Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie

ACTA AGROPHYSICA

81

Grzegorz Bowanko, Mieczysław Hajnos

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI URBANOZIEMÓW. BADANIA MODELOWE

Monografia

Lublin 2003

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny - prof. dr hab. Jan Gliński, czł. rzecz. PAN

Z-cy Redaktora Naczelnego:
prof. dr hab. Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN - fizyka środowiska
prof. dr hab. Bogusław Szot - fizyka materiałów roślinnych
prof. dr hab. Ryszard Dębicki - gleboznawstwo

Rada Redakcyjna

prof. dr hab. J. Haman, czł. rzecz. PAN - przewodniczący

prof. dr hab. T. Brandyk
prof. dr hab. I. Dechnik
prof. dr hab. D. Drozd
prof. dr hab. F. Dubert
prof. dr hab. J. Fornal
prof. dr hab. E. Kamiński
prof. dr hab. A. Kędziora
prof. dr hab. T. Kęsik
prof. dr hab. Cz. Koźmiński
prof. dr hab. J. Laskowski
prof. dr hab. P.P. Lewicki
prof. dr hab. S. Nawrocki, czł. rzecz. PAN
prof. dr hab. E. Niedźwiecki
prof. dr hab. J. Sielewiesiuk
prof. dr hab. W. Stępniewski
prof. dr hab. Z. Ślipek
prof. dr hab. S. Zawadzki, czł. rzecz. PAN

Redaktorzy tomu

doc. dr hab. Mieczysław Hajnos
dr Grzegorz Bowanko

Opiniował do druku

prof. dr hab. Ryszard Turski

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201
20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: editor@demeter.ipan.lublin.pl
http: //www.ipan.lublin.pl

Publikacja indeksowana przez
Polish Scientific Journals Contents - Life Sci. w sieci Internet
pod adresem http://psjc.icm.edu.pl

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2003

Publikacja dofinansowana przez Komitet Badań Naukowych

ISSN 1234 - 4125

Wydanie I. Nakład 150 egz. Ark. wyd. 6,4
Skład komputerowy: dr G. Bowanko
Druk: Drukarnia *ALF-GRAF*, ul. Kościuszki 4, 20-006 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP 5
2. CZYNNIKI I PROCESY GLEBOTWÓRCZE 6
3. GLEBY ANTROPOGENICZNE 9
4. MATERIAŁY BUDOWLANE 18
   4.1. Kamienie 18
   4.2. Beton 19
   4.3. Beton zbrojony 20
   4.4. Beton komórkowy 22
   4.5. Cegła i zaprawa 22
5. MATERIAŁY I METODY 26
   5.1. Materiały 26
   5.2. Procedura prowadzenia cykli termicznych 27
   5.3. Statystyczna analiza wyników 27
   5.4. Wykonane analizy 27
6. WYNIKI 30
   6.1. Skład granulometryczny 30
   6.2. Powierzchnia właściwa zewnętrzna 37
   6.3. Powierzchnia właściwa całkowita 41
   6.4. Porowatość 45
   6.5. Gęstość fazy stałej 52
   6.6. Odczyn gleby 54
   6.7. Buforowość 60
7. PODSUMOWANIE 66
8. WNIOSKI 72
9. PIŚMIENNICTWO 74
10. STRESZCZENIE 81
11. SUMMARY 82

1. WSTĘP

Gleba jest to wierzchnia część skorupy ziemskiej, zmieniona pod wpływem czynników klimatycznych, roślinnych, zwierzęcych i wody, kształtująca się w zależności od rzeźby terenu i charakteru podłoża mineralnego. Obecnie w coraz większym stopniu kształtowana i modelowana jest przez działalność człowieka, której szczególnym przejawem jest powstawanie gleb antropogenicznych, w których skład wchodzą urbanoziemy. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury, stwierdzono, że prace na ten temat jakkolwiek dość liczne, mają charakter fragmentaryczny i dotyczą najczęściej konkretnego, wąskiego zagadnienia. Bardziej dokładne poznanie procesów tworzenia urbanoziemów a szczególnie próba ich charakterystyki z pewnością przyczyni się do pogłębienia wiedzy na temat urbanoziemów.

W niniejszej pracy wykorzystano jako czysty materiał glebowy glebę lessową wytworzoną z utworów pyłowych, która występuje przede wszystkim na Wyżynie Lubelskiej, Wyżynie Małopolskiej, w okolicach Kielc i Wrocławia oraz w kompleksach z glebami różnych podtypów. Tak więc stanowi ona ważny składnik utworów glebowych występujący na terenia naszego kraju i jest podstawowym utworem glebowym występującym na Lubelszczyźnie. W badaniach wykorzystano wierzchni poziom profilu glebowego (0-25cm) w oparciu o obserwacje poczynione na terenia miasta Lublina na placach budów i na terenach przyległych do nowo wybudowanych budynków. Wszędzie na powierzchni gleby i w wierzchnich warstwach profilu znajdowano znaczne ilości materiałów budowlanych, które w formie odpadów o różnym rozdrobnieniu były pozostawiane w glebie. Odpady budowlane w glebie i na jej powierzchni poddawane są różnym wpływom m.in. wody, temperatury, roztworów glebowych, które przyczyniają się do asymilacji tego zanieczyszczenia w środowisku glebowym, co z kolei prowadzi do zmiany właściwości fizycznych, chemicznych i fizyko-chemicznych nowo powstałej gleby, urbanoziemu.

Celem głównym pracy było prześledzenie, w jaki sposób dodane do gleby materiały budowlane zmieniają jej właściwości oraz przeobrażają się z formy zanieczyszczenia gleby w jej integralną część w procesie cyklicznych zmian temperatury.

2. CZYNNIKI I PROCESY GLEBOTWÓRCZE

Gleba jest tworem przyrody powstałym z różnorodnej mieszaniny odłamków zwietrzałych minerałów i rozkładającej się substancji organicznej, uformowanym w charakterystyczne poziomy profilu, okrywającym Ziemię cienką warstwą, która, o ile zawiera odpowiednie ilości wody, powietrza i ma odpowiednie właściwości mechaniczne, zdolna jest do częściowego zaspakajania potrzeb roślin.

Powstawaniu gleby towarzyszy szereg procesów i czynników glebotwórczych. Zgodnie z literaturą przedmiotu, procesem glebotwórczym nazywa się całokształt zmian zachodzących w skale macierzystej, w wyniku których tworzy się gleba i różnicuje jej profil. Za początek procesów glebotwórczych uważa się wietrzenie fizyczne, które, mimo że jedynie rozkrusza skały, to jednak umożliwia wkraczanie na tereny objęte tym procesem roślin niższych (mchy, porosty). Rośliny te w dalszym etapie powstawania gleby stają się źródłem substancji organicznej, z której w dalszej kolejności powstają związki próchniczne, które są uważane za jakościowy wyróżnik gleby [91, 92].

Czynniki glebotwórcze jako zespół elementów nie są stałym układem na całej skorupie ziemskiej. Na danym terenie może dominować kilka z nich lub tylko jeden, a pozostałe przyczyniają się do opóźniania lub przyspieszania procesów glebotwórczych. Procesy powstawania gleb naturalnych pod wpływem różnorodnych czynników glebotwórczych są dobrze poznane i opisane w literaturze. Stosunkowo najmniej poznane są procesy powstawania gleb urbanoziemnych.

Do czynników glebotwórczych, od których zależy przebieg i kierunek procesów glebotwórczych zalicza się: skałę macierzystą, klimat, biosferę, ukształtowanie powierzchni, hydrosferę, czas, działalność człowieka.

Powstawanie i rozwój gleby zależy od budowy i stanu rozdrobnienia skały macierzystej oraz od jej składu chemicznego i mineralnego. Decyduje ona o stałej fazie gleby, jej składzie granulometrycznym i składzie chemicznym, który wpływa na tempo oddziaływania czynników zewnętrznych na glebę. O szybkości i zakresie procesu glebotwórczego decyduje jakość skały macierzystej. Przyjmuje się, że skały zewnętrzne bogate w węglany czy zawierające krzemiany i glinokrzemiany zasadowe, wietrzeją wolniej niż skały bogate w związki krzemu i inne związki o charakterze kwaśnym. Obok składu minearologicznego, również fizyczne właściwości skał przyspieszają lub opóźniają procesy degradacji np. gruboziarniste skały magmowe wietrzeją szybciej niż drobnoziarniste.

Klimat jest najważniejszym zewnętrznym czynnikiem glebotwórczym, ponieważ decyduje on o układzie innych podstawowych czynników.
Istotne znaczenie w kształtowaniu gleb ma temperatura i związana z nią wilgotność, która wpływa na parowanie, a także na ilość i formę opadów oraz ich rozkład w roku. Oddziaływanie w/w czynników meteorologicznych jest ściśle ze sobą powiązane i ich wzajemny układ decyduje o kierunku formowania się gleby i jej dalszej ewolucji. Bardzo duże znaczenie ma układ: opady-parowanie. Stosunek opadów do parowania wpływa na krążenie roztworów glebowych [92].

Następnym bardzo istotnym czynnikiem oddziałującym na rozwój gleb, jest temperatura, która ściśle jest powiązana z klimatem. Ma ona decydujący wpływ na wiele procesów zachodzących w glebie, m. in. na szybkość reakcji chemicznych czy aktywność biologiczną. Wpływa również na strukturę gleby z uwagi na zmianę właściwości koloidów glebowych oraz procesy zamarzania-rozmarzania wody glebowej, którym towarzyszą zmiany objętości fazowej i związane z nimi znaczne gradienty ciśnienia powodujące zmiany stopnia dyspersji mineralnych składników gleby. Zamarzanie gleby wpływa również na strukturalny rozwój gleby, jej konsolidację, deformację i przemieszczanie cząstek [1, 11, 30, 31]. Procesy zamarzania i rozmarzania wody w glebie są ściśle związane z ilością wody, zawartością w niej soli oraz siłami, jakimi woda jest utrzymywana w profilu. Stwierdzono, że im wody w glebie jest mniej, a tym samym im mniejsze pory zajmuje, tym zamarza w niższych temperaturach [42].

Zamarzanie i rozmarzanie powoduje rozdrobnienie agregatów glebowych, stwierdzono również, że po okresie działania mrozu gleby są bardziej podatne na erozję wietrzną [5, 25]. Mrożenie wpływa również na stabilność agregatów, która zależy od składu granulometrycznego, mineralogicznego i zawartości substancji organicznej [15]. Trwałość agregatów jest zwykle odwrotnie proporcjonalna do zawartości wody w glebie podczas mrożenia [4, 58] oraz ilości cykli zamrażania i rozmrażania. Wraz ze wzrostem ilości prowadzonych cykli temperaturowych obserwowano spadek wodoodporności agregatów gleb mineralnych [60], jednak w glebach zawierających dużą ilość substancji organicznej zaobserwowano wzrost trwałości agregatów wraz z kolejnymi cyklami termicznymi [64]. Było to spowodowane dehydratacją i związaną z nią koagulacją koloidów glebowych wzmacniającą wiązania wewnątrzagregatowe.

Ważnymi czynnikami wpływającymi na efektywność procesu mrożenia są czas oraz tempo tego procesu. Wypadkowym efektem może być zarówno agregacja jak i dyspersja gleby. Powolnemu zamarzaniu towarzyszy niewielka

ilość punktów inicjalnych zamarzania i wzrost dużych kryształów lodu na zewnątrz agregatów. Gdy zamarzanie jest gwałtowne, formuje się duża ilość małych kryształów lodu wewnątrz agregatów co następuje prowadzi do rozbicia tych agregatów glebowych [76].

Biosfera jest znaczącym czynnikiem glebotwórczym, gdyż tworzy ona związki próchnicze, które różnią glebę od skały macierzystej czy jej zwietrzelin. Wpływ biosfery na powstanie i ewolucję gleby jest przykładem typowo kompleksowego współdziałania. Bardzo istotny jest układ między organizmami wyższymi i współżyjącymi z nimi mikroorganizmami. Zróżnicowanie składu próchnicy ma wpływ na proces glebotwórczy, a w następstwie na profil i właściwości gleby.

Hydrosfera jest czynnikiem glebotwórczym, którego oddziaływanie nasila się szczególnie tam, gdzie płytko pod powierzchnią zalega lustro wód gruntowych, a podsiak kapilarny sięga powierzchni topograficznej.

Gleba zasilana jest w wodę głównie z opadów atmosferycznych. Cała woda opadowa lub jej część wsiąka w glebę powiększając jej wilgotność. Część powstałej w ten sposób wody glebowej w wyniku działania sił grawitacyjnych przenika do warstwy wodonośnej powiększając zasoby wód gruntowych i głębinowych. Obecna w glebie woda tworzy tzw. roztwór glebowy, który jest jednym ze składników tworzących trójfazowy układ gleby. Bierze ona udział we wszystkich zachodzących w glebie procesach, np. wietrzenia minerałów, mineralizacji, humifikacji, jest czynnikiem hydratacyjnym żeli koloidalnych oraz rozpuszczalnikiem substancji organicznych i mineralnych, jak również odpowiada za transport składników pokarmowych w glebie oraz jest niezbędna dla rozwoju masy roślinnej i zwierzęcej [13, 34, 61, 63, 96].

Właściwości wodne gleb takie jak retencja i dostępność wody dla roślin, zależą od składu granulometrycznego gleby i rodzaju minerałów w niej występujących [27, 28, 89]. Zdolności retencyjne gleby w istotny sposób wpływają na jej stosunki powietrzno-wodne. Przy niezbyt dużym zagęszczeniu gleby, w większości przypadków wyraźny wzrost przepuszczalności powietrznej następuje wówczas, gdy potencjał wody glebowej osiąga wartości od pF 0 do pF 2,2 [75, 79]. Nadmierne zagęszczenie gleby pogarsza jej stosunki powietrzno-wodne i biologiczne, powoduje zmniejszenie porowatości i wzrost zwięzłości [80, 81].

Na terenie Polski wypadkowy ruch wody ma kierunek zstępujący, co ma istotny wpływ na kształtowanie się profilu glebowego, jego cech morfologicznych oraz właściwości fizycznych i chemicznych. Zstępujący ruch wody przyczynia się

do wypłukiwania i przemieszczania w głąb gleby zarówno jonów jak i drobnych części mineralnych i organicznych [78].

Woda dzięki swoim właściwościom fizycznym bierze czynny udział w wymianie energetycznej zachodzącej w środowisku glebowym. Woda w glebie występuje w trzech stanach skupienia: ciekłym, stałym i gazowym. Wszelka wymiana masy pomiędzy tymi stanami odbywa się wraz z wymianą energii (w postaci ciepła) z otoczeniem. Tak więc ilość wody w glebie w decydujący sposób determinuje wymianę energii w środowisku glebowym [88].

Ukształtowanie powierzchni jest czynnikiem glebotwórczym modelującym w/w czynniki. Wpływa on na klimat, a tym samym różnicuje przestrzenne rozmieszczenie zespołów roślinnych. Wpływa na zmianę warunków termicznych, powoduje różne uwilgotnienie poszczególnych elementów rzeźby terenu, może powodować erozję gleby.

Kolejnym i coraz bardziej dominującym czynnikiem glebotwórczym jest działalność człowieka i wiążący się z nią rozwój cywilizacji. Zmiany wywołane działalnością człowieka są różnorakiego rodzaju – niekiedy osłabiają one, a czasami wzmacniają naturalne procesy glebotwórcze, np. zakładanie lasów iglastych na ubogich w krzemiany piaskach nasila rozpoczęty proces bielicowania. W innych przypadkach obniżając poziom wód gruntowych w torfach powoduje się osuszanie górnych warstw co prowadzi do wytworzenia się charakterystycznych poziomów w ich profilach. Wynikiem dosłownego działania glebotwórczego człowieka są gleby antropogeniczne, należą m.in. do nich gleby ogrodnicze.

Na terenach przemysłowych, szczególnie w rejonie kopalni, hut i elektrowni powstają duże obszary nieużytków i hałd wymagających rekultywacji, w wyniku tych procesów powstają również gleby antropogeniczne.

Jednym z przejawów działalności człowieka jest pozostawianie w glebie materiałów budowlanych po zakończeniu prac budowlanych, które ulegają korozji pod wpływem tych samych czynników, jakie oddziałują na nie, gdy są poza glebą. Jednakże procesy chemiczne, fizyczne i fizykochemiczne są wielokrotnie bardziej intensywne w środowisku glebowym, przez co przemiany materiałów budowlanych zachodzą w nim znacznie szybciej niż na powietrzu.

3. GLEBY ANTROPOGENICZNE

W miarę rozwoju cywilizacji, dominującym czynnikiem glebotwórczym staje się działalność człowieka. Wzrost intensywności przemysłu, rolnictwa i innych

gałęzi gospodarki coraz częściej wpływa na kierunek rozwoju gleb i powstawanie tzw. gleb antropogenicznych, których profil glebowy został zmieniony w wyniku tworzenia, przede wszystkim kopalń odkrywkowych, terenów zurbanizowanych, wysypisk śmieci, prowadzenia prac melioracyjnych, itp. Wprowadzanie na tych terenach do profilu glebowego różnego rodzaju materiałów w różnych ilościach, mimo że proces ich kumulacji nie trwał stosunkowo długo (w porównaniu do okresu powstawania naturalnej gleby na danym terenie), spowodowało nieodwracalne zmiany i powstanie nowego rodzaju gleby. Do podstawowych prac powodujących powstawanie gleb antropogenicznych zaliczyć można:

- głębokie, zmechanizowane roboty ziemne, poniżej poziomu normalnych prac ziemnych,
- intensywne nawożenie,
- melioracje,
- uprawy zalewowe,
- dodawanie do gleby różnego rodzaju materiałów często odpadowych:
  - (Aria) mineralny materiał gleby, który gromadzi się w jednej lub kilku warstwach pomiędzy 25 a 100 cm poniżej powierzchni gleby, materiał ten stanowi minimum 3% wagowe analizowanego poziomu i nie jest spotykany w warunkach naturalnych.
  - (Garbic) odpady organiczne,
  - (Reductic) śmieci, których zaleganie i zachodzące w nich beztlenowe procesy powodują powstawanie gazów szklarniowych (metanu, dwutlenku węgla),
  - (Spolic) „materiał ziemny" nanoszony na powierzchnię naturalnej gleby w wyniku działalności człowieka (powyższy materiał powstaje w wyniku prac prowadzonych przy powstawaniu kopalń, pogłębiania rzek, budowy dróg i autostrad),
  - (Urbic) gruz i materiały wytworzone przez człowieka (obecność powyżej 35% tych odpadów przyczynia się do powstania gleb atropogenicznych).

Opierając się o prace World Reference Base for Soil Resources, (WRB) można stwierdzić że do gleb antropogenicznych należy zaliczyć przede wszystkim gleby, na których były prowadzone wieloletnie i intensywne prace rolne. O charakterystyce i właściwościach tych gleb decyduje rodzaj wykonywanych prac. Występują one często na nieznacznych powierzchniach, ale w wielu częściach świata, przede wszystkim na starych, ornych terenach Europy i nawadnianych terenach Bliskiego Wschodu i Chin, na obszarach upraw prowadzonych na polach

ułożonych tarasowo w basenie morza Śródziemnego i na Półwyspie Arabskim, również na terenach obu ameryk gdzie prowadzona jest od lat uprawa ryżu [45].

W oparciu o Polską nomenklaturę, w glebach antropogenicznych można wyróżnić dwa rzędy gleb. Pierwszy rząd to gleby kulturoziemne, powstałe w wyniku działania intensywnej gospodarki i wysokiej kultury rolnej [71].

Drugi rząd gleb wyróżnionych w dziale gleb antropogenicznych to gleby industio- i urbanoziemów. Gleby te obejmują utwory glebowe przeobrażone w wyniku oddziaływania zabudowy przemysłowej i komunalnej. Ten, najwyższy stopień degradacji środowiska glebowego prowadzi do zasadniczych zmian w naturalnych właściwościach morfologicznych, fizycznych i chemicznych gleby. Do tego rzędu gleb zaliczane są również obszary zniszczone mechanicznie lub hydrologicznie, bądź też zapylone w takim stopniu, że spowodowało to trwałe zmiany w biofizykochemicznych układach profilu glebowego. Powstałe zmiany mogą być wynikiem bezpośredniego lub pośredniego oddziaływania przemysłu i urbanizacji na glebę [52].

Przemysł, a zwłaszcza górnictwo powoduje deformacje powierzchni, które w większości przypadków prowadzą do mechanicznego uszkodzenia profilu gleb a to z kolei przyczynia się do niekorzystnych zmian stosunków powietrzno-wodnych tych gleb. Obok zabudowy przemysłowej duże znaczenie w powstawaniu gleb mechanicznie zdegradowanych mają też odpady komunalne, których znaczenie w tym procesie zaczyna dominować. Przemysł również w sposób pośredni wpływa na właściwości środowiska glebowego. Przede wszystkim jest to związane z wprowadzaniem do atmosfery różnego rodzaju stałych i gazowych zanieczyszczeń. Ta działalność przemysłu wprawdzie nie powoduje widocznych zmian w profilu glebowym ale jej skutki są bardzo dobrze widoczne podczas rutynowych analiz chemicznych materiału glebowego. Najłatwiej można zaobserwować pośredni wpływ przemysłu na środowisko obserwując spadek plonów na skażonym terenie, pojawienie się niespotykanych na danym terenie chorób roślin, czy zwierząt, czy też powstawanie nieużytków wskutek zapylenia gleby [52].

Ważną częścią gleb antropogenicznych są obszary aglomeracji miejskich, na których obok degradacji mechanicznej gleby występuje też proces degradacji chemicznej, takiej jak: zasolenie, zakwaszenie, alkalizacja czy nagromadzenie metali ciężkich. Do terenów zurbanizowanych zalicza się też szlaki komunikacyjne, wzdłuż których występują tereny skażone przez gazy spalinowe i pyły. Na tych terenach zachodzi głównie nagromadzenie metali ciężkich, mimo że tereny te zachowują cechy morfologiczne gleb nie zanieczyszczonych.

Do rzędu gleb industrio- i urbanoziemnych należą cztery typy gleb:

gleby antropogeniczne o niewykształconym profilu – są to gleby w których nie można wyróżnić poziomów genetycznych. Powstają z materiału mineralnego nasypów, wyrobisk, zwałów i skarp. Do tego typu należą też gleby głęboko przekopane i przemieszane,

gleby antropogeniczne próchniczne – gleby te powstają w wyniku bezpośredniej działalności człowieka. Występują one głównie na obszarach aglomeracji miejskich i zostają przeobrażone w wyniku oddziaływania zabudowy przemysłowej i komunalnej oraz przemysłu. Są to gleby charakteryzujące się stosunkowo dużą warstwą próchniczną, przekształcone mechanicznie, chemicznie lub hydrologicznie. Bardzo często na terenach, na których występuje ten rodzaj gleby w/w przekształcenia nakładają się na siebie,

pararędziny antropogeniczne – są to gleby charakteryzujące się dużą zawartością węglanu wapnia który nagromadził się przede wszystkim w warstwie powierzchniowej w wyniku działalności człowieka. W glebach tych poziom węglanu wapnia przekracza 5% a w większości wypadków waha się w granicach do 10 do 20%. W niższych warstwach profilu obserwuje się znaczne zmniejszanie się jego zawartości nawet do całkowitego zaniku. Głównym źródłem węglanu wapnia jest pozostawiany na terenach zurbanizowanych znaczących ilości gruzu lub pyłu wapiennego, który bardzo powoli ulega rozkładowi,

gleby słone antropogeniczne – gleby te występują na terenie miast i w najbliższym otoczeniu ciągów komunikacyjnych. Powstają na skutek stosowania soli przeciw gołoledzi i w wyniku zanieczyszczeń przemysłowych. Z powodu takiego rodzaju zanieczyszczenia, do gleb tego typu zalicza się gleby, które charakteryzują się ponad 2%-wym stężeniem soli rozpuszczonych w wodzie glebowej oraz występowaniem do głębokości 125cm słonego poziomu o miąższości większej niż 15 cm [52, 72].

Charakterystyka obszarów miejskich zaczęła się wyraźnie zmieniać wraz z rozwojem miast, który zaczął gwałtownie postępować w II połowie XIX w., równolegle z rozwojem przemysłu i napływem do miast ludności. Rozbudowa miast polegała początkowo na zagospodarowaniu przyłączanych do centrum nowych terenów położonych w bezpośredniej ich odległości. Budowane domy stanowiły zwartą strukturę, w której występowały jedynie niewielkie podwórka. Wolne przestrzenie były rozrzucone chaotycznie i składały się na nie niewielkie skwery, parki i cmentarze. Następnie, w latach dwudziestych i trzydziestych zaczęto wprowadzać planowy rozwój i rozbudowę miast. Spowodowało to, że wolne, zielone obszary zaczęły odgrywać coraz większą rolę w planowaniu

przestrzennym miast. Do połowy lat 60-tych budowane były stosunkowo małe osiedla mieszkaniowe z domami wielorodzinnymi oraz osiedla z niską zabudową położone blisko centrów miast. Dopiero na przełomie lat 60-tych i 70-tych zaczęto kłaść coraz większy nacisk na budownictwo wielorodzinne i przyznano duże znaczenie terenom zielonym w obszarze miasta. Powstające osiedla mieszkaniowe tworzyły małe satelitarne miasteczka usytuowane wokół centrum. Zajmowały one coraz to nowe obszary, które były w coraz większym stopniu urozmaicone. Składały się na nie grunty orne jak i nieużytki rolne. Często obszary miejskie wchłaniały tereny zalesione. Z czasem miasta stawały się obszarami bardzo urozmaiconymi pod względem ukształtowania terenu. Składały się na nie tereny komunalne, obszary przemysłowe, różnego rodzaju tereny zielone i w coraz większym stopniu wpływające na środowisko ciągi komunikacyjne [8, 73].

Powstające tereny miejskie, są to obszary, na których mamy do czynienia z najwyższą formą degradacji środowiska przyrodniczego, poprzez zabudowanie powierzchni, co prowadzi do ubytku ilościowego gleby, utrudnienia lub zupełnego zaniku wymiany gazowej i wodnej między atmosferą a glebą. Zabudowa techniczna przyczynia się również do pośredniej degradacji środowiska w tym i gleby. Jest ona źródłem stałych, ciekłych i gazowych zanieczyszczeń dla biologicznie czynnych przyległych obszarów. Powoduje ponadto przyrost intensywności oddziaływania promieni słonecznych, co prowadzi do zwiększenia średniej rocznej temperatury na zabudowanym terenie i przyczynia się następnie do zmniejszenia wilgotności powietrza i gleby. Ujemne działanie zabudowy na środowisko glebowe zależy od jej udziału powierzchniowego. Równie ważna jest tu też struktura przestrzenna zabudowy decydująca o stopniu rozdrobnienia powierzchni biologicznie czynnej. Przy tym samym procentowym udziale zabudowy, degradacja gleby może przyjmować różne rozmiary. Jest to uzależnione od stosunku powierzchni biologicznie czynnej (w m^2) do długości linii zabudowy (w m). Na terenach objętych tą formą degradacji wyróżnia się powierzchnie czynne [86]:

bardzo małe – powierzchnie z powodu niewielkich rozmiarów mogą przyjmować różne kształty a przez to i różne warianty stosunku powierzchni biologicznie czynnej do długości linii zabudowy i tak przy formach kwadratowych stosunek ten wynosi ok. 1:1, zaś przy prostokątnych ok. 1,5:1. Powierzchnie te z każdej strony są zabudowane,

małe – w tym wypadku stosunek powierzchni do obwodu kształtuje się jak 3:1, niezależnie od ich kształtu,

średnie – stanowią podstawową formę na osiedlowych i przemysłowych terenach zielonych. Na obszarach tych, ze względu na prowadzenie samodzielnej gospodarki wodnej, istnieje tu możliwość skutecznego przeciwdziałania skutkom zabudowy. Wielkość tych powierzchni kształtuje się w granicach 150-2500 m^2,

duże – stanowią naturalne układy glebowo-roślinne, o areale przekraczającym 2500 m^2. Presja zabudowy technicznej na tych obszarach jest stosunkowo mała, ale nie można ich porównywać z terenami rolnymi.

Zakłada się, że przeciętna degradacja powierzchni bardzo małych wynosi ok. 50 %, małych 35% a średnich ok. 15 %. Stopień degradacji gleby uzależniony jest od stosunku powierzchni zabudowanych do biologicznie czynnych w strukturze przestrzennej miasta [86].

Obecnie w planach zagospodarowania terenów miejskich analizuje się wpływ zabudowy na środowisko miejskie również z uwzględnieniem gleby i możliwych form roślinności. Dla drzew sztuczne, miejskie środowisko jest szczególnie wrogim otoczeniem, w którym występują wszystkie formy degradacji środowiska glebowego. Dlatego w miastach powinny być tak prowadzone prace budowlane by w jak najmniejszym stopniu zostały naruszone naturalne właściwości gleby. W planach urbanistycznych tereny zielone miast powinny zajmować właśnie takie obszary, a nie być głównym i jedyny sposobem rekultywacji terenów zdegradowanych w wyniku działalności człowieka [47].

Miejskie tereny mają specyficzny, ekologiczny charakter, który zależy od klimatu, wegetacji roślin, gleby i uwarunkowań hydrologicznych. Cechuje się on zadziwiającą rozmaitością środowisk, organizmów i społeczności. „Młoda" i „stara" ziemia występują na małych powierzchniach. Dzięki temu badania gleby dostarczają wiele informacji o ekologii tych terenów. Według wielu autorów podstawową cechą gleb antropogenicznych jest rozmieszczenie różnego rodzaju i ilości zanieczyszczeń w wierzchniej warstwie gleby, (1m). Są one wprowadzane do gleby w wyniku ciągłego zanieczyszczania środowiska lub w wyniku incydentalnych zdarzeń. Ilość gromadzących się w ten sposób materiałów z każdym rokiem się powiększa i prowadzi do powstawania w profilu glebowym warstw materiałów antropogenicznych, które to wręcz prowadzą do zaburzenia i zmiany obiegu materii w środowisku glebowym[43].

W literaturze gleboznawczej coraz więcej uwagi poświęca się właściwościom urbanoziemów. Podejmowane badania dotyczą przede wszystkim degradacji gleb miejskich spowodowanej działalnością człowieka. Na obszarach miejskich prowadzone były badania z zakresu zawartości i mobilności metali ciężkich obecnych w glebie, roślinach, stałych odpadach komunalnych i ściekach, które

obok przemysłu i komunikacji są głównym źródłem zanieczyszczenia środowiska [2, 7, 36, 49, 55, 62, 69, 74, 77, 94, 97].

Prowadzone są badania dotyczące zastosowania różnego rodzaju substancji wpływających na mobilność metali ciężkich, np. hydroksyapatyt, spełnił swoją rolę jako substancja zapobiegająca przedostawaniu się metali do głębszych warstw profilu glebowego to jednak jego zastosowanie jest bardzo ograniczone i możliwe tylko w niewielkich ilościach [7].

Gleba nie jest tylko miejscem wzrostu roślin czy też miejscem składowania niepotrzebnych materiałów, ale również bierze czynny udział w wymianie wszelkiego rodzaju składników pomiędzy wodą powierzchniową, wodą podziemną, atmosferą a przez to pośrednio wpływa na jakość pożywienia, które zostaje wyprodukowane z jej udziałem. Dlatego badania składu wierzchnich warstw gleby są bardzo ważne, szczególnie na terenach antropogenicznych. Poza tym substancje zanieczyszczające glebę bardzo często wpływają na zdrowie człowieka nie tylko ze względów na higienę i jakość pożywienia czy pitej wody, ale również poprzez przedostawanie się do organizmu ludzkiego wraz z wdychanym powietrzem drobin pyłu porywanego z powierzchni gleby, który może zawierać m.in. metale ciężkie [12].

Miejskie środowisko jest znacznie zróżnicowane pod względem jego zanieczyszczenia, którego ocena i rozmiar zmienia się w granicach miast i maleje proporcjonalnie do zwiększającej się odległości od ich centrów. Wysoki poziom zanieczyszczeń spotykany jest na terenach uprzemysłowionych, w pobliżu wysypisk śmieci i na terenach, które zostały skażone w wyniku różnego rodzaju katastrof. Ponieważ 1/3 całej populacji ludzi żyje w miastach, a te stają się coraz bardziej zatłoczone i jednocześnie stają się coraz większym źródłem zanieczyszczeń, które w decydujący sposób oddziaływują na ludzkie zdrowie. Z tego powodu ludzie coraz częściej zaczynają się interesować najbliższym środowiskiem. Ponieważ poziom zawartości metali ciężkich w urbanoziemach staje się podstawowym przedmiotem kontroli środowiska, dlatego też dane te stają się kluczem do efektywnego zarządzania i rozwoju terenów miejskich. Prowadzone badania podstawowe przede wszystkim maja na celu osiągnięcie równowagi między optymalny poziom rozwoju miast i jednocześnie najmniejszym poziomem skażenia środowiska [93].

Obecność metali ciężkich analizowana jest również w pobliżu stacji benzynowych, gdzie stwierdzono znaczący wzrost ołowiu w wierzchniej warstwie profilu glebowego [55, 69].

W oparciu o dane literaturowe można stwierdzić, że w Europie na przełomie ostatnich 16 lat w wyniku rozwoju gospodarczego i podnoszenia się poziomu życia ludności, w miastach podwoiła się ilość produkowanych odpadów. Z tego powodu coraz większe znaczenia mają prace służące sortowaniu i odzyskiwaniu materiałów, które mogą być ponownie wykorzystane. Znaczące ilości odpadów komunalnych stanowi materiał organiczny, który po odpowiedniej obróbce może być stosowany jako surowiec rekultywujący tereny zdegradowane lub w rolnictwie. Ma to znaczenie gdyż jest to stosunkowo tanie i bogate źródło materii organicznej i w niektórych przypadkach może z powodzeniem zastąpić stosowanie innego rodzaju nawożenia [3].

Na terenach suchych, gdzie degradacja ziemi spowodowała obniżenie się jakości gleby często prowadzi się prace rekultywacyjne z zastosowaniem materiału powstałego z odpadów komunalnych. Zastosowanie miejskich odpadów zawierających wysoki poziom polisacharydów okazał się bardzo efektywnym sposobem na poprawienie struktury gleby i zwiększenie jej stabilności. Materiał ten okazał się znacznie bardziej efektywnym materiałem rekultywacyjnym niż torf [21].

Zastosowanie tak pozyskanego materiału organicznego w rolnictwie jest ściśle uwarunkowane właściwościami te materiału, jego wpływem na właściwości gleby i wód glebowych, jak również rodzajem produkcji rolnej prowadzonej na danym terenie. Podstawowym problemem z jakim mamy do czynienia w przypadku tego rodzaju nawozów to fakt istnienia w przeważającej ilości przypadków wysokiego poziomu zawartości metali ciężkich, które mogą być wypłukane do wód gruntowych, czy też mogą skazić rośliny i pośrednio zwierzęta hodowlane a tym samym i ludzi [32].

Z każdym rokiem zauważalny jest wzrost natężenia ruchu samochodowego w miastach, co powoduje wzrost zapylenia, zasolenia ulic i trawników w zimie. Rośnie również wpływ przemysłu. Wymienione czynniki powodują negatywne zmiany w warunkach życia zarówno ludzi jak też zwierząt i roślin. Prowadzone są prace dotyczące zasolenia środowiska miejskiego, które powoduje m.in. utrudnienie wegetacji wielu roślin występujących w miastach, w szczególności drzew, jak również wpływa na choroby zwierząt [9, 38].

Każde miasto tworzy swój bardzo specyficzny klimat, który jest znacząco inny od klimatu z jakim mamy odczynienia na otwartej przestrzeni otaczającej to miasto. Zawsze centra miast są cieplejsze w porównaniu do otaczających je przedmieść. Takie zjawisko jest spowodowane większą aktywnością ludzi, która jest skupiona na stosunkowo małej przestrzeni, na której mamy do czynienie

bardzo dużym nasileniem ruchu pojazdów. W centrach miast są zlokalizowane i umieszczone blisko siebie durze budynki, które wraz z obsługujących je urządzeniami, są źródłem promieniowania termicznego, zawierającego się w przedziale 130 – 300 W/m^2 (wyznaczane dla powierzchni budynków) [44]. Gradienty temperatur występujące w ciągu całej doby na terenie zurbanizowanym i jego okolicach przyczyniają się do znaczących zmian we właściwościach gleb występujących na danym terenie w porównaniu do takich samych gleb występujących nie objętych procesami towarzyszącymi urbanizacji. Gleba jest osłonięta budynkami i miejską infrastrukturą przez co jest utrudniona, a często wręcz niemożliwa wymiana energii cieplnej, cyrkulacja powietrza czy wody [35]. Dlatego prowadzone są prace mające na celu poprzez zbadanie wpływu rodzaju i wielkości zabudowy na temperaturę ekosystemu miejskiego wyznaczenie nowych trendów w dziedzinie urbanizacji, które w mniejszym stopniu byłyby uciążliwe dla gleb występujących w środowisku miejskim.

Prowadzono prace, które miały na celu zbadanie wpływu pyłów cementowych na właściwości gleby [17]. Na przykładzie kombinatu cementowo-wapiennego stwierdzono, że zawartość Zn, Cu, Fe, Mn była zbliżona do ilości tych pierwiastków w glebach nie zanieczyszczonych, natomiast zawartości mobilnych mikroelementów (rozpuszczalnych w wodzie i wymiennych) są bardzo niskie [16]. Na podstawie kolejnych analiz stwierdzono, że największa zawartość $CaCO_3$ w wierzchniej warstwie gleby (powyżej 4%) występowała w 200-tu metrowym pasie otaczającym cementownię. Odczyn gleby nie był skorelowany z ilością węglanu wapnia. Maksimum alkalizacji występowało w pasie 100-200 m od cementowni i wraz z odległością wzrastała kwasowość gleby [24].

Badania dotyczące wpływu obecności w glebach miejskich zanieczyszczeń mechanicznych o wymiarach większych od 1 mm, takich jak:
- odpady budowlane,
- odpady rozproszone w procesie eksploatacji surowców mineralnych,
- opakowania po różnych towarach,
- nieorganiczne odpady gospodarstw ludzkich,

prowadzone były w niewielkim zakresie. Zanieczyszczenia mechaniczne gleb są szczególnym problemem na terenach objętych wpływem budownictwa miejskiego i przemysłowego oraz szlaków komunikacyjnych, gdzie w toku wykonywanych prac następuje ich intensywne zanieczyszczenie.

4. MATERIAŁY BUDOWLANE

Jednym ze znaczących przejawów procesów degradacji gleb znajdujących się na terenach zurbanizowanych jest pozostawianie na ich powierzchni lub w wierzchnich warstwach profilu glebowego różnego rodzaju i ilości materiałów budowlanych. Zanieczyszczenia te pochodzą z okresu prowadzona prac budowlanych lub ich obecność jest wynikiem procesów korozyjnych zachodzących na powierzchni murów już istniejących budowli.

Do przyczyn niszczenia obiektów budowlanych można zaliczyć:

- przyczyny zewnętrzne: klimat (opady atmosferyczne, zmiany temperatury i wilgotności, wiatry), warunki geologiczne, zanieczyszczenie powietrza, czas istnienia obiektu,
- przyczyny wewnętrzne: wynikające z budowy, i właściwości materiałów z jakich zbudowano obiekty.

Do najbardziej agresywnych zewnętrznych przyczyn niszczenia obiektów budowlanych można zaliczyć tlenki kwasowe SO_2 , NO_x i CO_2 czy amoniak, które rozpuszczając się w wodzie opadowej i w wodzie kapilarnej obecnej w porach materiałów budowlanych, tworzą bardziej lub mniej agresywne roztwory. Tak powstałe substancje rozpuszczają składniki materiałów budowlanych, które dostając się do gleby zanieczyszczają ją. Wszystkie w/w czynniki są ściśle skorelowane z czasem trwania oddziaływania ich na materiały budowlane.

Do materiałów, które mają zastosowanie w budownictwie można zaliczyć:

- kamienie,
- beton,
- żelbeton,
- beton komórkowy,
- cegła
- ceramika budowlana,
- drewno,
- zaprawy budowlane.

4.1. Kamienie

Materiał ten był w przeszłości był najczęściej stosowanym budulcem. Jedną z wad tego materiału jest ich duża przewodność cieplna. Kamienie naturalne ze skał magmowych (granit, bazalt) są całkowicie odporne na działanie czynników korozyjnych jakie występują w budownictwie. Kamienie naturalne pochodzenia wapiennego nie są odporne na działanie czynników chemicznych. Materiał ten z

powodu na niską odporność na korozję i wysokie przewodnictwo termiczne są praktycznie nieużywane jako materiał budulcowy, jedynie mają zastosowanie do prac elewacyjnych [57].

4.2. Beton

Beton jest tworzywem jednorodnym, ale składa się z dwóch zasadniczych faz: kruszywa i stwardniałego zaczynu cementowego, które znacząco różnią się między sobą odpornością na czynniki korozyjne. W budownictwie powszechnie stosowane są jako dodatek do betonu kruszywa naturalne jak żwiry czy piaski oraz rzadziej kruszywa łamane ze skał magmowych (bazalty, granity). Charakteryzują się one praktycznie całkowitą odpornością na czynniki chemiczne. Równie znaczącą odpornością na czynniki chemiczne charakteryzują się niektóre kruszywa sztuczne jak: glinopyryt czy czyste żużle paleniskowe. Rzadziej stosowane kruszywa naturalne łamane ze skał wapiennych oraz żużli wielkopiecowych ulegają rozkładowi, m.in. pod wpływem środowiska kwaśnego [57].

Stwardniały zaczyn cementowy (kamień cementowy) charakteryzuje się złożoną budową chemiczną i mineralogiczną uzależnioną od użytego cementu a w ramach tego samego cementu od pochodzenia złóż surowcowych. Głównym składnikiem kamienia cementowego są: uwodnione krzemiany wapniowe o wzorze ogólnym $m\ CaO \cdot SiO_2 \cdot n\ H_2O$, uwodnione gliniany wapniowe – m.in. $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19\ H_2O$, uwodnione żelaziany wapniowe – m.in. $4CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot n\ H_2O$ [57].

W procesie hydratacji cementu wydziela się dość duża ilość wodorotlenku wapniowego $Ca(OH)_2$, do 10% masy zaczynu, który decyduje o silnie alkalicznym odczynie betonu oraz gwarantuje stabilność układów mineralnych. Z biegiem czasu wodorotlenek wapniowy reaguje z dwutlenkiem węgla zawartym w powietrzu i przechodzi w węglan wapniowy $CaCO_3$ zwiększając w pewnym zakresie szczelność zaczynu i wytrzymałość na ściskanie [57].

Kamień cementowy, szczególnie wchodzący w jego skład $Ca(OH)_2$, a później $CaCO_3$, stanowi materiał podatny na korozję przede wszystkim środowiska kwasów i niektórych soli. Związki glinu wchodzące w reakcje z siarczanami tworzą silnie uwodnione sole pęczniejące [57].

Skład betonów określa potencjalną odporność tego materiału na korozję. Podatność efektywna zależy jednak w głównej mierze od cech betonu, przede wszystkim od jego szczelności i pośrednio wytrzymałości na ściskanie. Szczelność warunkuje dostęp czynników agresywnych w głąb materiału, a wytrzymałość

będącą podstawową miarą jakości betonu związana pośrednio ze szczelnością jest w pewnym stopniu również miarą trwałość betonu [39].

Te cechy betonu zależą od sposobu zaprojektowania mieszanki betonowej (doboru składników: cementu, kruszywa), wykonania (ułożenia, zagęszczenia) i temperatury oraz wilgotności w czasie dojrzewania. Cechy betonu zmieniają się w czasie m.in. w skutek procesów karbonizacji i hydratacji grubszych ziaren cementu. Prawidłowa pielęgnacja betonu, szczególnie w okresie pierwszych 14 dni od zarobienia sprzyja „samouszczelnieniu" betonu dzięki stopniowemu wypełnianiu porów produktami hydratacji [57].

Do głównych czynników korodujących beton w budynkach komunalnych i przemysłowych należą:

- kwasy organiczne,
- sole, głównie siarczany,
- dwutlenek węgla,

w budownictwie rolniczym dodatkowo:

- siarkowodór,
- amoniak.

4.3. Beton zbrojony

Stosowany w budownictwie beton zbrojony to w pewnym stopniu przykład elektrolitu stałego [26]. Występujące w nim pory i kapilary wypełnione są roztworem, najczęściej o różnym składzie chemicznym. Stężenia oraz ich rodzaj decydują o stanie zachowania zbrojenia oraz rozmiarach zniszczeń, jakie w nim powoduje korozja. Stal zbrojeniowa w betonie w naturalnych warunkach jest chroniona przed korozją dzięki wytworzeniu na jej powierzchni warstwy ochronnej. Podczas działania wody na cement ulega on hydrolizie (1,2).

$$3\,CaO\ x\ SiO_2 + 4{,}5\,H_2O \rightarrow CaO\ x\ SiO_2\ x\ 2{,}5\,H_2O + 2Ca(OH)_2 \qquad (1)$$

$$2\,CaO\ x\ SiO_2 + 3{,}5\,H_2O \rightarrow CaO\ SiO_2\ x\ 2{,}5\,H_2O + Ca(OH)_2 \qquad (2)$$

Powstaje mocna zasada –wodorotlenek' wapniowy, która jest głównym składnikiem roztworu wypełniającego pory i kapilary betonu. Reaguje ona z wodorotlenkiem żelaza (działającym jak kwas w obecności silnej zasady) prowadząc do powstawania żelazianu wapnia, odpornego na działanie wody (3).

$$2\,Fe(OH)_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Fe_2O_3\ x\ CaO + 4H_2O \qquad (3)$$

Karbonizacja betonu przebiega szybciej w regionach przemysłowych, zanieczyszczonych w wyższym stopniu dwutlenkiem węgla, gdzie następuje szybsze niszczenie konstrukcji żelbetonowych. O trwałości zbrojenia w dużym stopniu decyduje rodzaj zanieczyszczeń środowiska. Szkodliwe dla betonu są gazy: dwutlenek węgla, siarki i chlorowodór. Gazy te wpływają na korozję betonu, a w dalszym etapie działania następuje korozja zbrojenia. W wyniku korozji betonu może następować zobojętnienie otuliny, tworzą się produkty korozji betonu agresywne w stosunku do zbrojenia. Powoduje to obniżenie szczelności betonu, bądź też całkowite odsłonięcie zbrojenia [26].

Dwutlenek siarki reaguje z wodorotlenkiem wapnia, dając gips:

$$Ca(OH)_2 + SO_2 + 1/2\ O_2 + H_2O \rightarrow CaSO_4 + 2\ H_2O \qquad (5)$$

Gips krystalizując powiększa swoją objętość, początkowo wypełnia pory i kapilary – uszczelnia beton. Następnie wskutek wytworzonych ciśnień (narastanie kryształów) zachodzi niszczenie struktury betonu oraz obniża się pH roztworu [26].

Na korozyjną odporność zbrojenia betonu wpływa również wilgotność i temperatura otoczenia. Przy niskiej wilgotności powietrza korozja zbrojenia praktycznie nie zachodzi, ponieważ zbyt mała ilość wody w betonie zapobiega procesom elektrochemicznym. Są one również hamowane przy wysokiej wilgotności powietrza, w granicach około 100%. W takich warunkach pory kapilary wypełnione są wodą, która utrudnia dostęp tlenu prętów zbrojenia. Korozja zbrojenia w betonie rozwija się najszybciej przy wilgotności względnej powietrza w granicach 70-80%. Przy tej wilgotności występuje w porach betonu wystarczająca ilość wody, aby stanowiła ona dobry przewodnik jonowy. Ponadto nie wypełnia ona w całości porów, przez co tlen z powietrza w swobodny sposób może przechodzić w głąb porów do zbrojenia. Korozja zbrojenia przebiega najszybciej w warunkach okresowego – przemiennego zawilgocenia i suszenia. Za optymalną dla rozwoju korozji zbrojenia przyjmuje się wilgotność względną powietrza 70% przy temperaturze 20°C oraz 60% przy temperaturze 40°C [26].

Omawiając korozyjną odporność zbrojenia w betonie uwzględnić należy zniszczenia betonu wynikające z nasiąkliwości wodą betonu, która prowadzi do korozji zbrojenia w warunkach zamarzania i rozmarzania wody znajdującej się w porach i kapilarach betonu. Proces ten traktuje się jako działania pośrednie,

ponieważ w wyniku rozkruszania otuliny dochodzić może do odsłonięcia zbrojenia. Jest on szczególnie niebezpieczny, gdy w wyniku postępującej korozji zbrojenia w otulinie tworzą się rysy i pęknięcia powstałe wskutek objętościowo wzrastających produktów korozji żelaza [26].

4.4. Beton komórkowy

Beton komórkowy jest dosyć kontrowersyjnym materiałem budowlanym, którego zagadnienia trwałości były dosyć często podejmowane w pracach naukowych, które wykazały, że w korzystnych warunkach beton komórkowy ulega szybkiej korozji [50, 66]. Z prac doświadczalnych i teoretycznych na temat trwałości betonów komórkowych wynika, że w przypadku przekroczenia pewnego progu zawilgocenia (20-30% w zależności od rodzaju materiału) następuje niszczenie tych betonów wskutek działania mrozu [56, 57]. Beton komórkowy różni się pod wieloma względami od zwartych betonów kruszywowych, a przede wszystkim: porowatą strukturą, dużą wrażliwością materiału na zmiany wilgotności i temperatury otoczenia [57].

Z powodu dobrej izolacji termicznej, beton komórkowy bywa stosowany m.in. do budowy zarówno budynków mieszkalnych jak i inwentarskich. Z powodu dużej chłonności wody jaką charakteryzuje się ten materiał, koniecznym wydaje się bardzo dobra izolacja ścian wykonanych z betonu komórkowego z zewnątrz ale i wewnątrz budynków gospodarskich. Podczas badań budynków inwentarskich zanotowano zawilgocenia ścian sięgające 46% masy [51]. Inne badania dowodzą, że produkowane w Polsce betony komórkowe o zawilgoceniu masy poniżej 30%, są materiałem odpornym na działanie mrozu [56]. Większe zawilgocenie przyczynia się do tzw. uszkodzeń mrozowych. W przypadku zastosowania do budowy budynków z zbrojonego betonu komórkowego (już po jednym okresie jesienno-zimowym) następuje bardzo szybko korozja zbrojenia. Korodująco na beton komórkowy działa również dwutlenek węgla [57].

4.5. Cegła i zaprawa

Jednym z najczęściej stosowanych materiałów budowlanych jest cegła. Właściwości cegły są uzależnione od składu masy ceramicznej oraz przebiegu procesu technologicznego. Skład mineralogiczny masy ceglarskiej jest następujący:
- surowce plastyczne (gliny, łupki ilaste itp.)
- surowce schudzajace (np. kwarc)
- topniki (np. skalenie)

- surowce pomocnicze [84].

Złe przygotowanie masy ceramicznej prowadzi do powstania defektów, które przyczyniają się do otrzymania cegieł o słabych właściwościach mechanicznych i podatnych na wszelkie procesy destrukcyjne. Przygotowanie masy ma na celu wyeliminowanie lub rozdrobnienie składników gruboziarnistych i dokładne wyrobienie wszystkich składników z wodą, która powinna równomiernie nawilżyć całą masę. Wady cegieł wywołane nieprawidłowym wyrobieniem składników ujawniają się podczas formowania półproduktów. W efekcie powstają cegły zdeformowane, spękane o małej wytrzymałości mechanicznej. Niewłaściwe wyrobienie powoduje ujawnienie się dalszych defektów w trakcie suszenia i wypalania [84].

Podobnie jak właściwości cegieł, również cechy zapraw wpływają na stan zachowania się murów. Oryginalne zaprawy wapienne charakteryzują się dużą nasiąkliwością i wykazują dobrą zdolność kapilarnego podciągania wody. Niestety, ze względu na zwiększoną rozpuszczalność spoiwa w wodzie zawierającej dwutlenek węgla oraz małą odporność na kwasowe zanieczyszczenie powietrza i niską mrozoodporność, większość dawniej stosowanych organicznych zapraw wapiennych nie przetrwała do dnia dzisiejszego i została wymieniona na zaprawy cementowe. Te ostatnie mają dobre cechy mechaniczne, lecz bardzo złe właściwości kapilarne oraz zawierają często duże ilości soli rozpuszczalnych w wodzie. Z tego powodu zaprawy cementowe spowodowały silne zniszczenie oryginalnych cegieł i zapraw [26]. Jednym z głównych czynników niszczących obiekty ceglane jest woda. W czasie podciągania kapilarnego wody z gruntu do porów murów budowli dostają się często rozpuszczalne w wodzie sole, które transportowane są na wysokość kilkunastu metrów. Krystalizując w porach powierzchniowych muru, sole te powodują obniżenie wytrzymałości mechanicznej, a w efekcie kruszenie i odpadanie fragmentów cegieł i zapraw. Jednocześnie niektóre z soli w obecności wody hydrolizują powodując jej lekkie zakwaszenie lub alkalizację. W obecności wolnych kwasów następuje rozkład spoiwa wapiennego i rozpuszczanie minerałów ilastych [26].

Zniszczone i wypłukane oryginalne zaprawy w starych, zabytkowych budynkach zastąpiono szczelnymi mocnymi zaprawami cementowymi. Woda nie mogąc się przez nie przedostać przenika do cegieł, z powierzchni których odparowuje, a sole w niej zawarte krystalizując powodują zniszczenie murów. W wielu cennych zabytkach oryginalne cegły uległy zniszczeniu, a pozostały wtórne zaprawy cementowe [26].

Badania objawów korozji budynków we wszystkich przypadkach wykazały, że niszczenie materiału ceramicznego występowało w strefach zewnętrznych murów szczególnie narażonych na zawilgocenie. Korozja materiałów budowlanych spowodowana niskimi temperaturami związana jest z właściwościami wody. Przede wszystkim łączy się to ze zwiększeniem objętości wody wraz z obniżeniem jej temperatury poniżej 4°C oraz podczas zamarzania. Zwiększająca swą objętość woda wywiera nacisk na ścianki porów. Wczesną wiosną i późną jesienią częste zamarzanie i rozmarzanie wody w porach materiałów budowlanych powoduje zniszczenia powierzchni i zmianę stanu zachowania murów. Zniszczenia murów są szczególnie wyraźne po okresie zimowym [85]. Mrozoodporność wyrobów ceramicznych zależy od indywidualnych cech surowca, z którego są one produkowane oraz procesu technologicznego produkcji. Surowce zawierające minerały ilaste z grupy kaolinitu i illitu wykazują po wypaleniu większą mrozoodporność od wyrobów wyprodukowanych z glin zasobnych w materiały ilaste z grupy montmorylonitu. Przeprowadzone badania wykazały że mrozoodporność wyrobów ceramicznych zależy od wielkości i struktury porów [86]. Pory o średnicy powyżej 200 μm uważane są za bezpieczne, natomiast o średnicy 200 μm – 0,1 μm są niebezpieczne. Następuje w nich zamarzanie wody, powodując naprężenia w materiale dochodzące do 280 Mpa. Stąd można wnioskować, że wytrzymałość mechaniczna samego materiału ceramicznego nie ma w zasadzie wpływu na mrozoodporność wyrobów ceramiki budowlanej. O mrozoodporności wyrobów ceramicznych decyduje tzw. charakterystyka materiału określana wzorem [57]:

$$S = \frac{V_r}{V_{op} V_r} \cdot 100$$

gdzie: S – charakterystyka strukturalna, V_r – objętość porów zapasowych – bezpiecznych (ponad 200μm), V_{op} – objętość porów, których wielkość przkracza dolną granicę porów niebezpiecznych.

Ustalone charakterystyki dla różnych wyrobów ceramiki budowlanej wykazały, że gdy wartość S przekracza 9%, to wyrób jest mrozo odporny [57].

Stan zachowania obiektów ceglanych uzależniony jest od obecności w materiałach budowlanych związków siarki. Związki te mogą być wprowadzane do wyrobów ceramicznych wraz z surowcami, jak również powstawać w pewnych warunkach w procesie produkcyjnym. Wśród tych związków trzeba wyróżnić

siarczany sodu i potasu oraz trudniej rozpuszczalny siarczan wapnia. Wszystkie wymienione sole działają w sposób wcześniej opisany, dodatkowo ich krystalizacja jest ściśle powiązana z ilością wody zawartej w środowisku. Każdej zmianie stopnia uwodnienia soli towarzyszy zmiana objętości kryształów. Częste zmiany wilgotności prowadzą do powierzchniowych zniszczeń cegieł i zapraw, spękań czy złuszczeń. Dodatkowym źródłem soli są zaprawy cementowe [26].

W wyniku silnego zanieczyszczenia środowiska na powierzchni murów powstaje nalot, który składa się głównie z sadzy, krzemionki, substancji smolistych i gipsu. Powstający nalot stanowi barierę dla przemieszczania się wody i pary. Przemieszczające się wraz z wodą sole krystalizując pod zbitymi nawarstwieniami powodują ich złuszczanie łącznie z warstwą powierzchniową cegieł.

Na stan zachowania materiałów budowlanych wpływają również bytujące na nich mikroorganizmy. Źródłem zakażenia obiektów jest przede wszystkim woda gruntowa, która – kapilarnie podciągana – transportuje z gleby bakterie, glony i inne drobnoustroje.

Negatywny wpływ wszystkich mikroorganizmów oraz roślinności wyższej na obiekty budowlane można sprowadzić do trzech aspektów: oddziaływania chemicznego, działania mechanicznego i stałego zawilgocenia obiektu. W trakcie procesów metabolicznych wydzielane są rozcieńczone kwasy. Są to słabe kwasy organiczne powodujące rozkład węglanu wapniowego zapraw i tynków oraz roztwarzanie materiałów ilastych cegieł [26].

Jednocześnie rozwój drobnoustrojów, głównie glonów i porostów, powoduje mechaniczne rozsadzanie porów powierzchniowych materiałów budowlanych. Rozwijające się drobnoustroje wypełniają pory i wywierają coraz większe ciśnienie na ścianki porów w cegłach i zaprawach, powodując ich uszkodzenie. W efekcie tych procesów powierzchnia materiałów rozkrusza się i złuszcza. Ponadto obecność mikroorganizmów zwiększa stopień zawilgocenia murów, przez co wzrasta zagrożenie związane z zamarzaniem wody obecnej w materiale ceramicznym.

5. MATERIAŁY I METODY

5.1. Materiały

W badaniach wykorzystano wierzchni poziom profilu glebowego (0 - 25 cm) gleby płowej lessowej.

Materiał glebowy został wymieszany z betonem, cegłą, betonem komórkowym, zaprawą i gruzem budowlanym. Na gruz składały się jednakowe ilości wagowe użytych materiałów budowlanych. Wszystkie materiały budowlane przed zmieszaniem zostały zmielone i przesiane przez sito o średnicy oczek 1 mm. Mieszaniny gleby i pojedynczych materiałów budowlanych sporządzono w stosunku wagowym 1:1, natomiast mieszaniny gleba-gruz przygotowano w następujących stosunkach wagowych: 9:1; 8:2; 7:3; 6:4; 5:5. Tak otrzymane modelowe urbanoziemy przechowywano w temperaturze pokojowej.

Do równoległej serii modelowych urbanoziemów dodawano torf niski, często stosowany jako środek „rekultywujący" tereny po zakończeniu prac budowlanych. Torf został zmielony i przesiany przez sito o średnicy oczek 1 mm. Jego zawartość była jednakowa w każdej mieszaninie i wynosiła 6% wagowych[1].

W celu wstępnej standaryzacji próbek, badane mieszaniny nawilżono wodą w ilości około 25% wagowych, co zawiera się w przedziale wilgotności pomiędzy polową pojemnością wodną a punktem więdnięcia dla gleby lessowej, a następnie poddano kilku cyklom osuszania-nawilżania do momentu ujednolicenia składu agregatowego.

---

[1] Zastosowana dawka torfu była oparta o pracę Diaz E., w której analizowano wpływ torfu i organicznych odpadów miejskich na stabilność agregatów w glebach zdegradowanych. Użyta dawka odpowiadała maksymalnemu dodatkowi torfu w powyższej pracy [21].

5.2. Procedura prowadzenia cykli termicznych

Otrzymane modelowe mieszaniny glebowe poddano cyklom termicznym polegającym na przemiennym zamrażaniu i ogrzewaniu w temperaturach t=-20°C i t=30°C. Zastosowane temperatury odpowiadają temperaturom notowanym w naszym regionie. W czasie doświadczenia utrzymywano stałą wilgotność mieszanin równą 25% wagowym. Próbki przebywały przez 1 tydzień w temperaturze t=30°C i następnie, przez kolejny tydzień, w temperaturze t=-20°C. Taki proces powtarzany był 3 razy, co stanowiło pojedynczy cykl zamrażania-rozmrażania. W sumie przeprowadzono trzy takie cykle. Po upływie każdego cyklu pobierano część materiału potrzebną do przeprowadzenia analiz (pozostałą część mieszanin modelowych poddawano następnemu cyklowi termicznemu).

Podsumowując: cykle termiczne trwały 18 tygodni. Materiał badawczy był pobierany po 6-tym, 12-tym i 18-tym tygodniu.

5.3. Statystyczna analiza wyników

Każdy pomiar poszczególnych wielkości fizykochemicznych wykonywano w trzech powtórzeniach, poza pomiarem składowych swobodnej energii powierzchniowej, gdzie wykonano 10 powtórzeń. Poszczególne mierzone wielkości analizowano pod kątem ich zmian pod wpływem prowadzonych cykli termicznych. W celu stwierdzenia, czy zmiany te nie są spowodowane błędem pomiaru, a są wynikiem przemian zachodzących w materiale glebowym, a więc w celu stwierdzenia istotności otrzymanych wyników, przeprowadzono analizę wariancji. Opracowanie statystyczne zostało przeprowadzone na poziomie istotności przyjmowanym dla badań przyrodniczych α=0,05.

5.4. Wykonane analizy

W ramach przeprowadzonych doświadczeń wykonano m.in. następujące analizy: skład granulometryczny, gęstość, porowatość, powierzchnia właściwa, odczyn gleby, buforowość.

Wybór zastosowanych metod badawczych podyktowany był chęcią znalezienia jak najbardziej wszechstronnej charakterystyki tak złożonego materiału badawczego, jakim są urbanoziemy w stadium ich powstawania.

Badany materiał był złożonym układem zdyspergowanym o charakterze wielofazowym, wieloskładnikowym i polidyspersyjnym. Dlatego też do jego badania wybrano metody stosowane do opisu układów zdyspergowanych.

Jedną z podstawowych charakterystyk takiego układu jest skład granulometryczny. Badany materiał dzieli się na tzw. frakcje, czyli zbiór cząstek o określonych średnicach, mieszczących się w przedziale liczb granicznych, które wyznaczają największą i najmniejszą średnicę zastępczą określonej frakcji.

Odnosząc się zarówno do składu granulometrycznego jak i składu chemicznego fazy stałej, następną podstawową wielkością charakteryzującą układy zdyspergowane jest powierzchnia właściwa. Powierzchnię właściwą mierzoną na podstawie niskotemperaturowej adsorpcji azotu uważa się za równą powierzchni zewnętrznej. Na bazie pomiarów adsorpcji pary wodnej określa się nie tylko zewnętrzną powierzchnię składników gleby lecz również wewnętrzną powierzchnię sieci pęczniejących minerałów ilastych oraz przestrzenie mikrokapilarne, czyli powierzchnię całkowitą. Na podstawie izoterm adsorpcji i desorpcji można również wyznaczyć rozkład i średni promień mikroporów, energię adsorpcji, ciepło adsorpcji netto [46, 53, 67].

W układach glebowych powierzchnia właściwa jest dobrze skorelowana z zawartością i rodzajem frakcji ilastej i próchnicy glebowej, a ponadto z właściwościami sorpcyjnymi i fizycznymi gleb takimi jak: mikroporowatość gleby, zawartość wody niedostępnej dla roślin, zwięzłość i lepkość gleby [13, 19, 23, 37, 59, 70, 82]. Okazała się ona również czułym wskaźnikiem przebiegu procesów strukturalnych, glebotwórczych i erozyjnych [33]. Celowe było więc określenie zmian powierzchni właściwej również w badanych modelach gleb urbanoziemnych.

Kolejną istotna charakterystyką układu zdyspergowanego jest porowatość fazy stałej. Opisuje ona ogólnie jej strukturę, którą można przedstawić jako kształty, rozmiary i wzajemne ułożenie cząstek i agregatów. W glebie ilość porów, ich objętość i rozmiary warunkują wiele istotnych zjawisk jak zatrzymywanie i obieg gazów, wody i składników pokarmowych oraz stopień penetracji gleby przez korzenie. Z tego powodu porowatość i rozkład porów coraz częściej brane są pod uwagę w rozważaniach dotyczących struktury gleby [41, 43, 48, 54, 78]. Porowatość gleby zależy od składu granulomterycznego, stopnia obtoczenia ziaren, rodzaju i ilości minerałów ilastych i ilości próchnicy, jak również od warunków klimatycznych (temperatury, wilgotności), szaty roślinnej, stosowanych zabiegów uprawowych i nawożenia oraz melioracji [40, 85].

Ponieważ odczyn jest jedną z najbardziej istotnych cech gleby, decydującą o przebiegu wielu procesów glebowych, w pracy badano również zmiany odczynu mieszanin gleby z odpadami pobudowlanymi. Większość roślin rozwija się prawidłowo w dość wąskim zakresie odczynu. Odczyn gleby wpływa na dostępność i przyswajalność większości składników pokarmowych. Szczególnie niekorzystny jest kwaśny odczyn gleby, który pochodzi zarówno od jonów wodorowych zawartych w roztworze glebowym, jak i od jonów H^+ i Al^{3+} zasorbowanych w glebowym kompleksie sorpcyjnym [29, 65]. Kwaśny odczyn powoduje pojawienie się toksyczności glinu i manganu oraz osłabienie rozwoju azotobakterii czy bakterii brodawkowych. W kwaśnym środowisku są obecne bakterie przetwarzające materię organiczną na mało wartościowe formy próchnicy, co powoduje niekorzystne warunki dla rozwoju specyficznych organizmów glebowych, np. dżdżownic [10]. Kwaśne środowisko powoduje rozpad minerałów ilastych, co prowadzi do osłabienia kompleksu sorpcyjnego.

Właściwości buforujące gleby są bardzo istotnym czynnikiem przeciwdziałającym zmianom odczynu. Obok obecności mieszaniny kwasów i ich soli na zdolność buforowania wpływa również obecność kompleksu sorpcyjnego, który również może brać udział w wymianie jonów wodorowych ze środowiskiem glebowym. Zdolności buforowe kompleksu sorpcyjnego wzrastają wraz ze wzrostem zawartości w niej koloidów. Ponieważ dodatek materiałów budowlanych może znacznie zmieniać właściwości buforowe gleby, badano również zmiany właściwości buforowych modelowych urbanoziemów.

Opisane powyżej wielkości mogą ulegać znacznym zmianom w wyniku dodania do gleby materiałów budowlanych oraz w trakcie dalszych przeobrażeń tak otrzymanych mieszanin.

6. WYNIKI

W dalszej części pracy stosowano następujące oznaczenia próbek:

- Gruz-10 - (modelowa mieszanina gleby i 10% wagowych gruzu),
- Gruz-20 - (modelowa mieszanina gleby i 20% wagowych gruzu),
- Gruz-30 - (modelowa mieszanina gleby i 30% wagowych gruzu),
- Gruz-40 - (modelowa mieszanina gleby i 40% wagowych gruzu),
- Gruz-50 - (modelowa mieszanina gleby i 50% wagowych gruzu),
- Ceg-gl - (modelowa mieszanina gleby i 50% wagowych cegły),
- Bet-gl - (modelowa mieszanina gleby i 50% wagowych betonu),
- Betkom-gl - (modelowa mieszanina gleby i 50% wagowych betonu komórkowego),
- Zap-gl - (modelowa mieszanina gleby i 50% wagowych zaprawy).

Podstawowe składniki mieszanin modelowych, tj. materiały budowlane, torf i gleba były analizowane podczas wstępnych badań, które miały na celu ocenę zmian ich właściwości fizykochemicznych pod wpływem cyklicznych zmian temperatury przy zachowaniu stałej wilgotności. Czas trwania cykli temperaturowych odpowiadał 18-sto tygodniowym cyklom termicznym wykonanym na mieszaninach modelowych w czasie właściwych pomiarów.

6.1. Skład granulometryczny

W Tabeli 1 przedstawiony jest skład granulometryczny materiałów budowlanych użytych do sporządzenia mieszanin modelowych urbanoziemów. Zamieszczono w niej wyniki pochodzące z pomiarów wykonanych na sitach i metodą sedymentacyjną.

Tabela 1. Skład granulometryczny analizowanych materiałów budowlanych. (%)
Table 1. Grenulometric composition of analyzed buildings' materials. (%)

Materiał	Pomiar na sitach (mm)		Pomiar sedymentacyjny (mm)		
	1	0,25	Piasek 1-01	Pył 0,1-0,02	Ił <0,02
Materiał wyjściowy					
Cegła	71	29	39	44	17
Beton	39	61	81	15	4
Betkom	75	25	86	3	11
Zaprawa	30	70	84	9	7
Gruz	64	36	67	21	12
Materiał po obróbce termicznej					
Cegła	66	34	38	37	25
Beton	46	54	40	28	32
Betkom	54	46	80	8	12
Zaprawa	33	67	71	14	15
Gruz	61	39	65	18	17

Analiza składu agregatowego materiałów budowlanych przeprowadzona na sitach pokazała, że w wyniku obróbki termicznej nastąpił przyrost frakcji poniżej 0,25 mm. Również skład granulometryczny cząstek uzyskany metodą sedymentacyjna na mokro (Bouyoucosa / Cassagrande'a w modyfikacji Pruszyńskiego) ulegał zmianom. Wyjściowy materiał budowlany charakteryzował się znaczną przewagą frakcji piasku. Po przeprowadzonych cyklach termicznych nastąpił znaczący przyrost frakcji iłu i pyłu kosztem frakcji piasku, co wyraźnie wskazuje na mechaniczną korozję tych materiałów pod wpływem mrożenia.

Dodanie materiału budowlanego do gleby spowodowało wzrost ilości frakcji piasku kosztem frakcji o mniejszym uziarnieniu. Przeprowadzone cykle termiczne spowodowały zmiany w rozkładzie frakcji granulometrycznych gleby i jej mieszanin modelowych z materiałami budowlanymi, Tabela 2.

Z powodu ujednolicenia materiału badawczego w analizie sitowej materiał wyjściowy był analizowany jedynie na sitach o średnicy oczek 1 i 0,25 mm.

Modelowe utwory glebowe powstałe w wyniku zmieszania z glebą materiałów budowlanych swoim składem granulometrycznym upodobniły się do gleb lekkich łatwiej przepuszczalnych i skłonnych do przesychania.

Tabela 2. Zmiany składu granulometrycznego gleby i jej modelowych mieszanin pod wpływem prowadzonych cykli termicznych.
Table 2. Changes of grenulometric composition soil and her of model mixtures under of led thermal cycles.

Materiał	>7	7	5	3	1	0,25	Piasek 1-01	Pył 0,1-0,02	Ił <0,02
Materiał wyjściowy									
Gleba					46	54	5	59	36
Ceg-gl					51	49	27	40	33
Bet-gl					63	37	45	34	21
Betkom-gl					66	34	42	40	18
Zap-gl					57	43	43	37	20
Gruz-10					48	52	18	48	34
Gruz-20					51	49	23	46	31
Gruz-30					53	47	33	43	24
Gruz-40					54	46	35	40	25
Gruz-50					52	48	45	37	18
Po 6 tygodniach									
Gleba	65	7	10	13	3	2	13	50	37
Ceg-gl	22	4	9	39	18	8	15	28	37
Bet-gl	65	3	3	10	9	11	42	40	18
Betkom-gl	25	6	9	38	20	3	41	39	20
Zap-gl	40	6	9	14	17	14	42	37	21
Gruz-10	76	6	6	6	2	3	14	53	33
Gruz-20	80	3	5	5	4	4	22	49	29
Gruz-30	36	7	12	25	15	6	24	52	24
Gruz-40	31	6	11	23	21	9	34	41	25
Gruz-50	41	6	9	15	16	13	44	39	17

Tabela 2. Kontynuacja.
Table 2. Continued.

Materiał	>7	7	5	3	1	0,25	Piasek 1-01	Pył 0,1-0,02	Ił <0,02
Po 12 tygodniach									
Gleba	46	5	10	21	11	8	5	61	34
Ceg-gl	26	3	7	26	19	19	26	54	20
Bet-gl	16	0	2	22	31	29	26	49	25
Betkom-gl	19	1	5	23	37	15	48	35	17
Zap-gl	25	3	8	21	28	15	49	35	16
Gruz-10	42	5	10	20	15	9	21	54	25
Gruz-20	41	5	9	20	18	7	50	35	15
Gruz-30	46	4	7	15	14	15	29	43	28
Gruz-40	29	4	8	23	29	7	41	43	16
Gruz-50	15	2	7	22	33	21	44	38	18
Po 18 tygodniach									
Gleba	33	7	12	27	14	8	32	37	31
Ceg-gl	11	2	8	28	26	25	25	53	22
Bet-gl	0	1	1	22	36	40	47	38	15
Betkom-gl	18	2	5	32	33	10	49	37	14
Zap-gl	12	2	6	24	34	22	34	48	18
Gruz-10	38	3	19	21	11	8	18	53	29
Gruz-20	33	5	12	25	15	8	22	52	26
Gruz-30	30	6	10	23	18	12	27	50	23
Gruz-40	10	2	8	29	27	24	34	46	20
Gruz-50	22	2	6	23	26	21	46	38	16

Gleby takie charakteryzują się niewielkim podsiąkiem kapilarnym, brakiem zdolności do magazynowania substancji pokarmowych i szybkim tempem rozkładu substancji organicznej. Dodanie torfu do modelowych urbanoziemów nie wpłynęło znacząco na zmianę składu granulometrycznego mieszanin, Tabela 3.

Tabela 3. Zmiany składu granulometrycznego gleby i jej modelowych mieszanin modyfikowanych torfem pod wpływem prowadzonych cykli termicznych.
Table 3. Changes of grenulometric composition soil and her of model mixtures modified by peat under of led thermal cycles.

Materiał	>7	7	5	3	1	0,25	Piasek 1-01	Pył 0,1-0,02	Il <0,02
Materiał wyjściowy									
Gleba					42	58	26	56	18
Ceg-gl					46	54	29	41	30
Bet-gl					63	37	41	34	25
Betkom-gl					68	32	40	38	22
Zap-gl					52	48	47	31	22
Gruz-10					45	55	38	39	23
Gruz-20					49	51	32	41	27
Gruz-30					56	44	32	38	30
Gruz-40					52	48	38	38	24
Gruz-50					51	49	39	42	19
Po 6 tygodniach									
Gleba	57	8	10	16	6	3	16	50	34
Ceg-gl	12	4	6	16	31	31	27	48	25
Bet-gl	22	8	6	19	34	11	50	34	16
Betkom-gl	9	3	5	13	50	20	43	42	15
Zap-gl	31	8	11	18	26	6	51	33	16
Gruz-10	47	7	11	18	13	4	19	49	32
Gruz-20	47	8	10	16	15	4	30	51	19
Gruz-30	35	7	10	19	23	6	28	44	28
Gruz-40	29	5	11	20	27	8	36	44	20
Gruz-50	15	4	8	18	40	15	45	39	16

Tabela 3. Kontynuacja.
Table 3. Continued.

Materiał	>7	7	5	3	1	0,25	Piasek 1-01	Pył 0,1-0,02	Ił <0,02
Po 12 tygodniach									
Gleba	52	6	8	18	12	4	13	48	39
Ceg-gl	15	3	6	20	27	29	19	47	34
Bet-gl	33	4	8	24	24	7	32	36	32
Betkom-gl	8	2	4	14	43	29	28	41	32
Zap-gl	39	5	8	15	27	6	38	30	32
Gruz-10	37	7	11	21	18	6	18	48	34
Gruz-20	33	5	9	24	24	5	8	55	37
Gruz-30	40	5	8	18	17	12	29	43	28
Gruz-40	29	6	7	18	30	10	26	42	32
Gruz-50	24	4	8	21	32	11	34	33	33
Po 18 tygodniach									
Gleba	44	6	9	15	17	9	11	40	49
Ceg-gl	1	1	3	18	30	47	21	57	22
Bet-gl	1	2	2	16	47	32	48	34	18
Betkom-gl	9	2	6	9	40	34	41	42	17
Zap-gl	22	3	6	14	38	17	50	35	15
Gruz-10	39	3	8	14	20	16	15	52	33
Gruz-20	33	5	7	17	21	17	48	37	15
Gruz-30	26	4	6	16	29	19	28	44	28
Gruz-40	13	2	5	18	39	23	35	42	23
Gruz-50	16	1	5	18	23	37	24	50	26

W wyniku prowadzonych cykli termicznych przy stałej, 25% wilgotności, skład granulometryczny mieszanin modelowych uległ znaczącym zmianom.

Statystyczna ocena zmienności wyników składu granulometrycznego otrzymanych w toku prowadzonych cykli termicznych pokazana jest w Tabeli 4.

Tabela 4. Statystyczna ocena zmienności wyników składu granulometrycznego modelowych mieszanin i gleby.
Table 4. Statistical opinion of changeability of results of granulometric composition of model mixtures and soils.

Materiał	Piasek				Pył				Ił			
Bez torfu												
	6	12	18	wsp.	6	12	18	wsp.	6	12	18	wsp.
Gleba	+	+	+	40,3	+	+	+	13,6	+	+	+	36,9
Ceg-gl	+	+	+	19,8	+	+	+	13,6	+	+	+	19,1
Bet-gl	+	+	+	19,0	+	+	+	2,8	+	+	+	31,9
Betkom-gl	+	+	+	17,8	+	+	+	4,6	+	+	+	35,3
Zap-gl	+	+	+	12,7	+	+	+	6,8	+	+	+	36,7
Gruz-10	+	+	+	46,5	+	+	+	11,9	+	+	+	16,6
Gruz-20	+	+	+	55,7	+	+	+	18,2	+	+	+	39,6
Gruz-30	+	+	+	6,4	+	+	+	6,7	+	+	+	3,5
Gruz-40	+	+	+	15,7	+	+	+	6,0	+	+	+	20,7
Gruz-50	+	+	+	25,0	+	+	+	17,2	+	+	+	32,3
Z torfem												
Gleba	+	+	+	92,6	+	+	+	21,1	+	+	+	7,6
Ceg-gl	+	+	+	23,9	+	+	+	28,0	+	+	+	29,5
Bet-gl	+	+	+	23,8	+	+	+	15,7	+	+	+	21,6
Betkom-gl	+	+	+	9,0	+	+	+	5,8	+	+	+	14,4
Zap-gl	+	+	+	14,6	+	+	+	15,0	+	+	+	11,8
Gruz-10	+	+	+	16,2	+	+	+	16,2	+	+	+	13,5
Gruz-20	+	+	+	47,3	+	+	+	47,3	+	+	+	28,2
Gruz-30	+	+	+	13,3	+	+	+	13,3	+	+	+	8,9
Gruz-40	+	+	+	9,3	+	+	+	6,2	+	+	+	20,3
Gruz-50	+	-	+	2,1	+	+	-	2,2	+	+	+	5,5

(+) – zmiana istotna ze statystycznego punktu widzenia, (-) – zmiana nieistotna ze statystycznego punktu widzenia, (wsp.) – współczynnik zmienności, umożliwia porównanie zbiorów wyników, wyrażony jest w %.
(+) - essential change from statistical point of sight, (-) - unimportant change from statistical point of sight, (wsp.) - coefficient of changeability, comparison of gatherings of results makes possible, expressed is in %.

Zauważone zmiany mają miejsce głównie we frakcjach piasku i iłu, czego potwierdzeniem jest większa zmienność wyników wyznaczona dla tych frakcji. Dodatek torfu powoduje w pewnym stopniu niwelowanie wpływu dodatku materiałów budowlanych na skład granulometryczny gleby. Przejawia się to mniejszymi zmianami w ilości poszczególnych frakcji granulometrycznych w porównaniu do zmian w mieszaninach bez dodatku torfu.

6.2. Powierzchnia właściwa zewnętrzna

W Tabeli 5 przedstawiono wartości powierzchni właściwej zewnętrznej materiałów budowlanych i torfu wyznaczone z niskotemperaturowej adsorpcji azotu. Przedstawione dane ilustrują zmiany wielkości powierzchni właściwej badanych materiałów przed i po poddaniu ich cyklom termicznym.

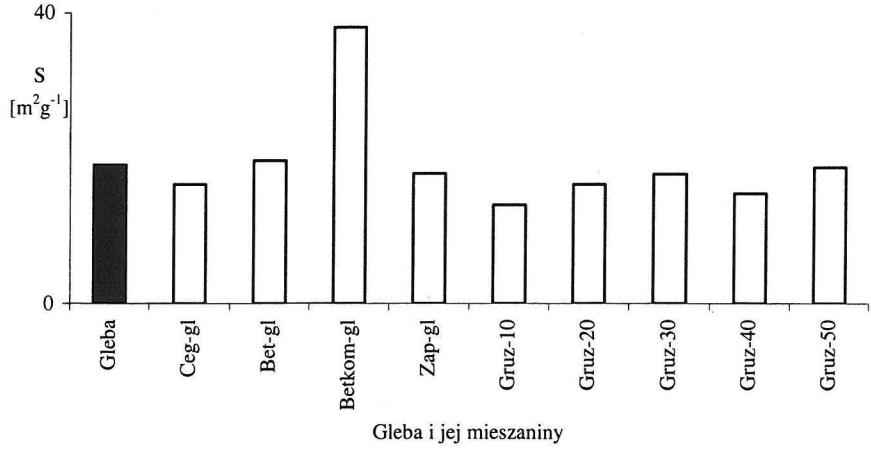
Tabela 5. Powierzchnia właściwa zewnętrzna materiałów budowlanych wyznaczona z niskotemperaturowej adsorpcji azotu, wyrażona w m^2g^{-1}.
Tabela 5. Specific surface area materials buildings' appointed from nitrogen adsorption. m^2g^{-1}.

Materiał	Przed cyklami termicznymi	Po cyklach termicznych
Cegła	3,6	5,5
Beton	9,2	12,5
Betkom	34,6	38,9
Zaprawa	8,6	10,2
Gruz	3,4	4,5
Torf	3,1	3,9

Obecność materiałów budowlanych w mieszaninach modelowych wpłynęła na zmiany wyznaczanej powierzchni właściwej w stosunku do gleby naturalnej, Rys. 1.

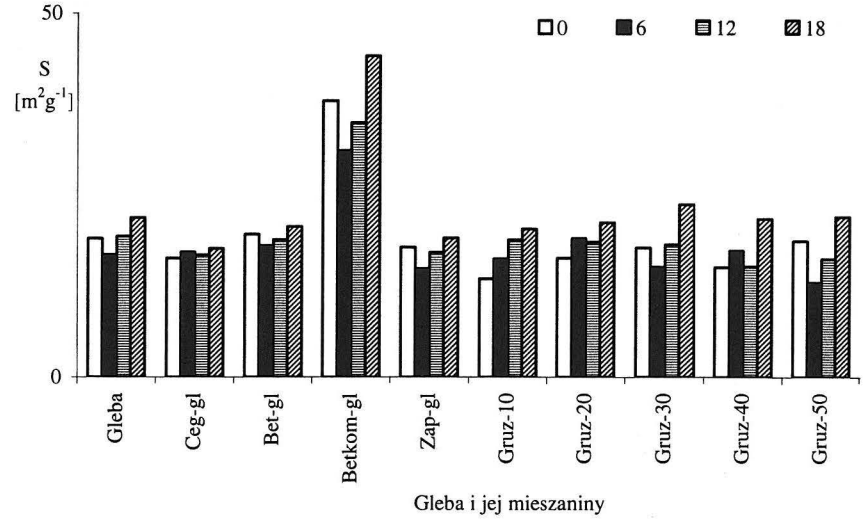
Jedynie gleba w mieszaninie z betonem komórkowym wykazuje większą powierzchnię właściwą w stosunku do gleby naturalnej. W pozostałych przypadkach wyznaczane wielkości powierzchni właściwej są mniejsze lub zbliżone do powierzchni właściwej gleby naturalnej.

Wpływ cyklicznych zmian temperatury na wielkość powierzchni właściwej gleby i mieszanin modelowych przedstawiają Rys. 2 i 3.



Rys. 1. Zmiana wielkości powierzchni właściwej zewnętrznej naturalnej gleby pod wpływem dodania do niej materiałów budowlanych.

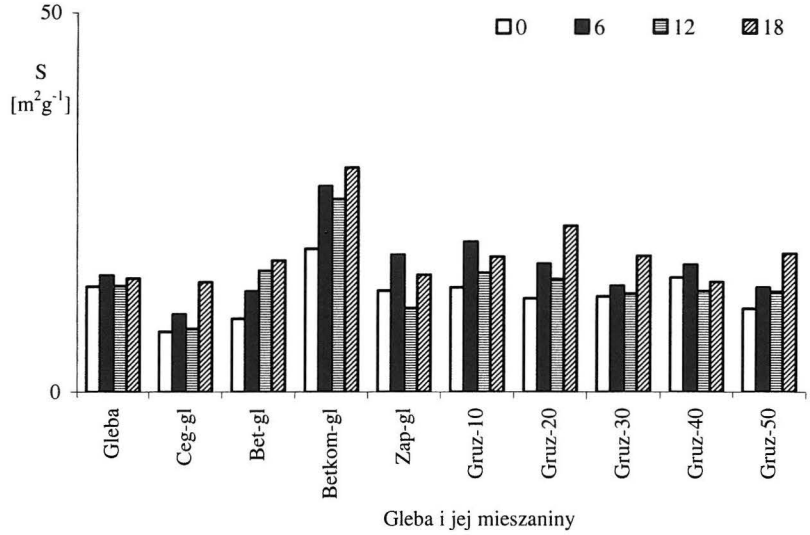
Fig. 1. Specific surface area of natural soil and her model mixtures with buildings' materials.



Rys. 2. Wielkości powierzchni właściwej zewnętrznej gleby i jej mieszanin modelowych pod wpływem cykli termicznych.

Fig. 2. Specific surface area of soil and her model mixtures under influence of thermal cycles.

Analizowana gleba charakteryzuje się stosukowo dużą powierzchnią właściwą zewnętrzną, 19,06 m^2g^{-1}. Prowadzone cykle termiczne powodują wzrost powierzchni zewnętrznej gleby, 21,93 m^2g^{-1}. Obecność materiałów budowlanych powoduje obniżenie wartości powierzchni właściwej. Jedynie mieszanina gleby z betonem komórkowym wykazuje wzrost powierzchni właściwej zewnętrznej w stosunku do gleby naturalnej do 37,99 m^2g^{-1}. Prowadzone cykle termiczne powodują systematyczny wzrost wielkości powierzchni właściwej praktycznie wszystkich analizowanych mieszanin zarówno w stosunku do wyjściowych mieszanin jak i do gleby naturalnej.



Rys. 3. Wielkości powierzchni właściwej zewnętrznej gleby i jej mieszanin modelowych, po dodaniu torfu pod wpływem cykli termicznych.

Fig. 3. Specific surface area of soil and her of model mixtures after peat addition under influence of thermal cycles.

Dodanie torfu spowodowało spadek wielkości powierzchni właściwej zewnętrznej zarówno gleby jak i mieszanin modelowych. W przypadku gleby wartości powierzchni właściwej zewnętrznej zmniejszyły się do 13,89 m^2g^{-1}.

Prowadzone cykle termiczne spowodowały wzrost wielkości powierzchni właściwej materiałów z dodatkiem torfu, który średnio przekroczył 45% w stosunku do gleby i mieszanin wyjściowych.

Statystyczna ocena zmienności wyników powierzchni właściwej zewnętrznej otrzymanych w toku prowadzonych cykli termicznych została przedstawiona w Tabeli 6. W przypadku gleby i jej modelowych mieszanin istotną zmiennością wyników wielkości powierzchni właściwej zewnętrznej charakteryzowały się wszystkie analizowane próby glebowe. Jedynie mieszaniny gleby z cegłą i betonem osiągnęły znacznie mniejszą zmienność w porównaniu zarówno do gleby jak i do pozostałych próbek.

Tabela 6. Statystyczna ocena zmienności wyników powierzchni właściwej zewnętrznej uzyskanej z niskotemperaturowej adsorpcji azotu otrzymanych w toku prowadzonych cykli termicznych.
Table 6. Statistical opinion of changeability of results of specific surface area of model mixtures and soils.

Materiał	Bez torfu				Z torfem			
	6	12	18	wsp.	6	12	18	wsp.
Gleba	+	+	+	10,8	+	+	+	5,1
Ceg-gl	+	+	+	3,3	+	+	+	29,1
Bet-gl	+	+	+	5,7	+	+	+	24,1
Betkom-gl	+	+	+	14,8	+	+	+	18,1
Zap-gl	+	+	+	10,2	+	+	+	20,7
Gruz-10	+	+	+	17,4	+	+	+	15,6
Gruz-20	+	+	+	10,5	+	+	+	24,6
Gruz-30	+	+	+	19,2	+	+	+	17,0
Gruz-40	+	+	+	17,9	+	+	+	9,7
Gruz-50	+	+	+	21,8	+	+	+	21,6

(+) – zmiana istotna ze statystycznego punktu widzenia, (-) – zmiana nieistotna ze statystycznego punktu widzenia, (wsp.) – współczynnik zmienności, umożliwia porównanie zbiorów wyników, wyrażony jest w %.
(+) - essential change from statistical point of sight, (-) - unimportant change from statistical point of sight, (wsp.) - coefficient of changeability, comparison of gatherings of results makes possible, expressed is in %.

Dodanie torfu w przypadku powierzchni właściwej zewnętrznej spowodowało w większości przypadków, znaczący wzrost wartości współczynników zmienności wyznaczonych dla modelowych mieszanin w stosunku do prób bez dodatku torfu w toku prowadzonych cykli termicznych. Jedynie w przypadku naturalnej gleby i

jej mieszaniny z 40 % - wym dodatkiem gruzu stwierdzono znaczący spadek zmienności otrzymywanych wyników w toku prowadzonych cykli termicznych.

6.3. Powierzchnia właściwa całkowita

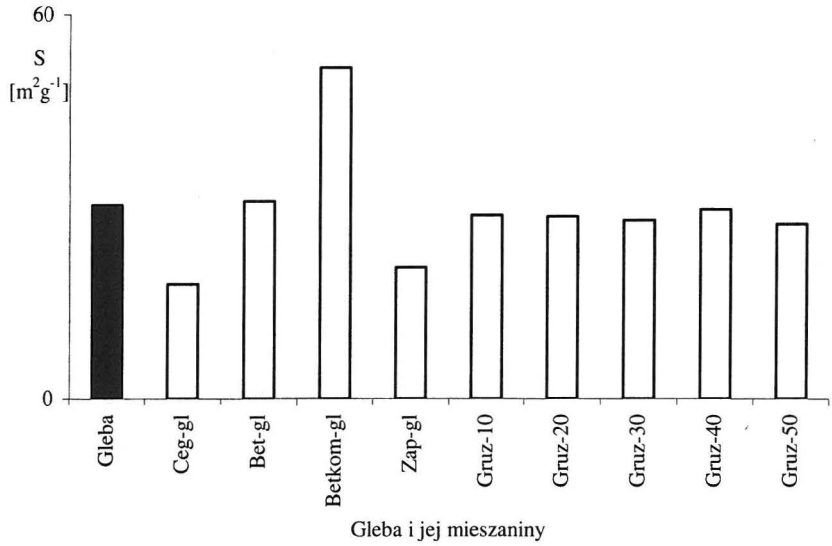
W Tabeli 7 przedstawione są wielkości powierzchni właściwej całkowitej wyznaczone dla materiałów budowlanych i torfu z adsorpcji pary wodnej, przed i po przeprowadzonych cyklach termicznych.

Tabela 7. Powierzchnia właściwa materiałów budowlanych wyznaczona z adsorpcji pary wodnej, m^2g^{-1}.
Table 7. Specific surface area materials buildings' appointed from water vapour adsorption, m^2g^{-1}.

Materiał	Przed cyklami termicznymi	Po cyklach termicznych
Cegła	11,54	14,56
Beton	26,72	29,48
Betkom	76,44	78,23
Zaprawa	19,43	23,65
Gruz	18,98	21,25
Torf	235,33	242,19

Analizowana gleba charakteryzuje się względnie dużą powierzchnią właściwą całkowitą, która wynosi 30,2 m^2g^{-1}. Prowadzone cykle termiczne powodują wzrost powierzchni właściwej do 33,2 m^2g^{-1}.

Podobnie jak to miało miejsce w przypadku powierzchni właściwej zewnętrznej, obecność materiałów budowlanych w mieszaninach modelowych spowodowała obniżenie wielkosci powierzchni właściwej całkowitej. Jedynie w mieszaninie gleby z betonem komórkowym nastąpił przyrost wielkości powierzchni właściwej całkowitej w stosunku do gleby naturalnej. Wartości powierzchni właściwej całkowitej dla mieszaniny gleby z betonem komórkowym wynosiła 51,7 m^2g^{-1}. Opisany powyżej wpływ dodatku materiałów budowlanych na wielkość powierzchni właściwej całkowitej ilustruje Rys. 4.

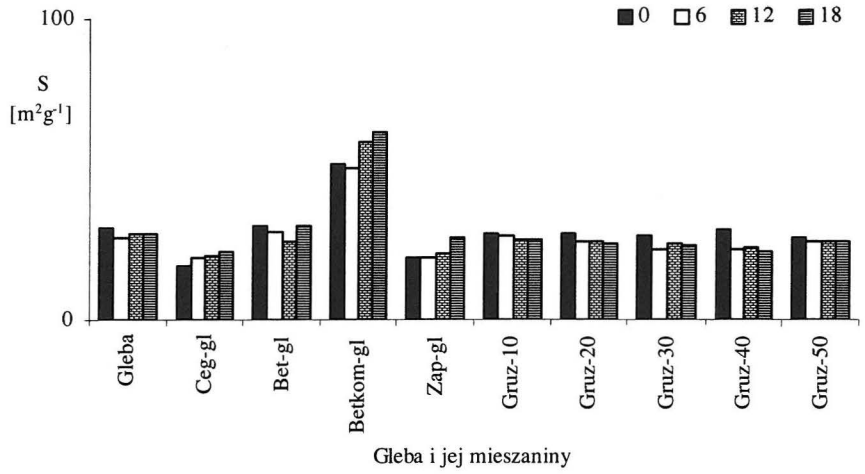


Rys. 4. Wielkości powierzchni właściwej całkowitej naturalnej gleby pod wpływem dodania do niej materiałów budowlanych.
Fig. 4. Specific surface area of natural soil and her model mixtures with buildings' materials.

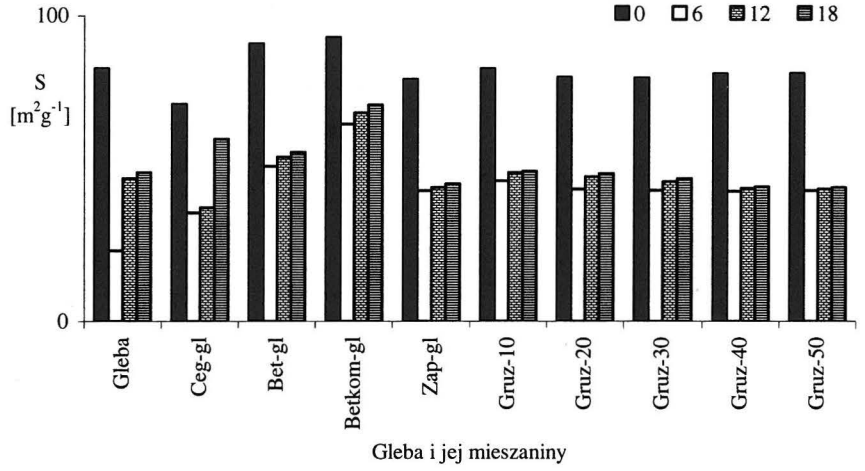
Na Rys. 5 i 6 przedstawiono wpływ cyklicznej zmiany temperatury na wielkość powierzchni właściwej całkowitej.

W glebie naturalnej i jej mieszaninach z pojedynczymi materiałami budowlanymi cykle termiczne powodują wzrost wielkości powierzchni właściwej całkowitej w stosunku do wartości dla próbek wyjściowych za wyjątkiem mieszanin z gruzem, które wykazują nieznaczny spadek wielkości powierzchni właściwej.

Dodanie torfu do gleby i mieszanin powoduje gwałtowny wzrost wielkości powierzchni właściwej całkowitej w stosunku do gleby naturalnej o 150%, która wynosiła 82,7 m^2g^{-1}.



Rys.5. Wielkości powierzchni właściwej całkowitej gleby i jej mieszanin modelowych, pod wpływem cykli termicznych.
Fig.5. Specific surface area of soil and her model mixtures under influence of thermal cycles.



Rys. 6. Wielkości powierzchni właściwej całkowitej materiału wyjściowego (0) tj. gleby i jej mieszanin modelowych po dodaniu torfu, pod wpływem cykli termicznych.
Rys. 6. Specific surface area of soil and her model mixtures after peat addition under influence of thermal cycles.

Po pierwszych 6-ciu tygodniach cyklicznie zmienianej temperatury, powierzchnia właściwa całkowita gleby i mieszanin modelowych z dodatkiem torfu wykazuje gwałtowny spadek, którego wielkość średnio sięga 40% w stosunku do próbek wyjściowych. W przypadku mieszaniny gleby naturalnej z torfem obniżenie powierzchni właściwej jest największe i wynosi 72% (23,1 m^2g^{-1}). Kontynuowanie cykli termicznych powoduje wzrost wielkości powierzchni właściwej. Wzrost ten jest kilkuprocentowy dla mieszanin z materiałami budowlanymi, natomiast kilkudziesięcioprocentowy w przypadku mieszanin gleby z torfem (dla gleby do 48,8 m^2g^{-1}).

Statystyczna ocena zmienności wyników powierzchni właściwej całkowitej otrzymanych w trakcie prowadzonych cykli termicznych pokazana jest w Tabeli 8.

Tabela 8. Statystyczna ocena zmienności wyników powierzchni właściwej całkowitej uzyskanej z adsorpcji pary wodnej otrzymanych w toku prowadzonych cykli termicznych.
Table 8. Statistical opinion of changeability of results of specific surface area of model mixtures and soils.

Materiał	Bez torfu				Z torfem			
	6	12	18	wsp.	6	12	18	wsp.
Gleba	+	+	+	4,2	+	+	+	48,7
Ceg-gl	+	+	+	9,2	+	+	+	34,1
Bet-gl	+	+	+	8,6	+	+	+	30,1
Betkom-gl	+	+	+	10,1	+	+	+	17,3
Zap-gl	-	+	+	13,6	+	+	+	33,7
Gruz-10	+	+	-	3,7	+	+	+	30,8
Gruz-20	+	+	+	5,7	+	+	+	30,9
Gruz-30	+	+	+	7,4	+	+	+	32,3
Gruz-40	+	+	+	12,4	+	+	+	35,6
Gruz-50	+	-	+	2,7	+	+	+	35,9

(+) – zmiana istotna ze statystycznego punktu widzenia, (-) – zmiana nieistotna ze statystycznego punktu widzenia, (wsp.) – współczynnik zmienności, umożliwia porównanie zbiorów wyników, wyrażony jest w %.

(+) - essential change from statistical point of sight, (-) - unimportant change from statistical point of sight, (wsp.) - coefficient of changeability, comparison of gatherings of results makes possible, expressed is in %.

Ze statystycznego punktu widzenia obecność torfu w mieszaninach modelowych wpłynęła znacząco na charakter otrzymanych wyników. W wyniku prowadzonych cykli termicznych, wielkości powierzchni właściwej całkowitej próbek z dodatkiem torfu charakteryzują się dużo większą zmiennością niż wielkości powierzchni właściwej wyznaczone dla próbek bez torfu.

6.4. Porowatość

W Tabeli 9 zamieszczono wyniki pomiarów porowatości materiałów budowlanych i pokazano ich zmiany pod wpływem torfu i cykli termicznych.

Parametry struktury składników mieszanin modelowych uzyskane na podstawie analizy porozymetrycznej, podobnie jak powierzchnia właściwa są ściśle związane ze składem granulometrycznym.

Zmiany w porowatości materiałów budowlanych pod wpływem cykli termicznych zachodzą w podobny sposób jak ma to miejsce w przypadku zmian powierzchni właściwej. Następuje wzrost wielkości parametrów porozymetrycznych tych materiałów.

Tabela 9. Parametry struktury składników mieszanin modelowych .
Table 9. Parameters of structure of components of model mixtures.

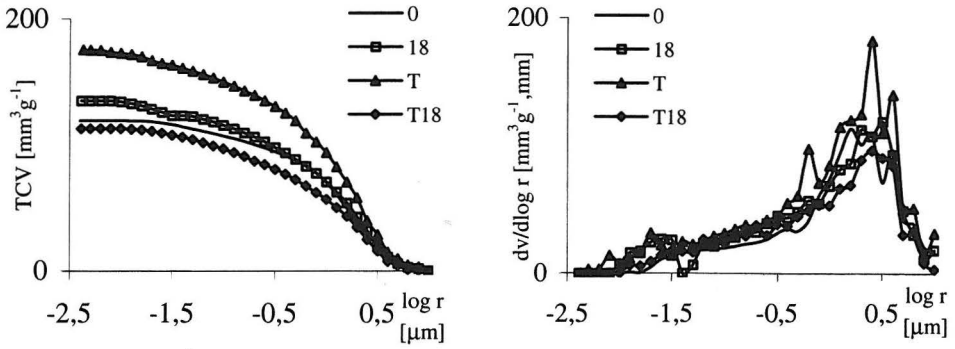
Próbki	Materiał naturalny			Materiał po obróbce termicznej		
	Całkowita objętość porów (mm^3g^{-1})	Średni promień porów (Å)	Całkowita porowatość (%)	Całkowita objętość porów (mm^3g^{-1})	Średni promień porów (Å)	Całkowita porowatość (%)
Gleba	101,10	12496	18,60	152,63	30748	28,54
Cegła	155,84	15810	23,78	248,22	38491	38,85
Beton	106,85	248	22,75	131,98	24837	24,42
Betkom	386,45	994	45,48	406,80	12520	44,37
Zaprawa	91,63	7915	18,63	92,44	12484	19,00
Gruz	139,27	4943	18,60	170,56	25142	25,02
Torf	430,08	19819	36,12	451,80	24946	37,05

Na Rys. 7-8 przedstawiono krzywe zależności objętości porów (Total Cumulative Volume - TCV) od promienia oraz rozkłady wielkości porów

(dv/dlogr). Krzywe te wyznaczone zostały dla gleby i mieszanin modelowych przed cyklami termicznymi (0), po 18-sto tygodniowych cyklach termicznych (18), po dodaniu torfu (T) i po poddawaniu tej mieszaniny 18-sto tygodniowym cyklom termicznym (T18).

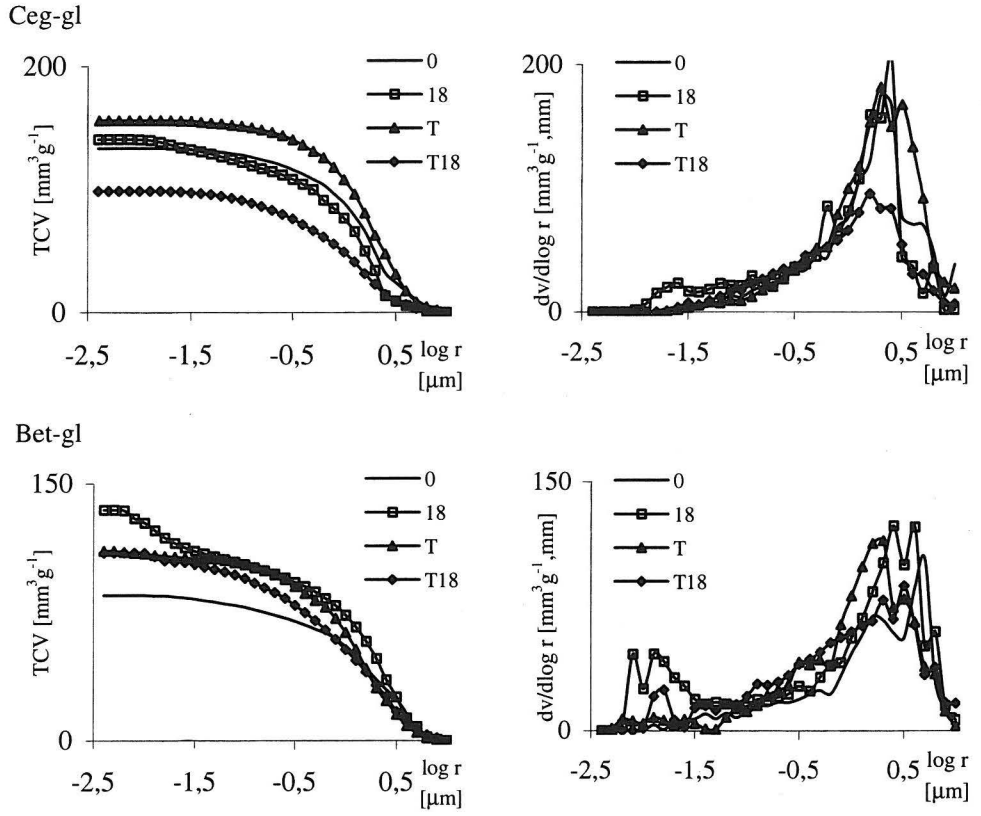
Poddanie gleby naturalnej cyklom termicznym spowodowało zwiększenie całkowitej objętości porów. Szczególnie znaczący przyrost sięgający blisko 50% dotyczy gleby. Największą całkowitą objętością porów przekraczającą 230 mm^3/g, a tym samym i porowatością przekraczającą 33% charakteryzują się mieszaniny modelowe gleby z betonem komórkowym i z zaprawą. Dodanie torfu do gleby i jej mieszanin modelowych powoduje zwiększenie całkowitej objętości porów, jak również wzrost porowatości.

Gleba



Rys. 7. Zmiana wielkości porozymetrycznych gleby pod i po dodatku torfu pod wpływem przeprowadzonych cyklach termicznych.

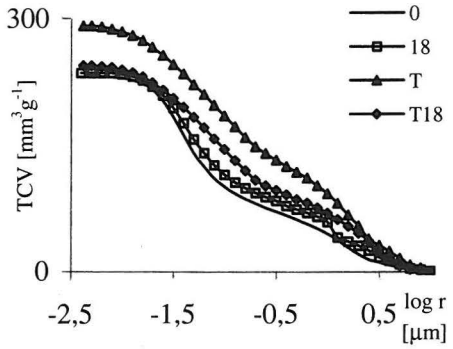
Fig. 7. Change of porosity of soil before and after peat addition under influence of thermal cycles.

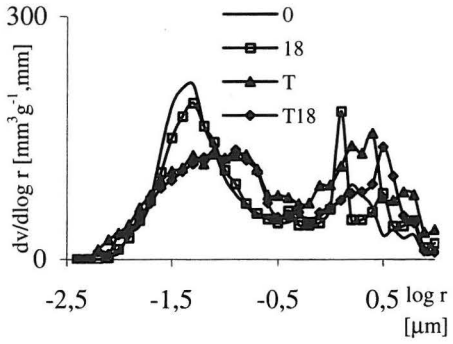


Rys. 8. Zmiana wielkości porozymetrycznych modelowych mieszanin gleby przed i po dodatku torfu pod wpływem przeprowadzonych cyklach termicznych.

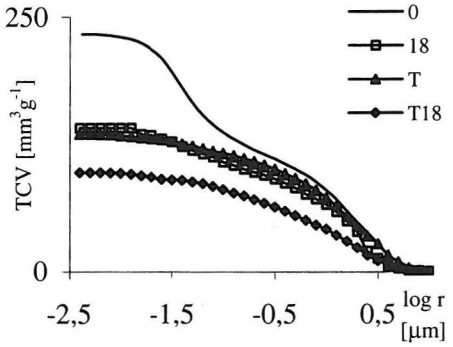
Fig. 8. Change of porosity of model mixtures of soil before and after peat addition under influence of thermal cycles.

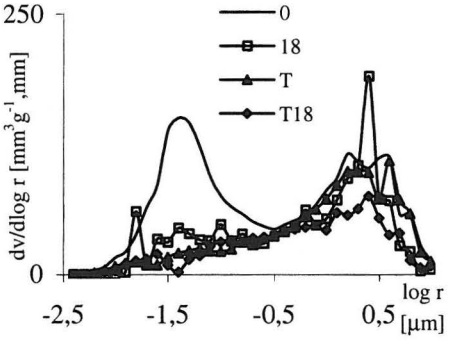
Betkom-gl



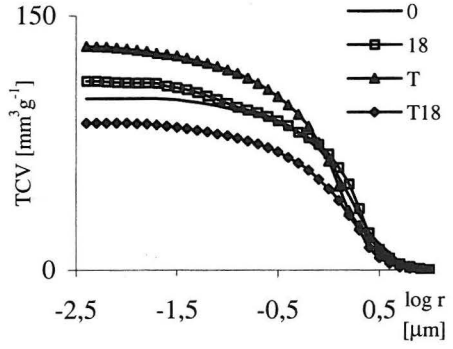


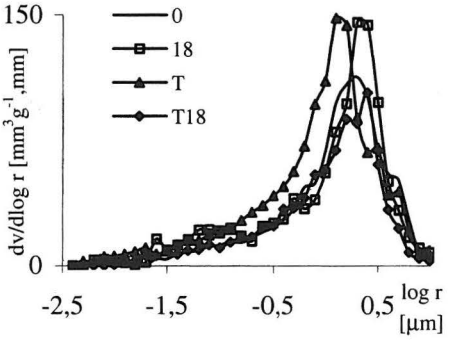
Zap-gl





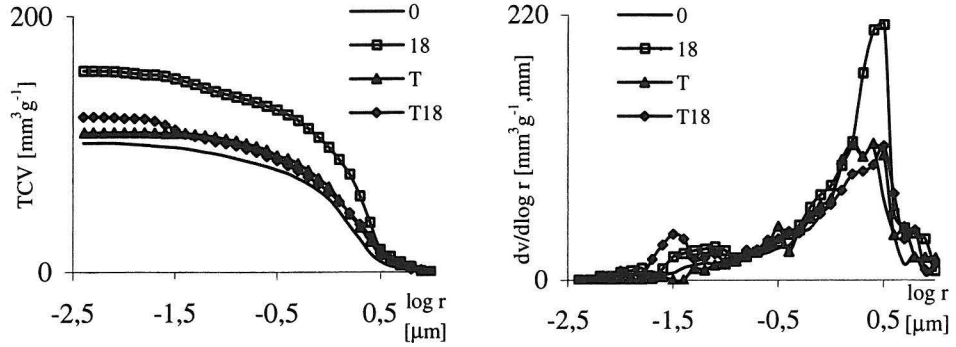
Gruz-10



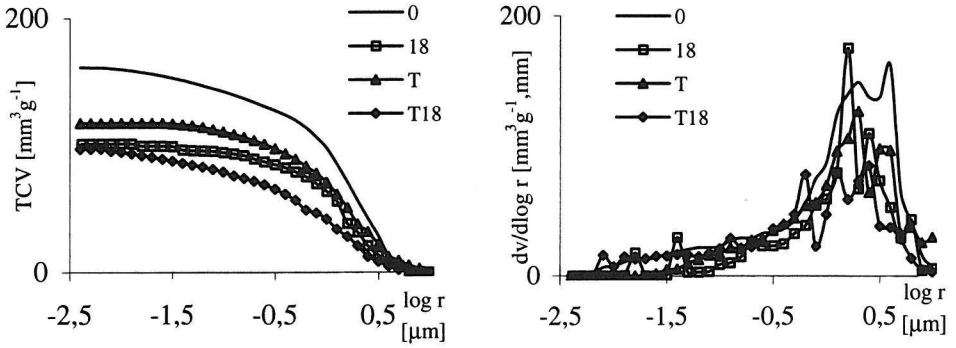


Rys. 8. Kontynuacja.
Fig. 8. Continued.

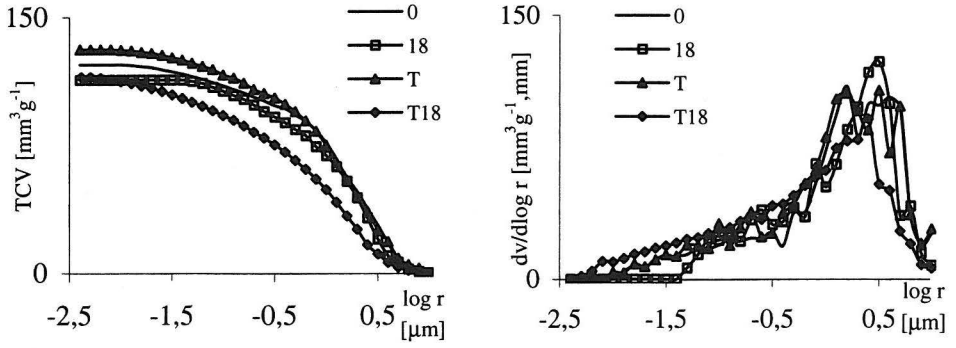
Gruz-20



Gruz-30

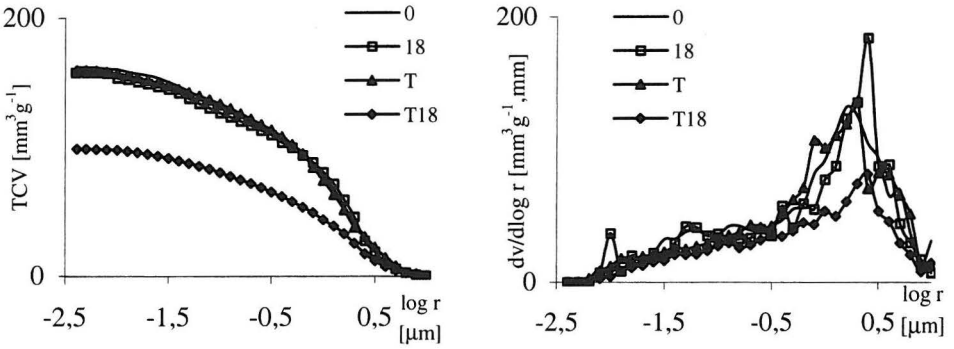


Gruz-40



Rys. 8. Kontynuacja.
Fig. 8. Continued.

Gruz-50



Prowadzone cykle termiczne powodują wzrost całkowitej objętości porów jak również porowatości zarówno gleby naturalnej jak i mieszanin modelowych. Natomiast dodanie torfu do gleby i mieszanin modelowych prowadzi do obniżenia całkowitej objętości porów i porowatości po cyklach termicznych.

Największe zmiany w porowatości gleby w wyniku dodania do niej torfu i pod wpływem cykli termicznych zachodzą w obszarze największych i najmniejszych porów. Procesy zachodzące podczas cykli termicznych powodują przede wszystkim przyrost frakcji porów dużych (2-3 µm) i małych (0,01-0,1 µm). Dodanie torfu powoduje przesunięcie rozmiarów porów dominujących w kierunku porów małych, natomiast cykle termiczne w większości wypadków jeszcze bardziej zwiększają ilość porów małych. W tym wypadku największe zmiany w porowatości zachodzą w porach o promieniu ok. 1 µm. Statystyczna ocena zmienności parametrów porowatości otrzymanych w toku prowadzonych cykli termicznych zawarta jest w Tabeli 10.

Wyznaczone współczynniki zmienności są znaczące, co sugeruje istotny wpływ cyklicznych zmian temperatury na porowatość analizowanego materiału. Największe zmiany w toku całego doświadczenia wykazują wielkości promienia porów, jednak często różnice pomiędzy pomiarami w poszczególnych etapach były zbyt małe i nieistotne ze statystycznego punktu widzenia.

Tabela 10. Statystyczna ocena zmienności wyników porowatości gleby i mieszanin modelowych otrzymanych w toku prowadzonych cykli termicznych.

Tabela 10. Statistical opinion of changeability of results of porosity of model mixtures and soils.

Materiał	Całkowita objętość porów				Promień porów				Całkowita porowatość			
Bez torfu												
	6	12	18	wsp.	6	12	18	wsp.	6	12	18	wsp.
Gleba	+	+	+	20,4	+	+	+	44,0	+	+	+	21,4
Ceg-gl	+	+	+	16,4	+	-	-	10,6	+	+	+	14,4
Bet-gl	+	+	+	19,7	+	+	+	27,9	+	+	+	15,9
Betkom-gl	+	+	+	5,7	+	+	+	88,7	+	+	+	4,9
Zap-gl	+	+	+	30,1	+	+	+	66,5	+	+	+	23,5
Gruz-10	+	+	+	18,4	+	+	+	13,0	+	+	+	16,6
Gruz-20	+	+	+	20,3	+	-	+	26,4	+	+	+	22,7
Gruz-30	+	+	+	24,8	-	+	+	18,7	+	+	+	23,1
Gruz-40	+	+	+	16,5	+	-	+	26,4	+	+	+	14,2
Gruz-50	+	+	+	10,2	+	+	-	20,0	+	+	+	8,4
Z torfem												
Gleba	+	+	+	21,1	+	+	-	20,8	+	+	+	21,1
Ceg-gl	+	+	+	20,9	+	+	+	30,9	+	+	+	18,7
Bet-gl	+	+	+	3,8	+	+	+	22,5	+	+	+	1,7
Betkom-gl	+	+	+	10,0	+	+	-	62,5	+	+	+	9,6
Zap-gl	+	+	+	14,9	+	+	-	36,3	+	+	+	12,6
Gruz-10	+	+	+	29,6	+	+	-	42,4	+	+	+	25,2
Gruz-20	+	+	+	7,3	+	+	+	31,1	+	+	+	4,5
Gruz-30	+	+	+	21,2	-	+	-	14,1	+	+	+	18,1
Gruz-40	+	+	+	11,0	+	+	+	21,8	+	+	+	7,8
Gruz-50	+	+	+	19,3	-	+	+	34,4	+	+	+	17,3

(+) – zmiana istotna ze statystycznego punktu widzenia, (-) – zmiana nieistotna ze statystycznego punktu widzenia, (wsp.) – współczynnik zmienności, umożliwia porównanie zbiorów wyników, wyrażony jest w %.

(+) - essential change from statistical point of sight, (-) - unimportant change from statistical point of sight, (wsp.) - coefficient of changeability, comparison of gatherings of results makes possible, expressed is in %.

6.5. Gęstość fazy stałej

Gęstość fazy stałej gleby i mieszanin modelowych przed i po przeprowadzonych cyklach termicznych. pokazano w Tabeli 11.

Analiza gęstości fazy stałej była przeprowadzana w 6-tym, 12-tym i 18-tym tygodniu cyklu, ale w tabeli podano wyniki jedynie z początku i końca doświadczenia, ponieważ w pełni ilustrują one zmiany analizowanej wielkości. Dodanie materiałów budowlanych do gleby spowodowało wzrost gęstości fazy stałej mieszanin w porównaniu z glebą naturalną. Obecność torfu spowodowała nieznaczny spadek (1-9%) gęstości mieszanin modelowych i gleby w porównaniu do prób wyjściowych. Natomiast prowadzone cykle termiczne przyczyniły się do wzrostu gęstości analizowanego materiału o ok. 2%. W przypadku gleby i jej mieszanin dodatkowo modyfikowanych torfem wzrost gęstości fazy stałej wynosił średnio ok. 10 %. Spadek gęstości fazy stałej spowodowany był przypuszczalnie spadkiem ilości materii organicznej (o niewielkiej gęstości fazy stałej) w trakcie cykli termicznych.

Tabela 11. Gęstość fazy stałej wyznaczona w glebie i jej mieszanin modelowych, g cm^{-3}.
Table 11. Soil solid phase and her model mixtures, g cm^{-3}.

Materiał	Bez torfu		Z torfem	
	przed	po	przed	po
Gleba	2,58	2,66	2,51	2,85
Ceg-gl	2,61	2,65	2,52	2,94
Bet-gl	2,60	2,64	2,48	2,84
Betkom-gl	2,62	2,75	2,45	2,74
Zap-gl	2,59	2,64	2,60	2,78
Gruz-10	2,61	2,67	2,51	2,65
Gruz-20	2,60	2,65	2,55	2,72
Gruz-30	2,61	2,64	2,57	2,69
Gruz-40	2,58	2,63	2,53	2,68
Gruz-50	2,60	2,66	2,57	2,82

przed – próby wyjściowe; po – próby po 18-sto tygodniowym cyklu termicznym.
before - exit test, after - after 18 weeks of thermal cycle

Statystyczna ocena zmienności wyników gęstości fazy stałej w toku prowadzonych cykli termicznych opisana została w Tabeli 12.

Tabela 12. Statystyczna ocena zmienności wyników gęstości fazy stałej otrzymanych w toku prowadzonych cykli termicznych.
Tabela 12. Statistical opinion of changeability of results of solid phase of model mixtures and soils.

Próbki	Bez torfu				Z torfem			
	6	12	18	wsp.	6	12	18	wsp.
Gleba	+	+	+	4,3	+	+	+	18,2
Ceg-gl	+	+	+	2,2	+	+	+	20,2
Bet-gl	-	+	-	2,2	+	+	+	18,9
Betkom-gl	+	+	+	6,8	+	+	+	15,8
Zap-gl	+	+	+	2,7	+	+	+	9,5
Gruz-10	+	-	+	3,2	+	+	+	7,8
Gruz-20	+	-	-	2,6	+	+	+	9,1
Gruz-30	-	-	-	1,6	+	+	+	6,4
Gruz-40	+	+	+	2,7	+	+	+	7,9
Gruz-50	+	-	-	3,2	+	+	+	12,8

(+) – zmiana istotna ze statystycznego punktu widzenia, (-) – zmiana nieistotna ze statystycznego punktu widzenia, (wsp.) – współczynnik zmienności, umożliwia porównanie zbiorów wyników, wyrażony jest w %.
(+) - essential change from statistical point of sight, (-) - unimportant change from statistical point of sight, (wsp.) - coefficient of changeability, comparison of gatherings of results makes possible, expressed is in %.

Podobnie jak to pokazały poprzednie analizy statystyczne, również w przypadku gęstości fazy stałej obecność torfu w znaczący sposób wpływa na wyniki pomiarów gęstości fazy stałej. W glebie i jej mieszaninach modelowych bez dodatku torfu różnice pomiędzy poszczególnymi pomiarami są nieznaczne i bardzo często nieistotne ze statystycznego punktu widzenia. Jednak porównanie wyników przed cyklami termicznymi i po ich zakończeniu w pełni potwierdza wpływ tych cykli na zmianę opisywanej właściwości gleby. Dodanie torfu spowodowało znaczący wzrost zmienności wyników otrzymywanych pomiędzy poszczególnymi etapami doświadczenia.

6.6. Odczyn gleby

W Tabeli 13 przedstawione są wartości pH wyznaczone dla gleby, materiałów budowlanych i torfu przed i po poddaniu ich cyklom termicznym.

Tabela 13. Wartości pH materiałów budowlanych przed i po przeprowadzonych cyklach termicznych.
Table 13. Value pH of buildings' materials before and after cycles changes of temperature.

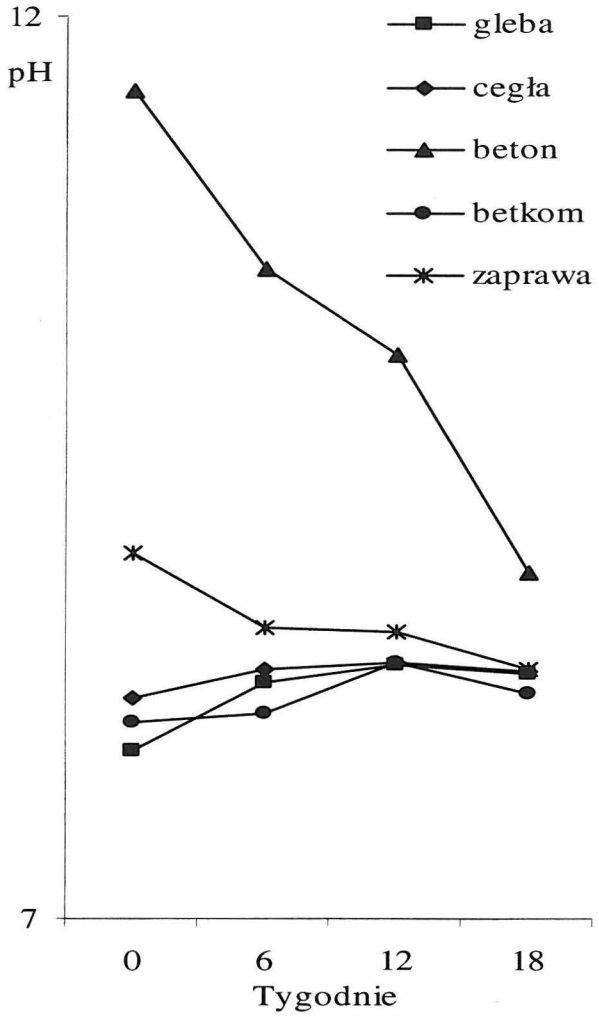
Materiał	Materiał naturalny		Materiał po obróbce termicznej	
	H_2O	KCl	H_2O	KCl
Gleba	6,27	5,78	7,10	7,09
Cegła	8,76	8,49	8,70	8,38
Beton	12,27	11,58	12,10	12,02
Betkom	9,54	9,39	9,60	9,31
Zaprawa	8,18	7,87	8,03	7,84
Gruz	10,64	10,23	10,51	10,09
Torf	5,41	5,10	5,35	5,01

Na Rys. 9 – 12 przedstawiono zmiany średnich wartości pH (w wodzie) po kolejnych cyklach termicznych.

Badana gleba w stanie naturalnym ma odczyn lekko zasadowy, który po dodaniu do niej materiałów budowlanych znacząco podnosi się i osiąga wartość nawet powyżej pH 11,5 w przypadku mieszaniny gleby z betonem. W pozostałych mieszaninach odczyn nie przekracza pH 10. Dodanie do mieszanin modelowych torfu obniża uzyskiwane wartości pH o ponad 2 jednostki. Powoduje to osiągnięcie optymalnej wartości pH dla rozwoju mikroorganizmów glebowych i przyswajania niektórych mikro- i makroelementów.

Zmiana wartości pH mieszanin modelowych w kolejnych cyklach temperaturowych jest ściśle uzależniona od dodatku torfu.

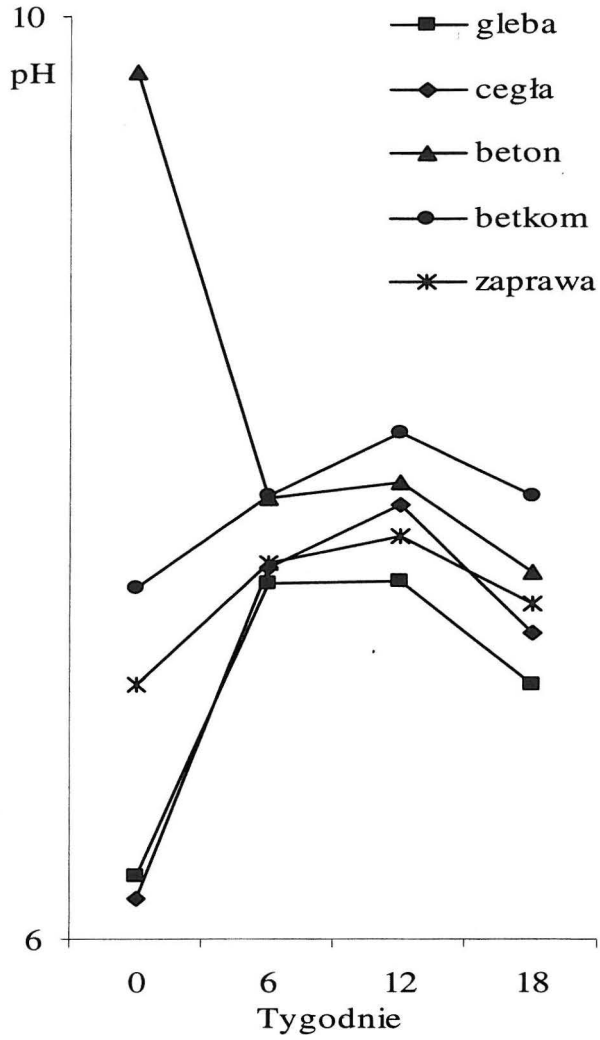
W glebie i jej mieszaninach bez dodatku torfu zaobserwowano dwa trendy zmian poziomu pH w wyniku prowadzonych cykli termicznych. Pierwszy jest reprezentowany przez glebę i jej mieszaniny z cegłą i betonem komórkowym. W tym przypadku zmiana poziomu pH między próbami wyjściowymi a wartością pH po zakończeniu cykli termicznych jest nieznaczna, ale z tendencją wzrostu pH.



Rys. 9. Zmiana wartości pH gleby i jej mieszanin z pojedynczymi materiałami budowlanymi w kolejnych cyklach termicznych.

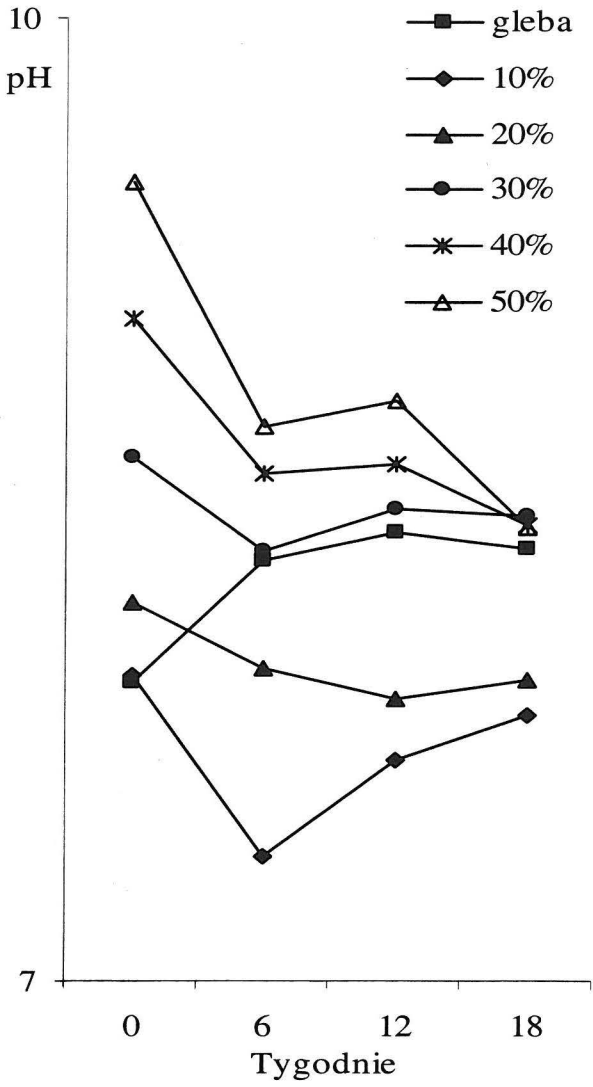
Fig. 9. Change of value pH of soils and her mixtures with individual buildings materials in thermal cycles.

Natomiast w pozostałych mieszaninach modelowych mamy do czynienia ze spadkiem pH przekraczającym średnio 7%, a sięgającym nawet 30% w przypadku mieszaniny gleby z betonem.



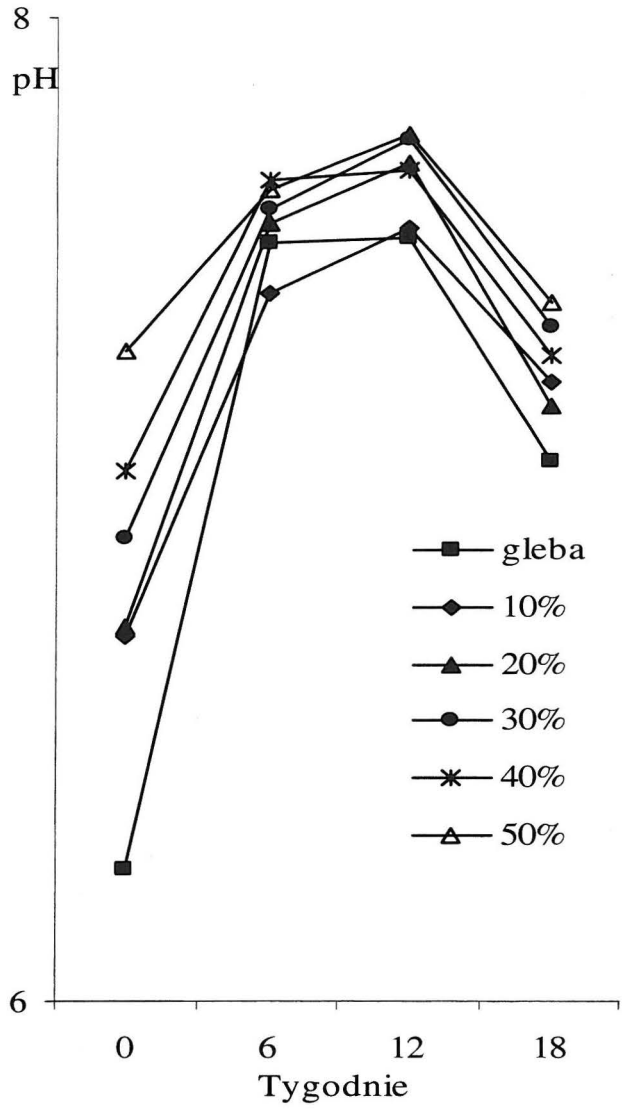
Rys. 10. Zmiana wartości pH gleby i jej mieszanin z pojedyńczymi materiałami budowlanymi w kolejnych cyklach termicznych, po dodaniu torfu.

Fig. 10. Change of value pH of soils and her mixtures with individual buildings materials in thermal cycles, after peat addition.



Rys. 11. Zmiana wartości pH gleby i jej mieszanin z różną zawartością gruzu w kolejnych cyklach termicznych.

Fig. 11. Change of value pH of soils and her mixtures with different content of rubble in thermal cycles.



Rys. 12. Zmiana wartości pH gleby i jej mieszanin z różną zawartością gruzu w kolejnych cyklach termicznych, po dodaniu torfu

Fig. 12. Change of value pH of soils and her mixtures with different content of rubble in thermal cycles, after peat addition.

W przypadku mieszanin z torfem tendencje zmian pH pod wpływem prowadzonych cykli termicznych są praktycznie jednakowe. We wszystkich próbkach zaobserwowano wzrost pH po zakończeniu cykli termicznych w stosunku do mieszanin wyjściowych. Jedynie w mieszaninie gleby z betonem poziom pH obniżył się z 11,6 do 9,9. W mieszaninach, w których nastąpił przyrost pH zaobserwowano jego maksimum przypadające na 12 tydzień prowadzonego cyklu termicznego, a następnie obniżenie wartości w 18 tygodniu.

Otrzymane końcowe wartości pH, zarówno w mieszaninach z torfem jak i bez torfu zawarte są w stosunkowo wąskim przedziale pH. Dla mieszanin bez torfu zawiera się on między pH 8 a 9, natomiast dla mieszanin z torfem zawarty jest on w przedziale między pH 7 a 8, mimo że materiał wyjściowy charakteryzował się znacznymi różnicami pH – mieszaniny bez torfu (7,9-11,6), a mieszaniny z torfem (6,7-9,7).

Tabela 14. Statystyczna ocena zmienności wyników pH otrzymanych w toku prowadzonych cykli - termicznych.

Table 14. Statistical opinion of changeability of results pH received in course of led thermal cycles.

Materiał	Bez torfu				Z torfem			
	6	12	18	wsp.	6	12	18	wsp.
Gleba	+	-	-	2,6	+	-	+	8,4
Ceg-gl	+	-	-	1,0	+	+	+	10,3
Bet-gl	+	+	+	10,7	+	-	+	11,8
Betkom-gl	-	+	+	1,7	+	+	+	3,5
Zap-gl	+	-	+	3,1	+	+	+	3,7
Gruz-10	+	+	+	3,1	+	+	+	5,0
Gruz-20	+	+	-	1,6	+	+	+	5,7
Gruz-30	+	+	-	1,4	+	+	+	4,7
Gruz-40	+	-	+	3,1	+	-	+	3,9
Gruz-50	+	-	+	5,1	+	+	+	2,6

(+) – zmiana istotna ze statystycznego punktu widzenia, (-) – zmiana nieistotna ze statystycznego punktu widzenia, (wsp.) – współczynnik zmienności, umożliwia porównanie zbiorów wyników, wyrażony jest w %.

(+) - essential change from statistical point of sight, (-) - unimportant change from statistical point of sight, (wsp.) - coefficient of changeability, comparison of gatherings of results makes possible, expressed is in %.

Statystyczna ocena zmienności otrzymanych wartości pH w toku prowadzonych cykli termicznych zawarta jest w Tabeli 14.

Rejestrowane zmiany pH zachodzące podczas prowadzonych cykli termicznych można w ocenie statystycznej uznać w większości wypadków za istotne i związane z procesami zachodzącymi w analizowanym materiale a nie pochodzącymi z błędów pomiarowych.

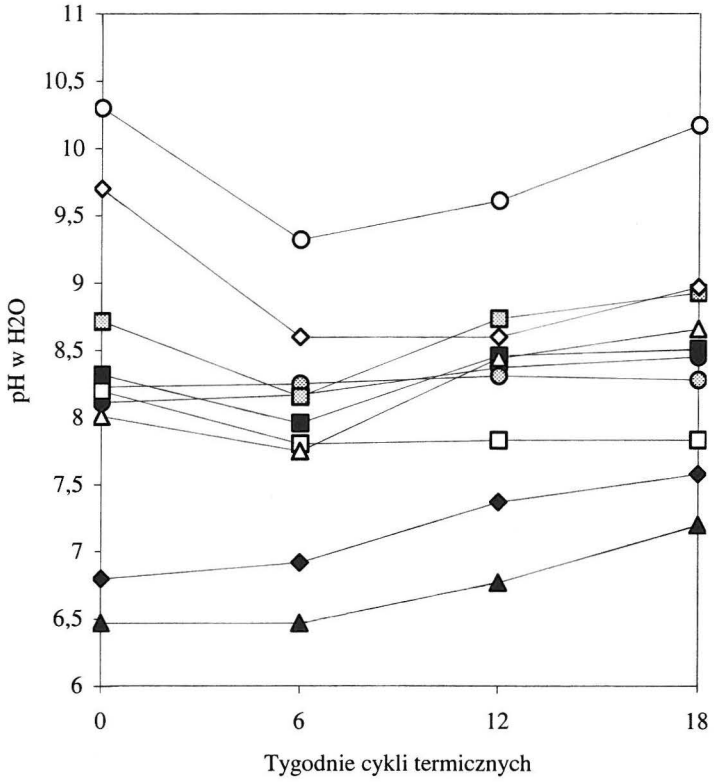
Charakter zmian pH świadczy o wyraźnych zmianach szeroko pojętych właściwości buforujących gleby zarówno pod wpływem dodatku materiałów budowlanych, jak i cykli zmian temperatury.

6.7. Buforowość

W Tabeli 15 przedstawiono wartości pH poszczególnych składników mieszanin modelowych po dodaniu do nich roztworów HCl albo NaOH o stężeniach 1 mol dm^{-3}. Wartości te charakteryzują zdolności buforowe tych składników. Gleba, cegła i zaprawa wykazują w wodzie prawie identyczne wartości pH (lekko zasadowe), natomiast beton, beton komórkowy i gruz posiadają wartości pH przekraczające 9. Torf wykazuje odczyn słabo kwaśny. Po dodaniu 1M zasady sodowej, składniki mieszanin modelowych urbanoziemów wykazują zbliżone, wysokie wartości pH, co świadczy o ich niskiej pojemności buforowej w stosunku do substancji o charakterze zasadowym (base neutralization capacity, BNC).

Tabela 15. Poziom pH gleby i materiałów budowlanych w różnych środowiskach.
Table 15. Level pH of soils and buildings' materials in different environments.

Materiał	*HCl* (1mol L^{-1})	Woda	NaOH (1mol L^{-1})
Gleba	1,8	8,2	11,4
Cegła	1,4	8,7	12,2
Beton	3,8	12,3	12,6
Betkom	6,2	9,5	12,3
Zaprawa	2,1	8,2	12,3
Gruz	3,6	10,6	12,3
Torf	3,7	5,4	9,0



Rys. 13. Zmiana pojemności buforowej mieszanin modelowych w wodzie. (kontorola) odpowiada glebie naturalnej; (C) – cegła; (B) – beton; (Bk) – beton komórkowy; (Z) – zaprawa; (T) – torf.

Fig. 13. Change of buffer's capacity of model mixtures in water. (Kontorola) correspond natural soil; (C) - brick; (B) - concrete; (Bk) - cellular concrete; (Z) - seasoning; (T) - peat.

Jedynie torf charakteryzuje się niższą wartością pH. Po dodaniu 1 M kwasu solnego jedynie beton komórkowy wykazuje odczyn powyżej 6, natomiast pozostałe składniki mieszanin charakteryzują się stosunkowo mocno kwaśnym odczynem związanym z niską pojemnością buforową tych składników w stosunku do substancji o charakterze kwaśnym (acid neutralization capacity, ANC).

Na Rys. 13-15 przedstawiono zmiany pojemności buforowej mieszanin modelowych pod wpływem prowadzonych cykli termicznych.

Po dodaniu torfu do gleby maleje poziom pH gdyż otrzymana mieszanina ma mniejszą pojemność buforową w stosunku do substancji o charakterze kwaśnym. Dodatek cegły (o najmniejszej wartości ANC) powoduje zmniejszenie ANC gleby (rozcieńczenie), a więc największy spadek pH po dodaniu kwaśnego torfu.
Dodatek zasadowego betonu powoduje wzrost pH gleby gdyż posiada on również większą pojemność buforową w stosunku do substancji zasadowych. Wpływ pozostałych dodanych komponentów na zmiany pH jest znacznie mniejszy.

Wpływ cykli temperaturowych na zmiany pH w środowisku wodnym przedstawiono na Rys. 13.

Wpływ cykli temperaturowych jest najbardziej widoczny w mieszankach gleby z betonem i torfem. W mieszanine gleby z samym betonem, pH silnie wzrasta, następnie maleje i ulega dalszemu wzrostowi w miarę trwania cykli. Na taki przebieg zależności mają wpływ efekty kinetyczne. Początkowo, łatwo rozpuszczalne składniki betonu, które nie zdążyły przereagować ze składnikami gleby, obecne są w znacznych ilościach w roztworze glebowym, co powoduje wzrost jego pH. Składniki te są szybko neutralizowane w glebie i pH spada. Dalsza neutralizacja trudniej rozpuszczalnych składników betonu powoduje powolny wzrost pH w miarę upływu czasu trwania eksperymentu.

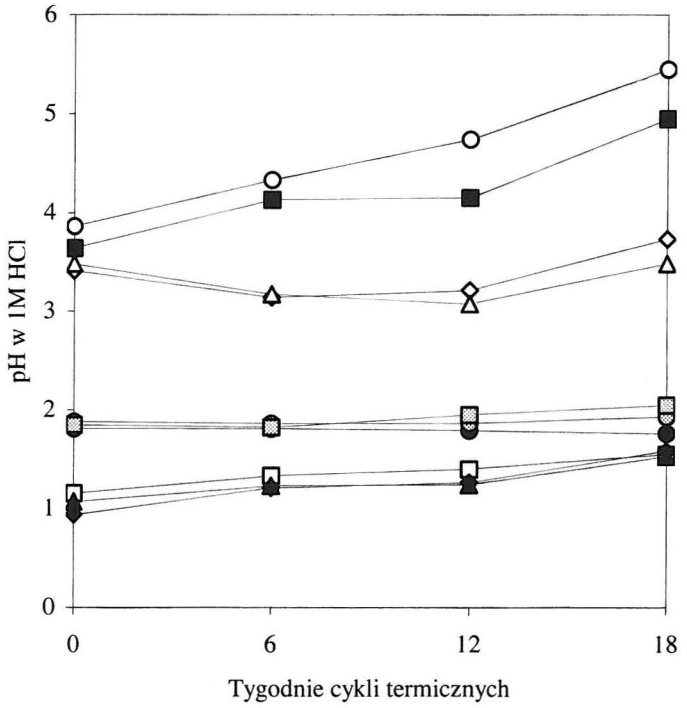
Podobne efekty obserwuje się w mieszaninie gleby z betonem i torfem, z tym, że ze względu na kwaśny charakter torfu mierzone wartości pH są niższe. Efekty powolnej kinetyki reakcji gleby z dodaną substancją organiczną są również widoczne w mieszaninach gleby z torfem oraz z torfem i cegłą, gdzie następuje powolny wzrost wartości pH.

Na Rys. 14 przedstawiono wartości pH mieszanin modelowych po dodaniu kwasu solnego, charakteryzujące zmiany pojemności buforowej ANC.

Wartości pH w 1M HCl są miarą pojemności buforowej otrzymanych mieszanin w stosunku do substancji o charakterze kwaśnym. Im większa jest wartość pH po dodaniu do mieszaniny roztworu HCl, tym większa jest wartość jej ANC. Pomimo stosunkowo niskiej wartości pH(H_2O) betonu komórkowego, jego ANC, podobnie jak samego betonu, jest stosunkowo duża. Stąd wartość pH

mieszanin gleby z betonami najmniej spada po dodaniu kwasu, co widoczne jest również dla gleby z dodatkiem betonów i torfu. Dodatek samego torfu, z uwagi na jego kwaśny charakter, zmniejsza wartość ANC gleby.

Wpływ czasu równoważenia (cykli temperaturowych) na wielkość ANC mieszanin jest stosunkowo niewielki. Najbardziej widoczny jest on w mieszaninach gleby z betonami, co związane jest z wyżej opisaną powolną kinetyką uwalniania substancji o charakterze zasadowym z dodanych materiałów powodującą wzrost ANC z czasem trwania doświadczenia.



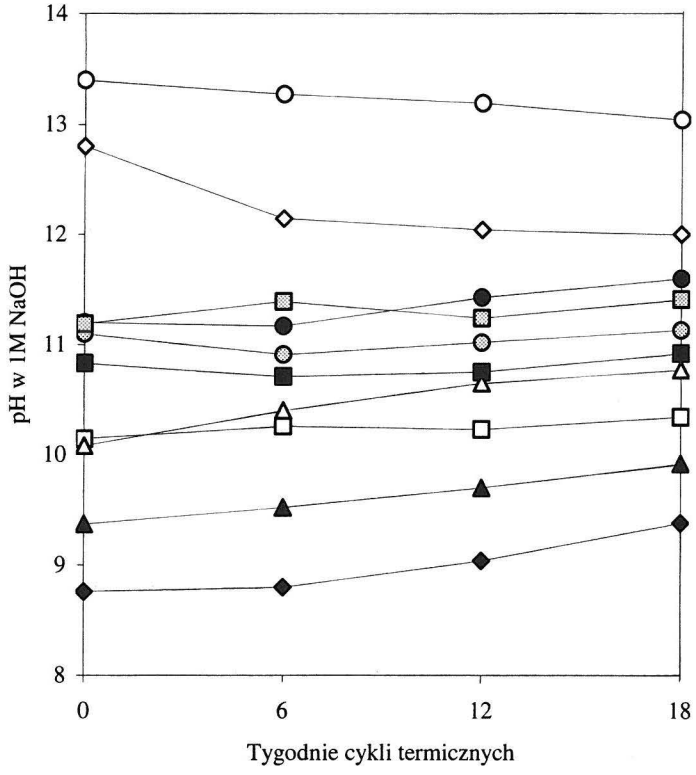
Rys. 14. Zmiana wartości pH mieszanin modelowych po dodaniu kwasu solnego. Oznaczenia jak na Rys. 13.

Fig. 14. Change of value pH of model mixtures after addition of saline acid. Sign how onto Fig. 13.

Na Rys. 15 przedstawiono zmiany pojemności buforowych mieszanin modelowych w środowisku zasadowym. Wielkość pH w 1M NaOH jest miarą

pojemności buforowej otrzymanych mieszanin w stosunku do substancji o charakterze zasadowym (BNC).

Im większa jest wartość pH po dodaniu do mieszaniny roztworu NaOH, tym mniejsza jest wartość jej BNC. Wartość BNC dla mieszanin gleby z betonem i betonem komórkowym jest najmniejsza ponieważ wyznaczona pojemność buforowa dla betonu i betonu komórkowego w roztworze zasady sodowej była najmniejsza. Odwrotnie, mieszaniny zawierające kwaśny torf wykazują największe wartości BNC.



Rys. 15. Zmiany wartości pH mieszanin modelowych po dodaniu zasady sodowej w zależności od czasu trwania cykli temperaturowych. Oznaczenia jak na Rys. 13.

Fig. 15. Change of value pH of model mixtures after addition rule soda's in dependence from quantity of thermal cycles. Sign how onto Fig. 13.

Wartość BNC badanych mieszanin, tak jak i ANC, nieznacznie zmienia się w czasie cykli temperaturowych. Obie wielkości dla mieszanin zawierających betony rosną w czasie trwania doświadczenia. W mieszaninach zawierających torf wielkość BNC ulega nieznacznemu obniżeniu w czasie cykli temperaturowych, co spowodowane jest reakcjami substancji organicznej ze składnikami gleby, prowadzącymi do neutralizacji kwasowości torfu.

7. PODSUMOWANIE

W przeprowadzonych badaniach analizie poddano wierzchnią warstwę gleby (0-25cm). Wybór ten był podyktowany obserwacjami terenów miejskich, na których prowadzono prace budowlane lub je właśnie zakończono. Zawsze na takim terenie w warstwie powierzchniowej znajdowały się duże ilości materiałów budowlanych, które w większości były pozostawiane w glebie.

Drugim powodem wybrania tej warstwy gleby były zaobserwowane i opisane w literaturze zjawiska wynoszenia grubszych frakcji materiału glebowego (kamienie i żwir) ku powierzchni gleby. Jednym z powodów występowania tego zjawiska są ruchy warstwy gleby spowodowane procesami zamarzania i rozmarzania. Również większe fragmenty pozostawionych w glebie materiałów budowlanych mogą kumulować się w górnych warstwach profilu.

Obecność materiałów budowlanych spowodowała podniesienie się poziomu pH nawet o pięć jednostek (w przypadku betonu). Zgodnie z przewidywaniami dodanie torfu doprowadziło do obniżenia poziomu pH modelowych mieszanin zbliżając się do poziomu najbardziej korzystnego dla rozwoju organizmów glebowych [14, 68]. Takie zmiany pH gleby przyczyniają się do znaczącego zmniejszenia się zawartości ruchomego glinu i kwasowości wymiennej [6, 98]. Z powodu skażenia terenów miejskich dużymi ilościami metali ciężkich korzystny jest wysoki poziom pH gleby, gdyż przez podwyższenie go są one zatrzymywane w glebie i nie zanieczyszczają wód głębinowych [7, 87, 95]. Jednak gromadzenie się metali w glebie w sprzyjających warunkach może doprowadzić do gwałtownego uwolnienia tychże metali i zanieczyszczenia wód glebowych zasilających wody głębinowe, które są użytkowane przez człowieka. Problem ten jest coraz częściej podejmowany i nazwano go Chemiczną Bombą Czasową (Chemical Time Bomb) [83].

Obecność materiałów budowlanych i torfu w modelowych mieszaninach oraz prowadzone cykle termiczne powodują zmiany zdolności buforowych w stosunku do gleby naturalnej. We wszystkich próbkach dodatek torfu spowodował zwiększenie pojemności buforowej w stosunku do substancji o charterze zasadowym. Największymi zdolnościami buforowymi w stosunku do substancji o

charakterze zasadowym charakteryzuje się mieszanina gleby z torfem i ta sama mieszanina z dodatkiem cegły. Największymi zdolnościami buforowymi w stosunku do substancji o charakterze kwaśnym charakteryzują się mieszaniny gleby z betonem i betonem komórkowym. Ze względu na mocno kwaśny charakter torfu jego obecność obniżyła pojemność buforową analizowanych prób w stosunku do substancji o charakterze kwaśnym.

W stosunku do gleby naturalnej, dodatek materiałów budowlanych spowodował największe zmiany we frakcjach piasku i iłu. Zawartość frakcji piasku ulegała zmniejszeniu na korzyść frakcji o większym stopniu dyspersji. Przeprowadzone cykle termiczne pogłębiały tą tendencję. Dodatek torfu spowodował ograniczenie zmienności składu granulometrycznego w trakcie prowadzonych cykli termicznych, co wskazuje na stabilizujący wpływ torfu na strukturę analizowanego materiału.

Zarówno powierzchnia całkowita jak i zewnętrzna zwiększyła się po do daniu do gleby materiałów budowlanych, które charakteryzują się stosunkowo wysokimi wartościami tej wielkości. W całym przebiegu prowadzonych doświadczeń stwierdzono największe zmiany w składzie granulometrycznym we frakcjach piasku i iłu. Są to frakcje, które odgrywają największą rolę w kształtowaniu wielkości powierzchni właściwej. Otrzymane wyniki potwierdzają wprost proporcjonalną zależność wielkości powierzchni właściwej od zawartości frakcji iłu a odwrotnie proporcjonalną zależność tejże wielkości od zawartości frakcji piasku [18, 22]. Największy wpływ na wzrost powierzchni właściwej całkowitej badanych układów miał dodatek torfu, jednakże już po pierwszych 6-ciu tygodniach prowadzonych cykli termicznych nastąpił gwałtowny spadek wielkości powierzchni właściwej całkowitej, związany z ubytkiem węgla organicznego. Podczas dalszych cykli termicznych powierzchnia całkowita systematycznie wzrastała. Wzrost powierzchni obserwowano również w mieszaninach bez dodatku torfu. Obecność torfu w próbach wyjściowych spowodowała niewielkie obniżenie powierzchni właściwej zewnętrznej w porównaniu do mieszanin bez torfu, jednak w tym wypadku nastąpił drastyczny wzrost powierzchni właściwej całkowitej badanych układów. Uzyskane zmiany w wielkościach powierzchni właściwej – przede wszystkim powierzchni własciwej całkowitej – są związane ze zmianami właściwości sorpcyjnych analizowanego materiału, gdyż istnieje ścisły związek pomiędzy powierzchnią właściwą mierzoną metoda adsorpcji pary wodnej a pojemnością sorpcyjną gleby i zawartością w niej wody niedostępnej dla roślin [10, 18, 20, 22, 23]. W pracach Walczaka wykazano, że powierzchnia właściwa jest

jedną z najbardziej optymalnych właściwości determinującej przebieg krzywych retencji wodnej gleb [90].

Dodanie materiałów budowlanych spowodowało wzrost porowatości otrzymanych mieszanin w stosunku do gleby naturalnej. Przeprowadzone cykle termiczne przyczyniły się do dalszego wzrostu porowatości analizowanego materiału. Dodanie torfu w początkowym etapie doświadczenia wpłynęło korzystnie na porowatość zarówno gleby jak i badanych mieszanin. Jednakże obecność torfu powodowała obniżenie się ogólnej porowatości analizowanego materiału pod wpływem cykli termicznych. Dodatek torfu jak i cykle termiczne powodowały wzrost ilości agregatów o dużych rozmiarach.

Dodanie do gleby materiałów budowlanych spowodowało wzrost gęstości fazy stałej w stosunku do gleby naturalnej, natomiast dodatek torfu prowadził do jej zmniejszenia. Prowadzone cykle termiczne przyczyniły się do wzrostu gęstości fazy stałej wszystkich badanych układów, co związane było ze zmniejszeniem ilości materii organicznej.

Zmiany badanych właściwości gleby są ściśle powiązane z charakterem dodawanych do niej materiałów, co ilustruje Tabela 16. W tabeli tej, jak i w dalszych tabelach stosowano następujące oznaczenia: 1-odczyn gleby, 2-frakcja piasku, 3-frakcja pyłu, 4-frakcja iłu, 5-powierzchnia właściwa zewnętrzna, 6-powierzchnia właściwa całkowita, 7-całkowita pojemność porów, 8-gęstość fazy stałej.

Tabela 16. Wartości analizowanych właściwości gleby.
Tabela 16. Value of analysed propriety of soil.

Próbki	1	2	3	4	5	6	7	8
Gleba	7,9	5	59	36	19,6	30,2	101	2,58
Gleba z torfem	6,3	26	56	18	13,9	82,7	159	2,51

Tabela 17 pokazuje kierunek zmian analizowanych właściwości gleby po dodaniu do niej różnych materiałów budowlanych. Dodanie torfu powoduje zmniejszenia zmian zachodzących w glebie pod wpływem dodania do niej materiałów budowlanych i przeprowadzanych cykli termicznych. Często też materia organiczna pochodząca z torfu powodowała odwrócenie zachodzących przemian w modelowych mieszaninach.

Największe zmiany zanotowano w poziomie pH zarówno bez jak i z dodatkiem torfu. Również wielkość mierzonej powierzchni właściwej czy porowatość modelowych mieszanin znacząco różniły się od naturalnej gleby.

Tabela 17. Kierunek zmian właściwości gleby pod wpływem dodania materiałów budowlanych.
Table 17. Direction of changes of propriety of soil under of addition of buildings' materials.

Materiał	1	2	3	4	5	6	7	8
bez torfu								
Ceg-gl	w	w	s	s	s	s	w	w
Bet-gl	w	w	s	s	s	w	s	w
Betkom-gl	w	w	s	s	w	w	w	w
Zap-gl	w	w	s	s	s	s	w	w
Gruz-10	w	w	s	s	s	s	s	w
Gruz-20	w	w	s	s	s	s	s	w
Gruz-30	w	w	s	s	s	s	w	w
Gruz-40	w	w	s	s	s	s	w	w
Gruz-50	w	w	s	s	s	s	w	w
z torfem								
Ceg-gl	w	w	s	w	s	w	w	s
Bet-gl	w	w	s	w	s	w	w	s
Betkom-gl	w	w	s	w	w	w	w	w
Zap-gl	w	w	s	w	s	w	s	s
Gruz-10	w	w	s	w	s	w	w	s
Gruz-20	w	w	s	w	s	w	w	s
Gruz-30	w	w	s	w	s	w	s	s
Gruz-40	w	w	s	w	w	w	s	s
Gruz-50	w	w	s	w	s	w	s	w

Oznaczenia tendencji: w-wzrost, s- spadek.
Sign of tendency: in - height, s- fall.

Tabela 18 przedstawia zmiany analizowanych właściwości gleby i mieszanin modelowych po 18-stu tygodniach prowadzonych cykli termicznych.

Początkowe zmiany właściwości badanych układów bezpośrednio po dodaniu materiałów budowlanych ulegały niejednokrotnie pogłębieniu w wyniku cykli termicznych. Często obserwowano jednak odwrócenie kierunku ich zmian w porównaniu do zmian początkowych.

Dodatek materiałów budowlanych wpływa w znaczący sposób na właściwości fizykochemiczne gleby. Zmienia ich charakter i często kierunek procesów chemicznych, fizycznych i fizykochemicznych zachodzących w glebie.

Tabela 18. Zmiany właściwości gleby i modelowych mieszanin po 18 tygodniach trwania cykli termicznych.
Table 18. Changes of propriety of soil model mixtures after 18 thermal cycles.

Próbki	1	2	3	4	5	6	7	8
bez torfu								
Gleba	w	w	w	s	w	s	s	w
Ceg-gl	w	s	w	s	w	w	w	w
Bet-gl	s	w	w	s	w	w	w	w
Betkom-gl	w	w	s	s	w	w	w	w
Zap-gl	s	s	w	s	w	w	w	w
Gruz-10	s	s	w	s	w	s	w	w
Gruz-20	s	w	w	s	w	s	w	w
Gruz-30	s	s	w	s	w	s	s	w
Gruz-40	s	s	w	s	w	s	s	w
Gruz-50	s	w	w	s	w	s	w	w
z torfem								
Gleba	w	s	s	w	w	s	s	w
Ceg-gl	w	s	w	s	w	s	s	w
Bet-gl	s	w	w	s	w	s	s	w
Betkom-gl	w	w	w	s	w	s	s	w
Zap-gl	w	w	w	s	w	s	s	w
Gruz-10	w	s	w	w	w	s	s	w
Gruz-20	w	w	s	s	w	s	w	w
Gruz-30	w	s	w	s	w	s	s	w
Gruz-40	w	s	w	s	w	s	s	w
Gruz-50	w	s	w	w	w	s	s	w

Oznaczenia tendencji: w-wzrost, s- spadek.
Sign of tendency: in - height, s- fall.

Powstające gleby antropogeniczne (pararędziny antropogeniczne) degradowane zabudową techniczną jak również zanieczyszczane mechanicznie m.in. w postaci odpadów pobudowlanych, są w sprzyjających warunkach stosunkowo łatwe do zrekultywowania.

Najczęściej takie tereny zostają wyrównane, z ich powierzchni zostają zebrane większe kawałki gruzu i na rekultywowany teren zostaje naniesiona nierównomierna warstwa czarnoziemu lub torfu i na koniec zostaje posiana trawa. Jednak, na co wskazują niektóre wyniki przeprowadzonych badań, jeżeli na danym terenie w warstwie powierzchniowej będzie przeważać frakcja zanieczyszczeń, to wyżej opisane zabiegi mogą nie być wystarczające.

Wyniki prowadzonych badań wydają się wzbogacać dotychczasową wiedzę dotyczącą powstawania i charakterystyki urbanoziemów o ilościowe i jakościowe określenie zmian poszczególnych wielkości fizykochemicznych. Przyczynić się one mogą do praktycznego ulepszenia metod rekultywacji poprzez aspekt udziału substancji organicznej, materiałów budowlanych i zmian temperatury w kształtowaniu właściwości nowo powstałych gleb miejskich. Wiedząc jak dany materiał budowlany wpływa na właściwości gleby i jak się w niej zachowuje, będzie można podjąć odpowiednie działania w celu odnowienia zdegradowanych terenów.

Opisane zmiany właściwości gleby zachodzące zarówno pod wpływem dodawanych do niej materiałów budowlanych i torfu, jak również pod wpływem czasu i zmian temperatury otoczenia mogą być prawdopodobnie zastosowane w celu monitorowania zmian właściwości fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych zachodzących w urbanoziemach.

8. WNIOSKI

1. Otrzymane wyniki badań ilustrują zmiany zachodzące w glebie zanieczyszczonej materiałami budowlanymi, które w niej pozostawiane stają się znaczącym składnikiem gleb antropogenicznych. Również zastosowanie torfu jako materiału rekultywującego zostało potwierdzone w trakcie przeprowadzanych badań.
2. Dodatek materiałów budowlanych powoduje podwyższenie pH gleby. Największy wzrost pH, nawet do pH=12, powoduje dodatek betonu. Dodanie torfu powoduje spadek pH gleby średnio o 2 jednostki. Przeprowadzone cykliczne zmiany temperatury powodowały z reguły spadek pH badanych mieszanin.
3. Zdolności buforowe gleby ulegają wyraźnym zmianom po dodaniu torfu i materiałów budowlanych. Materiały budowlane zwiększają pojemność buforową gleby w stosunku do substancji o charakterze kwaśnym, natomiast dodatek torfu zwiększa pojemność buforową gleby w stosunku do substancji o charakterze zasadowym.
4. W wyniku dodania do gleby materiałów budowlanych następuje przyrost frakcji piasku. Zarówno dodatek torfu jak i cykle termiczne modyfikują skład granulometryczny mieszanin w kierunku zwiększenia ilości frakcji pyłu i iłu.
5. Dodatek materiałów budowlanych powoduje zwiększenie powierzchni właściwej całkowitej i zewnętrznej. Dalszy wzrost powierzchni następuje w wyniku prowadzonych cykli termicznych.
6. Dodanie materiałów budowlanych do gleby powoduje zwiększenie porowatości gleby. Prowadzone cykle termiczne powodują wzrost ilości małych i dużych porów, przy czym większy przyrost obserwuje się w ilości porów małych. Obecność torfu powoduje ograniczenie przyrostu porów małych w wyniku prowadzonych cykli termicznych.
7. Dodanie materiałów budowlanych do gleby powoduje wzrost gęstości fazy stałej. W wyniku cykli termicznych proces ten pogłębia się.

8. Przeprowadzone badania umożliwiają kompleksową analizę przemian zachodzących w glebach antropogenicznych (pobudowlanych), co w przyszłości może dawać istotne wskazówki co do kierunku ich rekultywacji.

9. PIŚMIENNICTWO

1. **Bac S.:** Ruchy warstw gleby wskutek zamarzania i rozmarzania, Roczn. Nauk Roln. I Leśnych, XXXIII, 167-179, 1934.
2. **Baron A., Romero F.:** Distribution of metals in soil and relationships among fractions by principal component analysis, Soil Technology, 8, 303-319, 1996.
3. **Bazzoffi P., Pelagrini S., Rocchini A., Morandi F., Grasselli O.:** The effect of urban refuse compost and different tractors tyres on soil physical properties, soil erosion and maize yield, Soil & Tillage Research, 48, 275-286, 1998.
4. **Benoit G.R.:** Effect of freeze-thaw cycles on aggregate stability and hydraulic conductivity of tree aggregate size, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 37, 3-5, 1973.
5. **Bisal F., Nielsen K.F.:** Effects of frost action on the size of soil aggregates. Soil Sci., 104, 268-272, 1967.
6. **Boguszewski W., Kac-Kacas M.:** Wapnowanie gleb, IUNG Warszawa, Ser. s. 12, 1966.
7. **Boisson J., Ruttens A., Mench M., Vangronsveld J.:** Evaluation of hydroxyapatite as a metal immobilizing soil additive for the remediation of polluted soils. Part 1. Influence of hydroxyapatite on metal exchangeability in soil, plant growth and plant metal accumulation, Environmental Pollution, 104, 225-233, 1999.
8. **Braun S., Flückiger W.:** Soil Amendmants for planting of urban trees, Soil & Tillage Research, 49, 201-209, 1998.
9. **Brogowski Z., Czerwiński Z., Pracz J.:** Stan równowagi jonowej, a odporność drzew i krzewów parkowych na NaCl, Roczniki Gleboznawcze, Ser. A 102 (2), 51-64, 1976.
10. **Buckman H., Brady N. C.:** Gleba i jej właściwości, PWRiL, Warszawa, 1971.
11. **Bullock M.s., Kemper W.D., Nelson S. D.:** Soil cohesion as effected by freezing, water content, time and tillage, Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 770-776, 1988.
12. **Chen T.B., Wong J.W.C., Zhou H.Y., Wong M.H.:** Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong, Environmental Pollution, 96 (1), 61-68, 1997.
13. **Chuchman G.J., Burke C.M.:** Properties of subsoil's in relation to various measures of surface area and water content. J. Soil Sci., 42, 463, 1991.

14. **Curtin D., Campbell C.A., Jalil A.:** Effects of activity on mineralization: pH-dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils, Chemospher, Vol. 39, Nr 2, s.343-377, 1999.
15. **D'Acqui L.P., Churchman G.J., Janik L.J., Ristori G.G., Weissmann D.A.:** Effect of organic matter removal by low- temperature ashing on dispersion of undisturbed aggregates from a tropical crusting soil, Geoderma, 93, 311-324, 1999.
16. **Dąbkowska-Naskręt H., Dyminska M.:** Zawartość i formy mikroelementów w glebach przyległych do kombinatu cementowo-wapienniczego "Kujawy". Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 434 (2), 855-860, 1996.
17. **Dąbkowska-Naskręt H., Jaworska H.:** Zmiany właściwości gleb uprawnych pod wpływem pyłów cementowych, Mat. Kon. Nauk. „Ochrona i wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski". Sesja III i IV Puławy 3-4. 06. 1997, IUNG, 12(2), 27-33, 1997.
18. **Dechnik I.:** Powierzchnia właściwa gleb jako wskaźnik podstawowych elementów ich potencjalnej żyzności. Cz. II. Zastosowanie pomiarów powierzchni właściwej do oceny zawartości sorpcyjnych gleb jako elementu ich potencjalnej żyzności, Ann. UMCS, Sec. E, XXVII, 127-146, 1972.
19. **Dechnik I., Dobrzański B., Stawiński J.:** The possibilities for the application of soil surface measurements in the evaluation of some soil properties. Trans X Inst. Congr. Soil Sci., Moscow, Izd-wo "Nauki", I, 335-340, 1974.
20. **Dechnik I., Stawiński J.:** Powierzchnia właściwa w badaniach fizykochemicznych i fizycznych właściwości gleb. Problemy agrofizyki, 6, s. 43, 1973.
21. **Diaz E., Roldan A., Lax A., Albaladejo J.:** Formation of stable aggregates in degraded soil by amendment with urban refuse and peat, Geoderma, 63, 277-288, 1994.
22. **Dobrzański B., Dechnik I., Gliński J., Pondel H., Stawiński J.:** Powierzchnia właściwa gleb Polski, Rocz. Nauk Roln. D-165, s. 66, 1977.
23. **Dobrzański B., Dechnik I., Stawiński J.:** Correlation between the soil surface area and humus compounds in the soil, Polish J. Soil Sci., V (2), 99-102, 1972.
24. **Dobrzański B., Gliński J., Misztal M.:** Wpływ pyłów cementowych na niektóre właściwości gleb, Roczn. Glebozn., XXI(2), 409-421, 1970.
25. **Domby C. W., Kohnke H.:** The effect of Freezing and thawing on strusture of the soil surface, Agron J., 47, 1175-177, 1955.
26. **Domosławski W., Kęsy-Lewandowska M., Krause J., Łukaszewicz J. W.:** Badania nad konserwacją obiektów murowanych (beton, cegła) w Obozie Zagłady Oświęcim-Brzezinka, UMK, Toruń 2000.

27. **Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A.:** The influence of soil moisture of the moment of preparing samples on the results of the measurements on water capacity in soils, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 281, 63-73, 1982.
28. **Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A.:** The variability of the results of measurement of the water-capacity of soil during the vegetation seasons and its conditioning, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 281, 51-62, 1982.
29. **Drief A., Nieto F., Sanchez-Navas A.:** Experimental clay-mineral formation from a subvolcanic rock by interaction with 1M NaOH solution at room temperature, Clay and Clay Minerals, 49(1), 92-106, 2001.
30. **Fiels J.C., Bruand A.:** Textural porosity analysis of silty clay using pore volume balance estimation, mercury porosimetry and quantified backscattered electron scanning image, Geoderma, 47, 209-219, 1990.
31. **FitzPatric E.A.:** Pedology, a systematic approach to soil science. Oliver and Boyd, Edinburgh, 1971.
32. **Giliotti G., Businelli D., Giusquiani P.L.:** Trace Metals uptake and Distribution in corn plants grown on a 6-year urban waste compost amended soil, Agriculture, Ecosystem and Environment, 58, 199-206, 1996.
33. **Gliński J. Borowiec J., Stawiński J.:** the specyfic surface area of eroded soils formed from loess, Polish J. Soil Sci., XXI/1, 15-22, 1988.
34. **Gliński J., Walczak R., Witkowska-Walczak B.:** Soil water problems in Poland. Agrokemia as talajtan, 38/3-4, 563-577, 1989.
35. **Golany G. S.:** Urban design Morphology and thermal performance, Atmospheric Environment, 30, nr 3, 455-465, 1996.
36. **Gong C., Donahoe R.J.:** An experimental study of heavy metal attenuation and mobility in sandy loam soils, Applied Geochemistry, 12, 243-254, 1997.
37. **Gregg S.J., Sing K.S.:** Adsorption, Surface area and porosity, 2nd, Academic Press: London, 1980.
38. **Grogowski Z., Czarnowska K., Chojnicki J., Pracz J., Zagórski Z.:** Wpływ stresu solnego na stan chemiczny liści drzew z terenu miasta Łodzi, Roczniki Gleboznawcze, LI (1/2), 17-28, 2000.
39. **Gruner H.:** Korozja i ochrona betonu, Arkady, Warszawa, 1983.
40. **Hajnos M.:** Porozymetria rtęciowa na tle innych metod wyznaczania mikrostruktury materiałów glebowych, Zesz. Probl. Nauk Roln., 461, 523-537, 1998.
41. **Hajnos M., Sokołowska Z., Józefaciuk G., Hoffmann C., Renger M.:** Effect of leaching of DOC on pore characteristic of a sandy soil. Z. Pfl. Bodenkunde, 162, 19-25, 1999.
42. **Hamblin A.P.:** Soil water behavior in response to changes in soil structure. J. Soil Sci., 33, 375-386, 1982.

43. **Hoffmann C., Renger M., Hajnos M., Sokołowska Z., Józefaciuk G.:** Marschner B., Reactions of sewage farm soils to different irrigation solutions in a column experiment. 1. Solid phase physicochemical properties. Z. Pfl. Bodenkunde, 162, 653-659, 1999.
44. **Hoyano A., Iino A., Ono M., Tanighchi S.:** Analisis of influence of urban form and materials on sensible heat flux – a case study of Japan's largest housing development "Tama New Town", Atmospheric Environment, 33, 3931-3939, 1999.
45. **ISSS, ISRC and FAO.:** World reference base for soil resources. World soil resources report n° 84, FAO, Rome, s. 88, 1998.
46. **Jaroniec M., Brauer P.:** Recent progress in determination of energetic heterogeneity of solids from adsorption data, Surface Sci. Reports, 6, 65-117, 1986.
47. **Jim C.Y.,** Urban soil Characteristics and limitation for landscape planting in Hong Kong, Landscape and urban planning, 40, 235-249, 1998.
48. **Józefaciuk G., Muranyi A., Szatanik-Kloc A., Farkas C., Gyuricza C.:** Changes of surface, fine pore and variable charge properties of a brown forest soil under various tillage practices, Soil Tillage Res., 59, 127-135, 2001.
49. **Klimowicz Z., Melke J.:** Zawartość metali ciężkich w glebach w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych na przykładzie wybranych tras, Roczniki Gleboznawcze, LI (3/4), 37-46, 2000.
50. **Komarnicki E.:** Zagadnienia stosowania zewnętrznych ścian warstwowych w hodowlanych budynkach dla zwierząt, Ossolineum, Warszawa, 1981.
51. **Konarski E.:** Zagadnienia stosowania zewnętrznych ścian warstwowych w halowych budynkach dla zwierząt, Ossolineum, Wrocław, 1981.
52. **Konecka-Betley K., Czępińska-Kamińska D., Janowska E.:** Systematyka i kartografia gleb, SGGW, 152, 1999.
53. **Koopal L.K., Vos K.:** Calculation of the adsorption energy distribution from the adsorption isotherm by singular value decomposition, Colloids and Surfaces, 14, 87-95, 1985.
54. **Kozak E., Stawiński J., Wierzchoś J.:** Reliability of mercury intrusion porosimetry results for soils, Soil Sci., 152, 405-413, 1991.
55. **Kozanecka T., Czarnowska K., Kwasowski W.:** Nagromadzenie metali ciężkich w glebach w otoczeniu stacji benzynowych w Warszawie, Roczniki Gleboznawcze, LI (1/2), 73-78, 2000.
56. **Łaś M., Morowska A., Ziembicka H., Stefański A.:** Trwałość autoklawizowanego betonu komórkowego w polskich warunkach klimatycznych, Arch. Inż. Ląd., nr 1, 1974.
57. **Łęcki W.:** Korozja I ochrona przed korozją budowli rolniczych, PWRiL Poznań, s. 216, 1986.

58. **Lehrsch G.A., Sojka R.E., Carter D.L., Jolley P.M.:** Freezing effects on aggregates stability by texture, mineralogy, and organic matter, Soil Sci. Soc. Am. J., 55, 1401-1406, 1991.
59. **Lipiec J.:** Możliwość oceny przewodnictwa wodnego gleb na podstawie ich niektórych właściwości. Probl. Agrof., 40, 1984.
60. **Łoginow W., Wiśniewski W., Gonet S.,S., Cieściński B.:** Fraction of organic carbon based on susceptibility to oxidation, Poilish J. Soil Sci., 20 (1), 47-52, 1987.
61. **Lwowicz M.I.:** Wodnyj balans i poczwiennyj pokrow, Poczwow, 9, 43-55,1965.
62. **Meinhedt B.:** Stan środowiska przyrodniczego Wrocławia ze szczególnym uwzględnieniem gleb., Zesz. Naukowe AR we Wrocławiu, Rolnictwo, 347, 9-41, 1998.
63. **Milly P.C.D.:** Climate, soil water storage, and average annual water balance, Water Resour. Res., 30, 7, 2143-256, 1994.
64. **Mostaghimi S., Young R.A., Wilts A. R., Kenimer A.L.:** Effects of frost action on soil aggregate stability, Trans ASAE, Am. Soc. Agric. Eng., 31, 435-439, 1988.
65. **Musierowicz A.:** Zagadnienie kwasowości gleb, Post. Nauk Roln., 3 (87), 33-46, 1964.
66. **Nowakowski N.:** Badanie korozji budynków inwentarskich, Bud. Wiejskie, nr 1 i 2, 1969.
67. **Ościk J.,** Adsorpcja, PWN, Warszawa 1979,
68. **Pascual J. A., Hernandez T., Garcia C., Ayuso M.:** Enzymatic Activities an arid soil amended with urban organic wastes: laboratory experiment, Bioresource Technology, 64, 131-138, 1998.
69. **Paukszto A., Kwapuliński J., Wiechula D., Rochel R., Porański M.:** Występowanie ołowiu w glebie w otoczeniu stacji paliw. [w:] Ołów w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne, Zesz. Nauk Komitetu „Człowiek i Środowisko" PAN, 21, s 113-119, 1998.
70. **Paukszto A., Kwapuliński J., Wiechula D., Rochel R., Porański M.:** Występowanie ołowiu w glebie w otoczeniu stacji paliw. [w:] Ołów w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne, Zesz. Nauk Komitetu „Człowiek i Środowisko" PAN, 21, s 113-119, 1998.
71. **Peterson L.W., Moldrup P., Jacobsen O.H., Rolston D.E.:** Relation Between specific surface area and soil physical and chemical properties, Soil Sci., 161, 9-21, 1996.
72. Praca zbiorowa. Systematyka gleb Polski, wyd. IV, Roczn. Glebozn. XL, 3/4, Warszawa 1998.
73. **Scheuß U., Wu Q., Blume H.P.:** Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany, Catena, 33, 255-270, 1998.
74. **Ściślewski Z.:** Korozja i ochrona zbrojenia, Arkady, Warszawa, 1972.
75. **Serzysko T.:** Wpływ procesów mrozowych na regenerację struktury gleby i właściwości fizyczne gleb zdegenerowanych w wyniku silnego ugniatania, praca doktorska, AR, Lublin, 2000.

76. **Shepard M.I., Kay B.D., Loch J.P.G.:** The coupled transport of water and heat in freezing soil: a field study, Can. J. Soil Sci., 61, 417-429, 1981.
77. **Siebe Ch.:** Heavy metal availability to plants in soil irrigated with wastewater from Mexico city, Wat. Sci. Tech., 32, Nr 12, 29-34, 1995.
78. **Siuta J.:** Wpływ procesu glebotwórczego na kształtowanie się cech morfologicznych i właściwości chemicznych profilu glebowego, Roczn. glebozn. T. X, Warszawa 1961.
79. **Słowińska-Jurkiewicz A.:** Struktura i własciwości wodno-powietrzne gleb wytworzonych z lessu, Rzoczn. Nauk Roln. Seria D, Monografie, 218, 1989.
80. **Słowińska-Jurkiewicz A., Domżał H.:** Wpływ działania narzędzi uprawowych na budowę warstwy ornej gleby, Rocz. Gleb., 35(2), 165-175, 1984.
81. **Słowińska-Jurkiewicz A., Mikosz A.:** Changes in the soil structure resulting from intensive action of the wheels of agricultural machinery, Pol. J. Soil Sci., 28(1), 11-18, 1994.
82. **Sokołowska Z., Sokołowski S.:** Wpływ przygotowania próbek glebowych materiałów porowatych na ich porowatość oraz wymiar fraktalny, Zesz. Probl. Nauk Roln., 461, 539-554, 1998.
83. **Stawiński J., Świeboda R., Józefaciuk G.:** A Metod of external soil surface area measurement based on carbon tetrachloride vapour adsorption, Polish J. Soil Sci., Xxi, 23-28, 1988.
84. **Stigliani N.S., Anderborg P. J.:** Industrial metabilism and long term risks from accumulated chemicals in the Rhine Basin, Industry and Environment, 16(3), 30-35, 1993.
85. **Tokarski Z., Wolfke S.:** Korozja ceramicznych materiałów budowlanych, Warszawa 1969.
86. **Tokarski Z., Wolwke S.:** Korozja ceramicznych materiałów budowlanych, Arkady, Warszawa 1962.
87. **Toth T., Józefaciuk G.:** Physicochemical properties of a solonetzic toposequence. Geoderma, 137-159, 2002.
88. **Trojan P.:** Bioklimaologia ekologiczna, Warszawa 1985.
89. **Trybała M.:** Zagadnienia gospodarki wodnej w rolnictwie, PWRiL, Warszawa, 1978.
90. **Turski R., Baran St.:** Degradacja ochrona i rekultywacja gleb, Wyd. Ak. Roln. Lublin 1995.
91. **Turski R., Słowińska-Jurkiewicz A.:** Charakterystyka warunków przyrodniczych i procesów kształtujących gleby Lubelszczyzny, Systematyka gleb Polski (region lubelski). Komitet Gleboznawstwa i Chemii Rolnej PAN, 5-15, 1992.
92. **Turski R.:** Zarys gleboznawstwa, Lublin 1999.
93. **Ustyak S., Petrikova V.:** Heavy metal pollution of soil and crops in Northern Bohemia, Applied Geochemistry, 11, 77-80, 1996.

94. **Walczak R.:** Modelowe badania zależności retencji wodnej od parametrów fazy stałej gleby, Problemy Agrofizyki, 41, s. 72, 1984.
95. **Weiss P., Riss A., Gscheidler E., Schentz H.:** Investigation of heavy metal, PAH, PCB patterns and PCDDF profiles of soil samples from an industrialized urban area (Linz, upper Austria) with multivariate statistical methods, Chemosphere 29 (9-11), 2223-2236, 1994.
96. **Wiesskopf P., Zihlmann U., Wiermann C., Horn R., Anken T., Diserens E.:** Influence of ploughing on soil structure, Agroforschung, 6, 293-296, 1999.
97. **Wilcke W., Kaupenjohann M.:** Heavy metal distribution between soil aggregate core and surface fractions along gradients of deposition from the atmosphere, Geodrma, 83, 55-66, 1998.
98. **Yuan T. L.:** Some relationships among hydrogen, aluminum and pH in solution and soil systema, Soil. Sc., 95, 155-166, 1963.

10. STRESZCZENIE

Przeprowadzono analizę wpływu dodatku materiałów budowlanych na wybrane właściwości gleby lessowej. Sporządzono modelowe mieszaniny gleby z poziomu A z betonem, cegłą, betonem komórkowym, zaprawą i gruzem w stosunku wagowym gleba materiał budowlany: 9-1, 8-2, 7-3, 6-4, 5-5. Modelowe mieszaniny podzielono na dwie części i do jednej z nich dodano 6% wagowych torfu jako czynnika rekultywującego. Cały materiał badawczy nawilżono do stałego poziomu 25% wodą destylowaną i podawano go cyklicznym zmianom temperatury od i -20°C do +30°C. W trakcie prowadzonych cykli termicznych i po ich zakończeniu pobierano część materiału badawczego i analizowano m.in. dynamikę zmiany pH, buforowości, składu granulometrycznego, powierzchni właściwej –zewnętrznej i całkowitej, porowatości i gęstości fazy stałej. Otrzymane wyniki pozwoliły prześledzić przemiany zarówno materiałów budowlanych jak i zmiany właściwości modelowych mieszanin antropogenicznych gleby lessowej pod wpływem dodanych do niej materiałów budowlanych, które stawały się jej znaczącym składnikiem.

Słowa kluczowe: urbanoziemy, gleby antropogeniczne, materiały budowlane, odczyn, skład ganulometryczny, powierzchnia całkowita, porowatość, gęstość fazy stałej

11. SUMMARY

Analyses of addition of buildings' materials were executed to soil on choose propriety of loesial soil. Model mixtures of soil were prepared from level A with concrete, brick, foam concrete, mortar and rubble in weight relation soil building material: 9-1, 8-2, 7-3, 6-4, 5-5. Model mixtures were divided on two part and to one from them 6 w/w% of peat were added as reclaiming factor. Whole investigative material distilled water were moisturized to 25 w/w % and these soils samples were passed through from -20°C to +30°C in thermal cycles. In track of led thermal cycles and for them end part of investigative material was taken and changes of: pH, buffer capacity, granulometric composition, specific surface area, porosity, soil solid phase were analyzed.

Received results permitted to qualify transformations of buildings' materials in soil, which they stand up her significant component, creating anthropogenic soil.

Keywords: urban soil, anthropogenic soil , building materials', pH, granulometric composition, specific surface area, porosity, soil solid phase.

Adresy Autorów:

Grzegorz Bowanko
Mieczysław Hajnos

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego
Polska Akademia Nauk
ul. Doświadczalna 4
P.O. BOX 201, 20-290 Lublin 27,
Tel. (081) 7445061, fax. (081) 7445067
e-mail: gbowanko@demeter.ipan.lublin.pl
kozakedm@ demeter.ipan.lublin.pl