

NADMIERNE ZAGĘSZCZENIE GLEBY - SKUTKI, PRZYCZYNY I ŚRODKI ZARADCZE

Streszczenie

Omówiono skutki i przyczyny nadmiernego zagęszczenia gleby, które wraz z erozją wymieniane jest wśród głównych powodów degradacji gleby. Głównym skutkiem nadmiernego zagęszczenia gleby jest przede wszystkim zaburzona gospodarka wodna gleby, powodująca mniejszy i jakościowo gorszy plon, a główną przyczyną są zbyt duże naciski wywierane na glebę przez sprzęt używany podczas prac polowych. Najważniejsze środki zaradcze to zmniejszenie nacisków i liczby przejazdów po polu, szczególnie przy nadmiernym uwilgotnieniu gleby, oraz działania poprawiające nośność gleby i trwałość jej struktury.

Słowa kluczowe: nadmierne zagęszczenie gleby, podeszwa płuzna, penetrometr, naciski na glebę, nośność gleby, gospodarka wodna gleby, układ jezdny

Wstęp

Gleby, obok przebiegającego powoli, ale stale procesu tworzenia, podlegają równocześnie procesom degradacji fizycznej, chemicznej i biologicznej [3]. Jednym z procesów powodujących degradację fizyczną gleby jest zagęszczenie struktury gleby, które wymieniane jest wśród dziewięciu mechanizmów zagrożeń gleb i odpowiadającym im formom degradacji, wymienionych w raporcie Komisji Europejskiej z 2002 roku [4]. Gleba jako miejsce rozwoju roślin wymaga odpowiedniej struktury, ale niestety spełnia ona również funkcję szlaku zdźnającego, który tę strukturę zaburza. Naciski wywierane na glebę przez coraz cięższy sprzęt używany podczas prac polowych powodują niekorzystne zagęszczenie nie tylko warstwy uprawnej, ale również podglebia. W całym procesie uprawy roślin agregaty ciągnikowe i samojezdne kombajny przejeżdżają na każdym hektarze pola nawet kilkadziesiąt kilometrów ugniatając niektóre miejsca wielokrotnie. W uprawie zbóż, przy tradycyjnym poruszaniu się agregatów po polu, ślady przejazdów kół pokrywają od 54,5 do 61,4% powierzchni pola [1].

Podatność gleby na zagęszczenie zależy od wielu czynników, a przede wszystkim od rodzaju gleby, zawartości materii organicznej oraz aktualnej wilgotności i stopnia zagęszczenia gleby [9]. Szczególnie podatne na nadmierne zagęszczenie i zniszczenie struktury są gleby o dużej zawartości części spławianych (zwięzłe gliny i ropy) oraz gleby o nadmiernej wilgotności i małej zawartości próchnicy [11]. W Polsce łączna powierzchnia gleb narażonych na zagęszczenie w wyniku niewłaściwych technik uprawy, stosowania sprzętu o zbyt dużych naciskach lub wykonywania prac w warunkach zbyt dużego uwilgotnienia, wynosi ok. 15% w stopniu wysokim, 22% w stopniu średnim i 63% w stopniu niskim [5, 11]. Zbyt duże i wielokrotne obciążanie gleby o obniżonej nośności jest zawsze destrukcyjne dla jej struktury.

Skutki nadmiernego zagęszczenia gleby

Szkodliwość nadmiernego zagęszczenia gleby wynika ze zwiększenia gęstości objętościowej gleby i destrukcji systemu kapilarnego, a w efekcie tego pogorszenia obiegu wody, powietrza i składników pokarmowych w glebie oraz utrudnionego rozwoju korzeni roślin. Skutkiem takiego niepożądanego stanu gleby, pogarszającego jej gospodarkę

wodną, jest przede wszystkim mniejszy i jakościowo gorszy plon. Nadmierne zagęszczenie gleby może prowadzić do wystąpienia lub przyspieszenia innych procesów degradacji gleby takich jak erozja czy osuwiska oraz zmniejszającej się zdolności użytków rolnych do magazynowania wody [2]. Na glebie nadmiernie zagęszczonej woda słabo wsiąka (infiltruje) w głąb i spływa na zboczach zabierając ze sobą cząstki gleby i nawozy, powodując ich straty oraz zanieczyszczenie rowów melioracyjnych i naturalnych zbiorników wodnych. Po intensywnych opadach słabo wsiąkająca woda powoduje nadmierne uwilgotnienie warstwy uprawnej, co utrudnia terminowe wykonanie kolejnych zabiegów lub wręcz długo utrzymujące się zastoiska wody powodujące niedotlenienie korzeni roślin i w ostateczności ich gnicie.

Nadmiernie zagęszczona gleba stawia duże opory robocze i gorzej się kruszy, a to utrudnia nie tylko uprawę roli, ale również inne zabiegi, np. zbiór ziemniaków, buraków czy warzyw korzeniowych, powodując jednocześnie wzrost zużycia paliwa. Zwiększa się też ścierne zużycie elementów roboczych obrabiających glebę lub wyorujących plon oraz wzrasta ich zagrożenie przeciążeniami w wyniku uderzeń kamieni, które szczególnie mocno osadzone są w glebie nadmiernie zagęszczonej. W przypadku zbioru ziemniaków, buraków czy warzyw korzeniowych nie bez znaczenia jest również pogorszenie warunków do oczyszczenia plonu, gdyż mocno zagęszczona gleba gorzej się ospyje i może powodować uszkodzenia plonu.

Objawy nadmiernie zagęszczonej gleby

Zagęszczenie gleby można określić na podstawie pomiarów jej zwięzłości, czyli oporu, który stawia ona przy próbie rozklinowania. Zwięzłość gleby zależy od siły, z jaką spojone są cząsteczki gleby i wzrasta w głębszych warstwach profilu glebowego, szczególnie w przypadku gleb lekkich, oraz wraz ze spadkiem wilgotności gleby i wzrostem jej zagęszczenia. Do pomiarów zwięzłości służą specjalne penetrometry (rys. 1) z wymiennymi stożkowymi sondami, wciskanymi w głąb gleby na głębokość nawet do 1 m, a jej wartość wyraża się najczęściej w MPa lub kPa. Wyniki pomiarów mogą być zapisywane elektronicznie lub na karcie graficznej, a niektóre penetrometry mają wyświetlacze z kolorową skalą wskazującą czy zmierzona zwięzłość jest optymalna, dopuszczalna czy nadmierna. Z badań cytowanych w instrukcji obsługi

penetrometru elektronicznego firmy Eijkelkamp [18] wynika, że korzenie roślin rozwijają się najlepiej, gdy zwięzłość gleby nie przekracza 1,5 MPa, a zwięzłość ok. 3 MPa uważa się za wartość graniczną zaburzającą wzrost korzeni [6].



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Penetrometr umożliwia pomiar zwięzłości gleby na różnych głębokościach

Fig. 1. The penetrometer enables the measurement of soil compactness at various depths

Zagęszczenie gleby można też ocenić zgrubnie bez sprzętu pomiarowego. Dla przykładu wciskając w glebę zaostrzony pręt można wyczuć gwałtowny wzrost oporu i ocenić głębokość zalegania i grubość nadmiernie zagęszczonej warstwy. O tym, jaki jest stan warstwy podornej można się też przekonać obserwując stan dna bruzdy wyoranej podczas orki lub wykonując odkrywkę i sprawdzając, na jaką głębokość rozwinął się system korzeniowy roślin. Znanym powszechnie objawem nadmiernie zagęszczonej gleby są źle wykształcone, krótkie korzenie buraków. Spośród zbóż najbardziej wymagający pod względem kultury roli, w tym stosunków wodno-powietrznych, jest jęczmień ozimy. Jego zahamowana wegetacja może świadczyć o nadmiernym zagęszczeniu gleby. Na zły stan gleby wskazywać mogą również długo utrzymujące się zastoiska wody po intensywnych opadach. W miejscach nadmiernie zagęszczonych wzrastają opory robocze tak, że czasem problemem jest zagłębienie się pługa. Oprócz tego nadmiernie zagęszczona gleba jest też mniej podatna na kruszenie, co można stwierdzić na podstawie mocno zbrzydlonych skib.

Zmniejszenie liczby przejazdów po polu

Liczbę przejazdów po polu można ograniczyć stosując maszyny o dużej szerokości roboczej lub agregaty czy zestawy wykonujące kilka zabiegów w jednym przejeździe. Bardzo korzystna pod tym względem jest jednoczesna uprawa roli,

siew i nawożenie startowe. Przejazdy po polu można ograniczyć na każdym etapie produkcji polowej, przy czym dotyczy to zarówno przejazdów roboczych, jak i transportowych. Problem ten jest szczególnie widoczny podczas zbioru, kiedy trzeba odebrać od kombajnu dużą masę plonu. Najlepiej, gdy rozładunek na przyczepy odbywa się tylko na skraju pola. Innym przykładem postępowania sprzyjającego ograniczeniu przejazdów transportowych po polu jest zbiór słomy. Można np. stosować specjalne wózki agregowane z prasami kostkującymi czy zwijającymi, które ułatwiają zbiór bel. Najmniejsze wózki do pras zwijających umożliwiają transportowanie 1 beli (rys. 2) i rozładunek bel parami, co pozwala na ich jednoczesne podejmowanie ładowniczem widłowym. Natomiast największe wózki są przystosowane do transportu 3 bel i jednoczesnego rozładunku 4 bel, co czasem umożliwia wywiezienie bel aż na skraj pola. Warto jednak wcześniej zadbać o odpowiedni stan dróg polnych. Niedopuszczalne jest, aby skraj pola przejmował funkcję drogi polnej (rys. 3), która jest nieprzejezdna ze względu na wyboistą nawierzchnię i wąską przestrzeń, ograniczoną krzewami i konarami drzew. W przypadku pól bardzo szerokich warto również zadbać o odpowiednią liczbę wjazdów/wyjazdów, aby maksymalnie odciążać pole pod względem transportowym.



Rys. 2. Wózek agregowany z prasą ogranicza liczbę przejazdów po polu podczas zbioru słomy [15]

Fig. 2. The trolley aggregated with the baler reduces the number of passes in the field during straw harvesting [15]



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

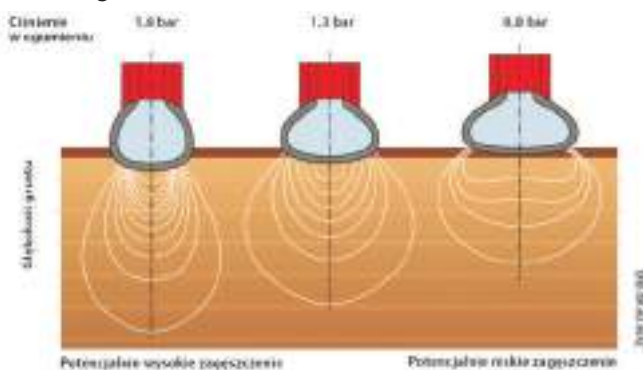
Rys. 3. Pole nie może pełnić funkcji drogi

Fig. 3. The field should not function as a road

Zmniejszenie nacisków kół na glebę

Najprostszym sposobem ograniczenia nacisków kół na glebę jest obniżenie ciśnienia powietrza w oponach, co zwiększa powierzchnię ich styku z glebą i zmniejsza głębokość zagęszczania gleby (rys. 4). Z przykładowych badań wynika, że przy ciśnieniu zmniejszonym w oponach ciągnika z 2,0 do

0,8 bar zwieźność gleby zagęszczonej w dnie kolein była mniejsza o 0,4 MPa, a zużycie paliwa o 7,6% [12]. Większa powierzchnia styku opon z glebą to, oprócz mniejszego zagęszczenia gleby i większej siły uciągu ciągnika, również mniejszy poślizg, a tym samym większa prędkość robocza i wydajność. Koła o małych naciskach pozostawiają płytsze, łatwiejsze do zniwelowania koleiny (rys. 5), co ułatwia uprawę. Do zmiany ciśnienia potrzebna jest tylko sprawna sprężarka, ciśnieniomierz i czas, który najczęściej zniechęca do wykonywania tej operacji. Zmianę ciśnienia można zdecydowanie przyspieszyć stosując centralny układ regulacji ciśnienia w oponach (rys. 6). Może to być układ półautomatyczny uruchamiany na postoju lub automatyczny umożliwiający zmianę ciśnienia podczas jazdy [13]. Układ taki w najbardziej rozbudowanej wersji umożliwia oddzielną regulację ciśnienia dla każdego koła.



Rys. 4. Im mniejsze ciśnienie w oponie tym mniejszy nacisk na glebę [17]

Fig. 4. The lower the pressure in the tire, the less pressure on the soil [17]



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Płytkie koleiny są łatwe do zniwelowania, a to ułatwia uprawę roli

Fig. 5. Shallow ruts are easy to level, which makes soil cultivation easier



Rys. 6. Centralny układ przyspiesza regulację ciśnienia w oponach [21]

Fig. 6. Central system accelerates the regulation of tire pressure [21]

Opony diagonalne zostały wyparte przez korzystniejsze pod względem nacisków opony radialne, ale ciągnik można wyposażyć także w szerokie opony niskoprofilowe, które z uwagi na przystosowanie do dużych obciążeń przy niskim ciśnieniu określa się również jako niskociśnieniowe. Zaletą opon niskociśnieniowej w porównaniu ze standardową oponą radialną jest większa wytrzymałość boków opony przy dużym ich ugięciu oraz bardziej płaskie czoło zapewniające większą powierzchnię styku z podłożem. Naciski kół na glebę można też istotnie zmniejszyć stosując większą liczbę kół na osi. Zazwyczaj są to koła bliźniacze, ale możliwe jest również stosowanie kół potrójnych. Koła bliźniacze można stosować nie tylko podczas uprawy roli, siewu i sadzenia, ale również podczas innych zabiegów wykonywanych np. w uprawach szerokokorzystkowych (rys. 7). Wtedy podwójne wąskie koła poruszające się w sąsiadujących międzyrzędziach oddziałują na glebę łagodniej niż pojedyncze szerokie koło w jednym międzyrzędziu.

Inne korzystne rozwiązanie to gąsienicowy układ jezdny (rys. 8) montowany w miejsce kół napędowych ciągnika lub kombajnu. Takie układy charakteryzują się większą sprawnością przeniesienia napędu od układów kołowych, co zapewnia zmniejszenie poślizgu w porównaniu z kołami bliźniaczymi, co najmniej o 50% [8]. Jeszcze innym sposobem zmniejszenia nacisków na glebę jest takie ustawienie kół na osiach, aby podczas jazdy po polu ich ślady nie pokrywały się. Przykładem może być jazda w trybie „psiego chodu” w kombajnie do zbioru buraków Terra DOS T4 firmy Holmer (rys. 9).



Rys. 7. Koła bliźniacze ograniczają zagęszczenie gleby w międzyrzędziach roślin [22]

Fig. 7. Twin wheels reduce soil compaction in plant inter-rows [22]



Rys. 8. Gąsienicowy układ jezdny to mniejsze ugniatanie gleby i poślizgi [14]

Fig. 8. Crawler running gear means less soil compaction and slippage [14]



Rys. 9. Jazda kombajnem buraczanym w trybie „psiego chodu” eliminuje pokrywanie się śladów kół [19]

Fig. 9. Driving the beet harvester in the "dog walking" mode eliminates the overlap of wheel tracks [19]

Unikanie przejazdów po glebie mokrej i pulchnej

Należy unikać przejazdów po polu, gdy gleba jest mokra i pulchna, a tym samym ma małą nośność. Im większa jest wilgotność gleby tym głębsze są jej zagęszczenia pod naciskiem kół. Na mokrej glebie koła mają gorszą przyczepność, a to powoduje wzrost ich poślizgów i w efekcie tego szkodliwe zamazywanie gleby i spadek siły uciążu ciągnika. Również gleba pulchna jest bardziej podatna na zagęszczanie, tym bardziej im głębiej jest spulchniona. Jeżeli więc nie ma czasu na naturalne odleżenie spulchnionej gleby, to należy ją wtórnie zagęścić stosując odpowiedni wał w agregacie z narzędziem spulchniającym glebę, np. z pługiem czy kultywatorem. Na glebie, która niedostatecznie osiadła po uprawie podstawowej można podczas jej poprawiania i siewu stosować wały zawieszane z przodu ciągnika. Można w ten sposób uniknąć tworzenia się głębokich i mocno zagęszczonych kolein, które utrudniają równomierne poprawienie gleby, a w konsekwencji pogarszają siew, wschody i wegetację roślin. Klasycznym przykładem wału, który umożliwia wgłębne zagęszczenie głęboko spulchnionej gleby jest wał Campbella, który może być stosowany podczas orki siewnej lub poprawiania gleby i siewu (rys. 10), ale nawet zastosowanie znacznie lżejszego wału przyspiesza osiadanie gleby.



Rys. 10. Wał Campbell umożliwia zagęszczenie pulchnej gleby przed ciągnikiem [16]

Fig. 10. The Campbell roller enables compacting the loose soil in front of the tractor [16]

W przypadku poprawiania gleby i siewu po orce lub głębokiej uprawie bezorkowej problemem jest nadmierne zagęszczanie gleby na uwrociach w wyniku manewrowania ciągnikiem podczas licznych nawrotów, przy zwiększonym obciążeniu kół przez uniesioną maszynę. Rozwiązaniem tego problemu może być wykonanie uprawy podstawowej na uwrociach, a zwłaszcza orki siewnej pod rośliny ozime, dopiero po obsianiu pola w strefie środkowej.

Uprawa bezorkowa zamiast orki

Jedną z podstawowych wad orki jest podeszwa płużna narastająca w wyniku niekorzystnego oddziaływania na warstwę podorną kół ciągnika prowadzonych w bruzdzie i lemieszki podcinających skiby. Ślady kół w bruzdach można ograniczyć stosując pługi o większej szerokości lub całkowicie je wyeliminować prowadząc ciągnik wszystkimi kołami po całej niszy. Prowadzenie ciągnika obok bruzdy umożliwia stosowanie szerokiego ogumienia, kół bliźniaczych (rys. 11) lub gąsienic, które podczas klasycznej orki nie mieszczą się w bruzdzie, ale wymaga to odpowiedniego pługa i większej uwagi operatora. Można jednak przypuszczać, że wraz z rozpowszechnianiem się precyzyjnych systemów wspomagających jazdę ciągnikiem, ten sposób orki zyska na znaczeniu. Podeszwy płużnej można też zapobiegać zmieniając co rok głębokość i kierunek orki oraz stosując pogłębiające spulchniające glebę pod skibami.



Rys. 11. Ślady kół w bruzdach można wyeliminować wykonując orkę sposobem „on land” [20]

Fig. 11. Traces of wheels in furrows can be eliminated by performing "on land" plowing [20]

Mniejsze zagrożenia nadmiernym zęszczeniem gleby stwarza uprawa bezorkowa. Rozluźniona, ale nie odwrócona gleba szybciej osiada i dzięki dobremu wymieszaniu z resztkami roślinnymi lub przykryciu mulczem ma większą nośność. Narzędzia do uprawy bezorkowej pozostawiają z reguły poszarpane dno pod warstwą spulchnionej gleby, które jest mniej podatne na wytworzenie nadmiernie zagęszczonej podeszwy niż gładkie dno pozostawione przez lemieszki pod skibami. W celu jak najlepszej ochrony gleby przed zagęszczaniem warto stosować narzędzia pozostawiające dno jak najbardziej pofałdowane lub z drenażowymi nacięciami, a także, podobnie jak w przypadku orki, zmieniać głębokość i kierunek uprawy oraz nie wykonywać jej, gdy gleba ma zbyt dużą wilgotność. Dzięki mniej ostrej granicy pomiędzy uprawioną bezorkowo warstwą gleby a podglebiem niż w przypadku orki, woda szybciej wsiąka w głąb profilu glebowego i można szybciej wjechać w pole po opadach.

Kontrolowane przejazdy robocze

Kontrolowane przejazdy robocze po ścieżkach technologicznych to nie tylko ułatwienie nawożenia i oprysków, ale również kontrolowane zagęszczanie gleby. Likwidację nadmiernych zagęszczeń gleby, jeśli wystąpiły, można wtedy ograniczyć tylko do tych miejsc. Ścieżki technologiczne mogą być stosowane nie tylko w uprawie zbóż, ale również w uprawach szerokokorędowych, np. w burakach czy ziemniakach. Wprowadzenie poszerzonych ścieżek przez wyeliminowanie rzędów w śladach kół umożliwia stosowanie szerokich kół

podczas nawożenia i oprysków, a tym samym zmniejszenie nacisków na glebę i wyeliminowanie głębokich utwardzonych kolein oraz ograniczenie uszkodzenia korzeni roślin i bulw ziemniaków. Liczne badania wskazują, że straty plonu w wyniku wyeliminowania rzędów w ścieżkach są rekompensowane przez tzw. „efekt brzegowy” polegający na lepszym plonowaniu roślin w rzędach sąsiadujących ze ścieżkami, tym bardziej, że ze względu na większą przestrzeń można w nich zagęścić siew czy sadzenie [7].

Dzięki systemom rolnictwa precyzyjnego i nawigacji GPS ścieżki przejazdowe można dokładnie zaplanować i poruszać się wyłącznie po nich podczas wszystkich zabiegów związanych z uprawą roli, siewem, nawożeniem, ochroną chemiczną i zbiorem (technologia CTF - *Controlled Traffic Farming*). Główne ścieżki technologiczne w tym systemie to przejmujące największe obciążenia ścieżki stałe, które nie są spulchniane przed siewem w celu zachowania ich większej nośności, a których rozstaw (np. 36 m) odpowiada szerokości roboczej opryskiwacza i rozsiewacza nawozu. Pomiędzy nimi wytyczane są dodatkowe ścieżki technologiczne dla pozostałego sprzętu (rozzutnik obornika, agregat uprawowy, siewnik, kombajn zbożowy) o mniejszej szerokości roboczej (np. 9 m). Po nich porusza się również sprzęt stosowany do odbioru ziarna od kombajnu i zbioru słomy [10].

Podsumowanie

Nadmierne zagęszczenie gleby powoduje nie tylko jej degradację i spadek plonowania roślin, szczególnie dotkliwy w warunkach suszy, ale również wzrost nakładów na uprawę roli, przywracającą glebie właściwą strukturę. Natomiast podczas intensywnych opadów nadmiernie zagęszczona gleba zwiększa erozję wodną na zboczach, powodując straty gleby i nawozów, które spływają wraz z wodą i zanieczyszczają środowisko. Podstawowy sposób zapobiegania nadmiernemu zagęszczaniu gleby to ograniczenie nacisków, szczególnie na glebę o małej nośności, spowodowanej dużym uwilgotnieniem i wcześniejszym głębokim spulchnieniem. Nadmierne zagęszczenia profilu glebowego sięgające głębiej niż głęboka orka lub kultywatorowanie, można zlikwidować spulchnianiem warstwy podornej pogłębiaczami montowanymi na pługu lub głęboszami, ale odbudowę struktury gleby należy wspomagać regulacją odczynu gleby oraz nawożeniem organicznym i uprawą międzyplonów. Prawidłowy (obojętny lub zbliżony do obojętnego) odczyn gleby i duża zawartość materii organicznej sprzyjają budowie i utrwalaniu gruzełkowej struktury gleby i zwiększeniu jej nośności. W porównaniu z orką mniejsze zagęszczanie gleby występuje podczas uprawy konserwującej, gdyż mulcz zapewnia glebie większą nośność, a warstwa gleby poniżej głębokości uprawy jest mniej narażona na powstanie utwardzonej podeszwy. Najbardziej odporna na zagęszczanie jest gleba po bardzo płytkiej uprawie bezorkowej lub wcale nie spulchniona przed siewem bezpośrednim, ale tak drastyczne uproszczenie uprawy jest możliwe tylko po przywróceniu

glebie właściwej zwięzłości i trwałej gruzełkowej struktury oraz przy maksymalnym ograniczeniu jej ugniatania na każdym etapie prac polowych. Znaczenie korzystniejsza pod tym względem jest uprawa pasowa, gdyż bezorkowe spulchnienie pasów siewnych likwiduje nadmierne zagęszczenia w strefie ukorzenia się roślin, a nie spulchnione i pokryte resztkami poźniwnymi międzyrzędzia mają dużą nośność.

Bibliografia

- [1] Buliński J., Marczuk T.: Ocena działania na glebę kół agregatów ciągnikowych w gospodarstwach rolnych. *Inżynieria Rolnicza*, 2009, 1, 3-59.
- [2] Dawidowski J.B., Walczykova M.: Techniczne i eksploatacyjne metody zapobiegania nadmiernemu zagęszczeniu gleb rolniczych i leśnych. *Współczesna inżynieria rolnicza osiągnięcia i nowe wyzwania*. Monografia pod red. R. Hołownickiego i M. Kubonia, tom I, Kraków, 2013, 105-155.
- [3] Duer I., Fotyma M., Madej A.: *Kodeks dobrej praktyki rolniczej*. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2004.
- [4] Karczewska A.: *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 2008.
- [5] Krasowicz S., Oleszek W., Horabik J., Dębicki R., Jankowski J., Stuczyński T., Jadczyński J.: *Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym* Polski. *Polish Journal of Agronomy*, 2011, 7, 43-58.
- [6] Locher W.P., de Bakker H.: *Bodemkunde van Nederland*. dem Bosch, Malmbergin, 1990.
- [7] Niemczyk H., Buliński J.: Wpływ ścieżek przejazdowych na plon roślin uprawnych. *Inżynieria Rolnicza*, 2012, Z. 2(136), T. 1, 277-286.
- [8] Pieczarka K.: Gąsienicowy czy kołowy układ jezdny ciągnika? <https://www.agrofakt.pl/uklad-jezdny-ciagnika-gasienicowy-kolowy/> [dostęp 2019]
- [9] Poniatowska J.: Gęstość objętościowa gleb mineralnych i jej znaczenie dla warunków rozwoju roślin. *Roczniki Gleboznawcze*, 2003, Tom LIV, 4, Warszawa, 103-113.
- [10] Stanisławski P.: Stałe ścieżki sposobem na wzrost plonów. *Tygodnik Poradnik Rolniczy*, 2014, 24. / http://rolman.com.pl/wp-content/uploads/2014/09/merged_dokument.pdf.
- [11] Stuczyński T.: *Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce*. [w:] *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Studia i Raporty IUNG- PIB Puławy, 2007, 77-115.
- [12] Talarezyk W., Zbytek Z.: Spuścisz powietrze - oszczędzisz paliwo i ochronisz glebę. *Rolniczy Przegląd Techniczny*, 2009, 9, 20-28.
- [13] Weymann S.: Układy centralnego pompowania kół ciągników i maszyn rolniczych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2018, 2, 10-13.
- [14] https://www.claas.pl/produkty/ciagniki/xerion5000-4200-hrc_2020.
- [15] <https://www.ddoyleeng.com/services/doyle/bale-buggy/19>.
- [16] <https://www.expom.com.pl/progres.html>.
- [17] <https://www.fendt.com/pl/ciagniki/800-vario-varioagripl>.
- [18] <https://geomor.com.pl/wp-content/uploads/2017/05/06.15.SA-Penetrologger-nowy.pdf>.
- [19] <https://www.holmer-maschinenbau.com/pl/produkty/technika-wyorywania-burakow/terra-dos-t4/>.
- [20] <https://www.kuhn.com.pl/upraw/maszyny-uprawowe/plugi/plugi-obracalne-polzawieszane/leader#l=1&sidle=6>.
- [21] <https://roltechnic.pl/tractair-ctis/>.
- [22] <https://sklep.kolarolnicze.pl/Kola-blizniacze,1036,pl.html>.

EXCESSIVE SOIL COMPACTION - EFFECTS, CAUSES AND REMEDIES

Summary

The effects and causes of excessive soil compaction are discussed, which along with erosion is listed among the main causes of soil degradation. The main effect of excessive soil compaction is disturbed soil water management, resulting in a lower and qualitatively worse yield, and the main reason is too high pressure exerted on the soil by the equipment used during field works. The most important measures are to reduce the pressure and the number of passes in the field, especially in the case of excessive soil moisture, and measures to improve the bearing capacity and durability of its structure.

Keywords: soil excessive compaction, plow sole, penetrometer, soil pressures, soil bearing capacity, soil water management, running gear