

PROJEKT BADAWCZY
zielonej rewitalizacji ulic:
Kazimierza Wielkiego, 1 Maja i Kolegialnej w Płocku
oraz postrzegania zieleni przez mieszkańców miasta

Opracowali:

prof. dr hab. inż., Małgorzata Kacprzak

dr hab. inż. Renata Walczak, prof. uczelni

dr inż. arch. Justyna Janiak

dr inż. Piotr Gryspanowicz

Zakres dotacji celowej uregulowany został umową
nr 1/WKŚ-II/Z/392/2022 z 11.03.2022 r. oraz aneksami

Dotujący:

Gmina – Miasto Płock



Zakres dotacji celowej uregulowany został umową nr 1/WKŚ-II/Z/392/2022 z 11.03.2022 r. o udzielenie dotacji celowej na realizację Projektu badawczego dotyczącego zielonej rewitalizacji ulic: Kazimierza Wielkiego, 1 Maja i Kolegialnej w Płocku oraz postrzegania zieleni przez mieszkańców miasta realizowanego w ramach realizacji zielonej rewitalizacji wybranych ulic miasta Płocka, zawartej pomiędzy: Gminą – Miasto Płock a Politechniką Warszawską Filią w Płocku.

Dotowany każdorazowo informował, że projekt badawczy był finansowany ze środków otrzymanych od Dotującego. Informacja na ten temat znajdowała się we wszystkich publikacjach, informacjach dla mediów, ogłoszeniach oraz wystąpieniach publicznych dotyczących realizowanego zadania.



Wskazanie publikatorów, w których zamieszczono informacje na temat projektu badawczego.

- <https://plock.naszemiasto.pl/zielona-rewitalizacja-centrum-miasta-miasto-plock-podpisalo/ar/c1-8721555>
- <https://www.pw.plock.pl/Filia/Aktualnosci/Zielona-rewitalizacja-centrum-miasta>
- <https://plock.fm/zielona-rewitalizacja-plocka-2/>

- <https://portal.plocman.pl/aktualnosci/zielona-rewitalizacja-centrum-miasta,524552.html>
- <https://rmixx.pl/wywiady/trwa-zielona-rewitalizacja-plocka>
- <https://www.eska.pl/plock/szykuje-sie-zielona-rewitalizacja-centrum-plocka-aa-jfPa-Ypi9-mo9z.html>
- <https://tp.com.pl/artukul/zielen-wroci-na-plocka/1286576>
- <https://dziennikplocki.pl/329639/aby-drzewom-w-plocku-zylo-sie-lepiej-ta-rewitalizacja-odmieni-miejska-przestrzen-foto/>
- <https://plock.wyborcza.pl/plock/7,35681,29157483,ponad-5-5-tys-drzew-ubylo-w-niespelna-piec-lat-w-plocku-a.html>

Sprawozdanie merytoryczne oprócz powyższego dokumentowego opracowania strategii informacyjnej i promocyjnej dla Urzędu Miasta zawiera opis przeprowadzonych badań oraz ich wyników zrealizowanych w ramach prac badawczych, finansowanych z przyznanej dotacji, w tym:

- dokumentowego opracowania z przeprowadzonych badań diagnostycznych – monitoring jakości gleb i gruntów, przeprowadzonych na ul. Kazimierza Wielkiego, ul. Kolegialnej i 1 Maja,
- dokumentowego opracowania wariantów koncepcyjnych zwiększenia powierzchni biologicznie czynnych, rozplanowania zieleni i innych elementów małej architektury (nawierzchnie inteligentne) oraz propozycji zastosowania nowoczesnych rozwiązań w zakresie nawierzchni przepuszczalnych od różnych producentów, które mogą wpłynąć na poprawę sytuacji drzewostanu na ulicy Kazimierza Wielkiego,
- dokumentowego opracowania analizy porównawczej wariantów koncepcyjnych poprzez przeprowadzenie komputerowych symulacji mikroklimatycznych uproszczonego modelu ulicy z zielenią, dla ulicy 1 Maja, wraz z analizą kosztową oraz oceną wartości użytkowej, a także zaproponowaniem najlepszego wariantu koncepcji i opracowanie dla wytypowanego rozwiązania uszczegółowionego projektu oraz wykonaniem wizualizacji zazielenienia ulicy.

Monitoring jakości gleb i gruntów na ul. Kazimierza Wielkiego, Kolegialnej i 1 maja w Płocku

1. Wprowadzenie

Obszary miejskie charakteryzują się dużą intensywnością zabudowy i zagęszczeniem populacji przy stosunkowo małej powierzchni terenów zielonych. Betonowa infrastruktura w dalszym ciągu zajmuje dużą powierzchnię. Choć sztuczne powierzchnie pokrywają mniej niż 5% terytorium państw członkowskich i współpracujących z EEA, w latach 2000–2018 znaczny obszar – nieco mniejszy niż Słowenia – został uszczelniony (przez beton lub asfalt). Dobrą wiadomością jest fakt, że tempo przyrostu obszarów o sztucznej powierzchni spadło z 1086 km² na rok w latach 2000–2006 do 711 km² na rok w latach 2012–2018.

„Gleby miejskie” to klasa gleb antropogenicznych, na które w znacznym stopniu wpływa działalność człowieka, występujących głównie, ale nie tylko, na obszarach miejskich. Obejmują one: (1) gleby, które różnią się od sąsiednich obszarów rolniczych lub leśnych, a ich warstwa powierzchniowa do głębokości nawet większej niż 50 cm jest silnie przekształcona przez działalność człowieka; (2) gleby w parkach i ogrodach, które są bliższe glebom rolniczym; oraz (3) gleby (a właściwie grunty bezglebowe) powstałe w wyniku różnych prac budowlanych często zasklepienie. Stąd też jakość gleb może w sposób bezpośredni jak i pośredni wywierać silny wpływ, na infiltrację wody, na rośliny i organizmy glebowe oraz na zdrowie ludzi.

Gleby miejskie są specyficznie ze względu na silne przekształcenia, zdeformowany profil glebowy i obecność wielu dodatkowych składników wpływających na ich właściwości fizyczne i chemiczne – elementów dróg, materiałów budowlanych. Także sposób użytkowania sprawia, że gleby miejskie zwykle są nadmiernie zagęszczone lub nawet zasklepienie. Materiały do budowy dróg (często są to kruszywa odpadowe) tworzą warstwy zalegające na różnych głębokościach. Stają się barierami zarówno fizycznymi jak i hydraulicznymi dla korzeni roślin. Zmiany warunków wilgotnościowych sprawiają, że warstwy często przesuszane są niechętnie penetrowane przez korzenie roślin.

Materiał glebowy znajdujący się w pasie drogowym w obszarze bliższym jezdni charakteryzuje się zwykle mniejszą zawartością frakcji o średnicy 0,02 mm w stosunku do zalegającego dalej od drogi. Uważa się, że ma to związek ze stosowaniem piasku jako materiału podsypkowego pod budowę ciągów komunikacyjnych i chodników, ale także z używaniem piasku do zwalczania śliskości śniegowej na chodnikach. Wpływa to jednak na nadmierne zagęszczenie

i zasklepienie. W wyniku nadmiernego uszczelnienia gleb miejskich mamy do czynienia z dwoma ważnymi zjawiskami:

- spada żyzność gleby – gleba obumiera. W wyniku zabetonowania gleb następuje odcięcie od światła, a przede wszystkim od tlenu, wymiana gazowa nie może już mieć miejsca. Gleba, która była przez długi czas uszczelniona, jest praktycznie martwą glebą.
- bilans wodny jest zaburzony. Woda deszczowa nie może przedostać się do gruntu na uszczelnionych powierzchniach. Ponieważ nie można uzupełnić rezerw wód gruntowych z jednej strony prowadzi to do przesuszenia profilu glebowego, a z drugiej do spływania wody po powierzchni zasklepionej i zabetonowanej gleby do kanalizacji lub tworzenie miejscowych podtopień w przypadku deszczy nawalnych. Nadmierne zagęszczenie gleb obniża w nich zawartość wody, zmniejsza przewodnictwo wodne nasycone i w konsekwencji ogranicza infiltrację. Zniszczeniu ulega także mikroklimat: nie występuje zjawisko ewapotranspiracji i chłodzenia powierzchni gleb.

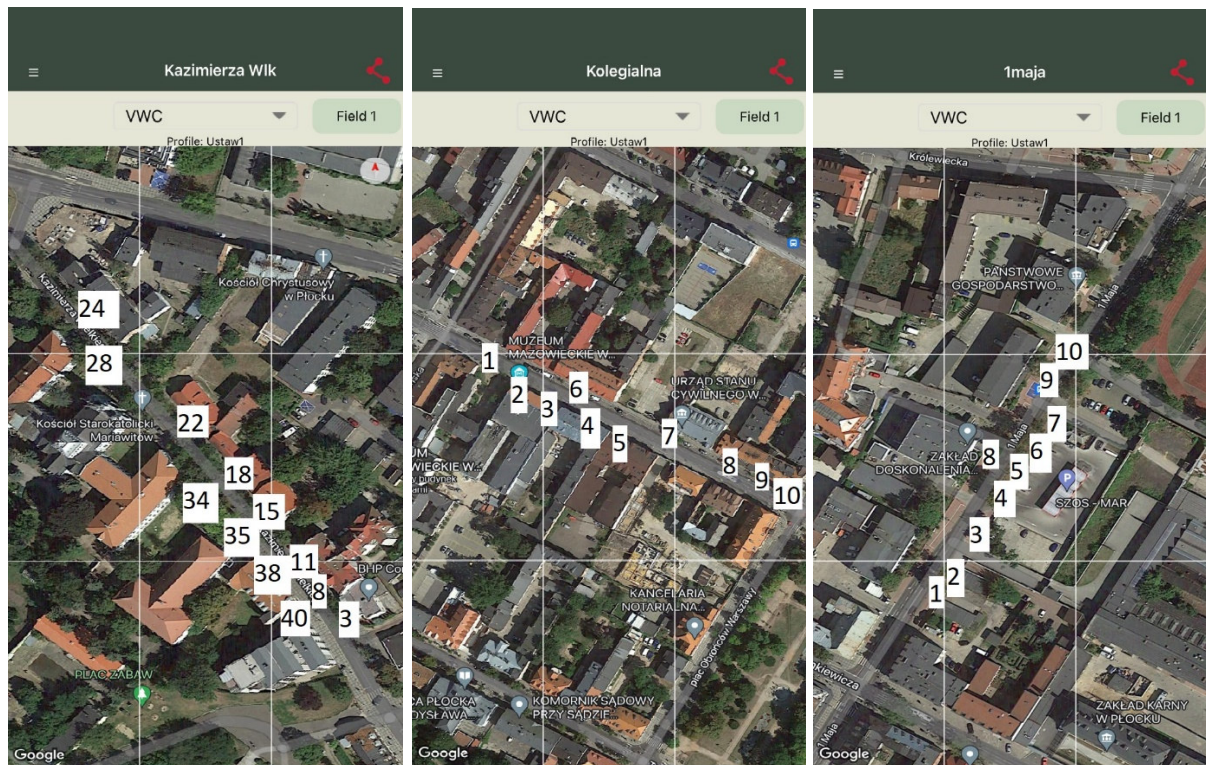
Charakterystyczny dla gleb miejskich jest także obojętny i lekko zasadowy odczyn gleb. Jest to cecha często notowana na obszarach zurbanizowanych, w tym nawet na zadrzewionych terenach zieleni miejskiej. Alkaliczność gleb w miastach związana jest przede wszystkim z nagromadzeniem w nich odpadów budowlanych, opadem pyłów zasadowych, a także stosowaniem środków do odśnieżania ulic.

Zieleń w miastach rośnie w bardzo trudnych warunkach niesprzyjającego siedliska, nadmiernego nasłonecznienia, niewłaściwych stosunków wodnych w obecności zanieczyszczeń nieorganicznych (metale ciężkie) i organicznych (WWA, PCB). Powoduje to utratę kontroli nad składem chemicznym gleb. Miejskie tereny zieleni, zwykle są słabo nawożone, natomiast zwykle często koszone, a resztki roślinne wygrabiane, co powoduje dodatkowy stan niedożywienia roślin przez większość okresu wegetacyjnego.

2. Opis doświadczenia

Badania bazowe:

Badania bazowe (1) prowadzono na ul. Kazimierza Wlk. (wybranej jako ulica testowa) oraz na ulicach Kolegiarna i 1 Maja. Zostało wybranych po 10 drzew na każdej z ulic, gdzie były pobierane próbki gleb (fot.1.).



Fot. 1. Rozmieszczenie miejsc poboru próbek na ul. Kazimierza Wielkiego, Kolegiarnej i 1 maja

Eksperyment z wymianą nawierzchni i podłoża na ulicy Kazimierza Wielkiego:

Na ulicy Kazimierza Wlk. zostały wybrane drzewa o różnej kondycji zdrowotnej i założono poletka doświadczalne:

- drzewa w bardzo złej kondycji (bez rokowań na poprawę kondycji), zostały usunięte a w to miejsce zostały posadzone nowe drzewa i zastosowane nowe podłoże (drzewo nr 11),

- pozostałe w średniej kondycji, zostało wydmuchane i wymienione podłoże na takie wzbogacone w aktywnie biologicznie dodatki (kompost i/lub biowegiel) oraz zastosowana alternatywna nawierzchnia (drzewa nr: 34, 35, 38, 40, 28, 11).



Fot. 2. Drzewo nowo posadzone (pierwsze z lewej) i drzewa z wymienionymi nawierzchniami na ul. Kazimierza Wielkiego. Rodzaje zastosowanych nawierzchni – Teraaway, Ekoway, Hanzaway, Hans Grand, Kostka Domino Eco

W obu przypadkach pobierano próbki gleb w miesiącach od marca do listopada (9 poborów w odstępach miesięcznych) z trzech poziomów: 0-20 cm; 40-60, 70-90 cm. Każdorazowo było to 90 próbek – łącznie ponad 800 próbek. Dodatkowo wykonano analizy on-site przy użyciu miernika wilgotności, temperatury i EC gleby FieldScout TDR 350

Metodyka analiz gleb:

1) W miejscach poboru gleb (Fot.3):

- wilgotność objętościowa [%],
- temperatura [°C]
- przewodność (zasolenie) [mS/cm]



Fot. 3. Pomiary właściwości fizyczno-chemicznych gleb prowadzona in-situ przy drzewach na ulicy Kazimierza Wielkiego, z lewej strony wyniki dla podłoża nie wymienionego, z prawej - wymienione podłoże i nawierzchnia EKOWAY

2) W laboratorium:

Próbki gleb po przewiezieniu do Instytutu Budownictwa PW, były uśredniane i przygotowywane do analiz (Fot. 4).



Fot. 4. Próbkę gleb pobrane na ul. Kazimierza Wielkiego, przygotowane do analiz

- sucha masa gleby i zawartość wody higroskopowej metoda suszarkowo-wagową,
- pH w H₂O i 1MKCl metodą potencjometryczną,
- przewodnictwo elektryczne (EC) metodą konduktometryczną w zawiesinie wodno-glebowej o stosunku wagowym gleba/woda 1:2,5. Właściwość tą przyjęto za miarę zasolenia;
- zawartość jonów Na⁺ i Cl⁻ metodą konduktometryczną
- –gęstość objętościową wg normy PN-B-04481 pkt 5.2.6.

WYNIKI

1. Gęstość objętościowa gruntu

Na terenach miejskich często obserwuje się zjawisko złego uformowania struktury gleby, która jest zaburzona za sprawą działań mechanicznych i depozycji odpadów. Ziarna glębowe są cementowane przez węglany uwalniane z rozkładających się odpadów budowlanych. Zwykle próbki glębowe z terenu miejskiego wykazują gęstość objętościową powyżej $1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ – liczby granicznej, powyżej której następują trudności w korzenieniu się roślin. To poważny problem, zwłaszcza przy nasadzeniach drzew i krzewów, dla których przygotowanie glęb często ogranicza się do zaprawiania materiału podłożową dołków, w które są sadzone. W skrajnych przypadkach ukształtowana przestrzeń glębowa zachowuje się jak doniczka, w której kumuluje się cała masa korzeni rośliny. Nieco lepiej pod względem zagęszczenia glęb wygląda sytuacja wobec utworów piaszczystych, gdzie wartość gęstości objętościowej mieści się w zakresie $1,4$ – $1,78 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Wyniki wartości gęstości objętościowej próbek glęb pobranych ze strefy oddziaływania drzew rosnących przy ulicach Kazimierza Wielkiego, Kolegialna i 1 maja wskazują, że mieszczą się one w zakresach dopuszczalnych dla glęb. W jednym przypadku (ul. Kolegialna) uzyskano wartość $1,70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, co wskazuje na nierównomierne strukturę gruntu w pasie drogowym.

Tabela 1. Wartości gęstości objętościowej w badanych próbkach

miejsce poboru (ulica)	średnia wartość gęstości objętościowej [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
Kolegialna	1,45 (w przypadku jednej próbki 1,70)
Kazimierza Wlk	1,54
1 maja	1,34

Tabela 2. Wartości gęstości objętościowej różnych materiałów

	gęstość objętościowa [g/cm^3]
piasek	1,55-1,65
beton zwykły	2,0-2,2
cement	1,0-1,2
gleba gliniasta	1,38-1,53
piasek słabogliniasty	1,48-1,65

2. Zmiany wartości odczynu (pH) w profilu glebowym

Charakterystyczną cechą dla naturalnych leśnych gleb bielicowych jest niska wartość pH górnych warstw (0–20 cm) - mierzony w H₂O: 3,40-4,10. Analizy prób powierzchniowej warstwy różnych gleb miejskich wykazały natomiast wyższe wartości pH: 6,68-8,18 w H₂O (m.in. w Zielonej Górze czy Szczecinie)

Wiele spośród odpadów wprowadzanych do gleb obszarów miejskich znacząco podnosi odczyn gleb, co jest bardzo niekorzystne z punktu widzenia warunków siedliskowych dla prawidłowego wzrostu drzew. Wapnowanie w prosty sposób reguluje odczyn gleb kwaśnych (szybko wartość pH rośnie). Jednak proces odwrotny jest dość trudny do przeprowadzenia. Depozycja znacznych ilości materiału wapiennego stosowanego do budowy dróg może skutecznie znieść efekt stosowania nawozów fizjologicznie kwaśnych, a nawet (na ogół po pewnym czasie) wprowadzonych mieszanek podłożowych na bazie torfu wysokiego i przekompostowanej kory sosnowej.

Gleby z ulic Płocka także charakteryzowały się w większości przypadków odczynem obojętnym lub lekko zasadowym. I były to wartości, które się zasadniczo nie zmieniały przez cały okres badań (od III do XI 2022). Uzyskane średnie wartości pH pokazują, że na wartość odczynu nie ma większego wpływu głębokość poboru. Co ciekawe ani wymiana nawierzchni, ani podłoża przy drzewach na ulicy Kazimierza Wielkiego, nie spowodowały spadku pH (Tab. 3).

Tabela 3. Zmiany wartości odczynu w profilu glebowym w badanych próbkach pobranych przy ulicach Kolegialnej, Kazimierza Wielkiego i 1 maja - między III a XI 2022

	pH (w H ₂ O)							
	III.22	IV.22	V.22	VI.22	VIII.22	IX.22	X.22	XI.22
wartości średnie								
Kolegialna	7,45	7,26	7,37	7,28	7,10	7,21	7,47	7,35
Kazimierza Wlk – b. w.	8,04	7,86	7,67	7,45	7,16	7,26	8,00	7,66
Kazimierza Wlk – p. w.		7,87	7,71	7,99	7,65	7,43	8,09	7,8
1 Maja	7,86	7,39	7,52	7,57	7,53	7,07	7,75	7,26
średnie wartości w profilu glebowym dla poszczególnych ulic								
Kolegialna								
głębokość [cm]								
0-20	7,44	7,32	7,21	7,10	6,76	7,11	7,36	7,28
40-60	7,52	7,23	7,42	7,28	7,15	7,13	7,42	7,31
60-90	7,38	7,24	7,47	7,47	7,39	7,39	7,64	7,45

Kazimierza Wlk – b.w.									
głębokość [cm]									
0-20	7,77	7,75	7,51	7,33	6,91	7,18	7,93	7,54	
40-60	8,18	7,88	7,70	7,46	7,22	7,27	8,04	7,69	
60-90	8,11	7,95	7,80	7,55	7,34	7,33	8,03	7,76	
Kazimierza Wlk – p.w.									
głębokość									
0-20		7,85	7,65	8,02	7,58	7,43	8,03	7,79	
40-60		7,96	7,76	7,98	7,66	7,45	8,12	7,79	
60-90		7,94	7,72	7,97	7,71	7,43	8,11	7,82	
1 maja									
głębokość [cm]									
0-20	7,77	7,30	7,46	7,52	7,45	7,05	7,749	7,20	
40-60	7,89	7,41	7,54	7,59	7,57	7,05	7,719	7,27	
60-90	7,93	7,48	7,57	7,61	7,58	7,12	7,796	7,31	

b.w. – bez wymiany nawierzchni i podłoża

p.w. – po wymianie nawierzchni i podłoża

Natomiast jeśli dokonać analizy wyników z poszczególnych miejsc poboru próbek (Tab. 4-6) to można zaobserwować pewne odstępstwa. Na ulicy Kolegialnej wyraźnie różne wartości pH uzyskano dla próbek gleby pobieranych po przeciwnych stronach ulicy – niższe od strony gdzie znajduje się Urząd Stanu Cywilnego (próbki numer 6-10).

Tabela 4. Zmiany wartości odczynu w profilu glebowym na ulicy Kolegialnej

		19.03.2022				22.04.2022				24.05.2022				29.06.2022				25.08.2022				30.09.2022				29.10.2022				25.11.2022			
		gleba świeża		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha					
		pH H2O	pHKCl	pH H2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl	pHH2O	pHKCl				
K1	0-20	7,98	8,19	8,11	7,78	7,6	7,32	7,53	7,66	7,41	7,25	6,87	7,4	6,81	6,87	7,35	7,36	7,32	7,01														
	40-60	7,79	7,75	8,12	7,89	7,67	7,45	7,73	7,73	7,52	7,29	7,35	7,49	6,82	6,98	7,47	7,45	7,47	7,06														
	60-90	7,65	7,78	7,78	7,91	7,65	7,53	7,82	7,76	7,93	7,46	7,72	7,6	7,04	7,18	7,87	7,66	7,73	7,29														
K2	0-20	7,9	7,77	8,08	7,85	7,6	7,5	7,43	7,64	7,57	7,39	7,23	7,13	7,44	7,35	7,15	7,19	6,97	6,72														
	40-60	7,95	7,86	8,13	7,9	7,43	7,66	7,62	7,67	7,59	7,41	7,39	7,4	6,37	6,58	7,05	7,17	6,35	5,97														
	60-90	7,68	7,79	7,83	7,88	7,05	7,73	7,75	7,68	7,55	7,4	7,38	7,42	6,38	6,61	7,06	7,07	6,19	6,06														
K3	0-20	7,43	7,74	7,71	7,77	7,34	7,59	7,33	7,66	7,61	7,58	7,15	7,45	7,7	7,18	8,24	7,75	8,44	7,39														
	40-60	8,02	7,93	8,02	7,98	7,61	7,88	7,56	7,74	7,56	7,59	7,45	7,62	8,15	7,44	8,39	7,97	8,48	7,47														
	60-90	8,27	7,93	7,98	7,94	7,57	7,89	7,5	7,77	7,75	7,69	7,48	7,68	8,57	8,05	8,49	7,99	8,48	7,49														
K4	0-20	7,88	7,87	7,84	7,95	7,8	7,72	7,69	7,4	8,01	7,92	7,78	7,65	7,88	7,3	8,24	7,97	7,34	7,28														
	40-60	7,98	7,83	7,87	8,08	7,86	7,81	8,48	8,11	8,62	7,89	8,12	7,7	7,83	7,39	8,26	7,94	7,59	7,31														
	60-90	7,92	7,74	7,71	7,94	7,75	7,82	8,46	8,03	8,53	7,93	8,2	7,74	8,19	7,41	8,32	8,04	7,86	7,4														
K5	0-20	7,96	7,88	7,84	7,83	7,59	7,74	8,1	7,84	7,94	7,73	7,83	7,76	7,86	7,5	8,47	8,05	7,84	7,45														
	40-60	8,08	7,9	7,87	7,86	7,73	7,87	8,35	8,01	8,55	7,77	8,39	7,91	8,16	7,61	8,42	7,98	8,02	7,55														
	60-90	8,00	7,89	7,71	7,88	7,78	8,06	8,27	7,93	8,9	8,13	8,86	7,98	8,47	7,72	8,49	7,96	7,99	7,51														
K6	0-20	7,45	7,18	7,22	6,73	7,56	7,42	6,92	7,13	6	5,98	5,5	5,35	6,62	7,54	6,46	6,06	6,49	6,64														
	40-60	6,79	6,47	6,45	6,16	6,65	6,72	6,91	7,32	5,92	6,14	5,4	4,87	6,45	7,61	6,25	6,16	6,36	6,22														
	60-90	6,22	5,92	5,84	5,89	6,18	6,14	6,77	6,9	6,02	6,45	5,34	5,33	6,61	7,77	6,69	6,86	6,22	5,92														
K7	0-20	7,78	7,8	7,72	7,48	7,8	7,79	7,38	7,76	7,43	7,61	6,32	6,87	6,84	6,99	7,43	7,42	7,74	7,43														
	40-60	7,9	7,77	7,67	7,5	7,32	7,66	7,44	7,69	7,31	7,34	6,55	7,13	7,07	7,21	7,96	7,9	7,74	7,37														
	60-90	7,92	7,92	7,66	7,59	7,54	7,7	7,02	7,38	7,42	7,61	6,93	7,27	7,29	7,34	7,66	7,69	7,97	7,35														
K8	0-20	7,51	7,38	7,31	6,95	7,03	6,88	7,32	7,23	6,31	6,58	6,65	7,29	6,35	6,6	6,53	6,76	6,96	6,72														
	40-60	7,32	7,39	7,1	7,07	6,86	6,85	7,22	7,08	6,43	6,65	7,12	7,36	6,37	6,69	6,5	6,7	6,96	6,75														
	60-90	7,25	7,44	7,08	7,00	7,16	7,36	6,68	7,01	6,35	6,6	7,62	7,47	6,76	6,95	6,72	7,04	7,41	7,27														
K9	0-20	7,61	7,73	7,36	6,90	7,07	7,38	6,53	6,74	6,33	5,76	6,3	5,79	7,75	7,16	7,26	7,34	7,4	6,94														
	40-60	7,59	7,72	7,38	7,28	7,26	7,55	6,62	6,88	6,54	6,77	6,9	7,13	7,89	7,45	7,42	7,47	7,22	6,9														
	60-90	7,58	7,67	7,20	7,17	7,27	7,56	7,19	7,08	7,55	7,21	7,17	7,49	7,91	7,54	7,66	7,75	7,07	7														
K10	0-20	5,76	4,58	5,20	5,04	5,81	5,03	5,88	4,56	6,34	5,83	6,01	5,95	5,85	6,29	6,48	5,67	6,32	6,76														
	40-60	7,08	7,58	6,60	6,93	5,88	5,36	6,24	6,56	6,77	6,57	6,87	7,57	6,17	6,54	6,5	5,41	6,9	6,74														
	60-90	7,37	7,66	7,03	7,19	6,49	6,09	7,23	7,68	6,74	6,84	7,19	7,57	6,59	6,9	7,42	7,45	7,62	7,28														

Inaczej wyglądała sytuacja przy ulicy 1 maja (Tab.5). Niezależnie od miejsca poboru wartość pH była obojętna do lekko zasadowej i nie zmieniała się w czasie.

Tabela 5. Zmiany wartości odczynu w profilu glebowym na ulicy 1 maja

	15.03.2022		22.04.2022		24.05.2022		01.07.2022		25.08.2022		28.09.2022		28.10.2022		30.11.2022	
	pH H ₂ O	pHKCl	pH H ₂ O	pHKCl	pH H ₂ O	pHKCl	pH H ₂ O	pHKCl	pH H ₂ O	pHKCl	pH H ₂ O	pHKCl	pH H ₂ O	pHKCl	pH H ₂ O	pHKCl
1M1	0-20	8,03	7,74	7,74	7,67	7,76	7,06	7,57	6,69	7,52	7,03	7,43	7,7	7,83	7,12	7,58
	40-60	8,26	7,75	7,87	7,84	7,39	7,39	7,49	6,93	7,69	7,12	7,45	7,7	7,95	7,19	7,57
	60-90	8,49	7,94	8,02	7,94	7,56	7,67	7,13	7,91	7,09	7,09	7,44	7,87	8,09	7,28	7,56
M2	0-20	7,92	7,43	7,44	7,65	7,47	7,49	7,1	7,26	7,48	7,48	7,67	7,91	7,32	7,68	7,68
	40-60	7,88	7,27	7,21	7,54	7,37	7,62	7,61	7,56	7,08	7,23	7,43	7,6	7,89	7,3	7,65
	60-90	7,8	7,41	7,34	7,64	7,34	7,64	7,63	7,57	7,02	7,16	7,48	7,58	7,84	7,29	7,5
M3	0-20	7,68	7,46	7,46	7,47	7,46	7,62	7,14	7,51	7,41	6,88	7,07	7,88	7,8	7,87	7,4
	40-60	7,91	7,49	7,39	7,34	7,52	7,21	7,73	7,37	6,76	6,96	7,98	7,8	7,95	7,43	7,43
	60-90	7,93	7,54	7,56	7,53	7,33	7,5	7,22	7,88	7,55	6,74	6,95	8,07	7,86	7,9	7,47
M4	0-20	7,64	7,42	7,33	7,23	7,19	7,11	7,46	7,87	7,42	6,72	6,99	7,7	8,1	7,01	7,14
	40-60	7,84	7,52	7,4	7,51	7,49	7,71	7,6	7,97	7,46	7,2	7,4	7,76	8,09	7,2	7,25
	60-90	8,01	7,64	7,78	7,68	7,62	7,65	7,95	7,52	7,45	7,63	7,99	8,1	7,46	7,48	7,48
M5	0-20	7,45	7,41	7,24	7,16	7,68	7,57	7,55	7,32	7,44	7,27	7,05	6,93	7,82	8	6,86
	40-60	7,64	7,49	7,3	7,4	7,67	7,67	7,65	7,46	7,59	6,98	7,04	7,97	7,96	6,94	7,24
	60-90	7,67	7,54	7,31	7,41	7,60	7,63	7,57	7,49	7,59	7,47	7,10	8,04	7,96	7,01	7,26
M6	0-20	7,95	7,72	7,26	7,4	7,55	7,65	7,31	7,94	7,19	7,54	7,46	8,02	7,71	7,09	7,33
	40-60	8,01	7,66	7,56	7,55	7,69	7,76	7,63	7,54	7,99	7,45	7,47	7,49	7,44	7,64	7,3
	60-90	7,97	7,65	7,64	7,58	7,54	7,8	7,71	7,62	7,69	7,48	7,43	7,5	7,37	7,41	7,35
M7	0-20	7,9	7,61	7,14	7,27	6,99	7,14	7,6	7,35	7,33	7,93	7,02	7,55	7,64	7,12	7,18
	40-60	8,02	7,61	7,2	7,34	7,2	7,28	7,53	7,49	7,51	6,86	7,05	7,58	7,69	7,37	7,22
	60-90	7,97	7,43	7,32	7,52	7,3	7,46	7,55	7,52	7,6	7,34	7,09	7,21	7,85	7,39	7,41
M8	0-20	7,66	7,47	7,33	7,44	7,33	7,5	7,4	7,44	7,74	7,18	6,93	7,12	7,68	7,84	7,23
	40-60	7,65	7,6	7,59	7,69	7,4	7,63	7,58	7,55	7,79	7,39	7,06	7,24	7,7	7,85	7,15
	60-90	7,79	7,75	7,45	7,66	7,5	7,71	7,56	7,64	7,78	7,51	7,09	7,45	7,78	7,84	7,03
M9	0-20	7,61	7,63	7,41	7,43	7,41	7,72	7,57	7,4	7,29	7,56	6,94	7,19	7,74	7,82	7,14
	40-60	7,8	7,67	7,28	7,46	7,46	7,77	7,52	7,68	7,48	7,59	6,92	7,23	7,82	7,87	7,45
	60-90	7,82	7,63	7,09	7,41	7,56	7,88	7,66	7,71	7,53	7,65	7,11	7,36	7,77	7,88	7,27
M10	0-20	7,84	7,84	7,49	7,5	7,72	7,98	7,76	7,64	7,59	7,68	6,94	7,18	7,73	7,19	7,57
	40-60	7,87	7,86	7,54	7,59	7,8	8,02	7,78	7,73	7,61	7,71	6,93	7,22	7,64	7,77	7,59
	60-90	7,88	7,86	7,63	7,66	7,78	8,01	7,75	7,74	7,59	7,75	6,92	7,23	7,64	7,7	7,61

Jeszcze wyższe wartości pH uzyskano natomiast po analizie próbek gleb pobranych na ulicy Kazimierza Wielkiego. Nie miała tutaj znaczenia wymiana podłoża czy nawierzchni (wartości zaznaczone zielonym kolorem). Jest to najprawdopodobniej związane z obecnością dużych ilości materiałów o charakterze zasadowym, których użyto do budowy drogi, a których efekt jest długotrwały.

Rosnące przy tej ulicy lipy należą do gatunków drzew, które preferują odczyn obojętny do lekko-zasadowego.

Tabela 6. Zmiany wartości odczynu w profilu glebowym na ulicy Kazimierza Wielkiego. Kolorem zielonym oznaczono próbki gdzie wymieniono podłoże i nawierzchnie.

		15.03.2022		22.04.2022		24.05.2022		05.07.2022		23.08.2022		30.09.2022		27.10.2022		25.11.2022	
		pH H2O	pHKCl	pH H2O	pHKCl	pH H2O	pHKCl	pH H2O	pHKCl	pH H2O	pHKCl	pH H2O	pHKCl	pH H2O	pHKCl	pH H2O	pHKCl
KW3	0-20	7,61	7,6	7,57	7,86	7,5	7,93	7,05	7,37	6,83	7,58	7,31	7,55	7,47	7,91	7,24	7,95
	40-60	7,7	7,66	7,69	7,78	7,61	7,96	7,3	7,63	7,04	7,63	7,35	7,66	7,9	7,99	7,47	8,01
	60-90	7,68	7,65	7,57	7,75	7,67	7,96	7,61	7,78	7,14	7,73	7,4	7,67	7,87	7,98	7,56	8,05
KW8	0-20	7,21	7,34	7,38	7,56	7,63	8,11	6,86	7,29	7,11	7,76	7,15	7,4	7,89	7,99	7,53	8,11
	40-60	7,87	7,84	7,75	7,88	7,69	8,13	6,96	7,24	7,32	7,96	7,33	7,45	8,16	8,23	7,75	8,16
	60-90	7,86	7,81	7,78	7,83	7,93	8,24	7	7,42	7,35	7,87	7,28	7,6	8,33	8,22	7,92	8,18
KW15	0-20	7,98	7,92	8,09	8,07	7,56	8,04	7,57	7,61	6,8	7,72	7,41	7,57	8,76	8,16	8,01	8,26
	40-60	8,31	8,07	8,17	8,11	7,82	8,13	7,71	7,73	7,07	7,7	7,39	7,58	8,43	8,14	8,08	8,32
	60-90	8,52	8,32	8,08	7,86	7,71	7,87	7,72	7,82	7,34	7,68	7,51	7,63	8,32	8,11	8,06	8,34
KW18	0-20	8,4	8,24	8,12	8	7,68	8,05	7,66	7,8	7,32	8,06	7,5	7,88	8,04	7,96	8,25	8,29
	40-60	8,48	8,3	8,06	8,16	7,92	8,15	7,84	8,04	7,66	8,03	7,63	8,04	8,12	8,12	8,35	8,47
	60-90	8,34	8,33	8,14	8,26	7,99	8,24	7,93	8,11	7,76	8,08	7,71	8,11	8,15	8,25	8,27	8,53
KW22	0-20	6,85	7,31	7,53	7,75	7,08	7,66	7,27	7,82	6,53	7,37	6,48	6,9	7,75	8,28	6,89	7,44
	40-60	7,97	7,8	7,95	8,03	7,44	7,89	7,13	7,71	7,04	7,88	6,76	7,29	7,68	7,75	6,97	7,45
	60-90	7,74	7,92	8,06	8,14	7,67	8,02	7,16	7,73	7,16	7,87	6,87	7,44	7,42	7,93	7,1	7,58
KW24	0-20	8,14	7,89	7,71	7,86	7,59	7,88	7,56	7,85	6,84	7,47	7,23	7,51	7,67	7,95	7,33	7,76
	40-60	8,44	8,13	7,77	7,99	7,74	7,99	7,84	7,89	7,2	7,8	7,18	7,47	7,94	7,81	7,53	7,86
	60-90	8,54	8,28	8,06	8,07	7,81	8,08	7,85	7,85	7,3	7,91	7,19	7,3	8,09	8,07	7,62	7,96
KW28	0-20	7,89	7,74	7,69	7,81	7,8	8,11	7,72	8,11	7,29	7,82	7,16	7,42	7,89	8,1	7,59	7,91
	40-60	8,31	8,29	7,77	7,84	7,88	8,12	7,77	8,12	7,31	7,88	7,28	7,45	7,98	8,09	7,54	7,89
	60-90	7,71	7,67	7,78	7,87	7,54	8,06	7,6	8,06	7,28	7,73	7,28	7,45	7,87	8,05	7,53	7,89
KW34	0-20	8,15	8,12	7,89	7,95	7,71	8,11	7,84	8,11	7,41	7,98	7,4	7,58	8,06	8,02	7,67	7,96
	40-60	8,27	8,2	7,89	7,97	7,74	8,16	8,2	8,16	7,75	8,07	7,22	7,5	8,16	8,05	7,89	8,11
	60-90	8,36	8,27	8,12	8,19	7,81	8,14	8,17	8,14	7,84	8,05	7,38	7,68	8,19	8,09	7,97	8,32
KW40	0-20	7,72	7,84	7,57	7,64	7,21	7,96	8,15	7,96	7,45	7,78	7,24	7,53	7,89	7,94	7,65	7,94
	40-60	8,27	8,21	7,84	7,98	7,7	8,04	7,89	8,04	7,26	7,81	7,2	7,60	7,96	7,99	7,81	7,97
	60-90	8,68	8,41	7,82	7,89	7,76	8,06	7,88	8,06	7,35	7,88	6,86	7,64	7,94	8,00	7,82	8,00
KW35	0-20	8,04	7,97	8,02	7,97	7,78	7,88	8,29	7,88	7,87	7,92	7,48	7,73	8,24	8,11	8,11	8,06
	40-60			7,88	7,92	7,75	8,00	8,09	8,00	8,01	8,06	7,57	7,74	8,33	8,14	8,04	8,08
	60-90			8,02	7,98	7,69	8,03	8,22	8,03	8,03	8,12	7,49	7,77	8,29	8,20	8,06	8,20
KW38	0-20			8,01	7,94	7,73	8,05	8,13	8,05	7,65	7,81	7,54	7,64	8,15	8,21	7,9	8,08
	40-60			7,97	7,99	7,74	8,02	7,84	8,02	7,72	7,94	7,6	7,68	8,25	8,11	7,69	8,05
	60-90			7,95	7,96	7,79	8,05	7,82	8,05	7,78	7,90	7,61	7,70	8,24	8,08	7,69	8,01
KW11	0-20							7,98	7,84	7,82	7,97	7,73	7,54	7,93	7,97	7,8	7,98
	40-60							8,06	8,09	7,92	7,98	7,8	7,57	8,04	7,98	7,78	7,99
	60-90			7,95	7,96	7,79	8,05	8,1	8,08	7,96	7,99	7,95	7,69	8,15	8,03	7,84	8,02

3. Zmiany wartości zasolenia i zawartości NaCl w profilu glebowym

Zasolenie gleby to określenie nadmiernej akumulacji sodu, potasu, magnezu, chloru, siarczanów, węglanów i dwuwęglanów. Zasolenie w miastach jest połączeniem procesów zasolenia na terenach suchych i zalewowych i jest spowodowane głównie używaniem soli technicznej do znoszenia śliskości na ulicach, ale także podnoszeniem się wód gruntowych, które przynoszą sole na powierzchnię łądu. Wzrost poziomu wód gruntowych jest spowodowany zablokowaniem lub zmianą naturalnych dróg odwadniających z powodu zabetonowania czy zalegania na różnych poziomach gruntu warstw uszczelnień.

Zasolenie mierzone jest zwykle przy pomocy przewodności elektrycznej (electrical conductivity - EC) i jest zdolnością materiału do przewodzenia prądu elektrycznego (wyrażana w jednostkach: milliSiemens na metr (mSm^{-1}) lub μScm^{-1}). Przy czym $1 \text{ mS/m} = 10 \mu\text{S/cm}$; $1 \mu\text{S/cm} = 0.1 \text{ mS/m}$.

Roztwory o małym zasoleniu mają EC poniżej 25 mSm^{-1} , a silnie zasolone – powyżej 75 mSm^{-1} . Roztwory o przewodnictwie zbliżonym do 1 mSm^{-1} zawierają około $6,4 \text{ mgdm}^{-3}$ rozpuszczonych soli.

Badania wykonywane w innych miastach Polski wskazują na różne wartości zasolenia. Badania w Zielonej Górze, przeprowadzone w miesiącu czerwcu pokazały, że stopień zasolenia powierzchniowych warstw gruntów mieści się w przedziale od 60 do 888 $\mu\text{S/cm}$. Z kolei analizy gleb z terenu Szczecina pokazały niższe wartości: od 41,7 do 228,6 $\mu\text{S/cm}$.

Ocena stopnia zasolenia gleb wg IUNG na podstawie przewodnictwa elektrolitycznego wyciągów z gleb w stanie pełnego nasycenia [EC 25°C mS/m i $\mu\text{S/cm}$]:

Gleby lekkie niezasolone	0 - 20 mS/m (0-200 $\mu\text{S/cm}$) (brak wpływu na roślinę)
Gleby średnie i ciężkie niezasolone	0 - 40 mS/m (0-400 $\mu\text{S/cm}$) (brak wpływu na roślinę)
Gleby lekkie bardzo słabo zasolone	20 - 40 mS/m (200-400 $\mu\text{S/cm}$),(rośliny wrażliwe na zasolenie plonują słabiej)
Gleby słabo zasolone	40 - 80 mS/m (400-800 $\mu\text{S/cm}$),(wiele roślin uprawnych reaguje obniżeniem plonu)
Gleby średnio zasolone	80 - 160 mS/m (800-1600 $\mu\text{S/cm}$), (tylko rośliny tolerujące zasolenie mogą średnio plonować)
Gleby silnie zasolone	powyżej 160 mS/m (1600 $\mu\text{S/cm}$) (tylko rośliny bardzo odporne na zasolenia mogą rosnąć i plonować).

Wartości średnie zasolenia pobranych próbek gleb zostały podzielone na grupy w zależności od zawartości (Tab.7): gleby niezasolone (zielony kolor tła), gleby słabozasolone (pogrubiona czarna czcionka) oraz gleby średnio zasolone (czcionka czerwona). Wartości średnie (mierzone z 10–12 miejsc) wskazują na zmienność poziomu zasolenia zarówno w poszczególnych miesiącach jak i głębokościach poboru. Średnio najniższe wartości zasolenia odnotowano w próbkach pobranych na ulicy 1 maja (w większości przypadków nie przekraczały wartości 400, a najwyższe na ulicy Kolegialnej. W przypadku próbek pobranych na ulicy Kazimierza Wielkiego tam gdzie nie było wymiany podłoża lekkie przekroczenie oznaczające gleby lekko zasolono odnotowano w maju. Natomiast tam gdzie zostało wymienione podłoże i nawierzchnie odnotowano początkowy wzrost wartości zasolenia, który w miesiącu czerwcu przekroczył wartość 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – wskazując na gleby średniozasolone. W kolejnych miesiącach wartości zasolenia znacznie spadły i nie przekraczały wartości 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, czyli progu wskazującego na zasolenie. Jedynie przy ulicy 1 maja w listopadzie odnotowano przekroczenie i średnia wartość wyniosła 499 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 7. Zmiany wartości średnich zasolenia (na podstawie przewodnictwa elektrycznego) w profilu glebowym w badanych próbkach pobranych przy ulicach Kolegialnej, Kazimierza Wielkiego i 1 maja - między III a XI 2022.

	Zasolenie (przewodność w μScm^{-1})							
	III.22	IV.22	V.22	VI.22	VIII.22	IX.22	X.22	XI.22
wartości średnie								
Kolegialna	814,61	649,87	474,50	578,13	376,80	425,46	729,73	529,07
Kazimierza Wlk – b. w.	35,90	255,12	433,89	398,50	350,65	284,11	380,67	237,17
Kazimierza Wlk – p. w.		699,78	595,77	919,61	337,02	308,20	278,61	287,44
1 Maja	30,92	166,27	228,57	156,93	142,62	273,68	147,10	499,33
wartości w profilu glebowym								
Kolegialna								
głębokość [cm]								
0-20	848,7	753,9	507,9	406,3	376,0	551,9	799,5	616,5
40-60	777,8	641,4	453,1	572,8	331,0	399,3	744,2	494,0
60-90	817,3	554,4	462,6	755,3	422,0	325,2	645,5	476,7
Kazimierza Wlk – b.w.								
głębokość [cm]								
0-20	42,36	382,89	368,68	362,17	478,03	301,17	380,67	237,17
40-60	30,71	205,35	374,17	411,17	279,07	264,88	308,00	234,33
60-90	34,64	177,13	558,82	422,17	294,85	286,33	315,83	223,83

Kazimierza Wilk – p.w.								
głębokość								
0-20		789,33	551,60	316,85	212,55	221,83	183,33	246,33
40-60		990,00	668,60	1353,80	377,88	273,33	270,50	278,67
60-90		320,00	567,10	1025,02	403,98	362,00	340,17	304,56
1 Maja								
głębokość [cm]								
0-20	30,80	177,80	254,53	167,71	146,31	426,70	159,71	809,51
40-60	28,70	157,60	213,23	152,62	135,71	209,11	148,31	340,80
60-90	33,21	163,50	218,04	150,50	145,82	185,32	133,32	347,71

Rozpatrując poszczególne punkty poboru gleb i analizując je później pod kątem zasolenia, wyraźnie widać, że przekroczenia zasolenia mają charakter okresowy i punktowy (Tab.8–10).

Przy ul. Kolegialnej zdecydowanie wyższe wartości zasolenia obserwowano po tej samej stronie ulicy – drzewa nr 6-10. Przy czym najwyższą wartość – 3104 $\mu\text{S}/\text{cm}$ odnotowano w miesiącu marcu (drzewo nr 9), a kolejne w miesiącu czerwcu – 2120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (drzewo nr 8). Natomiast w przypadku drzew nr 1-5 wartości zasolenia były niższe i nie przekraczały 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Wyjątek stanowiło jedno drzewo (nr 2), gdzie podwyższone zasolenie stwierdzono w miesiącach wrzesień-listopad – początkowo na głębokości 0-20 (wrzesień), a potem stopniowo do głębokości 60-90 cm (listopad)

Podobnie wyglądała sytuacja w przypadku próbek pobieranych przy ulicy 1 Maja, gdzie właściwie nie odnotowano większego zasolenia. Tutaj wyjątkiem było drzewo nr 1, gdzie znaczne przekroczenia odnotowano w miesiącu wrześniu i listopadzie na głębokości 0-20 cm.

Tabela 8. Zmiany wartości zasolenia (przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$) oraz NaCl [mg/dm^3] w profilu glebowym na ulicy Kolegialnej

	15.03.2022				22.04.2022				24.05.2022				26.06.2022				25.08.2022				30.09.2022				03.11.2022				25.11.2022			
	gleba świeża		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		gleba powietrznie sucha		przewodność		NaCl		przewodność		NaCl		przewodność		NaCl		przewodność		NaCl		przewodność		NaCl		przewodność		NaCl	
	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3				
K1	0-20	464,3	228,1	60,7	28,7	344	169,1	205	99,7	200	96,4	202	97,6	228	111	919	454	242	116													
	40-60	499,4	239,5	61	28,6	352	172	185,5	86,9	229	110,6	168,5	80,5	171	80	843	417	244	118													
K2	0-20	584,6	283	65,7	30,9	376,6	184,2	202	98,2	201	97,6	135,4	64,1	139,5	66,5	224	108	183	88													
	40-60	556,07	277,4	72	33,8	256	124,6	138,8	65,4	195,9	91,5	187,3	90,1	208,0	108,0	1007	498	1387,5	699													
K3	0-20	383,9	191,07	53,3	25,2	209	100,5	157,1	75,5	198,7	96,1	183	87,7	97,3	480	1186	587	1706,8	874													
	40-60	531,9	261,1	50,7	23,8	220	106,3	175,4	83,2	203	95,1	184,5	88,5	778	383	991	490	1663,4	849													
K4	0-20	559,4	276,3	40,1	18,94	287	137,5	243	118,2	252	122,9	194,8	93,6	229	112	304	148	200	97													
	40-60	227,5	115,25	22	10,38	191,2	91,4	211	101,4	326	157,8	206	99,4	172	82	199	96	143,5	68													
K5	0-20	592,8	296,2	44,4	20,9	215	104,2	254	123,9	260	126,4	189	90,7	179	86	160	76	116	55													
	40-60	500,6	245,2	62,8	29,6	361	176,7	207	100,1	220	108,4	155,3	74	177,3	85	229	110	295	143													
K6	0-20	363,9	178,6	54,2	25,5	208	100,2	224	107,6	236	113,9	177,8	85,1	185	216	205	102	205	98													
	40-60	669,9	334	62,2	29,3	274	133,3	186,5	89,7	145,4	69,1	156,9	74,8	151,2	71	209	101	209	48													
K7	0-20	485,7	238,7	69,3	32,6	240	116,1	184,9	88,1	209	100,5	157,7	75,2	150	71	197	95	197	73													
	40-60	456,6	221,5	50,9	24	227	109,9	281,1	138,4	213	103	202	97,3	192,3	92,5	209	101	209	75													
K8	0-20	1740,7	310	25,4	15,4	3240	1725	613	301,2	1004	495	1510	766	393	192	1531	778	1792	924													
	40-60	1348,5	867,6	25,5	15,48	2980	1583	343	168,2	1275	636	1124	566	411	201	2070	1075	990	486													
K9	0-20	1748,1	326	25,3	15,29	2600	1372	318	154,9	2170	1131	1630	833	338	165	1542	783	1032	508													
	40-60	845,9	142,8	574	282	1510	772	857	423	583	287	783	386	1194	591	1306	653	523	257													
K10	0-20	214,2	97,3	296	144,5	1288	644	784	386	570	280	854	422	956	473	593	292	393	192													
	40-60	0,11/52	0,05/24,5	673	331	672	330	1432	722	1277	638	723	356	658	324	1320	661	342	167													
K11	0-20	0,1/37,1	0,04/17,5	33,38	15,67	453	222	1843	950	2070	1077	216	115	570	280	1538	781	543	266													
	40-60	0,01/39,4	0,02/18,56	32,06	15,12	462	227	1244	646	2120	1106	155,8	104	447	219	1265	631	450	220													
K12	0-20	2900	1533	37	17,43	233	112,8	339	165,7	260	127,2	93,9	74,2	182	896	370	181	350	170													
	40-60	3104	1645	35,3	16,66	170,6	81,6	439	215,7	414	202	76,3	64,2	138	65	230	112	158	76													
K13	0-20	2985	1579	25	11,73	424	208	209	101,2	221	107,1	179	36,1	85	40	125	592	273	132													
	40-60	198,31	95,44	30,9	14,79	171,5	82,2	196,3	93,9	143,6	67,8	186,3	85,5	358	175	466	228	287	140													
K14	0-20	243,8	134,46	41,7	19,63	169,1	80,7	176,3	84,7	216	104,4	174,3	89,4	275	134	357	174	270	131													
	40-60	496,61	243,8	42,9	20,2	139,2	65,7	286,2	138,8	652	321	652	83,4	250	121	403	197	294	143													

Tabela 9. Zmiany wartości zasolenia (przewodność $\mu\text{S}/\text{cm}$) oraz NaCl [mg/dm^3] w profilu glebowym na ulicy 1 maja

gleba sucha	15.03.2022		22.04.2022		24.05.2022		01.07.2022		25.08.2022		28.09.2022		28.10.2022		30.11.2022	
	przewodn ość $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S}/\text{cm}$	NaCl mg/dm^3
M1	0-20	38,4	17,12	267	130,2	412	201	179,6	85,9	124	58,4	2450	1290	116	54	1544
	40-60	36,3	17,11	176,5	84,3	279	135,9	141,3	67,1	102,6	48,4	446	218	99	46	217
	60-90	40,9	19,99	226	109,3	246	119,2	185,7	90,1	144,3	68,5	240	126	99	47	483
M2	0-20	30,2	14,27	188,9	90,7	393	192,5	237	113,7	139	65,8	445	218	107	50	329
	40-60	38,8	18,44	231	112,4	340	166	173,3	83,2	120,4	56,7	247	120	90	42	258
	60-90	60,3	28,3	201	96,8	357	174,8	166,2	79,3	159,4	76	339	165	114	53	283
M3	0-20	27,1	12,9	148,8	71	432	212	169,7	81,1	177,8	85,1	200	97	189	91	164
	40-60	30,5	14,46	148,1	70,3	269	130,8	192,8	92,7	175,6	84,2	234	113	187	90	169
	60-90	34,6	16,23	164,8	79,1	270	131,3	197	94,8	201	96,9	184	88	180	86	177
M4	0-20	30,2	14,31	242	117,5	244	118,1	147,9	70,1	169,5	81,1	145	69	127	60	154
	40-60	28,8	13,56	195	94,9	149,7	71,3	123,3	58,4	174,2	83,4	158	75,5	116	55	167
	60-90	37,4	17,63	204	98,9	222	107,4	115,7	54,1	176,1	84,3	141	67	117	55	178
M5	0-20	30,6	14,42	183,9	88,7	297	145,4	169,4	81,2	184,6	88,6	178	89	277	135	324
	40-60	27,2	12,85	177,1	85	153,2	72,9	143,5	67,3	180,7	86,7	228	110	192	92	711
	60-90	31,1	14,65	191,8	92,6	122	57,5	136,7	64,5	200	96,2	197	94,5	176	84	556
M6	0-20	36,4	17,19	239	116,1	141,3	85,4	197,9	94,9	141	66,7	127	64	136	64	424
	40-60	34,1	16,01	203	98,6	233	67,1	204,5	98,6	114	53,8	115	54	234	113	358
	60-90	32,8	15,49	207,2	92	288	112,7	197,6	94,9	102	47,9	125	59	168	80	257
M7	0-20	27,6	13,03	173,8	82,9	167,9	140	163,4	77,9	159	75,7	229	111	163	78	381
	40-60	26,8	12,65	131,4	62,4	249	80,3	134,9	63,8	140	66,4	224	108	164	78	555
	60-90	29,7	13,98	120,9	57,2	169,5	120,8	126	59,6	147	69,7	202	97	147	70	339
M8	0-20	42	19,83	118,4	56	174	80,9	123,1	57,9	142,5	67,6	151	72	142	67	139
	40-60	22,5	10,63	122,8	58,1	132,5	81,3	108,2	51,1	121,5	57,2	139	63	158	75	150
	60-90	24,9	11,71	141,8	67,5	217	83,2	110,1	51,6	118,4	55,8	139	65	124	58	189
M9	0-20	21,2	10,02	113,9	53,6	184,5	62,8	167,7	80,1	125	58,8	164	78	107	50	97
	40-60	19,84	9,35	74,1	35,2	217	104,8	160,9	76,5	113,8	53,6	148	70	95	47	83
	60-90	20,5	9,67	67	31,7	184,5	88,4	127,4	60,2	116	54,6	107	51	94	44	83
M10	0-20	24,6	11,62	102,1	48,2	99,3	46,8	121,3	56,9	101	47,7	178	85	233	113	92
	40-60	22,1	10,4	116,7	55,2	109,9	51,7	143,2	68,2	114,1	53,7	152	72	148	70	94
	60-90	20,2	9,56	110,2	52,1	103,9	48,9	142,7	67,5	94	44,3	178,5	85,5	114	54	43

Z kolei przy ulicy Kazimierza Wielkiego zwiększone zasolenie odnotowano w próbkach gleb po wymianie podłoża i nawierzchni. Być może związane to było z jakością samego zastosowanego podłoża, ponieważ pojawiło się najbardziej w próbkach pobranych przy drzewie numer 11, które było młodym drzewkiem wsadzonym w wymienione podłoże. Być może miało częściowo związek z podsiąkaniem wód gruntowych o takim charakterze z głębszych bardziej zasolonych warstw. Zasolenie to jednak wyraźnie miało charakter przemijający i od września wartości zasolenia w glebach wymienionych wyraźnie spadły. Może to mieć związek z dobrą przepuszczalnością zastosowanych nawierzchni, dzięki którym po deszczach doszło do przepłukania gleby.

Tabela 10. Zmiany wartości zasolenia (przewodność w $\mu\text{S/cm}$) oraz NaCl [mgdm^{-3}] w profilu glebowym na ulicy Kazimierza Wielkiego

		15.03.2022		21.04.2022		24.05.2022		05.07.2022		23.08.2022		30.09.2022		27.10.2022		25.11.2022	
		przewodn ość $\mu\text{S/cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S/cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S/cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S/cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S/cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S/cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S/cm}$	NaCl mg/dm^3	przewodn ość $\mu\text{S/cm}$	NaCl mg/dm^3
KW3	0-20	41,5	19,78	170,5	82,2	259	126,8	345	169	210	102	263	128	539	265	586	288
	40-60	40,9	19,24	194,1	94,1	815	401,2	283	137,5	253	122,5	277	135	553	272	421	207
	60-90	42,6	20,1	274	133,2	1785	918	308	151	217	105,2	316	154	500	246	392	192
KW8	0-20	45,5	21,3	302	148,8	169,9	81,1	557	273	151,8	72,2	173	83	329	161	161	76
	40-60	38,4	18,13	139,1	65,7	107,4	50,6	798	394	132,4	62,6	148	71	263	127	152	72
	60-90	34,6	16,27	142,6	68,4	139	65,8	652	320	145,4	68,9	163,5	78	215	104	144	68
KW15	0-20	25,1	12,32	531	263	353	172,1	264	128,4	831	410	267	130	712	350	142	67
	40-60	21,8	10,3	265	129,9	183,2	81,7	212	102,2	295	145,7	367	161	445	218	144	68
	60-90	22,1	10,51	152,1	72,4	309,1	151	312	152,5	363	177,9	329	140	573	282	153	73
KW18	0-20	20,5	9,67	180,1	87,1	153,2	72,8	281	137,1	170,4	81,3	125	59	167	79	123	58
	40-60	24,1	11,35	130,7	61,8	174,4	83,6	243	117,4	157,3	75	130,5	61	144	68	120	57
	60-90	39,9	19,17	145,1	70,7	178,8	85,5	221	114,3	173,1	82,7	135	64	162	77,4	105	49
KW22	0-20	107,7	50,7	1232	616	920	454	508	263	1246	619	788	388	405	199	247	120
	40-60	44,3	20,9	331	162,7	659	324	722	356	655	322	486	238	317	155	425	208
	60-90	51,1	24	221	107,6	656	323	836	412	694	342	599	294	301	146	410	201
KW24	0-20	32,4	15,32	124,4	59,7	357	174	218	105,8	259	125,7	191	92	132	62	164	78
	40-60	28,4	13,38	135,9	64,1	306	149,6	209	102,4	181,7	87,1	180,4	86	126	59	144	68
	60-90	32,6	15,48	153,7	74,4	285	138,4	204	97,3	176,6	84,4	175,5	84	144	68	139	66
KW28	0-20	37,5	17,65	289	140,5	317	155	310	155	137,5	64,7	164	78	198	95	234	114
	40-60	26,5	12,59	253	123	243	117,9	251	117,9	128,4	60,4	118	61	135	64	216	104
	60-90	39,7	18,72	209	100,9	178,2	85,5	222	85,5	81,6	38,5	133	63	103	48	130	61
KW34	0-20	26,6	12,59	234,1	113,7	662	325	145,1	325	146,5	69,6	128	60	134	63	244	118
	40-60	23,6	11,21	194	92,7	403	197,5	131,8	197,5	181,2	87,1	158	75,5	171	82	220	106
	60-90	24,2	11,75	119,5	56	195,3	93,7	138,1	93,7	186,3	89,1	149	71	179	86	195	93
KW40	0-20	44,4	20,9	709	350	415	203	334	203	227	109,9	157	75	127	60	330	161
	40-60	28,4	13,42	985	487	829	409	625	409	183,7	88,1	164	78	151	72	243	118
	60-90	25	11,73	382	187	990	489	691	489	192	92,2	292	142	214	103	245	119
KW35	0-20	35,90	16,98	638	314	800	394	416	394	255,1	123,1	295	143	225	109	252	121
	40-60			1105	546	753	371	598	371	218	105,6	313	152	284	138	304	148
	60-90			299	145,7	729	359	672	359	223	107,8	447	219	371	181	309	151
KW38	0-20			1021	504	564	277	330	277	417	204	193	93	174	83	229	111
	40-60			880	434	1115	551	657	551	271	131,7	208	100	201	97	202	97
	60-90			279	135,6	743	365	407	365	268	130,4	157	105	200	97	194	93
KW11	0-20							745	366	192	92,2	800	394	493	242	386	189
	40-60							5860	3150	1285	571	679	334	681	335	487	239
	60-90							4020	2150	1473	745	994	490	974	488	754	371

4. Zmiany wilgotności gleb w profilu glebowym

Wilgotność gleb uzależniona jest m.in. od opadów na danym terenie. Na stronach Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB znaleźć można dane dotyczące sumy opadów w danym okresie czasu.

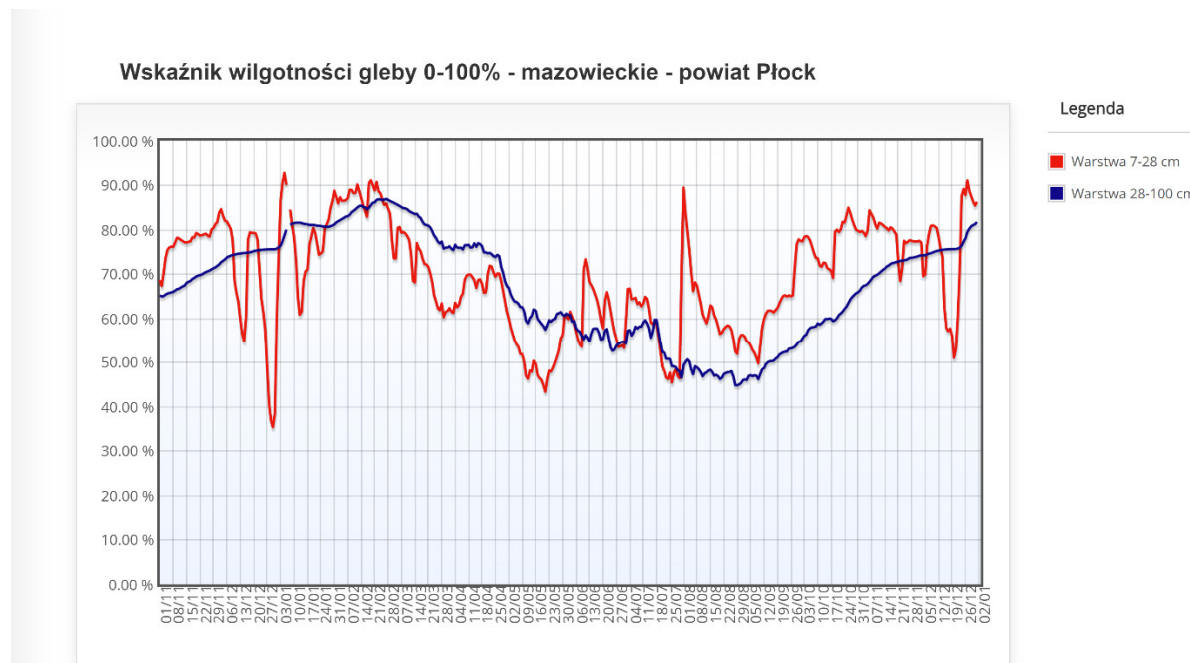
[źródło: <https://klimat.imgw.pl/pl/climate-aps/#Precipitation/Monthly/2022/2/Winter>].

Poniżej zestawienie miesięcznych wartości sumy opadów [w mm] dla Płocka:

01.22	02.22	03.22	04.22	05.22	06.22	07.22	08.22	09.22	10.22	11.22	12.22
30-40 mm	30-40 mm	0-10 mm	30-40 mm	30-40 mm	60-70 mm	70-90 mm	0-40 mm	0-30 mm	20-30 mm	0-10 mm	b.d.

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB prowadzi także monitoring wilgotności gleb na podstawie danych satelitarnych EUMETSAT H-SAF (Satelitarnego Centrum Aplikacyjnego dla Operacyjnej Hydrologii i Gospodarki Wodnej) dla dwóch warstw: 7-28cm oraz 28-100cm. Na podstawie pozyskiwanych raz na dobę danych z czujnika satelitów Metop określa się wilgotność gleby w warstwie powierzchniowej i dalej wykorzystuje w modelu, który oblicza wskaźnik wilgotności dla różnych głębokości, z rozdzielczością przestrzenną wynoszącą 25km. Model uwzględnia również zmienne atmosferyczne, typ pokrycia powierzchni i dominujący w danym pikselu rodzaj gleby. Wskaźnik wilgotności jest określany w % jako stan od pełnego wyschnięcia (wartość bliska zeru) do pełnego nasycenia (wartość 100%). W okresie zimowym wartości zbliżone do zera oznaczają przemarznięcie danej warstwy. W okresie letnim obszary o wilgotności poniżej 30-40% wskazują na możliwy deficyt wody w strefie korzeniowej.

Poniżej przedstawiono na wykresie zmiany wskaźnika wilgotności gleb w 2022 roku dla miasta Płocka [źródło: https://agrometeo.imgw.pl/monitoring/susza_glebowa]:

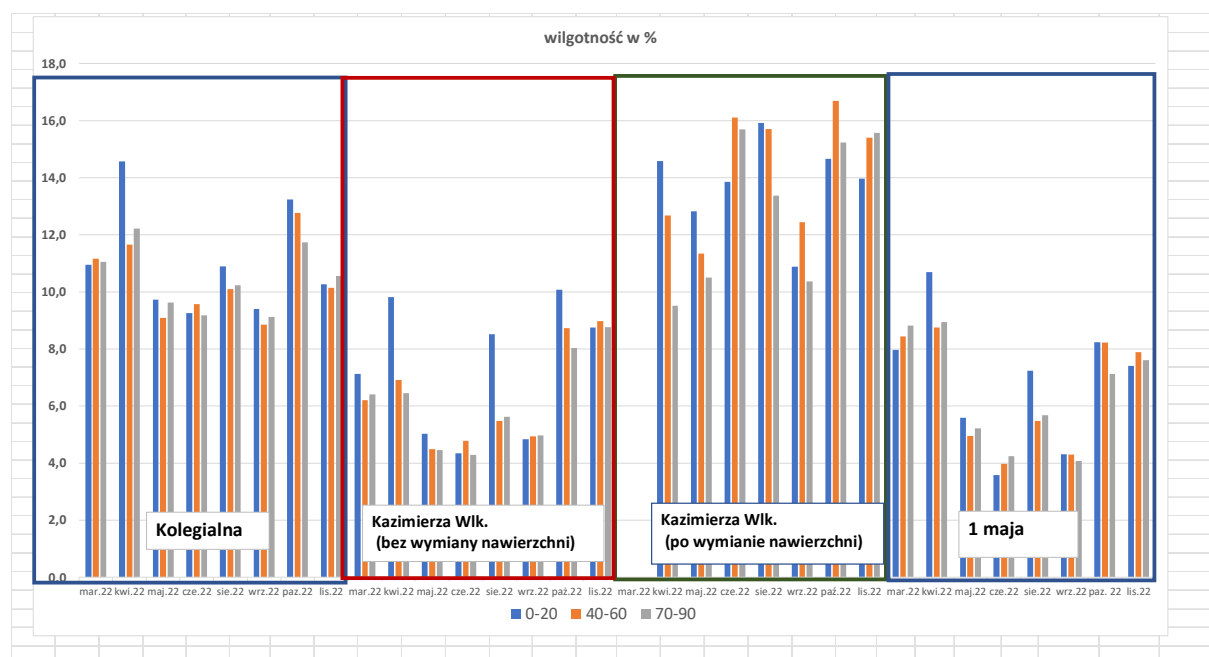


Porównując dane z powyższego wykresu z danymi uzyskanymi z gleb pobranych przy płockich ulicach, wyraźnie widać że wilgotność utrzymuje się na bardzo niskim poziomie (poniżej 10%), szczególnie przy ulicy 1 maja. Wyższe wartości uzyskano przy ulicy Kolegialnej (choć były to wzrosty przemijające) oraz w przypadku wymiany podłoża przy ulicy Kazimierza Wielkiego (Tabela 11).

Analizując zmiany wilgotności w zależności od głębokości wyraźnie widać, że tam gdzie, nie było wymienionych nawierzchni ani gleby, wzrost wilgotności odnotowywano tylko w warstwie przypowierzchniowej (0-20 cm) np. w kwietniu. Były to jednak wzrosty bardzo krótkie i w kolejnych miesiącach już nie odnotowane. Nie obserwowano także żeby wzrost wilgotności zaznaczył się także w niższych poziomach (Fig.2). Inaczej wyglądało to w przypadku miejsc przy ulicy Kazimierza Wielkiego, gdzie została wymieniona nawierzchnia. Tam odnotowywano wzrost wilgotności nie tylko w warstwie 0-20 cm, ale także w niżej położonych i była to utrzymująca się tendencja w kolejnych miesiącach.

Tabela 11. Średnie zmiany wartości wilgotności w badanych próbkach pobranych przy ulicach Kolegialnej, Kazimierza Wielkiego i 1 maja - między III a XI 2022

	wilgotność [%]							
	III.22	IV.22	V.22	VI.22	VIII.22	IX.22	X.22	XI.22
wartości średnie								
Kolegialna	11,05	12,8	9,48	9,33	10,41	9,12	12,57	10,32
Kazimierza Wlk – b. w.	6,60	8,97	4,65	4,47	6,54	4,91	8,95	8,82
Kazimierza Wlk – p. w.		12,26	11,55	15,23	15,00	11,23	15,53	14,98
1 Maja	8,41	9,46	5,25	3,93	6,13	4,22	7,86	7,64



Fot. 5. Zmiany wilgotności gleb w zależności od głębokości

Nie odnotowano natomiast większych różnic wilgotności gleby pod wymienionymi nawierzchniami w zależności od zastosowanego rodzaju nawierzchni. Być może zmiany wilgotności wymagają dalszego monitoringu w kolejnych latach, żeby przekonać się o efektywności zastosowanych rozwiązań.

5. Podsumowanie

Gleby miejskie, szczególnie te położone w centrach oraz wzdłuż ulic narażone są na znacznie więcej negatywnych oddziaływań antropogenicznych niż te znajdujące się w parkach, czy na przedmieściach. Ze względu na silne przekształcenia mechaniczne oraz włączenie w proces glebotwórczy materiałów nie spotykanych w przyrodzie następuje zmiana ich właściwości fizycznych i chemicznych, co zaobserwowano także w przypadku gleb pobranych przy ulicach Kazimierza Wielkiego, Kolegialnej i 1 Maja. Zmiany dotyczą przede wszystkim alkalizacji, nadmiernego przesuszenia i zasolenia. Inni autorzy także zwracają uwagę, że głównymi czynnikami kształtującymi kierunek i intensywność przemian gleb miejskich są przede wszystkim odczyn, zawartość węglanów oraz ilość domieszek antropogenicznych

Gdy gleba jest zasklepiona (uszczelniona) – pokryta asfaltem lub betonem – traci, między innymi, swoją zdolność do pochłaniania i zatrzymywania wody. Uzyskane wyniki potwierdziły tę zależność. Wykazano także, że wymiana nawierzchni na przepuszczalne znacznie poprawiła sytuację i być może pozwoli to na utrzymanie właściwego poziomu wód gruntowych i zachowanie równowagi w środowisku.

6. Wnioski

Wykonane badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- gleby wokół drzew rosnących przy ulicach Kazimierza Wielkiego, Kolegialnej i 1 Maja charakteryzują się podwyższonym pH (średnia wartość od 7 do 8), stosunkowo niskim średnim poziomem zasolenia i niską wilgotnością,
- w przypadku zasolenia podwyższone wartości były odnotowywane punktowo i często miały charakter przemijający,
- wymiana nawierzchni (na przepuszczalne dla wody) wokół drzew rosnących wzdłuż ulic jest dobrą metodą poprawiającą warunki siedliskowe rosnących drzew, szczególnie pod kątem retencji wody,
- wymienione „wodoprzepuszczalne” nawierzchnie powinny być wyprofilowane tak, żeby umożliwić spływ wody w kierunku pnia; nie powinny być także zostawiane tzw. obrzeża wystające ponad poziom nawierzchni,

- wyniki monitoringu zmian wartości pH, zasolenia i wilgotności w glebie nie wskazują na wystąpienie znacznych i utrzymujących się w czasie różnic pomiędzy zastosowanymi nawierzchniami tzn. EKOWAY, HanseGrand, HanzaVia, Domino Eko; wyższe w przypadku wilgotności dla nawierzchni Teraaway; jednak aby uzyskać pełniejsze dane monitoring powinien być prowadzony w kolejnym sezonie wegetacyjnym.

Warianty koncepcyjne zwiększenia powierzchni biologicznie czynnych, rozplanowania zieleni i innych elementów małej architektury (nawierzchnie inteligentne) oraz propozycji zastosowania nowoczesnych rozwiązań w zakresie nawierzchni przepuszczalnych od różnych producentów, które mogą wpłynąć na poprawę sytuacji drzewostanu na ulicy Kazimierza Wielkiego

1. Wprowadzenie

Powierzchnia biologicznie czynna w aktach prawnych określa niezabudowaną, pokrytą roślinnością przestrzeń. Pojęcie to odnosi się do terenu z nawierzchnią ziemną urządzoną tak, by umożliwić naturalną wegetację roślin uwzględniającą: trawniki, rabaty ziemne, powierzchnie utwardzone kratami, pomiędzy którymi rosną rośliny czy grunt obsadzony drzewami i krzewami.

Podstawowe zadania powierzchni biologicznie czynnych to:

- ułatwienie rozwoju fauny i flory, a tym samym wpływ na mikroklimat i jakość powietrza,
- umożliwienie retencji wody poprzez odprowadzanie opadów i topniejącego śniegu do gruntu,
- poprawienie estetyki krajobrazu.

W prawie powierzchnie biologicznie czynne funkcjonują przede wszystkim w odniesieniu do terenów na których stawiane są budynki. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie w ust 3, pkt 22 określa: „*powierzchni terenu biologicznie czynnej - rozumie się przez to grunt rodzimy pokryty roślinnością oraz wodę powierzchniową na działce budowlanej, a także 50% sumy nawierzchni tarasów i stropodachów, urządzonych jako stałe trawniki lub kwietniki na podłożu zapewniającym ich naturalną wegetację, o powierzchni nie mniejszej niż 10 m²*”. A w rozdziale 8 Zieleni i urządzenia rekreacyjne, ustalono następujące zapisy: Ust. 39. *Na działkach budowlanych, przeznaczonych pod zabudowę wielorodzinną, budynki opieki zdrowotnej (z wyjątkiem przychodni) oraz oświaty i wychowania co najmniej 25% powierzchni działki należy urządzić jako powierzchnię terenu biologicznie czynnego, jeżeli inny procent nie wynika z ustaleń miejscowego zagospodarowania przestrzennego.* Ust. 40.1. *W zespole budynków wielorodzinnych objętych jednym pozwoleniem na budowę należy stosownie do potrzeb użytkowych, przewidzieć placówki zabaw dla dzieci najmłodszych i miejsca*

rekreacyjne dostępne dla osób starszych i niepełnosprawnych, przy czym co najmniej 30% tej powierzchni powinno znajdować się na terenie biologicznie czynnym, jeżeli nie jest to ustalone inaczej w decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowanie terenu.

Ponieważ przepisy nie wskazują precyzyjnie, co może dokładnie wchodzić w skład powierzchni biologicznie czynnej. przyjęto się że powierzchnie takie nie powinny zakłócać naturalnej wegetacji roślin, które muszą mieć zapewniony naturalny dostęp do światła dziennego, nawodnienia oraz gleby.

Szczególnym wyzwaniem jest powierzchnia biologicznie czynna przy ulicach, ponieważ chodniki są zwykle zabetonowane, a powierzchnie zielonej wokół drzew pozostawia się mało. Obecnie proponuje się szereg rozwiązań łączących w sobie konieczność tworzenia praktycznej przestrzeni utwardzonej z zachowaniem wymogów wskaźnika terenu biologicznie czynnego.

Najłatwiejszym rozwiązaniem są geokraty. Jednak zdecydowanie lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie ekologicznych kostek brukowych, płyt ażurowych czy specjalistycznych nawierzchni przepuszczalnych. Problem odwodnienia (nawet bardzo dużych przestrzeni) w zasadzie przestaje w ten sposób istnieć. Pozwala to również wypełnić wymagania planu miejscowego w zakresie zachowania powierzchni biologicznie czynnej.

2. Warianty koncepcyjne zwiększenia powierzchni biologicznie czynnych, rozplanowania zieleni i innych elementów małej architektury (nawierzchnie inteligentne)

Istnieje wiele koncepcji zwiększenia powierzchni biologicznie czynnych w pasach drogowych w miastach. Wszystkie muszą brać pod uwagę nie tylko same technologie, ale także szereg funkcji – środowiskowych, społecznych, czy poprawy bezpieczeństwa w przestrzeni publicznej. W Polsce sztandarowym obecnie przykładem jest przebudowa ulicy Daszyńskiego we Wrocławiu (Fot.1).

Zwykle problemami na takich ulicach są:

- zbyt duży ruch samochodów i przekraczanie prędkości pojazdów, skutkujące zwiększonym hałasem, emisją spalin, wznoszeniu kurzu i pogorszeniem bezpieczeństwa w przestrzeni publicznej;
- szczelna, zabetonowana przestrzeń gdzie woda opadowa jest szybko odbierana przez kanalizację deszczową (brak retencji), a nagrzewające się powierzchnie nawierzchni i blachy samochodów generują miejską wyspę ciepła;
- brak zieleni i przestrzeni publicznych – dominacja szarej kostki i betonu, niewykorzystane przestrzenie, zbyt duża liczba parkujących samochodów

Nowa zielona ulica - zasady działania



- ★ Rośliny w słońcu, samochody w cieniu
- ★ Miejsca spotkań i nowe funkcje na skrzyżowaniach
- ★ Pieszy jest najważniejszy - ma dostęp do cienia i miejsc odpoczynku



- ★ Ulica odzyskuje funkcję lokalną - samochody jadą wolniej
- ★ Włączamy lokalny biznes, stymulujemy rozwój usług w parterach



Fot.1. Koncepcja „zielonej ulicy” w projekcie przebudowy ulicy Daszyńskiego we Wrocławiu [źródło: <https://sztuka-krajobrazu.pl/4075/arttykul/zielona-ulica-we-wroclawiu>]

Zastosowane rozwiązania miały spowodować zmniejszenie prędkości i dostosowania się pojazdów do wymogów strefy ograniczenia prędkości. Zawężenie ulicy i wprowadzenie „meandrowania” okazało się skutecznym rozwiązaniem spowalniającym ruch, a co za tym idzie zwiększającym bezpieczeństwo wszystkich użytkowników na drodze. Dodatkowym celem było uporządkowanie parkowania na ulicy, co uzyskano po wprowadzeniu „parkletów” (Fot. 2). Zieleń zaprojektowano po północnej, bardziej nasłonecznionej stronie ulicy, a miejsca parkingowe po bardziej zacienionej. Sadzone drzewa to głównie gatunki rodzime tzw. „nativary” ale w odmianach uprawne, tzw. „kultywarach”. Kultywary wyróżniają się walorami użytkowymi uzyskanymi w wyniku zabiegów hodowlanych, np. wysoką odpornością na warunki miejskie: zasolenie, szczelne podłoże, susza, trudne warunki glebowe, zanieczyszczenie powietrza.



Fot. 2. Przebudowana ulica Daszyńskiego we Wrocławiu

[źródło: <https://sztuka-krajobrazu.pl/4075/arttykul/zielona-ulica-we-wroclawiu>]

W ramach projektu wprowadzono pasy zieleni w szerokości chodnika na niektórych odcinkach i dogęszczenie, zieleni w istniejących przedogródkach, a także rekultywację zieleni i zagospodarowanie roślinnością okrywową trójkątnych skwerów. Idea zakładała również zagospodarowanie wód opadowych możliwie w postaci instalacji sztucznych profili glebowych w pojemnikach, zasilanych wybranymi spustami z dachów lub wsiąkaniem w grunt w pasach

nawierzchni półprzepuszczalnych lub pasach zieleni urządzonych pomiędzy chodnikiem, a jezdnią (Fot.3) .



Fot.3. Projekt przebudowy ulicy Daszyńskiego we Wrocławiu z uwzględnieniem uporządkowania miejsc parkowania [źródło: <https://tecla.pl/grow-green/zielona-ulica/>]

Jeszcze większe zmiany proponuje Barcelona. Uwzględniono drastyczne zmniejszenie ruchu kołowego, ograniczenie do niezbędnego minimum miejsc parkingowych. Co najmniej 80% każdej ulicy ma być latem zacienione przez drzewa, a 20% nieutwardzone.



SECCIÓ TIPUS GENERAL

Fot.4. Konceptja zwiększenia powierzchni biologicznie czynnych na ulicach Barcelony [źródło Jaume Barnada: BARCELONA, CLIMATE AND URBAN NATURALIZATION]

Projekt zazielenienia ulicy 1 Maja w Płocku przewiduje uwzględnienie takich rozwiązań jak: zielone kraty chodnikowe i nawierzchnie przepuszczalne, instalacja sztucznych profili glebowych, wprowadzenie drzew gatunków rodzimych (Fot. 5).



Fot. 5. Wizualizacja zazielenienia ul. 1 maja w Płocku (autor dr Justyna Janiak)

3. Charakterystyka nawierzchni inteligentnych

Nawierzchnie przepuszczalne (ang. permeable paving) umożliwiają przenikanie wody ze spływu powierzchniowego do gruntu i wód gruntowych a w rezultacie retencji wody. Ułatwiają to znajdujące się w nawierzchni otwory lub porowaty materiał, z którego zostały wykonane. Istnieje wiele rodzajów nawierzchni przepuszczalnych, a ich konstrukcja różni się znacząco w zależności od planowanego zastosowania. Na przykład nawierzchnie stosowane na ścieżkach i chodnikach, placach zabaw czy w prywatnych ogrodach mogą być wykonane z betonowej kostki ułożonej przy zachowaniu większych dystansów, betonowych płyt ażurowych lub żwiru. Na intensywnie użytkowanych drogach i parkingach można użyć innych materiałów, takich jak porowaty beton, porowaty asfalt, przepuszczalne mieszanki kruszywowo-żywiczne, kostki układane przy zachowaniu większych dystansów, mieszanki kruszywowe¹.

1. TerraWay

TerraWay to nawierzchnie produkowane z materiału mineralnego związanego niewielką ilością żywicy epoksydowej, która skleja cząstki wypełniacza tworząc porowatą strukturę, przez którą przepływa woda. Woda może zbierać się w porach między drobinami kruszywa, pełniąc rolę zasobnika dla rosnących w pobliżu roślin. Warto przy tym zauważyć, że nawierzchnia nie przerasta chwastami; nie ma też obawy, że zostanie zasiedlona przez insekty. Wytrzymałość mechaniczna i odporność na skrajne temperatury sprawiają, że może być układana na płaszczyznach pochyłych, takich jak podjazdy dla wózków, oraz w miejscach eksponowanych na promienie słoneczne. Szorstka, zapobiegająca poślizgowi, płaszczyzna sprawdzi się także na placach zabawach, parkingach, boiskach oraz ścieżkach rowerowych. To także świetny wybór dla inwestorów, którzy planują budowę parkingu i chcą zaoszczędzić na systemie odprowadzającym deszczówkę.

Inwestorzy, którzy zdecydują się na wykorzystanie tej technologii, mają do dyspozycji bogatą paletę kolorystyczną. **Grysy z granitu, bazaltu czy kwarcu** prezentują się niezwykle efektownie i są przy tym niezwykle praktyczne. Zdolność do przepuszczania wody i powietrza, trwałość i odporność na mróz, to niejedyne zalety. Nawierzchnie TerraWay uniemożliwiają zarastanie,

¹ <https://klimada2.ios.gov.pl/nawierzchnie-prze/nawierzchnie-przepuszczalne-stratford-place/>

są łatwe do utrzymania w czystości i odporne na kiełkowanie nasion traw. Można je posypywać solą drogową bez ryzyka uszkodzenia struktury. Trudno znaleźć równie funkcjonalne rozwiązanie, które sprawdzi się w każdych warunkach.

Opis nawierzchni TerraWay:

Nawierzchnie wodoprzepuszczalne TerraWay wykonywane są w temperaturze powyżej 8°C w procesie wylewania warstwy mieszanki z kamienia twardego o frakcji kruszywa 1–2mm, 2–4mm, 3–5mm, 4–6mm lub kombinacji ziarna od 1–6mm (wypełniacz) i specjalnej żywicy dwuskładnikowej na bazie żywic epoksydowych zwanej spoiwem. Proces mieszania wypełniacza i spoiwa odbywa się na zimno w ściśle określonych proporcjach wagowych oraz przedziałach czasowych. Opatentowana, specjalna żywica posiada właściwość punktowego łączenia krawędzi użytych kruszyw pozostawiając pomiędzy nimi puste przestrzenie tworząc strukturę przepuszczającą wodę i powietrze. Przygotowaną w ten sposób masę wylewa się na uprzednio przygotowane podłoże, natomiast w procesie jej zacierania uzyskiwana jest gładka i równa powierzchnia. Wylewana w ten sposób nawierzchnia może mieć dowolny kształt i wielkość. Tego typu rozwiązanie daje nieograniczone możliwości zastosowania nawierzchni wszędzie tam, gdzie zależy nam na przenikaniu wody i powietrza do gruntu bez tworzenia dodatkowych odwodnień czy spadków dla wody. Nawierzchnia musi być dylatowana z uwagi na zmienną, nieznaczną kurczliwość w okresie zimy i lata. Rozwiązania architektoniczne wykonane w technologii TerraWay w postaci ścieżek parkowych, rowerowych, podjazdów dla niepełnosprawnych itp. nie wymagają żadnego jej pochylenia podłużnego, poprzecznego ani także łukowatego kształtu projektowanej ścieżki, gdyż w odróżnieniu od innych nawierzchni TerraWay jako jedyna w tak prosty sposób przepuszcza wodę w każdym kierunku. Aby woda mogła swobodnie przenikać do gruntu pod nawierzchnią TerraWay należy ułożyć minimum dwie warstwy podbudowy w określonej kolejności i grubości. Pierwsza z nich wykonana jest z piasku kopanego zagęszczanego (warstwa ta jest warstwą odsączającą), druga (warstwa nośna) z kłińca (kamień łamany) o ziarnie od 4–22mm lub 4–31,5mm, również zagęszczanego tak jak w przypadku wykonywania podbudowy do układania kostki betonowej, granitowej czy żwirowej. Zalecamy zastosowanie warstwy wyrównawczej o grubości 1–2cm na warstwie nośnej z drobnego kruszywa o ziarnie np. 2–5mm.

Konserwacja nawierzchni TerraWay:

Konserwacja nawierzchni polega wyłącznie na okresowym myciu jej wodą przy użyciu myjki ciśnieniowej lub wężem ogrodowym z odpowiednią końcówką. Nawierzchnia TerraWay nie wymaga żadnych poprawek ani napraw w czasie jej eksploatacji. O każdej porze roku zachowuje swoje właściwości, nie pęka wskutek działania mrozu i innych warunków atmosferycznych. Pozostaje niezmiennie trwała i wygodna w użyciu. Wszelkie uszkodzenia nawierzchni (np. pęknięcia) są spowodowane aktami wandalizmu, źle zagęszczoną podbudową lub niewłaściwą eksploatacją. W takich przypadkach naprawa polega na wycięciu uszkodzonego miejsca przy użyciu przecinarki z tarczą diamentową i powtórnym zalaniu miejsca tą samą mieszanką kamienia i żywicy².



Fot. 6. Nawierzchnia TerraWay

²

<https://www.erbis.pl/oferta/terraway>

2. Ekoway

Ekoway to ekologiczną, wodoprzepuszczalną mieszanką kruszyw mineralnych i bezrozpuszczalnikowej żywicy epoksydowej do wykonywania nawierzchni ścieżek rowerowych, parkowych i spacerowych a także jako opaski wokół drzew. Nawierzchnia posiada właściwości drenujące – jest przepuszczalna dla wody [pod warunkiem wykonania podbudowy o odpowiedniej nośności i frakcjach jak w powyższym przekroju] – nie wymaga zastosowania dodatkowo systemów odprowadzających wodę i zapobiega tworzeniu się kałuż

Przeznaczona dla następujących rodzajów obciążeń:

- wyłącznie ruch pieszy i rowerowy – gr. nawierzchni EKOWAY min. 2,5 cm
- sporadyczny ruch pojazdów do 3,5 t – gr. nawierzchni EKOWAY min. 3 cm
- parkingi – gr. nawierzchni EKOWAY min. 4 cm

Parametry techniczne:

Wytrzymałość na ściskanie ≥ 20 MPa

Wytrzymałość na zginanie ≥ 6.9 MPa

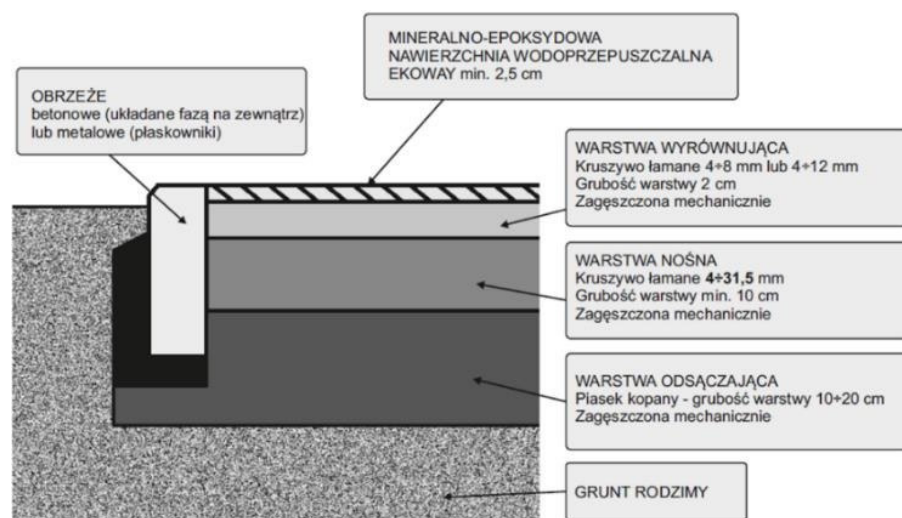
Przepuszczalność wody 100 l/m^2 w 4 sekundy

Mrozoodporność $\geq F200$

Nasiąkliwość $\leq 3,5$ %

Ścieralność $\leq 1,5$ mm

Szorstkowość SRT ≥ 35



Fot.7. Schemat konstrukcji nawierzchni Ekoway

Po utwardzeniu nawierzchni EKOWAY, nacina się szczeliny dylatacyjne na szerokość 3 mm. Pole między dylatacjami nie może być większe niż 25 m², a bok nie dłuższy niż 5 m.b. W miejscach przerw roboczych należy również wykonać dylatacje, które zostawiane są bez wypełnienia.

Opis nawierzchni Ekoway

Konstrukcja podkładu musi być odpowiednio dobrana do faktycznych obciążeń. Podłoże powinno być nośne, ustabilizowane, odpowiednio zagęszczone oraz przepuszczalne dla wody, nie może zawierać frakcji pylastych-zerowych, glin itp.

Warunki wykonywania oraz sezonowania [sezonowanie tj. ca 12 godzin od momentu wykonania nawierzchni EKOWAY]:

- brak opadów atmosferycznych w czasie wykonywania i sezonowania nawierzchni,
- temperatura stosowania od +8°C do +30°C (podłoże, powietrze, materiał), w trakcie aplikowania oraz sezonowania nawierzchni,
- wilgotność względna powietrza: max. 70%,
- bezwzględne wyłączenie z ruchu powierzchni oraz jej ochrona przed uszkodzeniami spowodowanymi przez osoby trzecie,
- czas pracy na przygotowanym materiale 20÷30min (w temp. 15-20°C) – przy wyższej temperaturze czas może ulec skróceniu, a przy niższej wydłużeniu,

Harmonogram obciążeń (pod warunkiem żelowania w temp.15–20°C)

- ruch pieszy – po 12 godzinach
- ruch kołowy – po 48 godzinach³

³ <https://revosystem.pl/ekoway/>



Fot.8. Nawierzchnia Ekoway

3. Hanzaway

Klej poliuretanowy Elastopave PLUS jednoskładnikowy z filtrem promieni UV produkcji BASF (Niemcy) do wykonywania nawierzchni drogowych, parkingów i innych obiektów budownictwa na bazie żwirów naturalnych łamanych i bębnowanych oraz kruszyw skalnych.

Zakres stosowania:

- ścieżki piesze i rowerowe
- parkingi dla ruchu lekkiego i ciężkiego
- dojazdy do posesji i garaży
- obwódki wokół budynków
- tarasy
- otoczki drzew
- aranżacje małej architektury
- posadzki tzw. "dywany kamienne" do wnętrza i na zewnątrz budynków

Właściwości nawierzchni Elastopave:

- wodoprzepuszczalna i oddychająca,
- odporna na czynniki atmosferyczne i obciążenia mechaniczne,
- estetyczna z dużą paletą kolorystyki,
- łatwa w utrzymaniu i konserwacji,
- odporna na sól i inne środki odładzające

Do przygotowania nawierzchni są niezbędne

- żwiry naturalne lub łamane, kruszywa skalne łamane lub bębnowane następujących frakcji: 0,4–1,2 mm; 1–3 mm; 2–5 mm; 2–8 mm lub inne w podobnym zakresie wg. życzenia i funkcji jakie ma spełniać nawierzchnia. Materiał musi być pozbawiony najniższych frakcji zerowych (pyłów), płukany i dokładnie wysuszony.
- w zależności od wymagań, stosuje się od 3 do 6% zawartości kleju w mieszance materiału skalnego w zależności od funkcji i przygotowanej podbudowy.
- do wcześniej przygotowanego materiału skalnego wlać klej i całość dokładnie wymieszać mechanicznym mieszadłem lub dla większych ilości w mieszarce mechanicznej poziomej. Mieszanie powinno odbywać się w równych interwałach czasowych np. 2,5–3 minuty każdej porcji zarobowej.
- okres wiązania mieszaniny – od 12 do 48 godzin w zależności od temperatury powietrza. Początek wiązania przy temperaturze otoczenia +23 st. C. to 8 godzin.
- nie układać nawierzchni Elastopave PU 1K UV przy temperaturze podłoża poniżej +7°C, kiedy wiązanie kleju znacznie się przedłuża oraz unikać deszczu.
- niezbędne narzędzia: kasty plastikowe do zapraw, rakle stalowe szerokie na długim trzonku, mieszadła i mieszarki mechaniczne, naczynia plastikowe z podziałkami do odmierzenia kleju, wagi do kleju i wypełniacza, walce statyczne.

Gotową mieszaninę wysypuje się na wcześniej przygotowaną podbudowę zasadniczą oraz warstwę dynamiczną HanzaVia Dynamic, ściąga łątą aluminiową opartą na obrzeżach i zagęszcza ubijając ręcznie pacą stalową lub lekkim walcem statycznym.

Baza materiałowa: Poliuretan jednoskładnikowy BASF w mieszance mineralnej zawierający filtr UV

Składniki: BASF Karty charakterystyki produktu – zgodnie z Rozporządzeniem (EU) Nr. 1907/2006⁴.



Fot. 9. Nawierzchnia Hanzaway

4. Hans Grand

Na podstawie pozytywnych doświadczeń z warstwami na drogi HanseGrand opracowano wraz z użytkownikami nawierzchnię o właściwościach HanseGrand, jednakże nadającą się do jeżdżenia samochodami osobowymi, ciężarowymi i traktorami. Ta linia produktu nosi nazwę HanseGrand Robust (mocny, wytrzymały).

HanseGrand Robust jest materiałem budowlanym składającym się z wysokiej jakości kamieni naturalnych, grysów oraz specjalnego lepiszcza ekologicznego. HanseGrand Robust jest nawierzchnią biologicznie czynną i całkowicie przyjazną dla środowiska naturalnego.

Właściwości

HanseGrand Robust jest stabilny pod kątem ziarnistości, bardzo odporny na ścinanie, odporny na warunki atmosferyczne i łatwy w obróbce. Dzięki niewielkiemu udziałowi bardzo drobnych

⁴ <http://hanzaway.pl/>

frakcji HanseGrand Robust osiąga dobrą przepuszczalność wody i powoduje minimalne powstawanie kurzu

Dane techniczne

HanseGrand Robust ma ziarnistość 0–11 mm, ciężar wbudowania: 2,00 t/m³. Zagęszczenie według metody Proctora wynosi 2,099 g/cm³.

Wskazówki dotyczące obróbki

HanseGrand Robust wbudowywany jest w warstwie o grubości 4 cm (80 kg/m²) na podbudowie z tłucznia⁵.



Fot. 10. Nawierzchnia HanseGrand

⁵ <http://hansegrand.pl/>

5. Kostka Domino Eco

Kostka brukowa Domino Eco została stworzona na bazie serii Domino, która łączy w sobie cechy solidnej nawierzchni z funkcją ekologiczną. Dzięki modyfikacji krótszej krawędzi kostki brukowej, Domino Eco przepuszcza wodę opadową do gruntu, pozwalając jej jednocześnie na swobodne odparowanie. Produkt wspiera ekosystem, zachowując naturalne właściwości gruntu i eliminując barierę, jaką stanowi szczelna nawierzchnia.

Charakterystyka produktu

- Wytrzymałość – dzięki użyciu wysokiej klasy mieszanki betonowej produkt jest odporny na upływ czasu, dzięki czemu kostka Domino Eco pozostaje nie tylko wytrzymała, ale i estetyczna na długie lata.
- Ekologia – nawierzchnie ekologiczne to rozwiązanie przyjazne dla środowiska, pozwalające na wsiąkanie wody w podłoże w naturalny sposób.
- Oszczędność – zastosowanie nawierzchni ekologicznych generuje oszczędności wynikające z braku konieczności instalowania drogich rozwiązań odprowadzania wody opadowej.

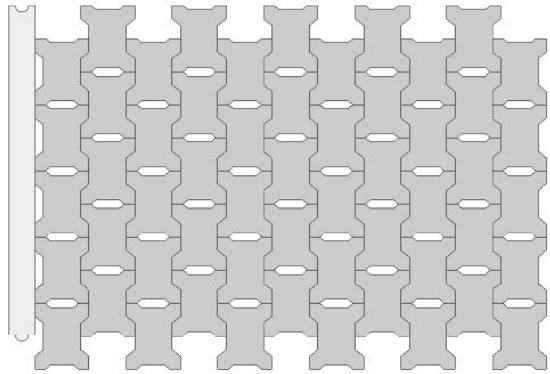
Cechy produktu

- Wysokość nawierzchni 8 cm – rozwiązanie nadające się dla nawierzchni pieszych oraz jezdnych. Masa 1 m² nawierzchni to około 180 kg.
- Wykończenie Uni – komputerowy dobór składników zapewnia jednolity kolor oraz powtarzalność wierzchniej warstwy kostki brukowej.
- Nawierzchnie wspomagające ekosystem – wspomagają ruch kołowy i pieszy, przy zachowaniu funkcji swobodnego przedostawania się wilgoci do podłoża. Ekootwory w nawierzchni Domino Eko można obsadzić roślinnością, komponując zielone parkingi⁶.

⁶ <https://pozbruk.pl/produkt/domino-eko/>



DOMINO EKO - układ regularny
• typowy układ kostek



Fot. 11. Nawierzchnia DominoEco

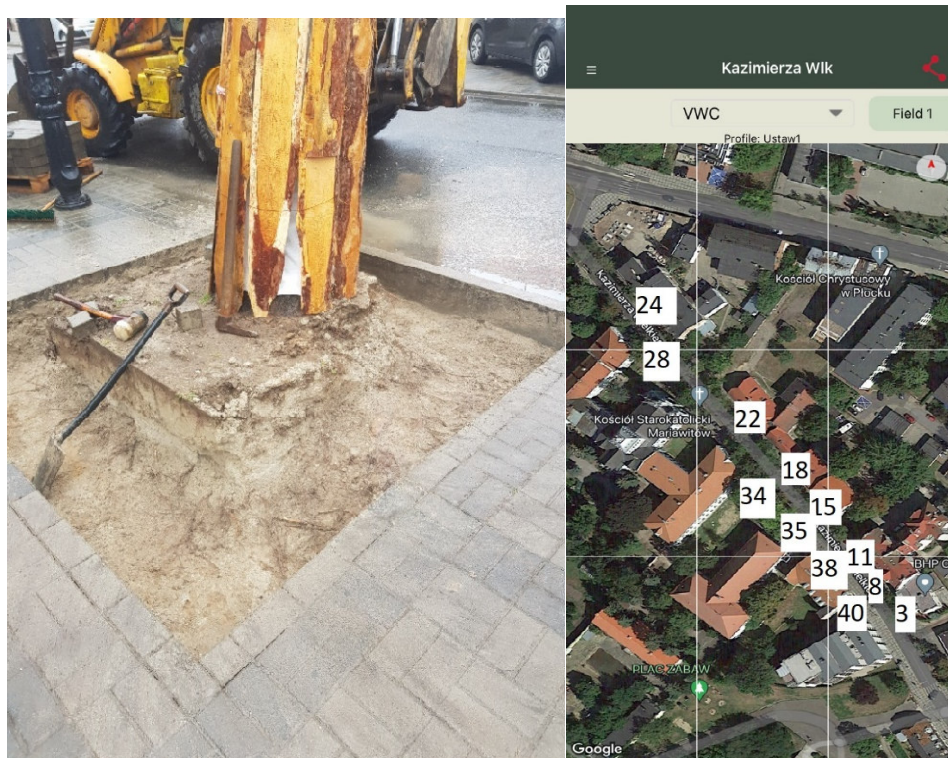
Propozycja zastosowania nowoczesnych rozwiązań w zakresie nawierzchni przepuszczalnych od różnych producentów, które mogą wpłynąć na poprawę sytuacji drzewostanu na ulicy Kazimierza Wielkiego

Założenie poletek doświadczalnych

W celu poprawy warunków siedliskowych drzew rosnących przy ulicy Kazimierza Wlk. wykonano doświadczenie polegające na wymianie podłoża wokół drzew i zastosowano różne nawierzchnie przepuszczalne (Teraaway, Ekoway, Hanzaway, Hans Grand, Kostka Domino Eco).

Zostały wybrane drzewa o różnej kondycji zdrowotnej i założono poletka doświadczalne:

- drzewa w bardzo złej kondycji (bez rokowań na poprawę kondycji), zostały usunięte a w to miejsce zostały posadzone nowe drzewa i zastosowane nowe podłoże (drzewo nr 11)
- pozostałe w średniej kondycji, zostało wydmuchane i wymienione podłoże na takie wzbogacone w aktywnie biologicznie dodatki (kompost Kobierniczek i/lub biowegiel) oraz zastosowana alternatywna nawierzchnia (drzewa nr: 34 (Hans Grand), 35 (Hanzaway), 38 (Ekoway), 40 (Teraaway), 28 (kostka DominoEco).



Fot. 1. Drzewa przy ul. Kazimierza Wielkiego w trakcie wymiany nawierzchni i podłoża

Podobnie jak w przypadku prowadzenia badań monitoringowych pobierano próbki gleb w miesiącach od marca do listopada (9 poborów w odstępach miesięcznych) z trzech poziomów: 0-20 cm; 40-60, 70-90 cm. Dodatkowo wykonano analizy on-site przy użyciu miernika wilgotności, temperatury i EC gleby FieldScout TDR 350

Wyniki

Większość wyników została umieszczona w części opracowania nt. *Monitoring jakości gleb i gruntów na ul. Kazimierza Wielkiego, Kolegialnej i 1 Maja w Płocku*. Tutaj skupiono się na analizie wilgotności gleb. Wilgotność gleby decyduje o wszelkich procesach zachodzących w glebie. Wilgotnością gleby W określa się stosunek masy wody M_w zawartej w glebie do masy stałej gleby M_s (masy po wysuszeniu). Wyraża się w procentach wagowych i nazywa niekiedy wilgotnością wagową.

Istnieją trzy główne typy wód glebowych – woda grawitacyjna, woda kapilarna i woda higroskopijna – te terminy są zdefiniowane na podstawie funkcji wody w glebie. Woda grawitacyjna i woda kapilarna są dostępne dla roślin, woda higroskopijna nie

Woda grawitacyjna

Woda grawitacyjna to woda swobodna przepływająca przez glebę siłą grawitacji. Występuje głównie w makroporach gleby, ale dla roślin bardzo niewielka część wody grawitacyjnej jest dostępna, ponieważ szybko spływa z lustra wody we wszystkich, z wyjątkiem najbardziej zwartych gleb.

Woda kapilarna

Woda kapilarna to woda utrzymywana w mikroporach gleby i jest to woda, która tworzy roztwór gleby. Woda kapilarna jest zatrzymywana w glebie, ponieważ właściwości napięcia powierzchniowego (kohezja i przyczepność) mikroporów gruntowych są silniejsze niż siła grawitacji. Jednak gdy gleba wysycha, rozmiar porów wzrasta, a grawitacja zaczyna zamieniać wodę kapilarną w wodę grawitacyjną i przesuwa się w dół. Woda kapilarna jest główną wodą dostępną dla roślin, ponieważ jest uwięziona w roztworze gleby tuż obok korzeni roślin.

Woda higroskopijna

Higroskopijna woda tworzy się jako bardzo cienki film otaczający cząsteczki gleby i na ogół nie jest dostępna dla rośliny. Ten rodzaj wody glebowej jest tak ściśle związany z glebą dzięki właściwościom przyczepności, że bardzo niewiele z niej może zostać pobrana przez korzenie roślin. Ponieważ higroskopijna woda znajduje się na cząstkach gleby, a nie w porach, niektóre typy gleby (na przykład gliny) będą zawierały jej większy procent.

Zestawiono dwa parametry:

- wilgotność naturalna oznaczana jako procent wilgotności wagowej w stanie powietrznie suchym (odzwierciedla zawartość wody kapilarnej i grawitacyjnej)
- wilgotność całkowita oznaczana jako procent wilgotności wagowej próbek suszonych w 105°C (odzwierciedla zawartość wody kapilarnej, grawitacyjnej i higroskopijnej)

Poniżej w tabeli zestawiono wyniki dotyczące porównania zmian wilgotności w próbkach gleb po wymianie nawierzchni i podłoży. Wyraźnie widać, że bezpośrednio po wymianie nawierzchni wyższą wilgotność notowano w przypadku nawierzchni Teraaway, Hanzaway i Ekoway, a więc nawierzchnie mineralno-żywicze. Z czasem jednak wartości wyrównały się, choć największą wilgotność odnotowywano dla nawierzchni Teraaway.

Rodzaj nawierzchni		22.04.2022		24.05.2022		06.07.2022		22.08.2022		27.09.2022		28.10.2022		24.11.2022	
		% wilgoci naturalnej (gleba powietrznie sucha)	% wilgoci naturalnej (całkowitej)	% wilgoci naturalnej (gleba powietrznie sucha)	% wilgoci naturalnej (całkowitej)	% wilgoci naturalnej (gleba powietrznie sucha)	% wilgoci naturalnej (całkowitej)	% wilgoci naturalnej (gleba powietrznie sucha)	% wilgoci naturalnej (całkowitej)	% wilgoci naturalnej (gleba powietrznie sucha)	% wilgoci naturalnej (całkowitej)	% wilgoci naturalnej (gleba powietrznie sucha)	% wilgoci naturalnej (całkowitej)	% wilgoci naturalnej (gleba powietrznie sucha)	% wilgoci naturalnej (całkowitej)
Kostka DominoEco	0-20			8,80	9,86	8,43	8,57	7,90	8,10	4,04	4,64	9,78	10,21	11,08	11,55
	40-60			7,48	7,49	7,65	7,78	6,74	7,11	4,49	4,82	9,01	9,72	11,11	11,71
	60-90			6,94	7,15	6,54	6,90	6,25	6,75	4,48	4,51	8,50	8,57	7,69	8,11
Hans Grand	0-20			9,70	9,79	6,82	6,93	5,88	9,79	6,51	6,60	10,91	10,94	11,63	11,78
	40-60			8,80	9,46	7,80	8,24	9,61	9,69	11,63	11,77	11,83	12,67	11,83	11,92
	60-90			7,88	8,61	14,62	14,86	9,03	9,68	8,51	8,80	10,82	10,88	11,28	11,98
Teraaway	0-20	13,95	13,18	14,19	14,21	12,01	12,13	13,10	13,53	8,77	9,26	9,04	9,12	13,91	13,97
	40-60	12,01	13,90	14,45	14,61	12,11	12,63	10,18	10,28	7,80	8,52	9,28	9,85	13,20	13,79
	60-90	9,71	8,88	12,21	12,23	8,36	8,44	7,96	11,07	7,26	8,29	10,25	10,35	14,89	15,22
Hanzaway	0-20	14,95	15,47	13,26	14,36	14,62	14,75	10,22	10,49	5,48	6,07	12,95	14,27	11,70	11,88
	40-60	11,39	13,48	12,56	13,39	13,24	14,87	9,02	10,09	8,51	8,66	10,78	12,06	11,90	11,98
	60-90	10,85	11,20	15,80	16,44	11,22	12,11	7,58	8,22	5,95	7,77	10,01	10,47	11,86	13,09
Ekoway	0-20	16,13	15,11	15,80	15,91	15,47	16,63	8,09	11,89	6,86	7,96	13,92	15,09	13,17	13,34
	40-60	11,39	10,64	10,43	11,73	13,27	13,28	7,52	7,86	8,20	8,71	11,27	12,30	11,06	10,98
	60-90	8,97	8,45	7,80	8,08	10,93	11,37	7,41	8,31	7,80	8,40	9,81	9,99	9,98	10,85
Kostka DominoEco (nowe drzewko, podlewane)	0-20					23,37	24,06	36,82	41,74	29,36	30,74	27,64	28,33	20,84	21,27
	40-60					38,07	40,08	42,06	49,23	29,19	32,18	40,43	43,58	29,94	32,02
	60-90					40,44	40,54	31,73	36,19	21,36	24,46	40,41	41,13	33,50	34,13

Wnioski

- zastosowanie nawierzchni przepuszczalnych zwiększyło zasobność wody w glebie wyrażoną w postaci wilgotności masowej
- większość wody zawarta w badanych glebach występuje w postaci dostępnej dla roślin
- wyniki monitoringu zmian wilgotności w glebie wskazują największą efektywności uzyskano dla nawierzchni Terraway, jednak nie wskazują na wystąpienie znacznych i utrzymujących się w czasie różnic pomiędzy pozostałymi nawierzchniami tzn. EKOWAY, HanseGrand, Hanzaway, Domino Eko, niezależnie od głębokości
- aby uzyskać pełniejsze dane monitoring powinien być prowadzony w kolejnym sezonie wegetacyjnym