



SUCHOCKA MARZENA

Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
marzena_suchocka@sggw.pl



AGATA MILANOWSKA

Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
agata_milanowska@wp.pl

Podłoża strukturalne jako inżynieryjne rozwiązanie ochrony drzew w miastach

Drzewa pełnią szereg funkcji w krajobrazie współczesnych miast. Zapewniają korzyści zwane usługami ekosystemów dla mieszkańców, które przejawiają się wieloma aspektami, poczynając od pozytywnego wpływu na poprawę zdrowia a kończąc na obniżeniu rachunków za ogrzewanie mieszkań. Drzewa są równocześnie jednym z najważniejszych „narzędzi” pozwalających na zwiększenie stopnia dostosowania się miast do zmieniających się warunków klimatycznych, czyli poprawy rezyliencji miasta. Stanowią one integralną część dróg – nasadzenia przydrożne zostały stworzone przez

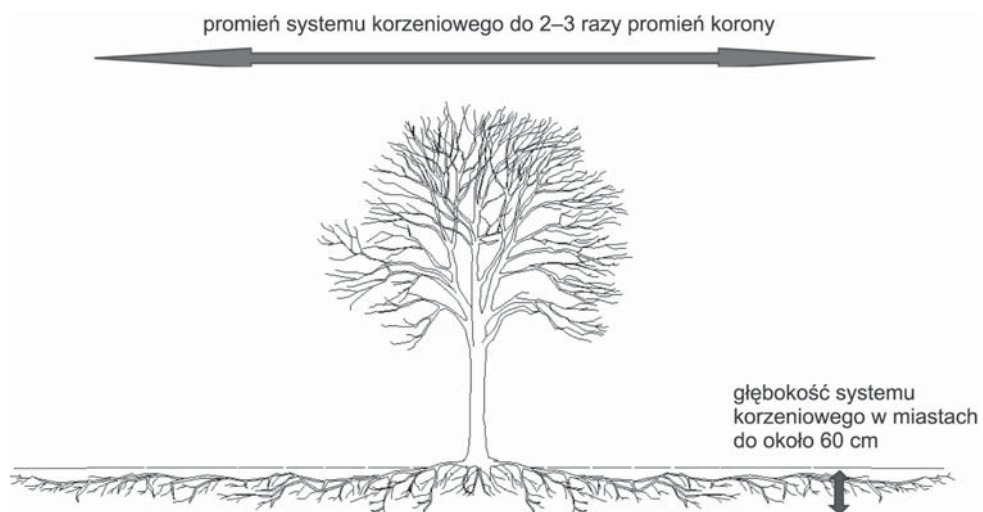
drogowców. Obecność drzew na terenach zurbanizowanych powoduje jednocześnie szereg problemów wynikających z braku wiedzy w zakresie ich wymagań rozwojowych oraz możliwości rozwiązywania konfliktów pomiędzy roślinnością a infrastrukturą. Problemy pojawiają się najczęściej w kontekście budowy, przebudowy lub remontu układu komunikacyjnego. Działania takie jak zmiany w układzie dróg, przebudowa, modernizacja, poszerzenie pasa drogowego kosztem pasa zieleni, cięcie/redukowanie systemu korzeniowego na potrzeby budowy komunikacji odbywają się kosztem drzewostanu. Wpisanie wniosku „kolizja z projektowaną inwestycją” w dokumencie będącym podstawą do wnioskowania o usunięcie drzew nie jest rozwiązaniem optymalnym i prowadzi bardzo często do usuwania cennych drzew. Należy przy tym pamiętać, że odtworzenie drzewa stuletniego trwa niestety nie mniej niż sto lat. Wiele cennych drzew można zachować przez zastosowanie rozwiązań inżynieryjnych, takich jakie zostały opisane w niniejszym artykule. Rozwiązania tego rodzaju nie generują zazwyczaj dodatkowych kosztów, natomiast pozwalają na długie i bezpieczne utrzymanie drzew w pasach drogowych. Drzewa posadzone bez specjalnych rozwiązań inżynieryjnych nie osiągną rozmiarów okazów dojrzałych. Wiele drzew już rosnących można zachować przy zastosowaniu rozwiązań specjalnych takich jak: podłoża strukturalne, podwie-

sane chodniki oraz zastosowanie nawierzchni wodoprzepuszczalnych w celu poprawy warunków siedliskowych rozwoju korzeni. Problem braku właściwych warunków siedliskowych przyczyniających się do rozwoju drzew dotyczy zarówno drzew nowo sadzonych, jak również drzew już rosnących. W przypadku drzew nowo sadzonych częstą praktyką jest sadzenie drzew w misach o wymiarach $0,7 \times 0,7$ lub 1×1 m. Drzewa te w trudnych warunkach siedliskowych w centrach miast dożywają 7 do 10 lat. Bez zapewnienia odpowiednich warunków do rozwoju nie jest możliwe uzyskanie długich rokowań ich życia i co za tym idzie sukcesu ich sadzenia. Również drzewa już istniejące mają ograniczoną tolerancję na uszkodzenie korzeni, która często ma miejsce przy przebudowie dróg i chodników. Uszkodzenie 45% systemu korzeniowego powoduje odsunięcie w czasie zamieranie drzewa [9].

W artykule przedstawiono zastosowanie podłoży strukturalnych, w celu godzenia interesów dróg i wymagań rozwojowych drzew.

Kształt systemu korzeniowego drzewa

Antropogeniczne gleby miejskie charakteryzują się z reguły dużym zagęszczeniem, zmniejszonym napowietrzeniem, niewielką wodoprzepuszczalnością, zmniejszonymi zdolnościami zatrzymywania wody. Stanowi to barierę dla penetracji korzeni spowodowaną utratą makroporów i powoduje wypływanie systemu korzeniowego drzew [4]. Korzenie drzew na terenach miast rosną w miejscach, gdzie występują odp-



Rys. 1. Kształt i zasięg systemu korzeniowego w warunkach miejskich – schemat budowy (rys. M. Suchocka)

wiednie warunki glebowe, zasobne zwłaszcza w wodę, tlen i składniki pokarmowe. Poziomy i pionowy kształt systemu korzeniowego i zdrowotność drzew zależy zatem od objętości i jakości przestrzeni glebowej zajętej przez korzenie [7]; [8]; [9]; [15]; [17].

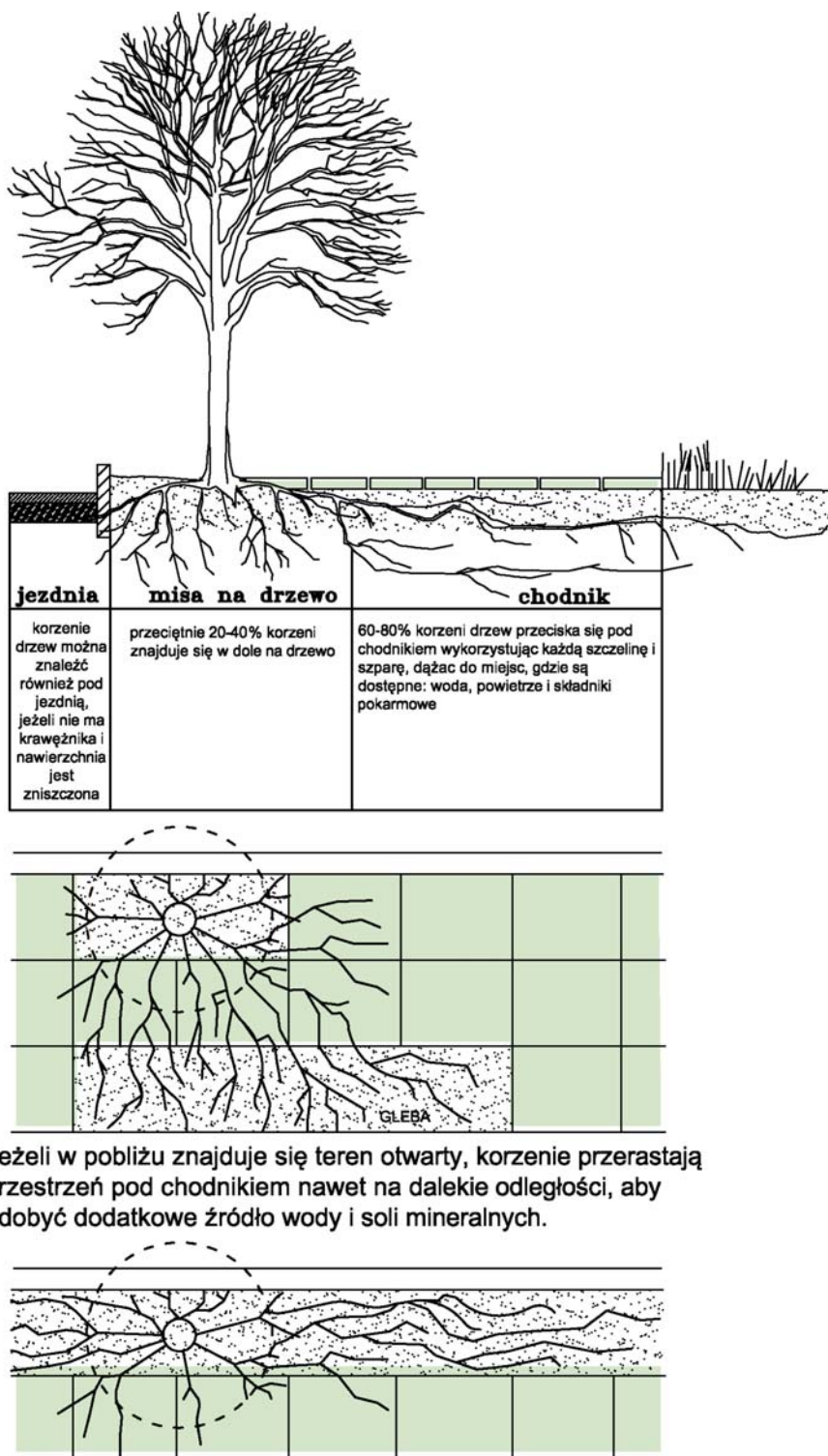
System korzeniowy drzew rosnących w korzystnych warunkach składa się z korzeni głównych i żywicielskich, które w pełni rozwijają się w fazie dojrzałości drzewa. Korzenie główne sięgają 2–3 metrów od pnia [6]; [5]; [15]; [16]. Płytkie korzenie horyzontalne u nasady pnia są grube i nieregularne i zwężają się do cylindrycznego kształtu o niewielkiej średnicy w odległości około 1 m od pnia.

Głębokość ukorzenienia zależy od poziomu wody gruntowej i właściwości gleby. W trudnych warunkach występujących w miastach głębokość jest z reguły wyjątkowo mała. Pomiedzy zdrewniałymi korzeniami o dużych średnicach znajduje się dużo podobnych do lin zdrewniałych korzeni pokrytych cienkimi korzeniami niezdrewniałymi. W przypadku wielu gatunków częstym zjawiskiem są zrosnięcia korzeni drzew sąsiadujących tego samego gatunku [5]. Zaobserwowano też gwałtowne kierowanie się korzeni zdrewniałych w głąb gleby przed krawężnikami ograniczającymi nawierzchnię. Nie znaleziono tych korzeni powracających za krawężnikiem pod nawierzchnią [10].

Na rysunku 1 przedstawiono teoretyczną zależność pomiędzy średnicą korony drzewa a zasięgiem systemu korzeni żywicielskich. Wyrastające z korzeni horyzontalnych inne korzenie z powodu drobnych rozmiarów nazywane są również włosnikowymi. Rosną w górę, w stronę powierzchni gleby, rozrastają się głównie w strefie 7–15 cm [5], [7] lub 15–30 cm poniżej poziomu terenu [17] i stanowią główną część powierzchni systemu korzeniowego. W przypadku drzew nasadzonych w szkółkach korzenie zlokalizowane są 15–40 cm poniżej poziomu gruntu a największe ich zagęszczenie znajduje się w sektorze północnym [17].

W miastach przestrzeń dla korzeni drzew jest mocno ograniczona. Duży wpływ mają kolizje z sieciami oraz z ciągami komunikacyjnymi obejmującymi grube podbudowy z kruszywa, z reguły przykryte warstwami nieprzepuszczalnymi. W trudnych warunkach korzenie mogą zajmować bardzo nieregularną powierzchnię, w zagęszczonym podłożu, niekiedy z dużą zawartością gruzu, natomiast ubogim w powietrze glebowe (rys. 2).

Jak wynika z informacji zawartych w literaturze technicznej, kształt systemu korzeniowego drzew rosnących w warunkach miejskich jest zazwyczaj nieregularny, a głębokość korzeni żywicielskich, odpowiedzialnych za pobieranie wody z solami mineralnymi, nie sięga poniżej 30 cm. Można przyjąć, że 90% systemu korzeniowego zlokalizowane jest w warstwie gleby o głębokości do 40 cm.



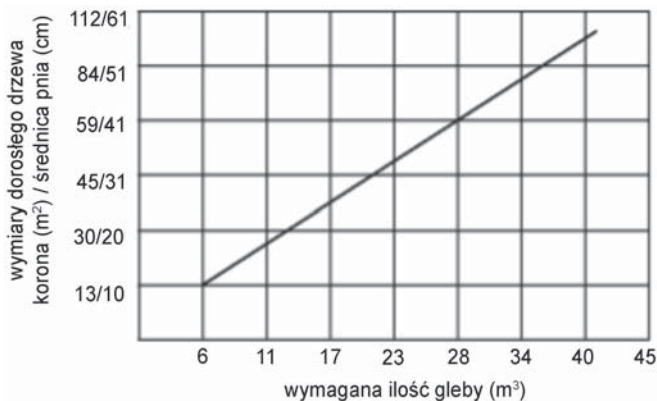
Jeżeli w pobliżu znajduje się teren otwarty, korzenie przerastają przestrzeń pod chodnikiem nawet na dalekie odległości, aby zdobyć dodatkowe źródło wody i soli mineralnych.

Korzenie ściśnięte w wąskich pasach trawnikowych wzdłuż ulic rozprzestrzeniają się głównie pod powierzchnią trawników. Część z nich przerasta pod chodnik.

Rys. 2. Rozmieszczenie korzeni pod jezdnią, chodnikiem i w pasie zieleni [15]

Objętość gleby niezbędna do rozwoju drzewa

Działania związane z procesami inwestycyjnymi mogą prowadzić do degradacji gleby. Degradacja gleby, która jest kluczowym czynnikiem wpływającym na prawidłowy rozwój drzew, jest procesem nieodwracalnym, gdyż nie ma skutecznej i szybkiej metody przywrócenia jej struktury i właściwości. Dla prawidłowego rozwoju systemu korzeniowego jest konieczne, aby były spełnione sprzyjające warunki umożliwiające stały jego wzrost, ponieważ tylko rozrastające się korzenie żywicielskie mają zdolność do pochłaniania wody i zawartych w niej soli mineralnych [15]. Przykładowo, wymagana optymalna objętość podłoża w przypadku drzew o średnicy pnia do 10 cm, sadzonych w miastach wynosi 6 m³ [16]. Objętość gleby niezbędna do rozwoju drzew można określić w odniesieniu do powierzchni rzutu korony lub średnicy pnia dorosłego drzewa (rys. 3). Do obliczeń należy uwzględnić warstwę gleby o grubości 90 cm. Jest to warstwa, w której żyją korzenie żywicielskie oraz gleba potrzebna do zachowania stabilnych warunków do ich rozwoju. Warstwa 60 cm jest w tym przypadku minimalną miąższością gleby pozwalającą na uzyskanie stabilnych warunków rozwoju systemu korzeniowego.



Rys. 3. Wymagana optymalna ilość gleby w przypadku drzew sadzonych w miastach w odniesieniu do powierzchni rzutu korony lub średnicy pnia planowanego dojrzałego drzewa [16]

z dodatkowym zasoleniem potęguje skutki suszy fizjologicznej. Zagęszczenie gleby zmniejsza jej przepuszczalność i utrudnia wymianę gazową. Skutkiem tego jest deficyt powietrza. Niewystarczająca dostępność tlenu w zagęszczonej glebie ogranicza rozwój i funkcjonowanie korzeni. W sytuacji, gdy ograniczony jest rozrost masy korzeniowej z powodu zagęszczonej gleby, dla roślin dostępne jest mniej składników pokarmowych i wody [12]. Z czasem staje się to przyczyną niewłaściwego rozwoju, a w konsekwencji zamierania i usychania drzewa (fot. 1).



Fot. 1. System korzeniowy drzewa rozwinięty w misie chodnikowej – korzenie nie wydostały się poza obręb misy (fot. Podgórska)

Kolizje z infrastrukturą podziemną dotyczą wszystkich mediów. W badaniach prowadzonych na Pradze Południe w Warszawie sprawdzona została częstotliwość ich występowania. Badania wykazały, że najbardziej powszechne są kolizje z instalacjami telekomunikacyjnymi i gazowymi (rys. 4). Poniżej przedstawiono przykładowe wytyczne w zakresie dozwolonych odległości sadzenia drzewa dla podanych dwóch często występujących kolizji.

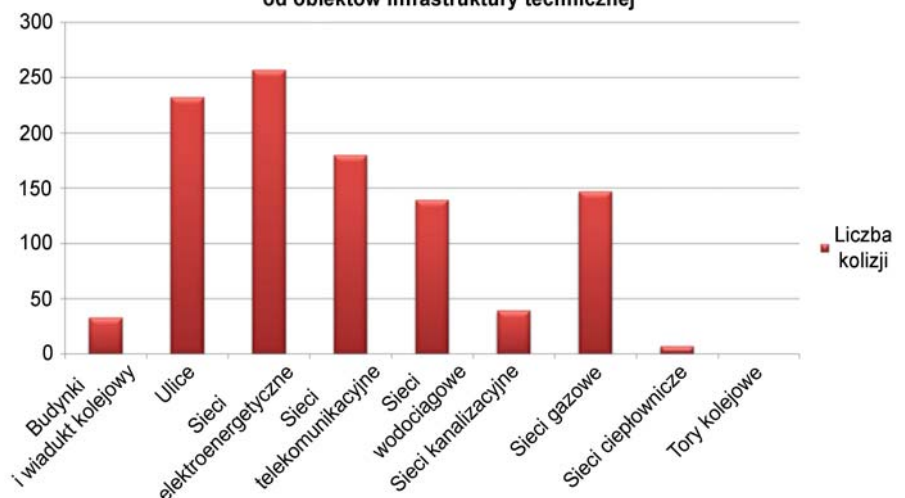
Odległości drzew od linii telekomunikacyjnych

Odległości drzew od podziemnych linii telekomunikacyjnych regulują następujące akty prawne i normy branżowe:

Kolizje z infrastrukturą

Zniszczenie i przemieszanie warstw glebowych w trakcie innych robót realizacji ulic, wykonywania uzbrojenia oraz instalacji oraz inne prace budowlane, prowadzą do niszczenia struktury i składu gleb w mieście. Wykonanie nawierzchni i uzbrojenia podziemnego innymi metodami, zbyt blisko drzew, powoduje rozległe uszkodzenia systemu korzeniowego. Obecność uzbrojenia także pogarsza warunki rozwoju korzeni. Przykładowo, przewody do przesyłu ciepłej wody oddziałują niekorzystnie wskutek podgrzewania a tym samym wysuszenia gleby. Podłoże gruntowe w miastach, z reguły wymieszane z różnymi odpadami budowlanymi, może mieć niekorzystny odczyn alkaliczny, co w połączeniu

Analiza przekroczenia bezpiecznych odległości (kolizje) drzew przyulicznych od obiektów infrastruktury technicznej



Rys. 4. Analiza kolizji z sieciami na przykładzie dróg na terenie Warszawskiej dzielnicy Praga-Północ [11]

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać telekomunikacyjne obiekty budowlane i ich usytuowanie z dnia 26 października 2005 r., załącznik nr 1 do Rozporządzenia podaje minimalne odległości usytuowania kanalizacji kablowej i linii kablowej podziemnej od drzew w pasie drogowym. Odległość podstawowa wynosi 2,0 m od łoża pnia drzewa, odległość podstawowa może być mniejsza przy zastosowaniu zabezpieczeń wg uzgodnienia,

- według „Wytycznych zakładania i utrzymania zieleni przydrożnej” dopuszcza się usytuowanie drzew w odległości mniejszej niż 2,0 m od przewodów, pod warunkiem zastosowania zabezpieczeń typu ekran korzeniowy itp., a w przypadku drzew istniejących prowadzenia robót metodą przewiertów i innych metod,
- zgodnie z ustaleniami normy branżowej BN-7/8984-09 „Telekomunikacyjne linie napowietrzne – Ogólne wymagania i badania” na obszarach leśnych, w sąsiedztwie drzew najmniejsza odległość przewodu telekomunikacyjnego od każdego punktu korony, określana przy bezwietrznej pogodzie, powinna wynosić co najmniej:
 - 1 m – w miastach, osiedlach i wsiach;
 - 2 m – w miejscowościach podmiejskich oraz poza terenami osiedli i wsi;
 - 0,5 m w parkach i sadach przy przewodach izolowanych i 1 m przy przewodach nieizolowanych.

Rozporządzenie dotyczy wyłącznie drzew i dla nich określa odległości. Zalecana odległość to minimum 2,0 m od pnia drzewa, przy czym odległość może być mniejsza przy zastosowaniu zabezpieczeń wg uzgodnienia. Rozporządzenie nie określa, jakie to mają być zabezpieczenia, natomiast podają to wytyczne. Rozporządzenie dotyczy zarówno drzew istniejących, jak i nowo nasadzanych. Rozporządzenie nie podaje zaleceń w kwestii odległości krzewów, zatem można wnioskować, że nie ma ograniczeń w lokalizacji krzewów.

Odległości drzew i krzewów od sieci gazowych

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe, z dnia 30 lipca 2001 r., ustala co następuje:

§ 9.4. W strefach kontrolowanych nie należy sadzić drzew.

§ 9.6. Szerokość stref kontrolowanych, których linia środkowa pokrywa się z osią gazociągu, powinna wynosić:

- 1) dla gazociągów podwyższonego średniego ciśnienia i gazociągów wysokiego ciśnienia, o średnicy nominalnej oznaczonej symbolem DN:
 - a) do DN 150 włącznie – 4 m (minimalna odległość sadzenia drzew 2 m od osi),
 - b) powyżej DN 150 do DN 300 włącznie – 6 m (minimalna odległość sadzenia drzew 3 m od osi),
 - c) powyżej DN 300 do DN 500 włącznie – 8 m (minimalna odległość sadzenia drzew 4 m od osi),
 - d) powyżej DN 500 – 12 m (minimalna odległość sadzenia drzew 6 m od osi);
- 2) dla gazociągów niskiego i średniego ciśnienia 1 m (minimalna odległość sadzenia drzew 0,5 m od osi).

§ 9.7. Dla gazociągów układanych w przecinkach leśnych powinien być wydzielony pas gruntu, o szerokości po 2 m z obu stron osi gazociągu, bez drzew i krzewów.

Przedstawione rozporządzenie precyzyjnie określa odległości drzew od gazociągów w zależności od ich ciśnienia.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że przytoczone zapisy dotyczą tylko nasadzeń nowych drzew, a jedynie na terenach leśnych odnoszą się zarówno do drzew i krzewów istniejących, jak i nowo wprowadzanych. Niestety w praktyce gestorzy sieci ograniczają możliwość posadzenia drzew w odległościach sprecyzowanych w wytycznych.

Odległości minimalne są stosowane w celu ochrony uzbrojenia przed korzeniami drzew. Obecny stopień zaawansowania technologicznego oraz duży wybór metod instalowania i remontu instalacji podziemnych powodują, że nie ma konieczności zachowywania odległości zawartych w normach branżowych. Często występuje sytuacja, w której zachowanie zaleceń branżowych uniemożliwia nasadzenie drzew w miastach, szczególnie dotyczy to centrów dużych miast, gdzie drzewa są szczególnie potrzebne. W związku z powyższym, koniecznością jest poszukiwanie rozwiązań, mogących eliminować lub ograniczać konflikt pomiędzy infrastrukturą a systemami korzeniowymi drzew. W sytuacji, kiedy w procesie inwestycji nie jest możliwe zachowanie bezpiecznych odległości od chodników i sieci na etapie inwentaryzacji i gospodarki drzewostanem, istnieje możliwość zaprojektowania a następnie realizacji rozwiązań wspomagających rozwój systemu korzeniowego oraz eliminujących konflikt pomiędzy budową uzbrojenia podziemnego oraz układu komunikacyjnego. Do podstawowych metod, umożliwiających uniknięcia konfliktu pomiędzy infrastrukturą podziemną a korzeniami drzew należą:

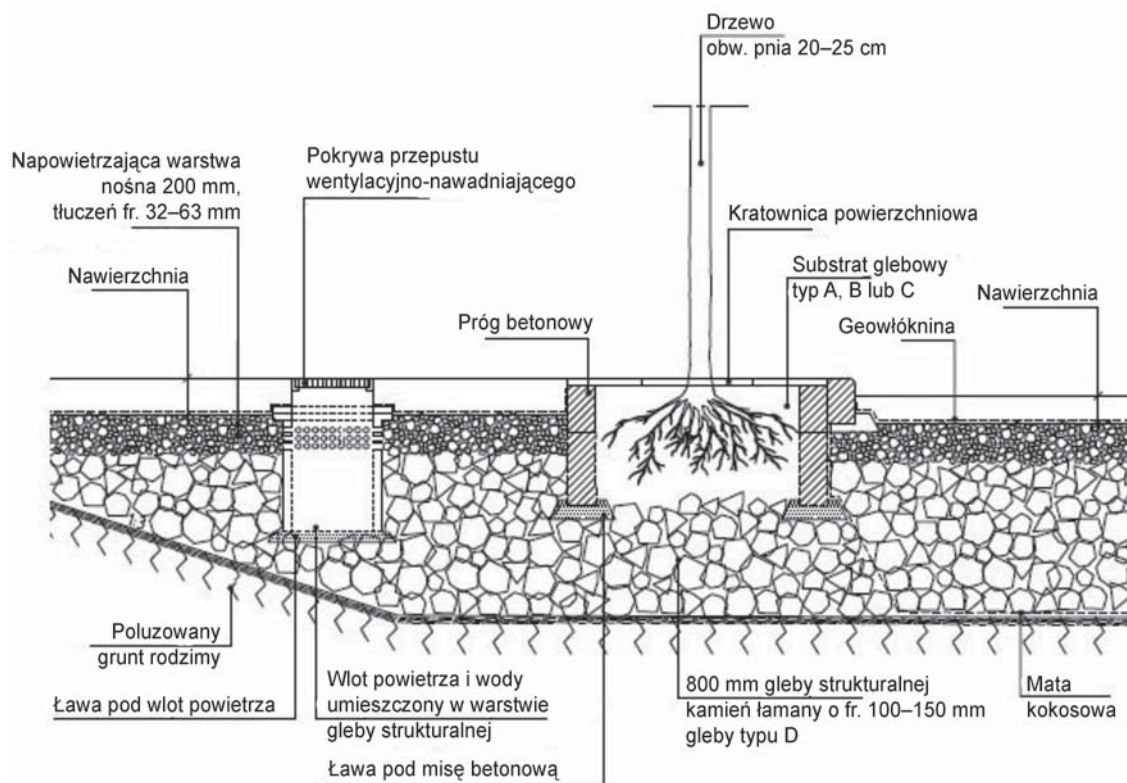
1. budowa i remontowanie instalacji z wykorzystaniem metod bezwykopowych (przecisków),
2. zastosowanie systemów antykompresyjnych jako podbudowy pod nawierzchnie chodników, ścieżek rowerowych oraz jezdni.

Systemy antykompresyjne w postaci mieszanek kamienno-glebowych mogą być również stosowane jako podbudowa dróg dojazdowych do budynków, stanowiących drogi pożarowe. Najlepsze efekty pod względem poprawy warunków rozwoju drzew oraz jednocześnie zwiększenia stopnia lokalnej retencji jest wykonywanie łącznie z podłożami strukturalnymi nawierzchni wodoprzepuszczalnych, tzw. nawierzchni drenażowych.

Systemy antykompresyjne / podłoże strukturalne

Konflikt pomiędzy infrastrukturą a korzeniami drzew może być rozwiązany poprzez zastosowanie systemu antykompresyjnego, tzn. podłoża strukturalnego. Podłoża strukturalne (gleby strukturalne, system antykompresyjny) oparte na kruszywach makadamowych mogą być stosowane jako warstwa nośna nawierzchni, przez co zapewniona może być możliwość dowolnego kształtowania przestrzeni ukorzenienia się drzew. Stwarza to optymalne warunki rozwoju korzeni oraz umożliwia nasadzenia drzew i krzewów nawet w warunkach powtarzającego się zasolenia. Wieloletnie doświadczenia krajów skandynawskich pokazują, że możliwa jest wymiana gleby w systemach korzeniowych drzew w fazie o silnych oznakach stresu abiotycznego. W przypadku właściwego wykonania, daje to bardzo dobre rezultaty w zakresie poprawy żywotności drzew [1]. Ten rodzaj podłoża strukturalnych może być stosowany jako podbudowa pod nawierzchnie chodników, ciągów pie-

Rys. 5. Przykładowy przekrój przez podłoże strukturalne [1]



szo-jezdnych lub parkingów. W przypadku drzew istniejących w metodzie tej zdegradowana gleba usuwana jest w specjalny sposób ze strefy systemu korzeniowego, tzn. wymywana wodą lub z zastosowaniem powietrza pod ciśnieniem. Wymiana gleby przeprowadzana jest z reguły do głębokości 40 cm. Po usunięciu gleby, podglebie pomiędzy korzeniami strukturalnymi jest rozluźniane pod ciśnieniem. W dalszej kolejności układana jest mieszanka kruszywa łamanego warstwami o stopniowanym uziarnieniu (dolna warstwa frakcji kruszywa to 100–150 mm, a górna 62–92 mm). W przestrzenie pomiędzy grubym kruszywem wymywana jest gliniasta ziemia urodzajna, zawierająca 3–4% humusu i rozłożonej próchnicy. Na powierzchni układana jest odpowiednia nawierzchnia, np. trawnik, nawierzchnia utwardzona lub pospółka (rys. 5). Układ frakcji kruszywa powoduje, że mieszanki nie można zagęścić, nawet w przypadku przejazdu samochodów o dużym ciężarze lub przy dużym natężeniu ruchu, dlatego też może służyć jako podbudowa pod nawierzchnię ciągów dla pieszych lub pieszo-jezdnych. Pierwsze projekty w zakresie wymiany gleby zdegradowanej na podłoża strukturalne zrealizowane zostały w krajach skandynawskich w 2002 r. Ich celem było rozwiązanie problemów drzew rosnących wzdłuż ulic, na glebach zasolonych i zdegradowanych. Również w Polsce, na przykład w Poznaniu, zastosowano rozwiązanie projektowe na bazie gleb strukturalnych.

Badania nośności na podstawie eksperymentu

Badania nad systemami kompresyjnymi trwają od lat 60. ubiegłego wieku. W Polsce analizowane były zastosowania podłoży strukturalnych, jak również kondycja posadzonych drzew [13]. Badania wykazały, że najlepsza kondycja noto-

wana była w przypadku drzew sadzonych w mieszankach kamienno-glebowych, dlatego też te mieszanki były przedmiotem dalszych badań [14]. W ramach badań przetestowano różne kruszywa drogowe pod kątem ich właściwości chemiczno-fizycznych, optymalnych do rozwoju korzeni drzew, uzyskania możliwie dobrej nośności nawierzchni, a także do określenia optymalnej procedury wykonania podłoża strukturalnego. W wyniku podjętych działań prototyp podłoża strukturalnego został przekazany do badań w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów (IBDiM), na którym przeprowadzono badania laboratoryjne i obciążeniowe z użyciem płyty statycznej (test VSS). Na podstawie badań opracowano wymogi produkcyjne i wykonano serię próbną, która przekazana została do badań laboratoryjnych. Każda z warstw mieszanki kamienno-glebowej była oceniana oddzielnie z zastosowaniem badania płytą statyczną, w celu określenia ich przydatności jako warstw podbudowy w warunkach miejskich.

Nośność podłoży antykompresyjnych

W przypadku stosowania katalogów projektowania nawierzchni, podłoże drogowe jest standaryzowane w 3 klasach nośności w zależności od obciążenia ruchem (KR). Stosowane podłoża antykompresyjne muszą mieć udokumentowaną nośność, odpowiednią w zależności od obciążenia ruchem, który zgodnie z Katalogami [19, 20] wynosi:

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

- W przypadku dróg rowerowych i ciągów pieszo-jezdnych $E_2 > 60$ MPa.

Badania podłoża wykonane przez IBDiM wykazały, że jest ono odpowiednie do wszystkich wymienionych zastosowań.

Problemem może być nieprawidłowy odczyn kruszywa, czyli wysoka wartość wskaźnika pH, świadcząca o alkalizacji środowiska, powodująca ograniczenie dostępności mineralnych substancji odżywczych [2], [18]. Optymalne pH podłoża dla większości roślin zawiera się w przedziale 5,5–6,3 [3]. W związku z powyższym zarówno pH substratu, jak również kruszywa powinno mieścić się w przedziale dla nich zalecanym.

Podsumowanie

Drzewa w trudnych warunkach miejskich, przy zwiększającej się presji inwestycyjnej znikają z miast. Nie wszędzie istnieje możliwość ich nasadzenia, nie zawsze również należy chronić drzewa istniejące, znajdujące się już w słabej kondycji. Zastosowanie prostych i tanich metod inżynierskich pozwala na utrzymanie drzew w miejscach, w których nie byłoby to możliwe.

Drzewa nowo sadzone w standardowy sposób mają trudności z rozwojem w trudnych warunkach i decyzja dotycząca nowych nasadzeń powinna zostać podjęta w powiązaniu z modyfikacją siedliska, przykładowo przez wprowadzenie systemów antykompresyjnych. Drzewa, które będą sadzone w trudnych warunkach, będą rosły krótko i nie osiągną docelowych rozmiarów. Szczególną koniecznością staje się ochrona istniejących dużych drzew, gdyż obecnie nasadzone nie zawsze osiągną takie rozmiary w trudnych warunkach miast. Do uzyskania obu tych celów wskazane jest zastosowanie podłoża strukturalnego opartego na mieszankach kamienno-glebowych.

Podłoża strukturalne mogą być stosowane jako warstwy nośne nawierzchni, a ponieważ te wykonywane są na głębokość 60-90 cm, mogą stanowić środowisko życia korzeni, a jednocześnie nie kolidować z podziemnymi instalacjami.

Zgodnie z Raportem IBDiM, nośność badanej podbudowy z mieszanki kamienno-glebowej uzyskana na górnej warstwie profilu wyniosła $E_2 = 132$ MPa, co świadczy o spełnieniu wymagań dla podłoża pod konstrukcje dróg o ruchu ciężkim. Ponadto uzyskany wskaźnik odkształcenia ($E_2/E_1 = 2,18$) świadczył o prawidłowym zagęszczeniu tej warstwy. Wierzch górnej warstwy podłoża strukturalnego należy traktować jako podłoże konstrukcji drogi. Na tym podłożu posadowiona jest droga o konstrukcji dostosowanej do obciążenia przyjętego z [1].

Niżej leżąca warstwa charakteryzuje się również wysoką nośnością – o wartości modułu $E_2 = 80$ MPa. Pomierzony wskaźnik odkształcenia $E_2/E_1 = 3,32$ wskazuje, że warstwa jest prawidłowo zagęszczona. W przypadku kruszyw grubych, a takie zostało zastosowane na dolną warstwę, kryterium zagęszczenia można przyjąć $E_2/E_1 < 4,0$, zgodnie z normą PN-S-02205.

Zarówno instalacja (budowa), jak i remont mediów są możliwe w bezpośrednim sąsiedztwie drzew, a nawet pod nimi, przy zastosowaniu technologii bezwykopowych, które eliminują konflikt pomiędzy instalacjami a drzewami. Zastosowanie nawierzchni wodoprzepuszczalnych pozwala dodatkowo na zaopatrywanie korzeni drzew w wodę, a jednocześnie na poprawę zdolności retencyjnej terenów miejskich, co jest bar-

dzo istotne z uwagi na coraz częściej zdarzające się lokalne podtopienia.

Zastosowanie prezentowanych rozwiązań inżynierskich pozwala na wprowadzenie drzew na tereny o dużej presji antropogenicznej, a także na rozwiązywanie konfliktów pomiędzy infrastrukturą a nowymi nasadzeniami. Rozwiązania takie stają się coraz bardziej popularne, co wynika z dużej presji społecznej związanej z dążeniem do rozwiązywania opisanych konfliktów. W przeciwnym razie drzew z miast będzie ubywać, czego nie życzą sobie mieszkańcy.

Bibliografia

- [1] Alvem, B.M., Embrén, B., Orvesten, A., Stal, Ö., 2009. Planting beds in the City of Stockholm. A handbook, City of Stockholm.
- [2] Bassuk N. L., Trowbridge J. 2004: Trees in the Urban Landscape. Site Assessment, Design and Installation. John Wiley & Sons, Hoboken, NY.
- [3] Bręś W. 2008: *Czynniki antropopresji powodującej zamieranie drzew w krajobrazie miejskim*. Nauka Przyroda Technologie. http://www.npt.up-poznan.net/tom2/zeszyt4/art_31.pdf [dostęp 01.02.10]
- [4] Craul P.J. 1994: Urban Solis; An Overview and Their Future [w:] Landscape Below Ground, The International Society of Architecture, Savoy, USA, 120-124.
- [5] Dujesiefken D., Drenou C., Oven P., Strobbe H. 2005: Arboricultural Practices [w:] Urban Trees and Forests, 419-441.
- [6] Hamilton W.D. 1998: Significance of Root Severance on Performance of established trees. Journal of Arboriculture, 12, 288-292.
- [7] Kosmala M. 2005: *Co każdy arborysta o korzeniach drzew wiedzieć powinien*. Uprawa i Ochrona Drzew nr 14., Międzynarodowe Towarzystwo Uprawy i Ochrony Drzew, 31-41.
- [8] Kosmala M. 2001: *Systemy korzeniowe drzew. Fakty i mity*. [w:] *Zieleń Warszawy. Problemy i nadzieje*. Mat. Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej, Warszawa-Powin, 57-72.
- [9] Kosmala M., Rosłon-Szeryńska E., Suchocka M. 2009: Influence of Mechanical Damage on the Condition of Trees. Ann. Warsaw Agricul. Univ. – SGGW
- [10] 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.
- [11] Sobczyński L. 2014: *Odległości drzew i krzewów od obiektów budowlanych i innych w Polsce – stan aktualny*. Człowiek i Środowisko, 38/1 s. 79-123
- [12] Suchocka M. 2011: *Wpływ biotycznych warunków siedliskowych na stan drzew na terenach budowy oraz po zakończeniu inwestycji*. Człowiek i Środowisko, 35 (3-4) 2011, s. 19-34.
- [13] Suchocka M., Milanowska A. 2013: Overview of techniques to improve trees habitat conditions in urban environment in regard to the possibility their application in Polish conditions. Man and Environment 3-4/2013. IGPIIM, Warsaw.
- [14] Suchocka M., Kociel 2016: Structural soil in dense city areas - functions and chances for urban greenways development Proceedings of 5th Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning Budapest
- [15] Szczepanowska H.B. 2001: *Drzewa w mieście*, Hortpress Warszawa, 151, 168-169.
- [16] Urban J. 2008: Up By Roots Healthy Soils and Trees in the Built Environment. ISA, Champaign Illinois, 95-96,
- [17] Watson G.W. 2005: Root Development After Transplanting [w:] The Landscape Below the Ground, ISA, Champaign Illinois, 54-68.
- [18] Zimny H. 2005: *Ekologia miasta*. Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzczak, Stare Babice.
- [19] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych; Załącznik do zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- [20] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych; Załącznik do zarządzenia Nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.