

## Podłoża strukturalne jako jedno z rozwiązań proekologicznych dla miast

Henryk Kociel<sup>1\*</sup>, Hazem M. Kalaji<sup>1,2</sup>, Marzena Suchocka<sup>2</sup>, Żaneta Tuchowska<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Al. Hrabstwa 3, 05-090 Raszyn

<sup>2</sup> Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

<sup>3</sup> Firma Usługowa „OGRÓD” w Łukowie, ul. Rolnicza 59, 21-400 Łuków

\* Autor do korespondencji: [ogrody.biuro@interia.eu](mailto:ogrody.biuro@interia.eu)

### STRESZCZENIE

Mieszkańcy nawet niewielkich miast borykają się z problemem zanieczyszczonego powietrza, podtopieniami lub zamiennie podwyższonymi temperaturami spowodowanymi zbyt dużą powierzchnią pokrytą betonem. Gminy i miasta podejmują różnorodne działania oraz przeznaczają znaczne środki na przeciwdziałanie zwiększającym się z roku na rok problemom. Większość specjalistów z zakresu ekologii twierdzi, że najbardziej efektywnym rozwiązaniem byłoby zwiększenie ilości roślin, zwłaszcza drzew, w bezpośrednim sąsiedztwie ludzi. Działania w tym zakresie podejmują się od wielu lat, lecz w dalszym ciągu nie obserwuje się wyraźnych efektów. We wspomnianych wyżej warunkach dostrzega się spadek kondycji dojrzałych drzewostanów, a żywotność nowo nasadzonych drzew z powodu złych warunków bytowania jest coraz krótsza. Wychodząc naprzeciw zaistniałej sytuacji staje się konieczne opracowanie pakietu/ów rozwiązań, pozwalających na dokonywanie nowych nasadzeń na terenie miast i obszarów wiejskich, jak również poprawa warunków siedliskowych drzew już istniejących. Najnowsze badania naukowe pokazują, że najistotniejszym elementem tych rozwiązań mogą być systemy antykompresyjne w formie mieszanki kamienno-głebowej. W trakcie dotychczasowych działań zostało zaprojektowane poletko doświadczalne z zastosowaniem takiego typu podłoża. W mieszance kamienno-głebowej, jak i w innych rodzajach podłoża posadzono reprezentatywny gatunek drzew (*Tilia tomentosa*). Prezentowane badania wskazują na nośność podłoża odpowiednią dla każdego rodzaju ruchu oraz warunki rozwoju korzeni drzew lepsze niż w standardowo stosowanych sposobach sadzenia.

**Słowa kluczowe:** podłoża strukturalne, drzewa w mieście, system korzeniowy, warunki siedliskowe

## Structural soil as one of the pro-ecological solutions for cities

### ABSTRACT

Residents of even small cities are struggling with air pollution. Municipalities and cities undertake various activities and allocate significant resources to counteract the problem related to air and soil pollution, which is growing continuously. The specialists in the field of ecology have stated that an ideal solution would be to increase the amount of plants in the neighbourhood of residents. Such actions have been undertaken for many years, but clear positive effects have not been observed yet. In these urban areas, the declining conditions of mature plants can be observed, and the longevity of newly planted trees is becoming shorter due to the poor growth conditions. In order to improve the current situation, it has become necessary to develop package/s of solutions allowing for new plantings in cities and rural areas, as well as supporting plants which already exist. The latest scientific trends have showed that one of the most important and promising elements of these solutions could be the use of a structural substrates (a rock and soil mixture prepared according to a special recipe) that can be used as an alternative growth medium for trees instead of the standard up-to-date used soils. In our research, the experimental plot was designed using this type of substrate. The carried out capacity tests showed that the structural substrate has a definite advantage over the substrates presently used in urban areas. The use of structural substrates also enhanced the physiological conditions of the tested trees. Our results allowed us to confirm that structural substrates can be successfully used in the urban and rural areas, which would significantly improve the environmental conditions.

**Keywords:** structural soil, urban trees, root system, site conditions

## WPROWADZENIE

Ludzkosć coraz dotkliwiej ingeruje w krajobraz przyczyniając się do powstawania gleb utrudniających prawidłowy wzrost i rozwój roślinności. Postęp cywilizacyjny i społeczny, w wyniku którego powstała konieczność rozbudowania infrastruktury, często stoi w sprzeczności z ochroną przyrody. Taki konflikt w negatywny sposób wpływa na stan i liczbę drzew rosnących w miastach. Trudne warunki siedliskowe sprawiają, że średnia długość życia drzew w terenach zurbanizowanych z każdym dziesięcioleciem ulega skróceniu (Craul, 1994). Kolejnym ograniczeniem prawidłowego rozwoju jest brak wystarczającej przestrzeni dla korzeni drzew. Przykładowo wymagana optymalna ilość podłoża dla drzew o średnicy pnia do 10 cm, sadzonych w miastach wynosi 6 m<sup>3</sup> (Urban, 2008). Powszechnym zjawiskiem jest ograniczona żywotność i spadek tempa wzrostu drzew miejskich, zwłaszcza tych rosnących przy ulicach w stosunku do tych, które rosną w warunkach naturalnych (Szczepanowska, 2001; Borowski i Pstrągowska, 2010). Drzewa w miastach często rosną na terenie o ekstremalnie trudnych warunkach siedliskowych, przez co skazane są na powolne obumieranie. W warunkach silnej antropopresji znalezienie miejsca na tworzenie nowych terenów zieleni jest bardzo trudne, a utrzymanie w nich roślinności wymaga dodatkowych nakładów finansowych na pielęgnację i zastosowania kosztownych rozwiązań technicznych. Zdrowotne problemy drzew przejawiają się zazwyczaj jako zmiany chorobowe w zasięgu korony lub pnia i są głównie wynikiem oddziaływania niekorzystnych czynników na system korzeniowy (Lindley i in., 1995). Antropopresja wpływa na zmiany właściwości środowiska glebowego. Działalność człowieka skutkuje pojawieniem się dużego udziału powierzchni zabudowanych na obszarach miejskich, braku połączeń powierzchni biologicznie czynnych, przebiegiem gęstej sieci infrastruktury podziemnej, powstawaniem nawierzchni nieprzepuszczalnych, utrudniających dostęp tlenu i wody do korzeni drzew (Embrén i in., 2009). Negatywny wpływ na stan drzew mają również skutki niepoprawnie prowadzonych prac budowlanych, odbywających się w bliskim sąsiedztwie systemu korzeniowego drzew, powodujące uszkodzenia mechaniczne korzeni i zagęszczenie gleby (Suchocka, 2013; Suchocka, 2010). Degradacja gleby, będącej nieodnawialnym elementem środowiska, jest na

dzień dzisiejszy największym problemem. Obecnie nie istnieje skuteczna i szybka metoda przywrócenia jej struktury i właściwości, szczególnie w systemach korzeniowych drzew. By korzenie żywicielskie roślin rozwijały się w sposób prawidłowy powinny mieć zapewnione korzystne warunki, umożliwiające im stały wzrost, gdyż tylko korzenie żywicielskie mają zdolność do pochłaniania wody i zawartych w niej soli mineralnych (Szczepanowska, 2001). W kontekście wymienionych uwarunkowań na chwilę obecną wiemy, że w terenach miejskich nie wystarczy jedynie posadzenie drzew i ich podlewanie, ponieważ stosowanie takich metod dotychczas w wielu sytuacjach przestaje być wystarczające.

## METODYKA

W związku z tym, że rozwiązaniem zapewniającym optymalne warunki siedliskowe dla drzew rosnących w terenach miejskich są podłoża strukturalne, na bazie analizy literatury dotyczącej składu mieszanek kamienno-glebowych opracowano skład podłoża strukturalnego dla warunków polskich.

Podłoże strukturalne jest to mieszanka kamienno-glebową, składająca się z kamieni łamanych o odpowiednio dobranej frakcji oraz substratu glebowego (rys. 1). Stykanie się krawędzi kruszywa powoduje utworzenie stabilnej konstrukcji, jednocześnie zapewniając kształtowanie się wolnych przestrzeni dla substratu glebowego, zapewniającego idealne warunki wzrostu dla penetrujących podłoże korzeni drzew. Aby ustalić najwłaściwszy do rozwoju korzeni drzew rodzaj materiału przebadano kilka rodzajów kruszyw wybierając takie, które spełniały wszystkie

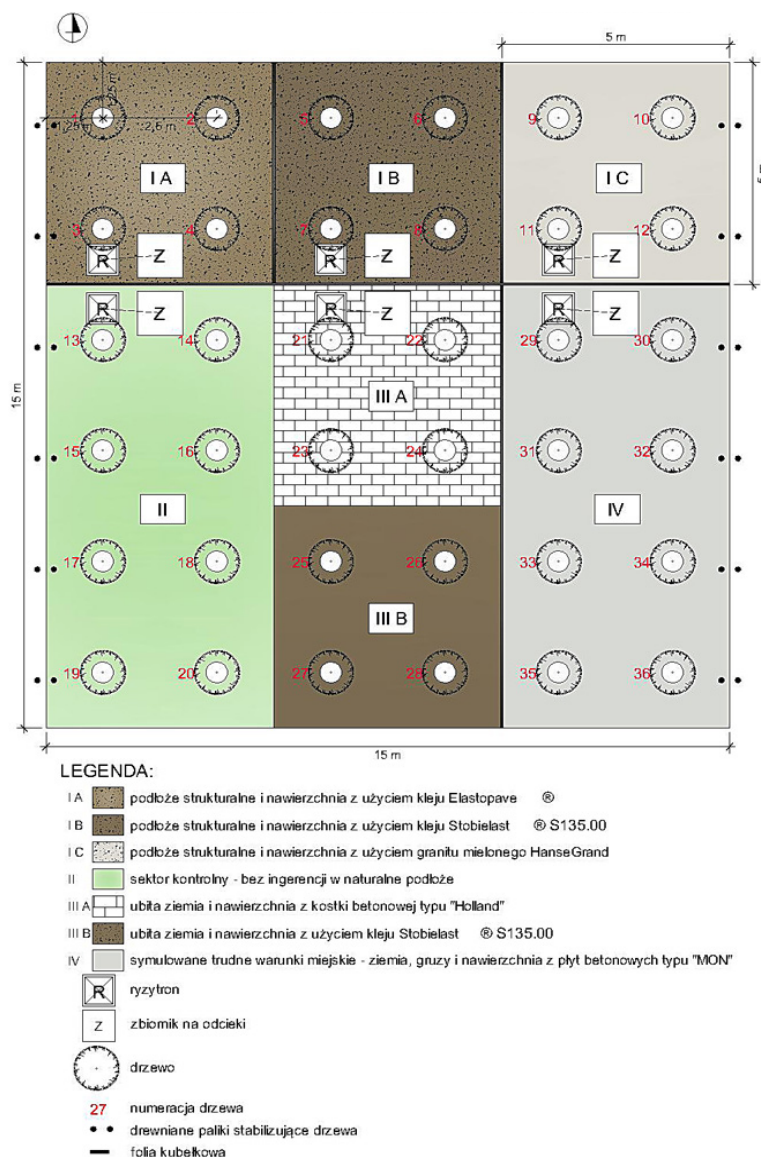


Rys. 1. Podłoże strukturalne  
Fig. 1. Structural soil

niezbędne warunki dla warstwy nośnej pod nawierzchnie drogowe oraz optymalne dla rozwoju korzeni. Następnie opracowano i wykonano mieszankę glebową o parametrach właściwych do sadzenia i rozwoju drzew. Opracowano również metodę pozwalającą na połączenie kruszywa ułożonego w korycie drogi i mieszanki glebowej. Jak już wspomniano podłoże strukturalne składa się z mieszanki substratu i kruszywa. Kruszywo tworzy szkielet, który może być podbudową dla konstrukcji nawierzchni pieszych i jezdnych. Zastosowane kruszywo łamane, klinując się zapewnia stabilność oraz tworzy puste przestrzenie w których swobodnie przepływa woda, przemieszcza się powietrze i rozwija się system korzeniowy roślin. Tarcie pomiędzy kruszywem zapewnia nośność, a wąski rozkład cząsteczek frakcji

kruszywa zapewnia jednolity system o wysokiej porowatości po zagęszczeniu. Kruszywo jest elementem nośnym systemu, a jego cząstki spełniają normy odnośnie trwałości i wytrzymałości ziaren, co zostało przebadane w Laboratorium Geotechniki Instytutu Badawczego Dróg i Mostów. Puste przestrzenie pomiędzy kruszywem wypełnione są substratem, który wraz ze szkieletem kamiennym tworzy jednolitą całość. Prawdłowo wykonane podłoże strukturalne charakteryzuje się obecnością odpowiednich przestrzeni, zapewniających napowietrzenie i przestrzeń dla prawidłowego rozwoju korzeni.

W 2016 r. rozpoczęto prace nad przygotowaniem poletka doświadczalnego zlokalizowanego w mieście Łuków (rys. 2, 3). Na poletku w czterech rodzajach podłoża posadzono 36 szt. drzew



Rys. 2. Plan poletka doświadczalnego  
Fig. 2. Plan of an experimental plot



(*Tilia tomentosa*). Sektory poletka o wymiarach 5×5 m odizolowano za pomocą foli kubełkowej (pionowe bariery nie pozwolą na przenikanie wody opadowej z sąsiedniego terenu i zabezpieczą ewentualne przerastanie korzeni). W każdym z sektorów posadzone zostały 4 drzewa.

W sektorze I zastosowano podłoże strukturalne, jako metodę pozwalającą na poprawę kondycji drzewostanu w miastach. Podłoża strukturalne przyczyniają się do znacznego polepszenia warunków rozwoju nowo sadzonych jak i istniejących drzew w terenach zurbanizowanych. Ponadto pozytywnie oddziałują na system korzeniowy roślin, ograniczając problem stresu wodnego, nadmiernego zagęszczenia gleby oraz zbyt małej objętości gleby w stosunku do potrzeb ukorzenienia. Zastosowane podłoże strukturalne posiada odpowiednie dla prawidłowego rozwoju drzew parametry przepuszczalności, nośności i zasobności.

Sektor II jest sektorem kontrolnym, w jego rejonie nie ingerowano w naturalne podłoże. Rosnące w nim drzewa mają warunki zbliżone do naturalnych, a nawierzchnię stanowi trawnik.

W sektorze III ziemię zagęszczono, co ma symulować warunki miejskie. Struktura zagęszczonej gleby w terenach zurbanizowanych powstaje m.in. na skutek ruchu samochodowego, dużych grup ludzi czy intensywnie prowadzonych prac

budowlanych. Nawierzchnia w tym sektorze to kostka brukowa o minimalnej przepuszczalności, powodującej konieczność odprowadzania wody deszczowej z terenu (IIIA) oraz nawierzchnia porowata (wodoprzepuszczalna), która ułożona na mieszance kamiennej pozwala na uzyskanie chłonności 0,6 m<sup>3</sup> wody /godz. (infiltracja 15 cm na jedn. pow/dobę) (III B).

Sektor IV symuluje ekstremalnie trudne warunki miejskie – w jego rejonie zastosowano mieszankę ziemi i gruzu. W dużych aglomeracjach miejskich drzewa posiadają bardzo trudne warunki do rozwoju. Nasadzone w takich warunkach drzewa często zamierają, ze względu na słabą jakość podłoża dostępną dla ich korzeni.

W celu sprawdzenia przydatności mieszanki kamienno-glebowej dla celów sadzenia drzew na terenach miejskich przeprowadzono testy nośności oraz badania kondycji drzew posadzonych w różnych warunkach siedliskowych. Rośliny badane były z uwzględnieniem fenologii, szybkości rozwoju korzeni, temperatury liści, wskaźnika pokrycia liściowego (LAI), promieniowania czynnego fotosyntetycznie (PAR- ang. *Photosynthetically Active Radiation*), zawartości chlorofilu (Chl), zawartości flawonoli (Flv), wskaźnika bilansu azotu (NBI- ang. *Nitrogen Balance Index*) oraz maksymalnej wydajności kwantowej fotosystemu drugiego (Fv/Fm).

2016 r.



2017 r.



Rys. 3. Poletko doświadczalne  
Fig. 3. Experimental area

## BADANIA I OBSERWACJE

W celu sprawdzenia nośności mieszanki na warstwie podłoża strukturalnego przeprowadzono badania przy użyciu urządzenia VSS pod kątem przydatności jako podbudowa dla nawierzchni drogowej (rys. 4, 5).

Podłoża drogowe są standaryzowane w trzech klasach nośności w zależności od obciążenia ruchem KR:

- dla dróg o ruchu “lekkim” KR1-KR2 podłoże powinno posiadać nośność  $E_2 > 80$  MPa,
- dla dróg o ruchu “średnim” KR3-KR4  $E_2 > 100$  MPa,
- dla dróg o ruchu “ciężkim” KR5-KR7  $E_2 > 120$  MPa.

Nośność uzyskana na górnej warstwie  $E_2 = 132$  MPa świadczy o spełnieniu wymagań dla podłoża pod konstrukcje dla dróg o ruchu ciężkim -  $E_2 > 120$  MPa (rys. 6). Testy podłoża

wykonane przez IBDiM wykazały, że jest ono odpowiednie dla wszystkich wymienionych w normach zastosowań, gdyż spełnia normatywne wymagania nośności.

Od 2016 roku prowadzono także badania kondycji drzew rosnących w podłożu strukturalnym w stosunku do drzew rosnących w innych warunkach. Badania przeprowadzono za pomocą następujących aparatów pomiarowych: przenośnego miernika do analizy architektury łąnu LAI (ang. *Leaf Area Index*), model AccuPAR; miernika chlorofilu, antocyjanin i flawonoidów; aparatu do pomiaru fluorescencji chlorofilu. Wykonywano także obserwacje fenologiczne, obserwacje przyrostów korzeni oraz monitoring temperatur.

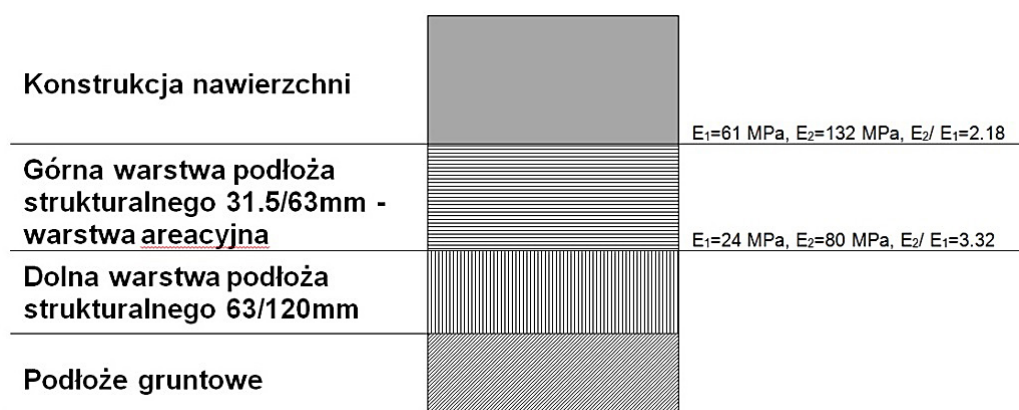
Z przeprowadzonych obserwacji fenologicznych wynika, że drzewa rosnące przez dwa sezony w podłożu strukturalnym nie wykazały zmian rozwojowych w porównaniu do drzew rosnących w innych warunkach glebowych (rys. 7).



Rys. 4. Badanie nośności warstwy kruszywa grubego  
Fig. 4. Testing of the capacity of the coarse



Rys. 5. Badanie nośności warstwy aeracyjnej  
Fig. 5. Testing the load capacity of the aggregate layer aeration layer



Rys. 6. Wynik badań podłoża strukturalnego  
Fig. 6. The result of structural soil research



04.04.2017 r.



07.05.2017 r.



27.06.2017 r.



**Rys. 7.** Obserwacje fenologiczne  
**Fig. 7.** Phenological observations

Do obserwacji rozwoju bryły korzeniowej zamontowano specjalne rzyzotryny. Dzięki prowadzeniu tych obserwacji zauważono, że drzewa rosnące w podłożu strukturalnym mają bardzo dobrze rozwinięty system korzeniowy w odniesieniu do drzew rosnących w innym rodzaju podłoża (rys. 8). Przyrosty korzeni drzew rosnących w podłożach strukturalnych oscyływały w granicach ok. 37%, natomiast drzew rosnących w innych typach podłoża ok. 28%.

Badania monitoringu temperatur wykazały, że drzewa rosnące w podłożu strukturalnym mają niższą temperaturę w porównaniu z drzewami rosnącym na podłożach zbitiej ziemi z uwagi na to, że mają wyższą intensywność transpiracji z powodu lepszego dostępu do wody oraz wyższej witalności (rys. 9).

Prowadzono także badania wskaźnika pokrycia liściowego (LAI), stosunku fotosyntetycznej aktywnej radiacji (PAR) na spodzie łąnu i nad łąnem – TAU, zawartości chlorofilu, flawonoli, wskaźnika bilansu azotu oraz maksymalnej wydajności kwantowej fotosystemu drugiego – PSII (Fv/Fm).

Dane dotyczące współczynnika powierzchni liści LAI wraz z innymi danymi klimatycznymi pozwalają oszacować produkcję biomasy w sposób nieinwazyjny dla roślin. Badania przeprowadzone w roku 2016 wykazały największą war-

tość współczynnika LAI w przypadku sektora IV (warunki ekstremalne), a najmniejszą dla sektora I (podłoże strukturalne) (rys. 10). W roku 2017 największa wartość współczynnika zanotowana została dla sektora II (kontrolnego), a najmniejsza dla IV (warunki ekstremalne), w tym roku drzewa w podłożu strukturalnym odrobiły straty i zaczęły się intensywnie rozwijać.

Promieniowanie PAR jest istotne dla procesów zachodzących w koronie roślin, jak np. przechwytywanie promieniowania, przemiana energii, wzrost, poziom wymiany gazowej (fotosynteza), przechwytywanie opadów i ewapotranspiracja. Największa wartość PAR na spodzie łąnu zanotowana została w 2016 roku dla sektora IV (ekstremalnie trudne warunki), a najmniejsza dla sektora I (podłoże strukturalne). W roku 2017 najwyższą wartość współczynnika stwierdzono w przypadku sektora II (kontrola), podłoże strukturalne ponownie wykazało najniższą wartość współczynnika (rys. 11).

Największa zawartość chlorofilu odnotowana została w 2016 roku w przypadku poletka kontrolnego, w roku 2017 natomiast w przypadku sektora IV, o najtrudniejszych warunkach rozwojowych (rys. 12). W przypadku podłoża strukturalnego zawartość chlorofilu spadła w roku 2017 w stosunku do roku poprzedniego.

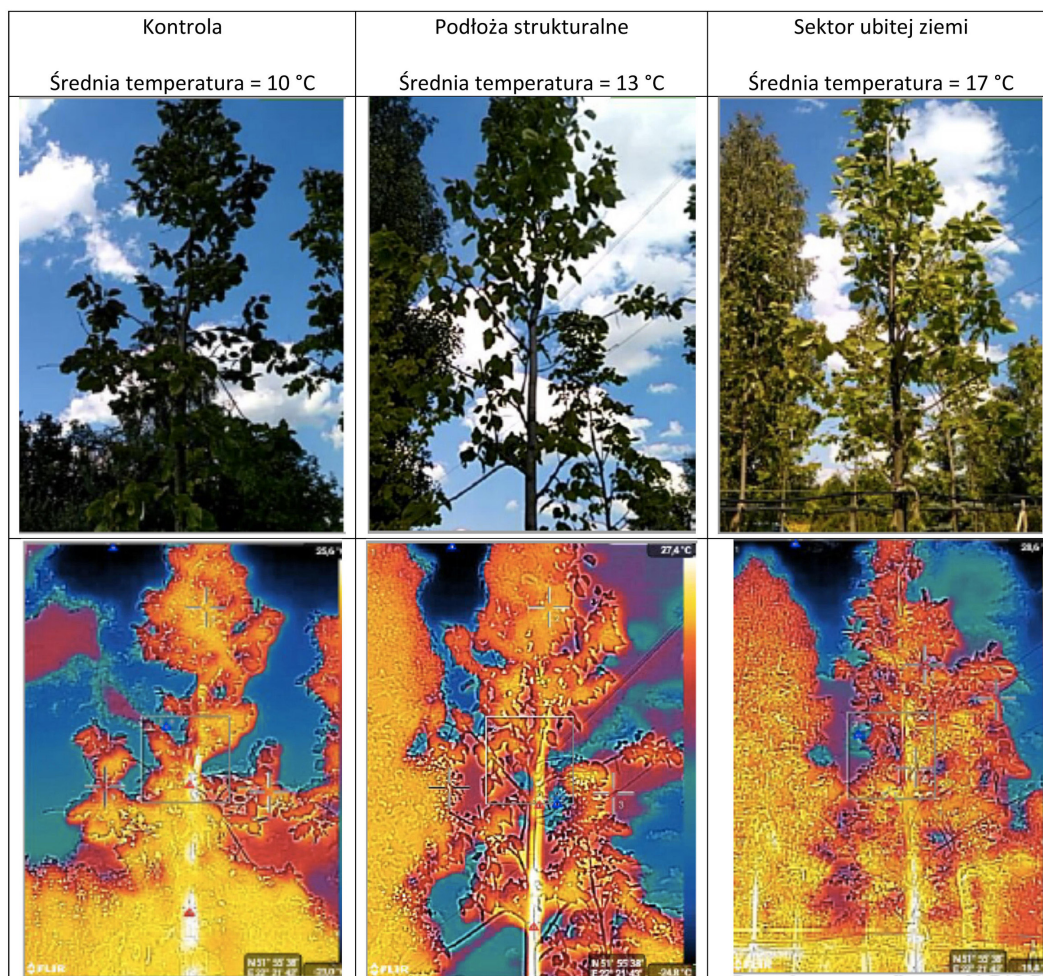
10.04.2017 r.



06.07.2017 r.

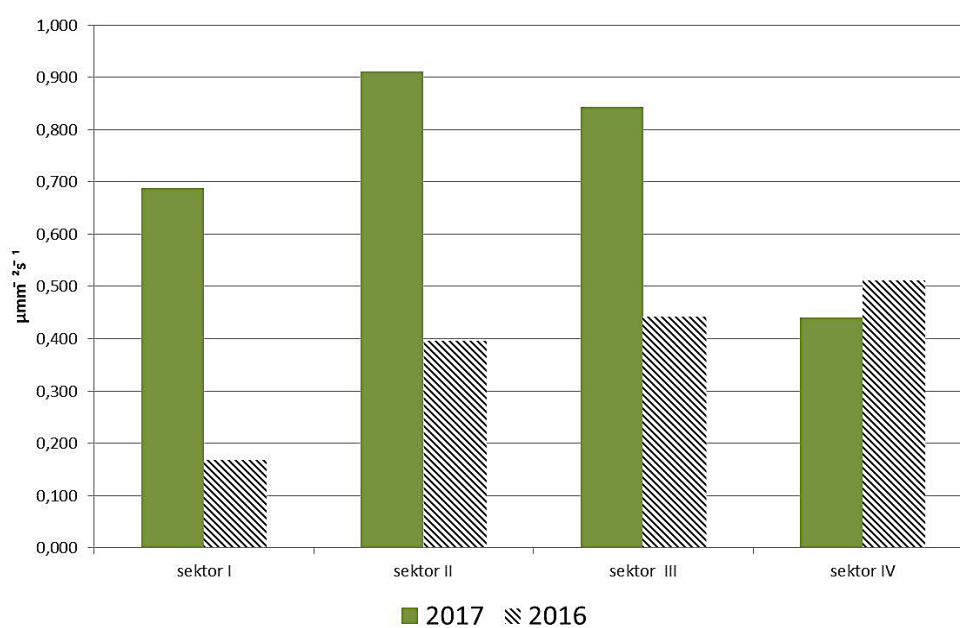


**Rys. 8.** Obserwacje przyrostu korzeni w obrębie jednego rzyzotrynu  
**Fig. 8.** Observations of root growth



Rys. 9. Monitoring temperatur drzewa rosnącego w podłożu kontrolnym (zdjęcie po lewej stronie), strukturalnym (zdjęcie w środku) i w podłożu zbitej ziemi (zdjęcia po prawej stronie)

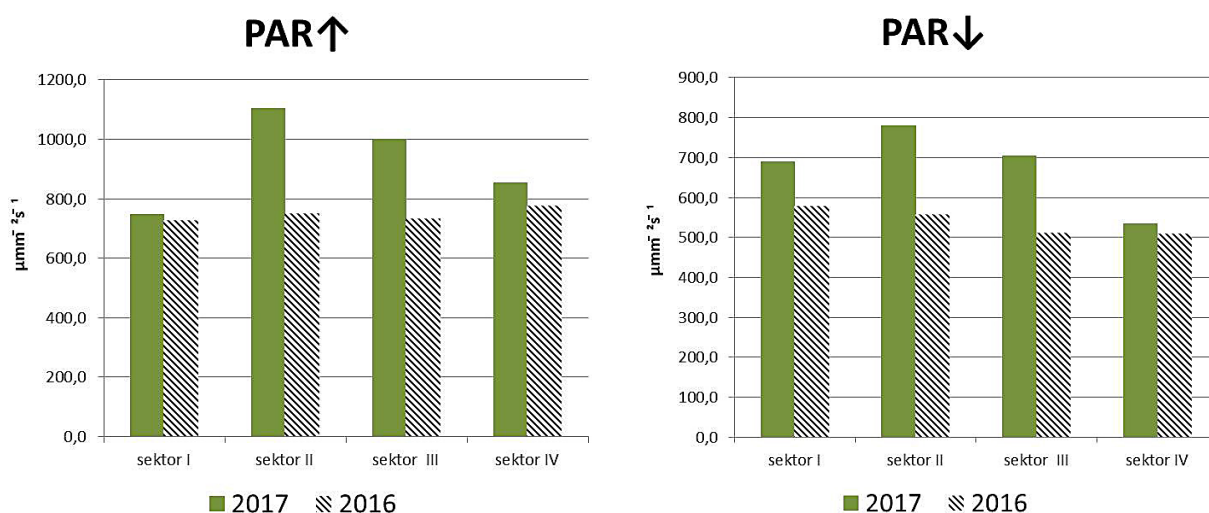
Fig. 9. Temperature monitoring of the growing tree in the control medium (left photo), structural soil (central photo) and in the ground soil (right photo)



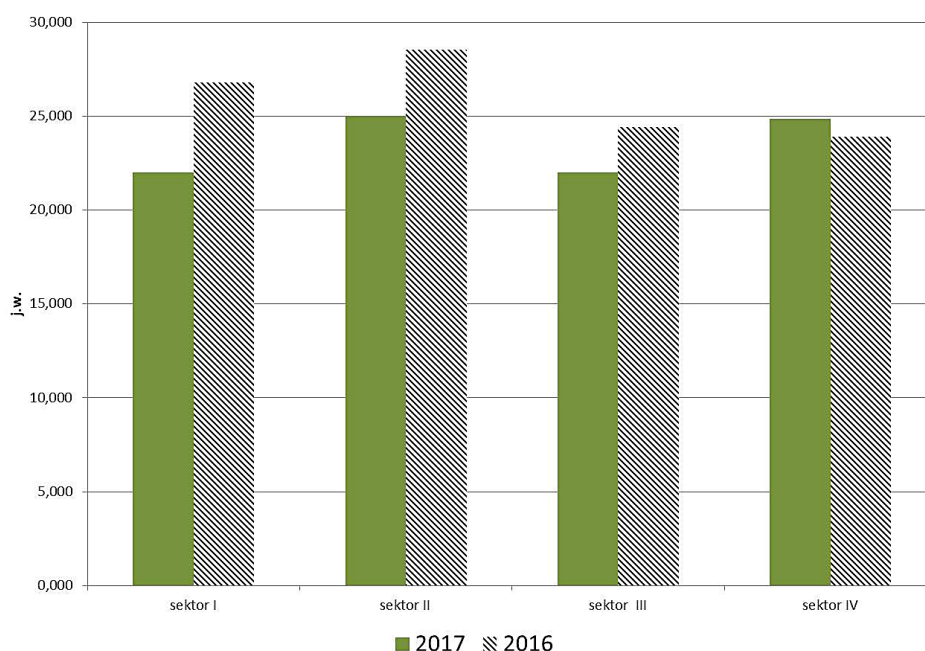
Rys. 10. Wskaźnik pokrycia liściowego – LAI (ang. Leaf Area Index)

Fig. 10. Leaf coverage index – LAI (Leaf Area Index)





**Rys. 11.** Stosunek fotosyntetycznej aktywnej radiacji (PAR) na spodzie łąnu i nad łąnem – TAU  
**Fig. 11.** The ratio of photosynthetic active radiation (PAR) at the bottom of the field and above the field – TAU



**Rys. 12.** Zawartość chlorofilu (Chl)  
**Fig. 12.** The content of chlorophyll (Chl)

Zawartość flawonoli dla wszystkich badanych poletek spadła w roku 2017 w stosunku do roku poprzedniego do porównywalnego poziomu (rys. 13).

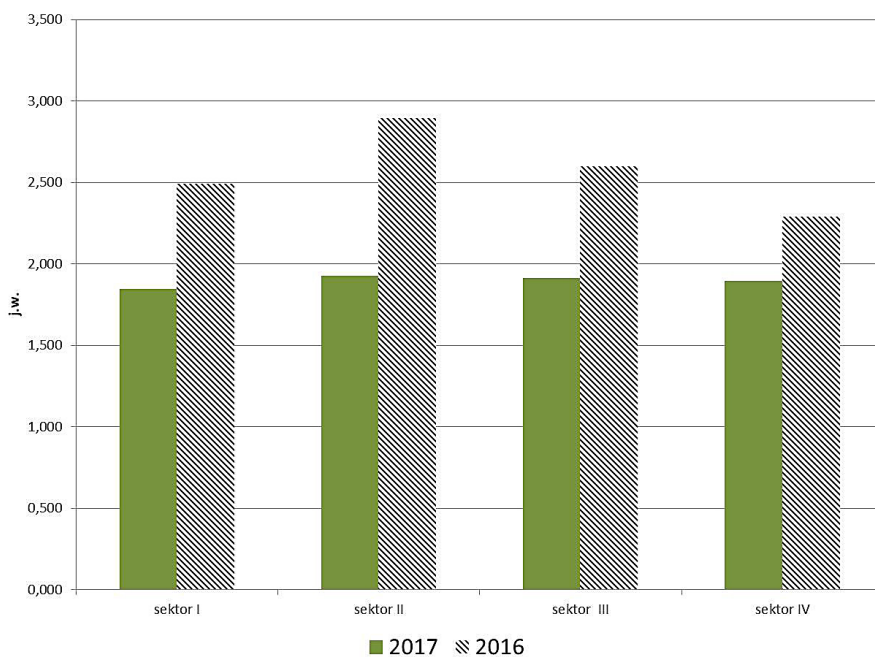
Wskaźnik bilansu azotu (NBI) w 2016 roku zanotowano najwyższy w przypadku poletka z podłożem strukturalnym (I), natomiast w roku 2017 był on najwyższy w przypadku poletka (IV) o ekstremalnych warunkach siedliskowych (rys. 14).

W przypadku wszystkich czterech poletek maksymalna wydajność kwantowa fotosystemu drugiego PSII wzrosła w roku 2017 w stosunku do roku 2016 i wyrównała się na porównywalnym poziomie (rys. 15).

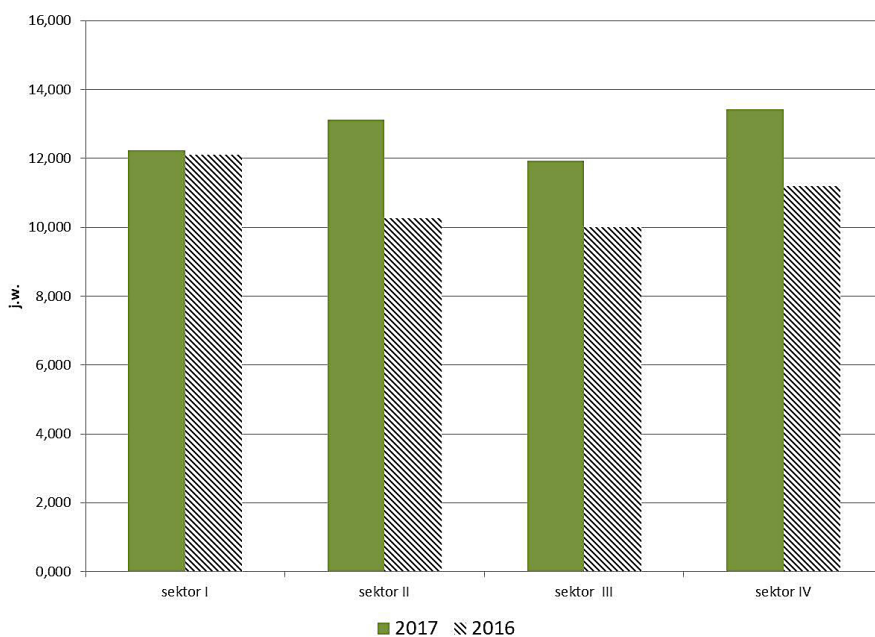
## PODSUMOWANIE

Rozpatrując wszystkie aspekty wyżej wymienionych działań, możemy stwierdzić, iż podłoża strukturalne zdecydowanie mogą stanowić lepszą alternatywą do zastosowania w warunkach miejskich. Wyniki badań nośności potwierdzają możliwość ich zastosowania przy obciążeniach nawet ciężkim ruchem samochodowym. Natomiast przeprowadzone badania i analizy pod kątem oceny kondycji drzew posadzonych na poletku eksperymentalnym pozwalają stwierdzić, iż drzewa rosnące w pod-





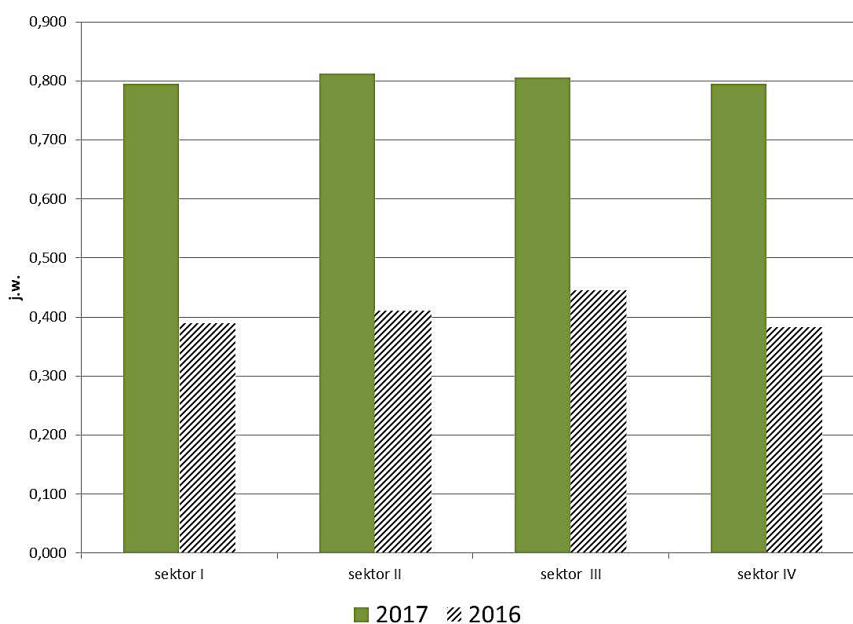
**Rys. 13.** Zawartość flawonoli (Flv)  
**Fig. 13.** The content of flavonols (Flv)



**Rys. 14.** Wskaźnik bilansu azotu (NBI – ang. Nitrogen Balance Index)  
**Fig. 14.** Nitrogen balance indicator (NBI – Nitrogen Balance Index)

łożu strukturalnym są w dobrej kondycji, a ich parametry zdrowotne nie różnią się znacząco w odniesieniu do drzew z poletka kontrolnego. Stwierdzono najwyższe temperatury koron w przypadku drzew rosnących w ekstremalnych warunkach siedliskowych. Natomiast zmiany pozostałych parametrów jednak są bardzo dynamiczne i niezbędne są dalsze badania pozwalające na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków. Biorąc pod uwagę aspekt ekolo-

giczny, podłoża strukturalne wykonane w całości z naturalnych materiałów przyczyniają się do zwiększenia ilości drzew w miastach. Nie poruszaliśmy tutaj tematu związanego z kosztami przygotowania podłoży strukturalnych. Są one wyższe od dotychczas stosowanych, ale skuteczność stosowania tej metody i uzyskanie pozytywnego efektu ekologicznego powinna przechylić szalę na korzyść podłoży strukturalnych.



**Rys. 15.** Maksymalna wydajność kwantowa (Fv/Fm) fotosystemu drugiego PSII  
**Rys. 15.** Maximum quantum efficiency of the photoelect system of the second PSII  
 (Fv/Fm – Maximal quantum efficiency)

## BIBLIOGRAFIA

1. Alvem, B.M., Embrén, B., Orvesten, A. Stål, Ö. 2009. Planting beds in the City of Stockholm: a handbook, City of Stockholm.
2. Borowski, J., Pstrągowska, M., 2010. Effect of street conditions, including saline aerosol, on growth of the small-leaved limes. Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego, 58, 15–24.
3. Craul P.J. 1994: Urban Solis; An Overview and Their Future [w:] Landscape Below Ground, The International Society of Architecture, Savoy, USA, 120-124.
4. Lindley P.A. Gross R., Milano B. 1995: An investigation to Assess the Impact of Street Infrastructure Improvements on the Roots of Adjacent Cork Oak Trees. Trees and Building Sites ISA, Savoy, Illinois, 22-32.
5. Suchocka, M. 2013. Podłoża strukturalne i inne metody ułatwiające rozwój drzew w trudnych warunkach siedliskowych miast.
6. Suchocka, M. 2010. Wpływ warunków siedliskowych na żywotność drzew na terenie budowy. Praca doktorska w Katedrze Architektury Krajozbrazu WOIAK, Warszawa.
7. Szczepanowska, H.B., 2001. Drzewa w mieście, Warszawa: Hortpress.
8. Urban J. 2008: Up By Roots Healthy Soils and Trees in the Built Environment. ISA, Champain Illinois, 95-96.