i kadmem (tab. 5–8). W poziomie wierzchnim, 0–30 cm, odnotowano, poza wymienionymi, dodatnie zależności korelacyjne K z azotem całkowitym oraz jonami miedzi.

Stwierdzono istotną statystycznie korelację między zawartością potasu w podłożu, na głębokości od 0 do 60 cm, i zawartością wapnia w liściach (tab. 9, 10). Potas w podłożu na głębokości 0–30 cm był także istotnie skorelowany z zawartością azotu w liściach.

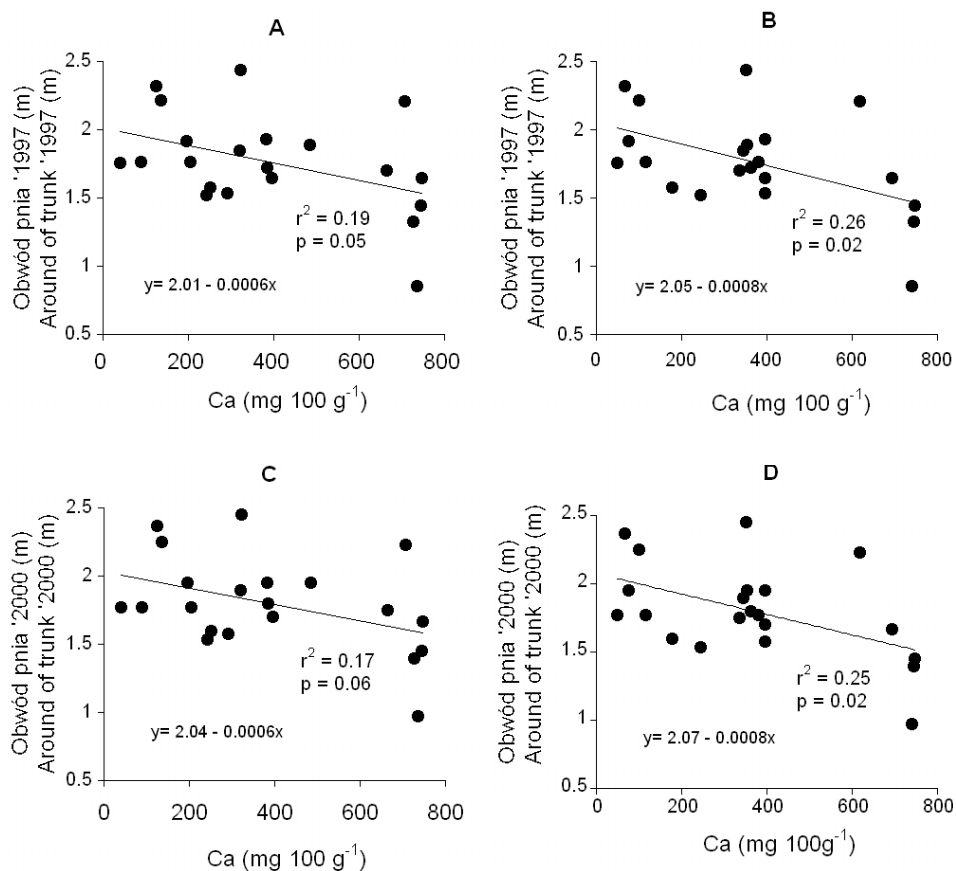
Za gleby średnio zasobne w uprawach polowych przyjmuje się te o zawartości K rzędu 8–12 (17) mg/100 g gleby (Nowosielski 1988; Baran 2000; Breś i in. 2003). Większość z badanych stanowisk jest zatem relatywnie zasobna w ten składnik pokarmowy w porównaniu do poziomu innych makroelementów (tab. 1–4, ryc. 2B). Istotny wpływ potasu na wykształcanie zdrewniałych części roślin potwierdza dodatnia korelacja, $p = 0,01$, między zawartością tego składnika w warstwie 0–30 cm a długością jednorocznych przyrostów pędów (tab. 12). Natomiast, podawana w literaturze (Mercik 1987b) dodatnia zależność obecności potasu od części spalwalnych została potwierdzona jedynie w wierzchnim poziomie 0–30 cm, przy $p = 0,006$ i $r^2 = 0,21$. W wynikach analiz uwagę zwraca także dodatnia korelacja między potasem i wapniem na trzech poziomach: od 30 do 120 cm (tab. 6–8). W literaturze bowiem podaje się, że obydwa pierwiastki pozostają w zależnościach antagonistycznych (Gliński 1999). Może to być przyczyną spadku: długości rocznych przyrostów, grubości pędów oraz obwodu pnia ze zwiększaniem przedawkowania substratu jonami wapnia. Zaobserwowany trend przyjmuje postać istotnej statystycznie zależności w przypadku obwodu pni i zawartości jonów wapnia na głębokości od 60 do 120 cm. Zależność ta występuje także podczas analizy obwodu pni dokonanej zarówno w 1997, jak i w 2000 r. (ryc. 4A–D).

Tabela 12. Istotne korelacje między rocznymi przyrostami kasztanowca białego oraz czynnikami środowiska i cechami drzew *Aesculus hippocastanum* L. z 21 stanowisk na terenie Poznania

Table 12. Significant correlations between the annual growth of horse chestnuts and environmental factors and features of *Aesculus hippocastanum* L. trees from 21 locations in the city of Poznań

	Poziom/ Level [cm]	Czynnik/Factor	Pędy jednoroczne/ 1-year sprouts		Pień/ Trunk
			długość/ Length	grubość/ Thickness	obwód/ Around
Gleba/ Soil	0–30	P	***		
		K	****		
		Mg	*		
		S		*	
		Fe	*		
		Zn	**		
		wilgotność/humidity		**	
		% piasku/% of sand	(-) **		
		% pyłu grub./% of heavy dust	**	**	
	% pyłu drob./% of fine dust	**			
	30–60	pH	(-) **	(-) **	
		K	**		
		Ca			*
		S		*	
		Na	(-) **	(-) *	
		Cl			*
		Mn			(-) ***
wolna, nieutwardzona powierzchnia gleby/ free, non-compacted soil surface			***		
Pojawy fenologiczne/ Phenological Developments	pęknięcie pąków kwiatowych/cracking of flower buds		(-) **		
	intensywność owocowania/intensity of fructification		*		
	długość fazy/ Duration of phase:	listnienia/foitation	***	***	*
		przebarwienia liści/discoloration of leaves	(-) *	(-) **	
		pąków kwiatowych/flower buds	**		
		kwitnienia/florescence		*	
owoców niedojrzałych/underripe fruit				****	
Liście/Leaves	N		***		
	K		(-) **		
Temperatura/Temperature	T _{max}		(-) *		
	T _{sezon}			(-) **	
	T ₅			(-) *	
	T ₁₅		(-) *		
Natężenie ruchu (liczba pojazdów na godzinę)/ Intensity of Traffic (Number of Vehicles Per Hour)			(-) **		

Poziom istotności/Level of significance: **** < 0,001; *** ≤ 0,01; ** ≤ 0,05; * < 0,1; (-) – korelacja ujemna/negative correlation; T_{max} – temperatura maksymalna w ciągu sezonu wegetacyjnego; T_{sezon} – średnia temperatura w ciągu sezonu wegetacyjnego; T₅ – średnia temperatura o godz. 5.00; T₁₅ – średnia temperatura o godz. 15.00



Ryc. 4. Zależności obwodu pnia drzew kasztanowców zwyczajnych *Aesculus hippocastanum* L. od zawartości jonów wapnia w glebie (mg/100 g gleby). Wykresy sporządzono dla lat 1997 (A–B) i 2000 (C–D) oraz poziomów gleby 60–90 cm (A, C) i 90–120 cm (B, D).

Fig. 4. Dependence between the circumference of the trunks of horse chestnut trees *Aesculus hippocastanum* L. and the amount of calcium ions in the soil (mg/100 g soil). The diagrams were prepared for the years 1997 (A–B) and 2000 (C–D), and for soil levels of 60–90 cm (A, C) and 90–120 cm (B, D).

Wapń

Poziom tego makroelementu w podłożach badanych drzew wielokrotnie przekracza naturalne tło jego występowania (ryc. 2C). Analizy statystyczne wykazały istotne różnice między poszczególnymi stanowiskami w zawartości wapnia w podłożu (tab. 1–4). Były one obserwowane na wszystkich głębokościach

profilu glebowego. Także w odniesieniu do tego pierwiastka (podobnie jak dla $N-NO_3$, N_{Tot} i K) zaznacza się spadek jego średniej zawartości z głębokością substratu. W przypadku jonów wapnia charakterystyczne jest to, że podłoża dwóch stanowisk w mieście, tj. w Ogrodzie Botanicznym oraz przy alei Wielkopolskiej, zawierają skrajne zawartości tego pierwiastka w trzech warstwach – od 0 do 90 cm włącznie.

Pierwiastek ten jest głównym, pod względem ilościowym, makroelementem w ryzosferze. Zależność ta potwierdziła się na wszystkich badanych stanowiskach (tab. 1–4), jednakże z niespotykaną w warunkach naturalnych intensywnością (ryc. 2C). W układach niezmienionych gleby wytworzone z piasków zawierają od 25 (40) mg/100 g wapnia w glebach płowych i brunatnych do 90 mg/100 g w czarnych ziemiach. Natomiast żyzne gleby powstałe na glinach charakteryzują się zasobnością rzędu 60–220 mg/100 g, przy czym w poziome skały macierzystej wartości te dochodzą do 270 mg/100 g gleby (Pondel 1971, za: Mercik 1987c). Średnia dla analizowanych 21 stanowisk wynosi kolejno, licząc od górnego poziomu podłoża: 490, 440, 410 i 385 mg/100 g (ryc. 2C). Rozrzut zanotowanych wartości jest bardzo znaczny i mieści się pomiędzy 85 a 750 mg/100 g gleby, przy wysoce istotnym zróżnicowaniu wyników między stanowiskami ($p = 0,001$). Dla terenu miasta na średnią zawartość jonów wapnia w podłożu zanizający wpływ miał poziom Ca w glebie Ogrodu Botanicznego. Wynik średniej dla badanych podłoży, nie uwzględniając tej lokalizacji, dla czterech poziomów wynosi: 515, 470, 420 i 380 mg Ca /100 g gleby. Wyniki analiz Ca w glebach miejskich wskazują na ponad piętnastokrotne przekroczenie jego zawartości (!) w porównaniu do środowiska glebowego wolnego od antropopresji. Przedawkowanie tego składnika pokarmowego prowadzi, w pierwszym rzędzie, do wzrostu pH podłoża, do odczynu alkalicznego włącznie (patrz: *Odczyn gleby* w cz. II, Łukasiewicz 2011b). W dalszej kolejności skutkuje to możliwością wystąpienia antagonizmu lub wzajemnego blokowania pierwiastków. Dotyczy to wymienionych ujemnych korelacji z jonami: fosforu, magnezu, żelaza, manganu czy boru (tab. 5–8). Jedynie dodatnia korelacja wapnia z jonami potasu, na trzech spośród czterech głębokości (30–120 cm), nie jest zgodna z oczekiwanym na podstawie danych literaturowych kierunkiem współzależności (Gliński 1999), jak i z dokonanymi pomiarami biometrycznymi. Tak znaczny poziom jonów wapnia wpływa także na zbyt dużą rozpiętość stosunku Ca : Mg. Za optymalny udział tych jonów w substracie uważa się zależność – 5(10) : 1 (Uggla 1979; Fotyma 1987; Nowosielski 1988; Breś i in. 2003). W analizowanych podłożach stosunek ten średnio wynosi 50 : 1, przy wielkościach dochodzących do wartości 200 : 1 (!) przy ul. Bema. Antagonizm obydwu pierwiastków, wyrażający się spadkiem zawartości jonów magnezu ze wzrostem jonów wapnia, wykazuje zależność istotną statystycznie na poziomie $p = 0,02$ (tab. 5).

Korelacja zasobności gleby w wapń oraz intensywności owocowania wskazuje na ścisły związek o charakterze ujemnym w warstwie gleby od 30 do

120 cm, przy $p \leq 0,04$ (tab. 11). W poziomie wierzchnim, 0–30 cm, oddziaływanie to jest określone zależnością wysoce istotną statystycznie – na poziomie $p = 0,005$.

Wysoki udział wapnia we wszystkich poziomach badanego profilu glebowego jest wyróżniającą cechą omawianych lokalizacji. Tak duża zawartość tego pierwiastka, ze względu na swoją skalę, skłania do zaliczenia zdecydowanej większości analizowanych podłoży do typu pararendzin antropogenicznych w dziale gleb industrio- i urbanoziemnych (Mocek i in. 1997). Rzutuje to na aktualne i potencjalne właściwości środowiska glebowego aglomeracji miejskiej.

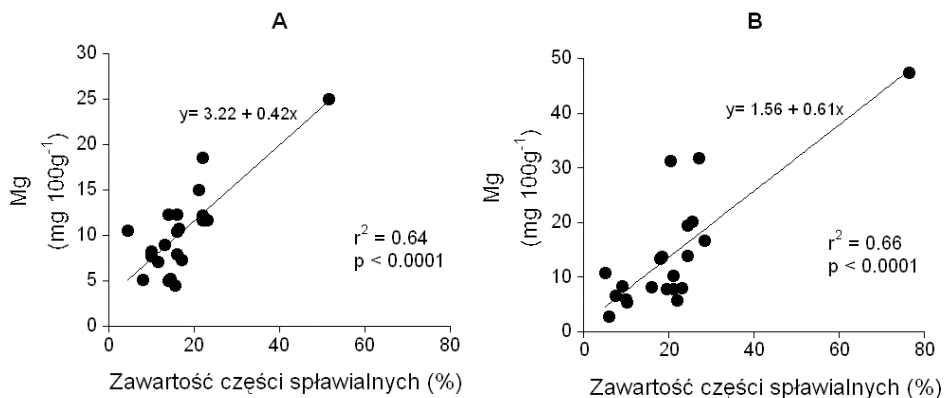
Magnez

Zawartość tego makroelementu do 30 cm głębokości średnio wynosiła 11 mg Mg/100 g gleby (tab. 1). Taką samą średnią wartość przyjmuje poziom magnezu do 90 cm włącznie. Zawartość magnezu między poszczególnymi stanowiskami na głębokości od 0 do 30 cm wahała się od 4 mg/100 g przy ul. Bema do 32 mg/100 g gleby przy ul. Ułańskiej. W pierwszym (0–30 cm), jak i w ostatnim (90–120 cm) z analizowanych poziomów nie było istotnych statystycznie różnic w zawartości tego pierwiastka.

Zawartość Mg w glebie, w poziomie od 0 do 30 cm, była istotnie, ujemnie skorelowana z pH gleby i Ca, a dodatkowo z jonami boru (tab. 5). Istotną, ujemną korelację na trzech głębokościach (od 30 do 120 cm) stwierdzono między Mg i Fe oraz dodatnią między Mg i wilgotnością podłoża. Istotne zależności między Mg i wskaźnikiem zasolenia EC odnotowano w drugim i czwartym z analizowanych poziomów (tab. 6, 8). W ostatniej z badanych warstw (90–120 cm) odnotowano istotną korelację między Mg a Na oraz między Mg a S-SO₄.

W układzie gleba–roślina występuje istotna, dodatnia korelacja między zawartością Mg w podłożu (0–30 cm) i zawartością w liściach siarki, a ujemna z Na i Fe (tab. 9). W głębiej zalegającej warstwie 30–60 cm istotne, dodatnie korelacje odnotowano między Mg w podłożu i zawartością w liściach magnezu, potasu i kadmu (tab. 10). Występowanie form dostępnych magnezu było dodatnio skorelowane z zawartością w podłożu części spławialnych, na poziomie $p < 0,0001$ (ryc. 5A, B).

Analizowane podłoża stanowisk zieleni miejskiej na terenie Poznania można uznać za bogate w magnez. Za glebę średnio zasobną w ten pierwiastek uważa się bowiem substrat zawierający od 2,5 (3) do 4 (5) mg/100 g gleby (tab. 1 i cytowana tam literatura). Jednakże dostępność magnezu w glebie dla roślin jest uzależniona od jego wzajemnych relacji z: fosforem, potasem, wapniem oraz chlorem. Wymienione zależności z innymi pierwiastkami mogą powodować wśród roślin deficyt Mg nawet przy jego relatywnie wysokim poziomie w substracie. Wynika to ze wzajemnego blokowania, wytrącania lub zależności



Ryc. 5. Zależności występowania form aktywnych magnezu od procentowej zawartości części spławialnych w glebie

Wykresy dotyczą dwóch poziomów gleby: 30–60 cm (A) oraz 90–120 cm (B)

Fig. 5. Dependence between the occurrence of active forms of magnesium and the percentage content of floatable elements in the soil

The diagrams concern two soil levels: 30–60 cm (A) and 90–120 cm (B)

antagonistycznych między wymienionymi elementami, np. tworzenia trudno dostępnych dla roślin połączeń magnezu z jonami fosforu i wapnia (Fotyma 1987; Nowosielski 1988; Krzywy i in. 1997; Gliński 1999; Breś i in. 2003). W omawianym przypadku dominujące znaczenie tego rodzaju oddziaływań może wiązać się z relacjami magnezu z jonami wapnia i chloru. Przedstawione zawartości składników pokarmowych w glebach wskazują bowiem na jednoczesne występowanie wysokich zawartości obydwu wspomnianych pierwiastków, Ca i Cl (tab. 1–4). Wyniki analiz liści kasztanowców z terenu Poznania świadczą o poprawnej zawartości magnezu w materiale roślinnym mimo występowania w glebach wspomnianych niekorzystnych tendencji (tab. 13). Wyniki te wskazują jednocześnie na wysoką zawartość tego składnika w roślinach w porównaniu do innych gatunków drzew i krzewów liściastych (tab. 13, patrz też: Nowosielski 1988). Przyczyną tego może być wysoka zasobność ogółu stanowisk w ten pierwiastek w całym badanym profilu, 0–120 cm, wynosząca od kilku do prawie 50 mg Mg/100 g gleby. Tak wysoka jego zawartość w podłożu warunkuje poprawne zaopatrzenie drzew w ten jeden z głównych składników pokarmowych, mimo jednoczesnego występowania znacznego poziomu pierwiastków antagonistycznych w podłożu.

Zastanawiająca jest ujemna korelacja obecności jonów żelaza i magnezu. Dotyczy ona trzech spośród czterech poziomów dla 21 stanowisk (tab. 6–8). W literaturze podaje się, iż żelazo ma zdolności łatwego podstawiania magnezu (Kabata-Pendias, Pendias 1999). Być może jest to powodem uzyskania

Tabela 13. Średnie stężenia (\pm odchylenie standardowe) pierwiastków w liściach wybranych rodzajów drzew leśnych
 Table 13. Average concentration (\pm standard deviation) of chemical elements in the leaves of selected types of forest trees

Rodzaj/ Genus	n	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Pb	Cd
[ppm]																
<i>Alnus</i>	52	2,69±0,42	0,18±0,07	0,94±0,40	0,85±0,44	0,22±0,08	0,15±0,06	198±175	183	140±72	348±162	36,3±15,8	10,3±4,0	18,0±3,0		0,25±0,07
<i>Betula</i>	137	2,27±0,52	0,20±0,09	0,84±0,33	0,85±0,36	0,29±0,12	0,14±0,06	208±229	234±204	144±91	817±632	164,4±102,5	7,0±2,3	39,3±19,4	2,6±1,0	0,06±0,05
<i>Fagus</i>	108	2,30±0,47	0,16±0,04	0,83±0,23	0,84±0,33	0,15±0,05	0,16±0,03	184±107	275	160±58	2041±1294	36,7±10,9	6,8±3,0	35,4±15,0	3,2±4,1	0,02
<i>Fraxinus</i>	47	2,29±0,76	0,24±0,13	1,19±0,48	1,53±1,13	0,39±0,21	0,43±0,17	123±98	930	114±59	52±44	27,6±14,3	16,7±8,2	33,6±12,6	0,7±0,9	2,35
<i>Populus</i>	148	2,15±0,53	0,21±0,10	1,11±0,48	1,49±0,72	0,26±0,08	0,31±0,21	64±63	490±42	126±94	161±247	165,1±62,0	9,2±3,5	31,0±21,1	1,6±1,3	0,07±0,06
<i>Quercus</i>	448	2,14±0,57	0,16±0,07	0,94±0,49	0,94±0,55	0,23±0,12	0,15±0,04	140±126	331±348	218±175	1032±1000	34,6±15,5	9,5±3,2	37,4±16,2	1,7±1,0	
<i>Salix</i>	68	2,25±0,60	0,22±0,11	1,09±0,55	0,99±0,62	0,30±0,15	0,40±0,27	264±126	632±155	380±481	502±379	111,2±39,2	7,9±1,1	43,8±30,9		0,01
<i>Tilia</i>	36	2,68±0,50	0,19±0,10	1,33±0,43	1,56±0,61	0,29±0,09	0,26±0,04	375±370	1520	133±102	232±134	21,7±8,6	6,5±2,2	51,0±20,5	1,5±0,3	
<i>Ulmus</i>	29	2,40±0,64	0,20±0,11	1,05±0,41	1,29±0,84	0,31±0,14	0,15±0,20	667±635	1400	148±162	179±175	30,0±16,7	6,8±5,1	29,7±21,6		
<i>Aesculus</i>	1	0,13–0,19	0,9–1,24	0,7–0,86	0,22–0,26			800–1100		215–294	128–210	11,9–13,3	4,6–8,2		2,0–2,4	
<i>Aesculus</i> (Warsaw)	6	2,36±0,36				0,31±0,08	0,16±0,05		5330±8288	845±365	72±36	145±104	16,9±6,3			0,2±0,00
<i>Aesculus</i> Botanical Garden	2	2,2±0,14	0,16±0,00	0,92±0,07	1,68±0,29	0,18±0,01	0,17±0,00	25,9±0,8	2095±700	115±40,9	90,5±15	13,2±1,8	5,9±0,5	39,1±13,1	2,5±0,6	0,21
<i>Aesculus*</i>	8	1,96	0,18	1,4	1,82	0,23	0,17	598	6911	236	39,5	18,4	10,1	61,5	6,5	0,25±0,07
Zakres/Scope	1,3–2,79	0,13–0,21	0,92–2,14	1,5–2,24	0,18–0,27	0,14–0,23	0,16–0,23	26–1550	2095–10850	115–394	12–90,5	9,9–23,9	5,9–18,2	39,1–88	2,5–8,8	0,13–0,31

Dane dotyczą w pełni rozwiniętych liści (lipiec–sierpień), na podstawie doniesień: Bergmann 1983; Fober 1990, 1993, 1995, 1999; Guha i in. 1966; Molski 1976; Oleksyn – dane niepublikowane. *Pogrubionym drukiem i kursywą przedstawiono wyniki uzyskane dla *Aesculus hippocastanum* L. (śr. z 8 stanowisk na terenie Poznania); n – liczba obserwacji; The data concerns fully developed leaves (July–August), on the basis of information provided by: Bergmann 1983; Fober 1990, 1993, 1995, 1999; Guha i in. 1966; Molski 1976; Oleksyn – unpublished data. *The results obtained for *Aesculus hippocastanum* L. have been presented in bold (average for 8 locations in the city of Poznań); n – number of observations

wysokiego poziomu form przyswajalnych Mg, wzbogaconego przez pulę form wymiennych tego pierwiastka, wypartą z kompleksu sorpcyjnego. Natomiast odnotowane zależności między poziomem magnezu i zasoleniem (EC) w części poziomów substratu mogą mieć związek z zawartością w nich frakcji ilastej (ryc. 5A, B). Istnieje bowiem wysoce istotna zależność obecności magnezu na tych dwóch głębokościach od zawartości części spławialnych ($p < 0,0001$). Ponadto, odnotowano występowanie dodatnich i istotnych statystycznie zależności między poziomem magnezu w glebie na głębokości 30–60 cm i w liściach kasztanowca (tab. 9). Jest to o tyle interesujące, że dane literaturowe świadczą raczej o braku zależności między zawartością Mg w glebie i w roślinach, oprócz nasion (Mercik 1987a).

Podsumowując, wysoki poziom magnezu w analizowanych podłożach umożliwia poprawne zaopatrzenie drzew w ten makroelement.

Siarka

Zainteresowanie tym pierwiastkiem wzrosło na skutek doniesień o postępującym w środowisku zmienionym przez przemysł zakwaszeniu gleb w rezultacie olbrzymiej emisji SO_2 . Ten niekorzystny proces w ostatnich 50 latach objął cały obszar Polski. Podawane było przy tym, iż na skutek wzrostu ilości siarki w podłożu odczyn gleb na przeważającym obszarze kraju uległ obniżeniu (Białobok 1989). Po roku 1990 proces ten jednak został zatrzymany w wyniku znacznego ograniczenia emisji SO_2 (Oleksyn, Reich 1996). Alarmujące doniesienia z drugiej połowy XX w. o nadmiernym zasiarczeniu gleby na szczęście nie potwierdziły się.

Według badań gleboznawców gleby Polski, tzw. tło geochemiczne, są mało zasobne w ten makroelement (Terelak i in. 1995). Prawdopodobnie stosowanie w rolnictwie nawozów N i K w formie soli siarczanowych, a P w postaci pojedynczego superfosfatu zawierającego S w przeszłości przyczyniło się do nieświadomego zaspokojenia potrzeb pokarmowych roślin uprawnych. Obecnie zastosowanie czystych nawozów, tj. pozbawionych siarki, ujawniło, iż w glebach ornym wielu obszarów występuje jej niedobór. Brak zewnętrznych objawów u roślin deficytu S w glebach mógł być również spowodowany tym, że siarka, podobnie jak magnez, jest absorbowana także przez liście w formie gazowej SO_2 (przeprowadzanego w roślinie w formę siarczanową SO_4^{2-}). Dlatego mechanizm asymilacji S w przeszłości mógł łagodzić niedostateczną zawartość tego pierwiastka w podłożu. W dalszej perspektywie, ciągłe pobieranie tego pierwiastka przez rośliny, przy braku kompleksowego nawożenia i coraz mniejszej emisji siarki do atmosfery, może doprowadzić do pogarszającego plony deficytu siarki w wierzchnich warstwach gleby (Paul, Clark 2000; Gorlach, Mazur 2002).

W podłożach na terenie Poznania zawartość siarki wzrastała z głębokością profilu glebowego przy nieistotnym zróżnicowaniu między stanowiskami w obrębie każdego z poziomów (tab. 1–4). W poziomach głębszych (60–120 cm) zaznaczył się kilkakrotny wzrost jej zawartości w porównaniu do naturalnego tła dla gleb Polski (ryc. 2D).

Zawartość S-SO₄ w substracie była istotnie skorelowana z: N-NO₃, azotem całkowitym, sodem oraz chlorem w wierzchnim poziomie gruntu (tab. 5). Na trzech spośród czterech analizowanych poziomach zaznacza się istotna statystycznie zależność siarki ze wskaźnikiem zasolenia EC (tab. 5, 6, 8).

Obliczone korelacje zawartości pierwiastków w glebie nie wskazują na występowanie w warunkach miejskich antagonizmu między siarką i chlorem, którego należałoby się spodziewać w normalnych glebach (Gliński 1999). Na zdecydowanej większości stanowisk zanotowano występowanie obydwu pierwiastków (tab. 1–4). Wyniki przedstawionych w artykule analiz nie potwierdziły także sygnalizowanego w literaturze występowania ścisłych zależności między zawartością siarki w podłożu a zawartością w glebie węgla organicznego i części spławialnych (Jakubus 1999). Obecność tego rodzaju związków można było stwierdzić jedynie w pojedynczych poziomach.

W układzie gleba–roślina istotna jest korelacja między zawartością siarki w podłożu (30–60 cm) a jej zawartością w liściach (tab. 10).

Według Seidlera i in. (1980), wzrost zawartości jonów wapnia w glebach powoduje spadek zawartości siarki w masie roślinnej. Wyniki zależności pierwiastków w glebie i w materiale roślinnym nie potwierdzają w pełni tych doniesień. Korelacje jonów wapnia w glebie z zawartością siarki w liściach są ujemne, lecz nieistotne statystycznie (tab. 9, 10). Może to świadczyć o istnieniu mechanizmu selektywnego przyswajania jonów z podłoża. Mechanizm ten umożliwia wybiórcze pobieranie pierwiastków mimo istniejących w glebie barier elektrochemicznych, kosztem energii metabolicznej (Starck 2002). W konsekwencji może się to przejawiać zmniejszeniem przyrostów rocznych oraz słabszym rozwojem roślin, co obserwowano na większości stanowisk w obrębie miasta.

Niedostateczna zawartość siarki wywołuje obniżenie aktywności fotosyntetycznej, zahamowanie syntezy białek oraz wzrostu pędów. U roślin prawidłowo odżywionych korelacja występowania N i S w liściach jest bliska jedności, przy około dziesięciokrotnej przewadze N. Dlatego stosunek N : S w suchej masie roślin jest dobrym wskaźnikiem zaspokojenia wymagań pokarmowych roślin w ten makroelement. W roślinach niedostatecznie zaopatrzonych w S stosunek N : S może przekraczać nawet 20 : 1 (Gorlach, Mazur 2002). W liściach kasztanowców pobranych do analiz w 137. dniu roku wielkość N : S wynosiła średnio jak 11,7 : 1, przy zakresie od 8,6 do 13,4. Dolny zakres, tj. poniżej 10, zanotowano tylko na jednym spośród ośmiu stanowisk. O ważności zaspokojenia potrzeb roślin w obydwu pierwiastki świadczy fakt dodatnich korelacji N : S w liściach z pomiarami biometrycznymi drzew. U kasztanowców z terenu

Poznania wykazano istotne statystycznie zależności N:S w liściach z długością jednorocznych przyrostów pędów ($p = 0,003$), przyrostem obwodu pni ($p = 0,04$) oraz powierzchnią liści ($p = 0,07$). Większość wyników N:S powyżej 10:1 (u 14 z 16 drzew) może świadczyć o tym, że w przypadku kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum* L. za prawidłowy uznać należy stosunek N:S nieco powyżej 10, na poziomie około 13. Przemawia za tym fakt, iż stosunek N:S na poziomie 12,2–13,4 występował u drzew charakteryzujących się prawidłowym przebiegiem wszystkich pojavów fenologicznych (tab. 14).

Według Terelaka i in. (1995), gleby Polski uznane jako ubogie w ten makroelement zawierają średnio 2 mg $\text{SO}_4/100$ g, przy czym wartość poniżej 1,6 mg $\text{SO}_4/100$ g należy uznać jako niską zasobność podłoża w siarkę. Kolejne przedziały to zasobność średnia 1,6 do 2,5 mg/100 g i wysoka 2,6 do 5,0 mg/100 g. Natomiast gleby zawierające powyżej 5 mg/100 g uznawane są za antropogenicznie zanieczyszczone tym pierwiastkiem. Wymienione przedziały

Tabela 14. Proporcje N:S w liściach oraz wybrane parametry biometryczne 16 drzew kasztanowców zwyczajnych *Aesculus hippocastanum* L. rosnących na 8 stanowiskach na terenie centrum Poznania

Table 14. Proportions of N:S in leaves and selected biometric parameters of 16 horse chestnut trees (*Aesculus hippocastanum* L.) growing at 8 locations in the centre of Poznań

Czynnik/Factor	Czynnik/Factor		
	N:S	Powierzchnia liści Area of leafs [cm ²]	Przyrost obwodu pnia Growth of around of trunk 1997–2000 [m]
Stanowisko/Post			
aleja Wielkopolska	12,14	357	0,03
aleja Wielkopolska	11,28	168	0,02
Bema	12,67	500	0,14
Bema	12,85	519	0,1
Dominikańska	13,30	420	0,06
Dominikańska	12,21	398	0,04
Grunwaldzka-I	8,64	188	0,01
Grunwaldzka-I	9,93	326	0
Matejki	13,38	791	0,1
Matejki	10,61	488	0,01
Noskowskiego	12,30	392	0,1
Noskowskiego	10,18	670	0,06
Ogród Botaniczny	12,21	460	0,04
Ogród Botaniczny	13,37	540	0
Wojskowa	11,07	494	0,02
Wojskowa	10,99	399	0

znajdują się także w innych opracowaniach (PIOŚ, 1998). Średnie z 21 stanowisk dla czterech poziomów głębokości podłoża kolejno wynoszą: 3,4; 7,2; 10,3 i 19,5 mg/100 g gleby (ryc. 2D). Tak więc jedynie zasobność wierzchniego poziomu, 3,4 mg/100 g, można zaliczyć do kategorii gleb o wysokiej zawartości siarki. Pozostałe wyniki wskazują na znaczne przekroczenia ilości tego pierwiastka w porównaniu do wartości spotykanych w glebach Polski. Na poszczególnych stanowiskach w poziomach głębszych dochodzi do dziesięcio-, a nawet dwudziestokrotnych przekroczeń górnej wartości 5 mg/100 g, a w pewnych przypadkach nawet powyżej 100 mg/100 g gleby (tab. 3–5, ryc. 2D). Zdecydowany wzrost formy siarczanowej w przedziale 90–120 cm obserwowany był na stanowiskach: aleja Wielkopolska, Ogród Botaniczny, ul. Jerzego i ul. Prusa (tab. 4). W pierwszych dwóch przypadkach jest to zapewne konsekwencja właściwości fizycznych zalegającej poniżej skały macierzystej (głina, ił) o silnych właściwościach sorpcyjnych. W dwóch pozostałych przypadkach wynika zaś z właściwości chemicznych warstwy kulturowej.

Niedostateczna zawartość siarki w wierzchnich warstwach podłoża, 0–30 cm, została wykazana na siedmiu stanowiskach, na których stwierdzono wartości poniżej 1,6 mg/100 g, a podwyższona zawartość (od 6,1 do 8,6 mg) na pięciu powierzchniach. Na drugim z analizowanych poziomów, 30–60 cm, do grupy niedostatecznie zaopatrzonej w ten składnik pokarmowy należy sześć stanowisk, a osiem charakteryzuje się zasobnością jonów siarki od 8,8 do 45,4 mg/100 g. Zatem obliczone wartości średnie nie oddają istniejącej różnorodności zawartości S-SO₄ w obrębie danej warstwy. Wyjaśnieniem jej zróżnicowania między stanowiskami może być olbrzymia heterogeniczność gleb miejskich i przypadkowy skład chemiczny warstw nasypowych.

Za zaopatrzenie pokarmowe roślin w głównej mierze odpowiedzialne są wierzchnie warstwy podłoża, które są intensywnie penetrowane przez system korzeniowy (Oleksyn i in. 1999). Skłania to do uznania, iż około 30% podłoża analizowanych stanowisk należy uznać za niedostatecznie zaopatrzone w siarkę. Nie zmienia tego fakt podwyższonych zawartości tego pierwiastka na niektórych stanowiskach w warstwach głębszych, wolnych od korzeni włośnikowych, karmiących. Przedstawione wyniki jeszcze raz potwierdzają olbrzymią heterogeniczność składu chemicznego gleb miejskich, gdzie na stosunkowo niewielkiej przestrzeni, kilkunastu metrów, mogą występować siedliska charakteryzujące się toksycznymi ilościami poszczególnych pierwiastków, jak i ich ostrym deficytem.

WNIOSKI

1. Z analiz składu chemicznego gruntu wynika olbrzymia heterogeniczność gleb miejskich.

2. Podłoża z terenu miasta cechował deficyt głównych składników pokarmowych – azotu i fosforu.
3. W przypadku jonów siarki w 30% badanych stanowisk odnotowano deficyt występowania tego makroelementu.
4. Zanotowano poprawny (tzn. zbliżony do gleb polowych) poziom jonów potasu i magnezu w wierzchnich warstwach gleby.
5. Zawartość jonów wapnia do 20 razy przekraczała poziom tego pierwiastka spotykany w naturze w glebach polowych.
6. Przedstawione wyniki wskazują na celowość nawożenia gleb miejskich nawozami amonowymi i fosforanowymi. Ze względu na jednoczesne przesylenie gleb miejskich jonami wapnia i chloru szczególnie korzystne efekty może przynieść stosowanie nawozów siarczanowych.
7. Spośród głównych pierwiastków odżywczych deficyt azotu i fosforu, nadmierna zawartość jonów wapnia, deficyt jonów siarki oraz toksyczny poziom jonów chloru (patrz cz. IV) są czynnikami limitującymi poprawny rozwój drzew na terenie aglomeracji Poznania.

LITERATURA

- Alexandrovskaia E.I., Alexandrovskiy A.L., 2000: *History of the cultural layer and accumulation of anthropogenic substances in it*. Catena 41, 249–259.
- Anonim, 1996: *Opracowywanie zaleceń nawozowych w ogrodnictwie*. SGGW, Warszawa, 119.
- Ball D., Hamilton R., Harrison R., 1991: *The influence of highway-related pollutants on environmental quality*. [W:] R. Hamilton R. Harrison, (red.), *Highway Pollution*. Elsevier Science, New York, 1–47.
- Baran S., 2000: *Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb*. Wyd. AR w Lublinie, Lublin, 244 ss.
- Bergmann W., 1983: *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Entstehung und Diagnose*. Gustav Fischer Verlag, Jena, 614.
- Białobok S., 1989: *Wpływ kwaśnych opadów atmosferycznych na drzewa i lasy*. [W:] S. Białobok (red.), *Życie drzew w skażonym środowisku*. PWRiL, Warszawa, 502 ss.
- Birke M., Rauch U., 2000: *Urban geochemistry: Investigations in the Berlin metropolitan area*. Environ. Geochem. Health, 22, 233–248.
- Blume H.P., 1989: *Classification of soils in urban agglomerations*. Catena, 16, 269–275.
- Bornstein R.D., 1968: *Observations of the urban hot islands effect in New York City*. J. Appl. Meteorol., 7, 575–582.
- Bredshaw A., Hunt B., Walmsley T., 1996: *Threes in the Urban Landscape. Principles and Practice*. Chapman&Hall, London.
- Breś W., Golcz A., Komosa A., Kozik E., Tyksiński W., 2003: *Nawożenie roślin ogrodniczych*. Wyd. AR w Poznaniu, Poznań, 188 ss.
- Bullock P., Gregory P.J. (red.), 1991: *Soils in the Urban Environment*. Blackwell, Oxford.
- Burghart W., 1994. *Soils in urban and industrial environments*. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd., 157, 205–214.
- Cadle S.H., Mulawa P.A., Ball J., Donase C., Weibel A., Sagebiel J.C., Knapp K.T., Snow R., 1997: *Particulate emission rates from in-use high-emitting vehicles recruited in Orange County, California*. Environ. Sci. Technol., 31, 3405–3412.
- Chabot B.F., Hicks D.J., 1982: *The ecology of leaf life spans*. Annu. Rev. Ecol. Syst., 13, 229–259.

- Czarnecki W., 1968: *Planowanie miast i osiedli*. Cz. III. PWN, Warszawa–Poznań, 705 ss.
- Czerwiński W., 1976: *Fizjologia roślin*. PWRiL, Warszawa, 605 ss.
- Douglas I., 1983: *The Urban Environment*. Edward Arnold, Baltimore, MD.
- Faber A., 1987a: *Cynk*. [W:] M. Fotyma i in. (red.), *Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia*. PWRiL, Warszawa, 238–250.
- Faber A., 1987b: *Mangan*. [W:] M. Fotyma i in. (red.), *Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia*. PWRiL, Warszawa, 216–228.
- Faber A., 1987c: *Miedź*. [W:] M. Fotyma i in. (red.), *Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia*. PWRiL, Warszawa, 199–215.
- Fober H., 1990: *Mineralne żywienie*. [W:] S. Białobok (red.), *Buk zwyczajny*. PWN, Warszawa–Poznań, 143–157.
- Fober H., 1993: *Żywienie mineralne*. [W:] W. Bugała (red.), *Grab zwyczajny*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa–Poznań, 87–95.
- Fober H., 1995: *Mineralne żywienie*. [W:] W. Bugała (red.), *Jesion wyniosły*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa–Poznań, 137–147.
- Fober H., 1999: *Mineralne żywienie*. [W:] W. Bugała (red.), *Klony*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa–Poznań, 147–162.
- Fotyma M., 1987: *Fosfor*. [W:] M. Fotyma, S. Mercik, A. Faber (red.), *Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia*. PWRiL, Warszawa, 96–126.
- Fotyma E., Pietruch C., 1999: *Zawartość azotu mineralnego w glebach gruntów ornych Polski po zbiorach roślin jako wskaźnik stanu środowiska*. IUNiG, Puławy, 24 ss.
- Gabryś H., 1998: *Gospodarka azotowa*. [W:] J. Kopcewicz, S. Lewak (red.), *Podstawy fizjologii roślin*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 206–228.
- Gliński J., 1999: *Chemiczne i fizykochemiczne właściwości gleb*. [W:] S. Zawadzki (red.), *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa, 183–236.
- Gorlach E., Mazur T., 2002: *Chemia rolna*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 347 ss.
- Guha M.M., Mitchell R.L., 1966: *The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. II. Seasonal changes*. Plant and Soil, 24, 90–112.
- Hiller D.A., 2000: *Properties of Urbic Anthrosols from an abandoned shunting yard in the Ruhr area, Germany*. Catena, 39, 245–266.
- Hodge S.J., 1995: *Creating and Managing Woodlands around Towns*. Forestry Commission Handbook, 11, HMSO, London.
- Hoffmann M., Komosa A., 1973: *Analiza chemiczna w ochronie i nawożeniu zieleni miejskiej*. Ogólnopolska konferencja nauk.-techn. „Analiza chemiczna w ogrodnictwie”, 1–3 luty, Poznań, 73–93.
- IUNiG, 1983: *Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. Cz. IV. Badanie gleb, ziem i podłoży oraz części wskaźnikowych roślin w celach diagnostycznych*.
- Jakubus M., 1999: *Studia nad zawartością, potencjalną przyswajalnością i sorpcją siarki w warstwie próchnicznej gleb uprawnych*. Kated. Chem. Roln. AR w Poznaniu, Poznań, 20 ss. [autoreferat].
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999: *Biogeografia pierwiastków śladowych*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 398 ss.
- Kaniecki A., 1996: *Zmiany powierzchni terenu w wyniku prac niwelacyjnych*. [W:] S. Żynda (red.), *Rzeźba terenu, geomorfologia. Środowisko naturalne miasta Poznania cz. I*. Urząd Miejski w Poznaniu, Wyd. Ochrony Środowiska, Poznań, 18 ss.
- Karolczak Z., 1993: *Średniowieczna Brama Wodna w Poznaniu – wyniki badań archeologicznych*. Kronika Miasta Poznania 3–4, 351–361.
- Konecka-Betley K., Kuźnicki F., Zawadzki S., 1999: *Systematyka i charakterystyka gleb Polski*. [W:] S. Zawadzki (red.), *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa, 340–470.
- Kowaliński S., Gonet S., 1999: *Materia organiczna gleb*. [W:] S. Zawadzki (red.), *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa, 237–263.

- Krzywy E., Nowak W., Wołoszyk C., 1997: *Chemia rolna. Podręcznik do ćwiczeń*. Wyd. AR w Szczecinie, Szczecin, 125 ss.
- Landsberg H.E., 1981: *The Urban Climate*. Internat. Geophys. Ser., 28, London.
- Lindsay J.D., Scheelar M.D., Twardy A.G., 1973: *Soil survey for urban development*. Geoderma, 10, 35–45.
- Łukasiewicz A., 1982: *Kryteria prawidłowego rozwoju terenów zieleni w aglomeracjach miejskich na przykładzie miasta Poznania*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań, 62 ss.
- Łukasiewicz A., 1989: *Drzewa w środowisku miejsko-przemysłowym*. [W:] S. Białobok (red.), *Życie drzew w skażonym środowisku*. PWN, Warszawa–Poznań, 49–85.
- Łukasiewicz S., 1999: *Modyfikacja metody wykreślenia diagramów fenologicznych drzew rosnących w warunkach miejskich*. Biul. Ogrodów Botan., 8, 37–42.
- Łukasiewicz S., 2002: *Wpływ wybranych czynników na rozwój kasztanowca białego Aesculus hippocastanum L. w warunkach miejskich Poznania*. Wyd. Biol. UAM, Poznań, mscr. [pr. doktorska].
- Łukasiewicz S., 2003: *Skład chemiczny i masa nasion na tle intensywności owocowania kasztanowca białego Aesculus hippocastanum L. w warunkach miejskich Poznania*. Biul. Ogrodów Botan., 12, 83–90.
- Łukasiewicz S., 2011a: *Struktura fizyczna gruntu, zawartość substancji organicznej oraz skład chemiczny gleb w podłożach 21 stanowisk zieleni miejskiej na terenie Poznania. Część I. Struktura fizyczna gruntu*. Bad. Fizjogr. nad Pol. Zach., PTPN, R II, Ser. A – Geogr. Fiz.: 69–85.
- Łukasiewicz S., 2011b: *Struktura fizyczna gruntu, zawartość substancji organicznej oraz skład chemiczny gleb w podłożach 21 stanowisk zieleni miejskiej na terenie Poznania. Część II. Zawartość substancji organicznej w podłożu. Odczyn gleby*. Bad. Fizjogr. nad Pol. Zach. Ser. A – Geogr. Fiz., PTPN, 87–96.
- Łukasiewicz S., Kmieć K., 2003: *Wpływ środowiska miejskiego na zawartość escyny w nasionach kasztanowca białego (Aesculus hippocastanum L.)*. Biul. Ogrodów Botan., 12, 91–98.
- Łukasiewicz S., Oleksyn J., 2007: *Zróżnicowanie przestrzenne elementów meteorologicznych i ich wpływ na rozwój kasztanowca zwyczajnego (Aesculus hippocastanum L.) w warunkach miejskich Poznania*. Bad. Fizjogr. nad Pol. Zach. Ser. A – Geogr. Fiz., PTPN, 58/2007, Poznań, 47–78.
- Makowska D., 1995: *Atmosfera*. [W:] A. Dylikowa i in. *Ziemia i człowiek*. WSiP, Warszawa, 45–67.
- McDonnell M.J., Pickett S.T.A., 1990: *The study of structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology*. Ecol., 71, 1231–1237.
- Mercik S., 1987a: *Magnez*. [W:] M. Fotyma, S. Mercik, A. Faber (red.), *Chemiczne podstawy żywności gleb i nawożenia*. PWRiL, Warszawa, 156–171.
- Mercik S., 1987b: *Potas*. [W:] M. Fotyma, S. Mercik, A. Faber (red.), *Chemiczne podstawy żywności gleb i nawożenia*. PWRiL, Warszawa, 127–155.
- Mercik S., 1987c: *Wapń*. [W:] M. Fotyma, S. Mercik, A. Faber (red.), *Chemiczne podstawy żywności gleb i nawożenia*. PWRiL, Warszawa, 172–183.
- Miller R.W., 1996: *Urban Forestry. Planning and Managing Urban Greenspaces*, wyd. 2. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Mocek A., Drzymała S., Maszner P., 1997: *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb*. Wyd. AR w Poznaniu, Poznań, 416 ss.
- Moll G., Ebenreck S. (red.), 1989: *Shading Our Cities. A Resource Guide for Urban and Community Forests*. Island Press, Washington, D.C., Covelo.
- Molski B., 1976: *Wyniki badań fenologicznych*. [W:] H. Kryczyńska (red.), *Rozwój roślin w środowisku miejskim na przykładzie Warszawy*. Ogród Botan. PAN, Warszawa, 43–55.
- Monitor Polski nr 23 z dnia 3 lipca 1986 r.
- Nowosielski O., 1974: *Metody oznaczania potrzeb nawożenia*. PWRiL, Warszawa, 721 ss.

- Nowosielski O., 1988: *Zasady opracowywania zaleceń nawozowych w ogrodnictwie*. PWRiL, Warszawa, 310 ss.
- Oleksyn J., Reich P.B., 1996: *Habitat destruction and biodiversity in Poland*. Conservation Biol., 8, 943–960.
- Oleksyn J., Reich P.B., Chałupka W., Tjoelker M.G., 1999: *Differential Above- and Below-ground Biomass Accumulation of European Pinus sylvestris Populations in a 12-year-old Provenance Experiment*. Scandinavian J. of Forest Res., 14, 7–17.
- Palowski B., 2000: *Seed field from polluted stands of Pinus sylvestris L.* New Forests, 20, 15–22.
- Paul E.A., Clark F.E., 2000: *Mikrobiologia i biochemia gleb*. Wyd. UMCS, Lublin, 400 ss.
- PIOŚ, 1998: *Stan gleb województwa kaliskiego ich zasobność i zanieczyszczenie*. Wojew. Insp. Ochrony Środowiska w Kaliszu. Bibl. Monitoringu Środowiska, Kalisz, 92 ss.
- Reich P.B., Walters M.B., Ellsworth D.S., 1992: *Leaf lifespan in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems*. Ecol. Monogr., 62, 365–392.
- Schleuss U., Wu Q., Blume H.P., 1998: *Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany*. Catena, 33, 255–270.
- Seidler M., Gawliński S., Goźliński H., 1980: *Siarka w organizmach roślin wyższych*. [W:] J. Siuta (red.), *Siarka w biosferze*. PWRiL, Warszawa, 168–194.
- Stachak A., 1977: *Fenologiczne pory roku na terenie Szczecina*. Z. Nauk. AR w Szczecinie, Szczecin, Ser. XV, 61, 291–300.
- Starck Z., 1998: *Rola składników mineralnych w roślinie*. [W:] J. Kopcewicz, S. Lewak (red.), *Podstawy fizjologii roślin*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 188–205.
- Starck Z., 2002: *Pobieranie i dystrybucja jonów*. [W:] J. Kopcewicz, S. Lewak (red.), *Fizjologia roślin*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 259–271.
- Stepniewska-Janowska B., 2000: *Dydaktyka w służbie ochrony krajobrazów kulturowych Europy*. [W:] P. Wolski (red.), *III Forum Architektury Krajobrazu*, 102–115.
- Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K., 1995: *Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami*. Z. Probl. Post. Nauk Roln., z. 418, 45–60.
- Thornton I., 1991: *Metal contamination of soils in urban areas*. [W:] P. Bullock, P.J. Gregory (red.), *Soils in the Urban Environment*. Blackwell, Oxford, 47–75.
- Uggla H.J., 1979: *Gleboznawstwo leśne*. PWRiL, Warszawa, 527 ss.
- Wittig R., 1991: *Ökologie der Grossstadtflora*. UTB Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- Zhang G.L., Burghardt W., Lu Y., Gong Z.T., 2001: *Phosphorus-enriched soils of urban and suburban Nanjing and their effect on groundwater phosphorus*. Plant Nutr. Soil Sc., 164, 295–301.
- Zimny H., 1973: *Miejskie warunki ekologiczne a roślinność drzewiasta*. Mat. z symp. pt. „Problemy pielęgnacji i ochrony drzew w aglomeracjach miejskich i obiektach zabytkowych”, Łańcut, 132 ss.

THE PHYSICAL STRUCTURE OF THE LAND, ORGANIC SUBSTANCES
CONTENT, AND THE CHEMICAL COMPOSITION OF SOIL COMPRISING
THE SUBSOIL OF 21 URBAN GREENERY LOCATIONS IN THE TERRITORY
OF POZNAŃ

PART III. AMOUNTS OF MACROELEMENTS: N, P, K, S, Ca and Mg

Summary

The article presents the results of research into the chemical composition of soil at 21 locations of municipal green areas situated roughly in the centre of Poznań. The work analyses the content of the six primary nutritive chemical elements for plants. In the discussion, we have given an accurate representation of their occurrence and their mutual proportions, as given in the literature. The subsoils of the Poznań agglomeration are characterised by a deficit of the primary nutritive elements, i.e. nitrogen and phosphorous, an appropriate content of potassium and magnesium, an unnatural amount of calcium ions (20 times greater than that occurring in nature), a toxically high level of chlorine and sodium ions (as much as 10 times greater than that occurring in nature), and a deficit of sulphur ions. The second conclusion concerns the enormous heterogeneity of municipal subsoils. Over several dozen metres, there are subsoils belonging to different soil classes. For this reason, the classification of municipal soil on larger areas becomes problematic.

CONCLUSIONS

1. Analyses of the chemical composition of land have demonstrated the enormous heterogeneity of municipal soils.
2. Subsoils from the city area are characterised by a deficit of the primary nutritive elements – nitrogen and phosphorous.
3. As regards sulphur ions, at 30% of the examined locations there was a deficit of this macroelement.
4. A correct level of potassium and magnesium ions was noted in the upper soil layers.
5. The content of calcium ions is up to 20 times greater than that occurring in nature.
6. The results presented point to the advisability of fertilising municipal soils with ammonium and phosphate fertilizers. Due to the simultaneous supersaturation of municipal soils with calcium and chlorine ions, the usage of sulphate fertilisers may bring particularly advantageous effects.
7. As regards primary nutritive chemical elements, the deficit of nitrogen and phosphorous, excessive content of calcium ions, deficit of sulphur ions and toxic level of chlorine ions (cf. Part IV) are factors limiting the correct development of trees in the area of the Poznań agglomeration.