

THE MODELING OF TRANSFER INFLUENCE VEHICLE FROM GROUND SURFACE ON OBJECTS IN PLACED

plk dr hab. inż. Franciszek Kuczmarski

*Institut Logistyki Systemów Dowodzenia i Wsparcia, Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
tel.: +48 22 683-97-91
e-mail: f.kuczmarski@wat.edu.pl*

mjr dr inż. Adam Bartnicki

*Institut Budowy Maszyn, Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
tel.: +48 22 683-93-88
e-mail: a.bartnicki@wme.wat.edu.pl*

kpt. mgr inż. Piotr Sprawka

*Institut Budowy Maszyn, Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
tel.: +48 22 683-74-16
e-mail: p.sprawka@wme.wat.edu.pl*

Abstract

This paper describes the initial model of the load–mine–ground relation and presents the preliminary results of a computer simulation.

Pressure mine-clearing devices, with discs loosely embedded on the axis of the minesweeping section, (disc mine-clearing devices) cause deformation to the mine's firing mechanism, which, through the actuation of the fuse, leads to the detonation of the inner-placed explosive. It is assumed that under the load of a mine clearing vehicle, the active part of the mine's cover will be vertically displaced by 6-10 [mm] actuating the fuse of the mine. Although the construction parameters of pressure mine-clearing devices are known, there is a shortage of instructions and data requisite for proper construction and effectiveness examination of dynamic mine-clearing vehicles. In fact, during mine clearing with a dynamic mine-clearing device, the force exerted upon the mine (N_{gr}) is that of the pressure by the disc (an element of the device). This force differs from a static load and the differences result from the following factors:

- *mine placement*
- *type of soil as well as its physical and mechanical properties*
- *construction properties of a mine-clearing device*
- *pace of mine clearing*

The issue of influence transferred from the surface of the ground onto the mine placed inside is not present in literature and it constitutes an interesting and important scientific issue in terms of selecting parameters for dynamic minesweeping devices.

Similarly to a static load, shock waves propagating within the ground cause its volumetric and structural deformations. The main cause of the differences lies in the briefness of a dynamic load. The gradual growth of static loads (clenching) causes displacement of air and water in the pores and their partial squeezing out. In the case of a static load applied to sandy soils, the process lasts from a few minutes to a few hours, whereas in the case of clay and loessial ones, it extends to a few days, weeks or, sometimes, even months. Under static and dynamic loads, the ground reacts similarly to a three-component center with a changing-with-time amount of air and water.

The action time of a percussive load extends from a few to between ten and twenty milliseconds. Due to air and water inertia, this is too short a period of time to squeeze them out of the pores of the soil, which reacts in a way similar to a three-component center with a constant amount of air and water.

Since in unhydrated soils the main part of the pores' volume consists of air, both static and dynamic loads are accompanied by the absorption of the main stresses by the skeleton. With static loads exerted upon the hydrated soil, both water and air flow loosely out of the pores without the absorption of the loads. In terms of strength the only working element here is the ground's skeleton. In the case of short-lasting, intense loads, water (with a small amount of trapped air) will not flow out simultaneously with the skeleton and, as in the case of mean pressures, it may absorb the load to a larger extent than the skeleton itself. The way the hydrated ground reacts to low pressures – below 1 MPa – is therefore largely determined by the amount of air in the pores.

Therefore, the ground with a mine placed inside is a multiphase center with changeable properties – the semi-limited area with mechanical properties changing with each cycle of dynamic influence put upon its surface.

Although the issue of the ground pressure measurement is dealt with in various publications, there is a lack of data concerning how it changes under the mechanical influence of moving vehicles and under that of dynamic minesweeping devices – the problem which is essential for a safe minefield crossing. The effectiveness of percussive minesweeping devices can be evaluated upon the basis of the experimental data obtained by means of measuring equipment.

The elaboration of a reliable ground-mine relation model for short-time (percussive) influences transferred to the ground surface should accelerate the process of selecting parameters for dynamic mine clearing in terms of obtaining the maximum destructive impact, either directly upon the mine or through the actuation of its firing mechanisms for various types of mines, different depths at which they are buried as well as for various soils with their different properties. The above task is the aim of further works focusing on the subject presented in this paper.

Keywords: mines, soil, static and dynamic loads, modelling

MODELOWANIE ODDZIAŁYWANIA POJAZDU NA MINĘ UMIESZCZONĄ W GRUNCIE

Streszczenie

W referacie przedstawiono próbę budowy modelu układu obciążenie-grunt-mina, oraz przedstawiono wstępne wyniki badań modelowych tego zagadnienia.

Obecnie podstawowym sposobem rozminowania jest wykonywanie przejść w polach minowych przez trałowanie mechaniczne. Wykorzystuje się tu trały o działaniu wykopowym, naciskowym oraz udarowym. Trały te powinny być skuteczne, pewne w działaniu i niezawodne - co należy rozumieć jako zniszczenie lub usunięcie wszystkich min na wykonywanym przejściu w polu minowym (powyżej 99,6%).

Trały naciskowe, z luźno osadzonymi dyskami na osi sekcji trałującej (trały dyskowe), powodują deformację mechanizmu miny, co poprzez zadziałanie zapalnika doprowadza do zdetonowania zawartego w niej materiału wybuchowego. Przyjmuje się, iż pod działaniem nacisku trału, aktywna część pokrywy miny przesunie się pionowo o 6 ± 10 [mm] i uruchomi jej zapalnik [1]. Parametry konstrukcyjne trałów naciskowych są znane, jednakże brak jest wytycznych i danych do prawidłowego skonstruowania i badania skuteczności działania trałów o działaniu dynamicznym. W praktyce podczas trałowania trałem naciskowym na minę działa siła (N_{gr}) nacisku dysku (element trału). Siła ta znacznie się różni od nacisku statycznego. Na te różnice wpływ mają takie czynniki jak:

- sposób ustawienia miny w terenie,
- rodzaj i właściwości fizyczne i mechaniczne gruntu,
- konstrukcyjne właściwości trału,
- prędkość trałowania.

Zagadnienie przekazywania oddziaływania z powierzchni gruntu na minę w nim umieszczoną nie jest podejmowane w literaturze i stanowi ciekawy i ważny problem naukowy w aspekcie doboru parametrów trałów dynamicznych.

Fale uderzeniowe, które propagują się w gruncie, podobnie jak obciążenie statyczne, powodują jego odkształcenia objętościowe i postaciowe [2,3]. Główną przyczyną różnic jest krótkotrwałość działania obciążenia dynamicznego. Stopniowe narastanie statycznych obciążeń (ściskania) powoduje przemieszczanie się wody i powietrza w porach oraz częściowe ich wyciskanie. Proces ten przy statycznym obciążeniu gruntów piaszczystych trwa zwykle od około kilku minut do kilku godzin, a w przypadku gruntów gliniastych i lessowych wydłuża się do kilku dni lub tygodni, a niekiedy nawet do kilku miesięcy. Przy obciążeniach statycznych i dynamicznych, grunt zachowuje się więc jak trójskładnikowy ośrodek ze zmienną w czasie zawartością wody i powietrza.

Czas działania obciążenia typu udarowego wynosi od kilku do kilkunastu milisekund. Czas ten ze względu na inercję wody i powietrza nie wystarcza na ich wyciśnięcie z porów gruntu - który w tym przypadku zachowuje się jak ośrodek trójskładnikowy ze stałą zawartością wody i powietrza.

Stąd też zasadnym wydaje się podjęcie problemu budowy modelu oddziaływania obciążenia zewnętrznego na minę umieszczoną w gruncie, dla potrzeb budowy trału dynamicznego.

Słowa kluczowe: miny, grunt, oddziaływanie dynamiczne i statyczne, modelowanie

1. Wstęp

Konflikty militarne i wojny domowe „owocują” zaminowanymi obszarami terenu. Ocenia się, że na świecie jest założonych ponad 100 milionów min na obszarze porównywalnym z połową powierzchni Polski. Co rocznie miny są przyczyną śmierci bądź kalectwa ponad 20 tysięcy ludzi. Stąd znaczenia nabiera problem efektywnego oczyszczania terenu z min.

Obecnie podstawowym sposobem rozminowania jest wykonywanie przejść w polach minowych przez trałowanie mechaniczne. Wykorzystuje się tu trały o działaniu wykopowym, naciskowym oraz udarowym. Trały te powinny być skuteczne, pewne w działaniu i niezawodne - co należy rozumieć jako zniszczenie lub usunięcie wszystkich min na wykonywanym przejściu w polu minowym (powyżej 99,6%).

Trały naciskowe, z luźno osadzonymi dyskami na osi sekcji trałującej (trały dyskowe), powodują deformację mechanizmu miny, co poprzez zadziałanie zapalnika doprowadza do zdetonowania zawartego w niej materiału wybuchowego. Przyjmuje się, iż pod działaniem nacisku trału, aktywna część pokrywy miny przesunie się pionowo o $6 \div 10$ [mm] i uruchomi jej zapalnik [1]. Parametry konstrukcyjne trałów naciskowych są znane, jednakże brak jest wytycznych i danych do prawidłowego skonstruowania i badania skuteczności działania trałów o działaniu dynamicznym. W praktyce podczas trałowania trałem naciskowym na minę działa siła (N_{gr}) nacisku dysku (element trału). Siła ta znacznie się różni od nacisku statycznego. Na te różnice wpływ mają takie czynniki jak:

- sposób ustawienia miny w terenie,
- rodzaj i właściwości fizyczne i mechaniczne gruntu,
- konstrukcyjne właściwości trału,
- prędkość trałowania.

Zagadnienie przekazywania oddziaływania z powierzchni gruntu na minę w nim umieszczoną nie jest podejmowane w literaturze i stanowi ciekawy i ważny problem naukowy w aspekcie doboru parametrów trałów dynamicznych.

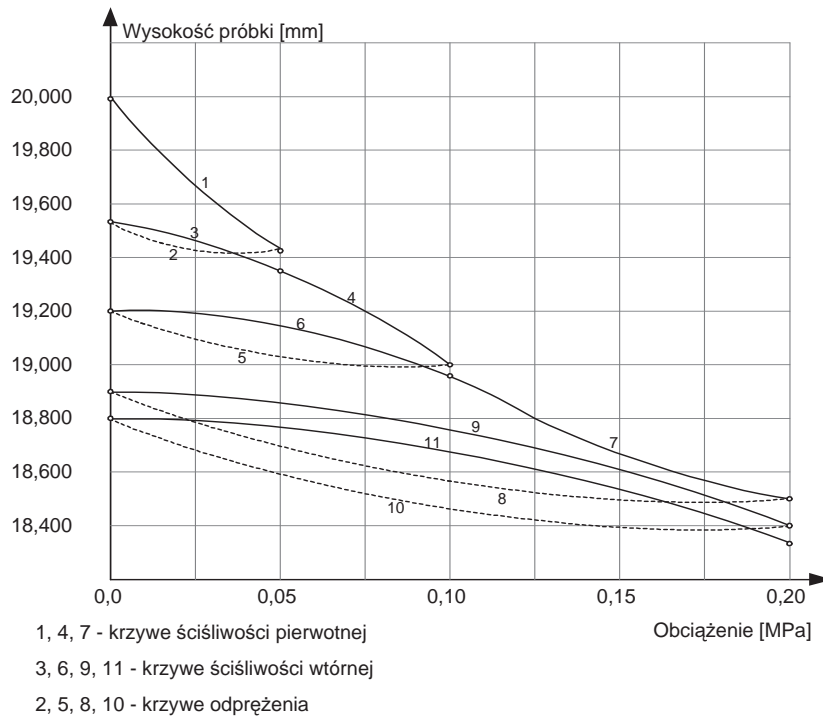
Fale uderzeniowe, które propagują się w gruncie, podobnie jak obciążenie statyczne, powodują jego odkształcenia objętościowe i postaciowe [2,3]. Główną przyczyną różnic jest krótkotrwałość działania obciążenia dynamicznego. Stopniowe narastanie statycznych obciążeń (ściskania) powoduje przemieszczanie się wody i powietrza w porach oraz częściowe ich wyciskanie. Proces ten przy statycznym obciążeniu gruntów piaszczystych trwa zwykle od około kilku minut do kilku godzin, a w przypadku gruntów gliniastych i lessowych wydłuża się do kilku dni lub tygodni, a niekiedy nawet do kilku miesięcy. Przy obciążeniach statycznych i dynamicznych, grunt zachowuje się więc jak trójskładnikowy ośrodek ze zmienną w czasie zawartością wody i powietrza.

Czas działania obciążenia typu udarowego wynosi od kilku do kilkunastu milisekund. Czas ten ze względu na inercję wody i powietrza nie wystarcza na ich wyciśnięcie z porów gruntu - który w tym przypadku zachowuje się jak ośrodek trójskładnikowy ze stałą zawartością wody i powietrza.

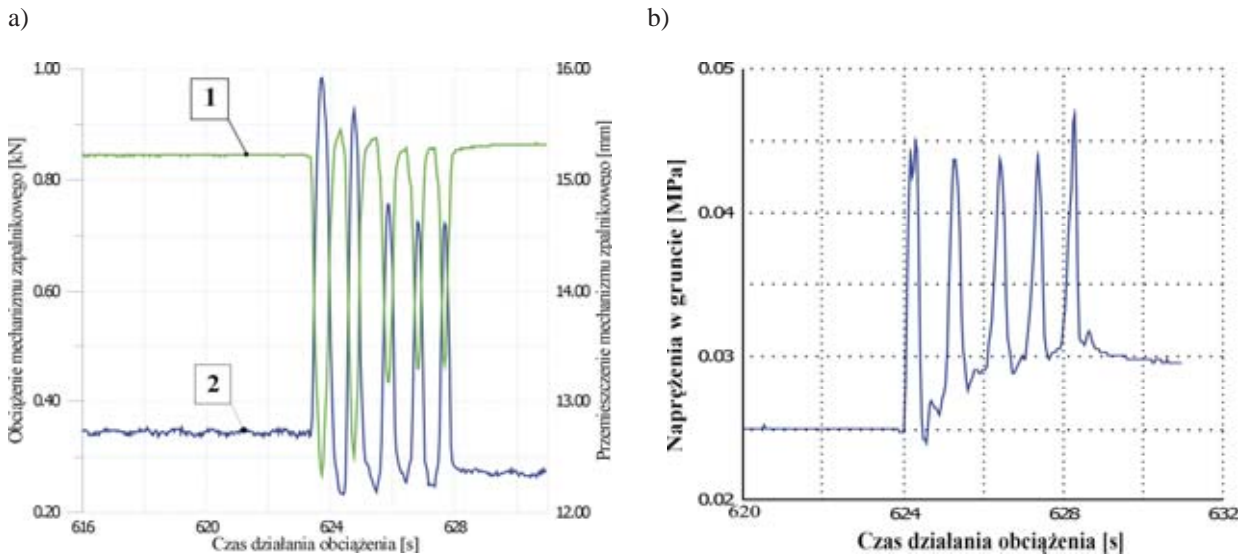
W gruncie nieuwodnionym większość objętości porów wypełnia powietrze, stąd zarówno przy obciążeniach statycznych, jak i dynamicznych, główne naprężenia przenoszone są przez elementy szkieletu. Przy statycznych obciążeniach gruntu uwodnionego woda i powietrze w sposób swobodny wypływają z porów i praktycznie nie przenoszą obciążeń. Wytrzymałościowo pracuje tutaj tylko szkielet gruntu. W przypadku krótkotrwałych, intensywnych obciążeń woda (z małą zawartością zamkniętego powietrza) nie zdąży wypłynąć i równorzędnie ze szkieletem, a przy średnich ciśnieniach nawet w stopniu większym niż szkielet, może przenosić obciążenie. Zachowanie się gruntu uwodnionego przy małych ciśnieniach – poniżej 1 MPa – w znacznym stopniu zdeterminowane jest więc zawartością powietrza w porach.

Grunt z umieszczoną w nim miną jest tym samym ośrodkiem wielofazowym o zmiennych właściwościach, obszarem półograniczonym o zmieniających się właściwościach mechanicznych po każdym cyklu dynamicznego oddziaływania na jego powierzchnię.

Charakterystyki ścisłości i odprężania gruntu przedstawiono na rys.1. Natomiast na rys.2 przedstawiono charakterystyki uzyskane w trakcie badań wstępnego procesu wielokrotnego obciążania i odciążania gruntu przy wykorzystaniu czujnika nacisku i atrapy miny przeciwpancernej.



Rys. 1. Krzywe ścisłości i odprężenia [3]
 Figure 1. Compressibility and decompression curves [3]

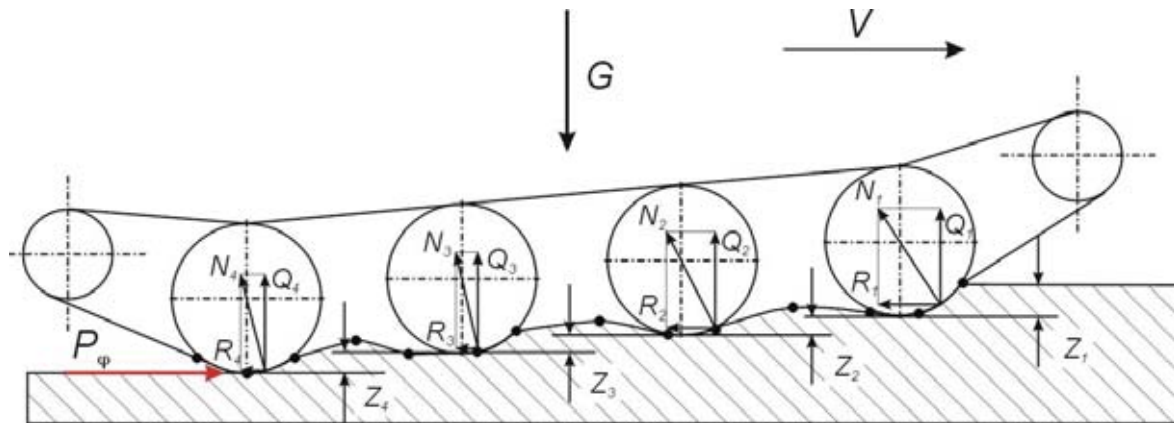


Rys. 2. Przykładowe wykresy z badań oddziaływań gąsienicy ciężkiej spycharki BAT-M przemieszczającej się z prędkością ok. 5km/h po atrapie miny umieszczonej w gruncie na głębokości 0,1m: a) 1 – ugięcia sprężyny mechanizmu zapalnikowego, 2 – obciążenia mechanizmu zapalnikowego - siły w minie, b) naprężenia w gruncie na głębokości umieszczenia pokrywy mechanizmu zapalnikowego – w tym przypadku na głębokości 0,1 m [3]

Figure 2. Charts demonstrating research studies on the effect of the caterpillar track of the heavy BAT-M bulldozer moving at an approximate speed of 5 kms/h over a dummy mine placed in the ground at a depth of 0.1m: a) 1 – the bend of the firing mechanism's spring, 2 – firing mechanism compression - forces inside the mine b) stresses in the ground at a depth of the placement of a firing mechanism cover, which, in this case, is 0.1 m [3]

W czasie ruchu pojazdu gąsienicowego koła nośne deformują podłoże poprzez dolną część taśmy gąsienicowej, powodując jej zagłębienie w wyniku wywieranego na grunt nacisku.

Pionowe odkształcenie podłoża zależy od wielkości oraz sposobu obciążenia G , konstrukcji układu bieżnego pojazdu, rodzaju gruntu i jego właściwości oraz prędkości ruchu pojazdu. Na rys.4 przedstawiono sposób deformacji podłoża kolejnymi kołami przejeżdżającymi po ogniwach gąsienicy.



Rys. 4. Schemat oddziaływania pojazdu gąsienicowego na podłoże gruntowe; G - ciężar pojazdu, Z_1, Z_2, Z_3 - odkształcenie pionowe podłoża pod kolejnymi kołami, Q_1, Q_2, Q_3 - pionowe reakcje ogniw gąsienicy na koła jezdne, R_1, R_2, R_3 - siły oporu jazdy, P_ϕ - siła przyczepności pojazdu

Figure 4. The diagram of the influence transferred from a tracklaying vehicle to the ground; G - weight of the vehicle, Z_1, Z_2, Z_3 - the vertical ground deformation caused by successive wheels, Q_1, Q_2, Q_3 - the vertical reactions of the track links to the running wheels, R_1, R_2, R_3 - the resisting forces of the drive, P_ϕ - the vehicle's adhesion force

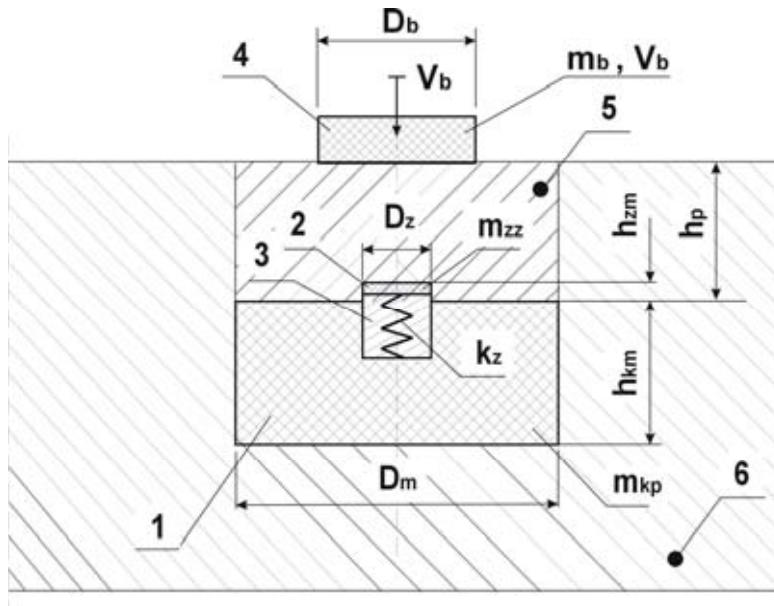
W przypadku posadowienia w gruncie miny i przykrycia stosunkowo cienką warstwą gruntu następuje jego odkształcenie i obciążenie jej siłą zbliżoną do wielkości pionowej reakcji kół tocznych po gąsienicach Q_1, Q_2, Q_3 . W tym przypadku czołgi i inne gąsienicowe wozy bojowe, maszyny inżynierskie itp. (o stosunkowo dużej masie) mogą spowodować zadziałanie mechanizmu zapalnikowego wielu produkowanych na świecie min.[3]

Oddziaływanie na minę pojazdu polega na przekazaniu obciążenia przez powierzchnię gąsienicy (koła) prostopadle do powierzchni gruntu. Oddziaływanie z powierzchni powinno przenieść się na mechanizm zapalnikowy (element 2 rys.5) i spowodować jego przemieszczenie o żadaną wielkość - wynikającą z konstrukcji miny (najczęściej poniżej 10 mm). Można założyć, że mechanizm stanowi sztywny walec o średnicy D_z i masie m_{zz} podparty sprężyną (3) o sztywności k_z .

Ważnym aspektem staje się zastąpienie koła pojazdu elementem trałującym, który pozwoli skutecznie imitować przejeżdżający pojazd oraz umożliwi neutralizację mechanizmu zapalnikowego miny. W naszym przypadku przyjęliśmy założenie iż takim elementem będzie bijak - element wykonawczy trału o działaniu dynamicznym. W związku z tym do analizy zastąpiono powierzchnię gąsienicy bijakiem (4 - rys.5).

Opracowanie modelu układu grunt - mina dla krótko trwałych oddziaływań na ich powierzchnię przyspieszy proces doboru parametrów trału dynamicznego w aspekcie uzyskania maksymalnego destrukcyjnego oddziaływania na minę, lub uaktywniającego jej mechanizmy zapalnikowe dla różnych typów min, głębokości ich posadowienia oraz rodzaju i właściwości gruntu.

Przyjęcie szczegółowych danych do zbudowania takiego modelu wymaga jednak przeprowadzenia wielu badań doświadczalnych. W referacie autorzy skrótowo przedstawiają metodę pomiaru nacisków w gruncie dla potrzeb badania skuteczności dynamicznego oddziaływania na mechanizm zapalnikowy miny oraz przedstawiają wstępny model układu mina - grunt dla piasku suchego i jednokrotnego krótkotrwałego obciążenia podłoża.



Rys. 5. Schemat modelu układu mina-grunt-bijak: 1 - korpus miny (element sztywny o masie m_{kp} , średnicy D_m i wysokości h_{km}); 2 - zredukowana masa mechanizmu zapalnikowego ($m_{zz} \leq (3 \div 5)\% m_{kp}$) element sztywny o średnicy D_z , h_{zm} – wysokość wzniosu mechanizmu zapalnikowego); 3 - mechanizm sprężynowy zapalnika (pręt o pomijalnej masie i sztywności k_z); 4 - bijak (ciało sztywne o masie m_b i średnicy D_b); 5 - grunt rozluźniony (warstwa o grubości h_p); 6 - grunt rodzimy (nierozluźniony)

Figure 5. The diagram of the mine-soil-ram relation model: 1 – mine's body (a stiff element with a weight of m_{kp} , diameter D_m and height h_{km}); 2 – the reduced weight of the firing mechanism ($m_{zz} \leq (3 \div 5)\% m_{kp}$) a stiff element with a diameter of D_z , h_{zm} – the lift height of the firing mechanism); 3 – the spring mechanism of the fuse (a rod with a negligible weight and the stiffness k_z); 4 – the ram (a stiff element with a weight of m_b and diameter D_b); 5 – loose ground (a layer h_p thick); 6 – subsoil (undisturbed ground).

2. Model układu grunt – mina przy krótkotrwałym obciążeniu podłoża

Na tym etapie pracy rozpatrzono zagadnienie osiowo – symetryczne, tzn. przyjęto, że na podłożu spada okrągła płyta (jej prędkość w chwili zderzenia wynosi $V_0 = 2$ [m/s], a jej średnica jest wariantowana w zakresie 120÷240 [mm]), a osie symetrii płyty i miny pokrywają się. Przyjęto, że mina o średnicy 320[mm] umieszczona jest na głębokości 0,05[m] poniżej podłoża. Mechanizm zapalnikowy przyjęto jako układ płyty (zastępującej pokrywę miny) podpartej sprężyną.

Sposób dyskretyzacji rozpatrywanego układu, traktowanego jako zagadnienie osiowo – symetryczne przedstawiono na rys.6. Rozpatrywano tylko pojedyncze uderzenie.

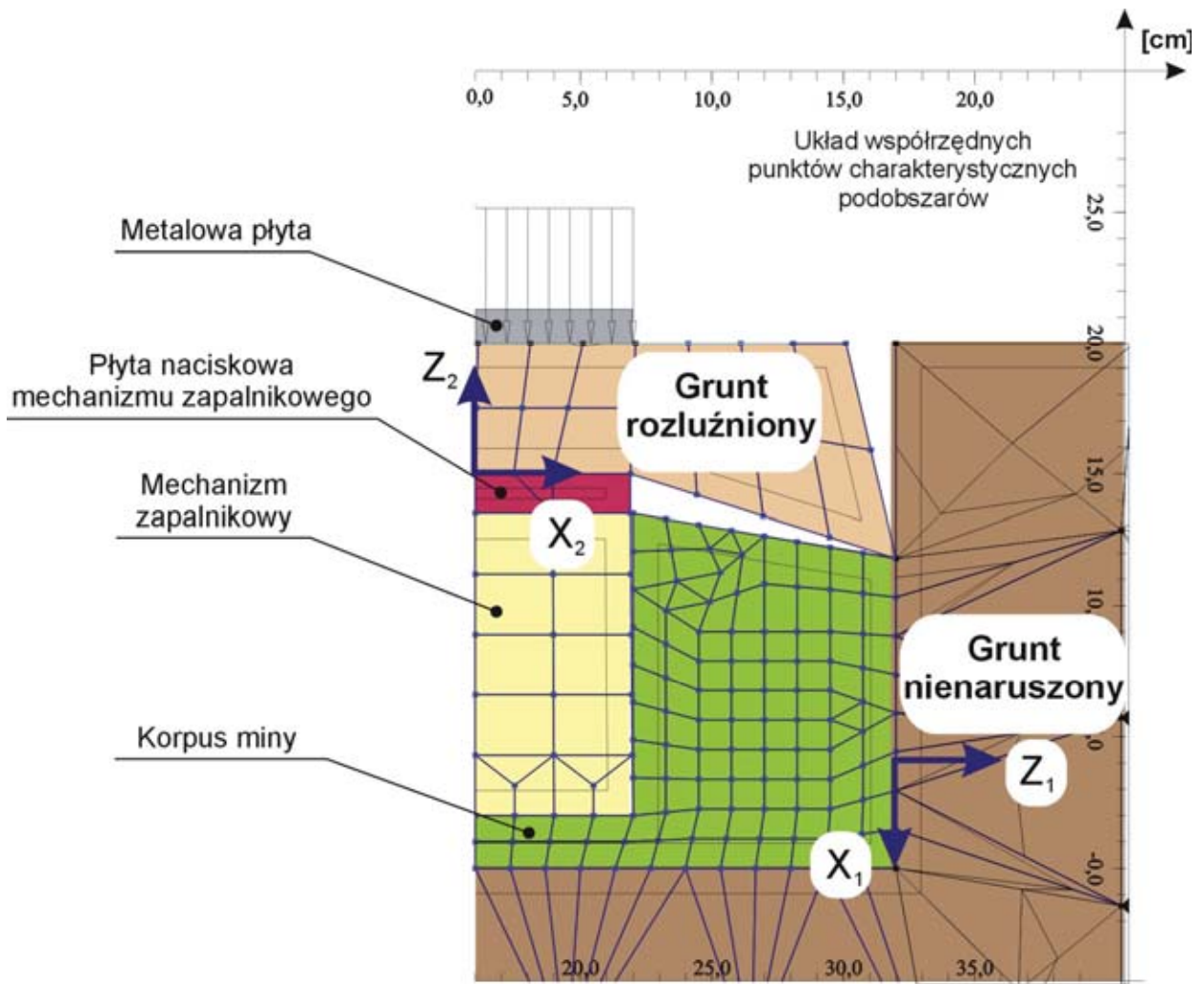
Punkty leżące na granicy miny i piasku (Z_1, X_1), oraz punkty leżące na granicy płyty uderzającej i piasku (Z_2, X_2) mogą się przemieszczać względem siebie w kierunku stycznym, natomiast mają wspólne przemieszczenia w kierunku normalnym do granicy podziału.

Na rysunku 7, przedstawiono wyniki obliczeń dla pojedynczego uderzenia płytą metalową.

Z analizy wykresów wynika, że pionowe przemieszczenie płyty naciskowej miny dla zakładanego obciążenia niszczonego wynoszącego 5,5 [kN] wyniosło odpowiednio:

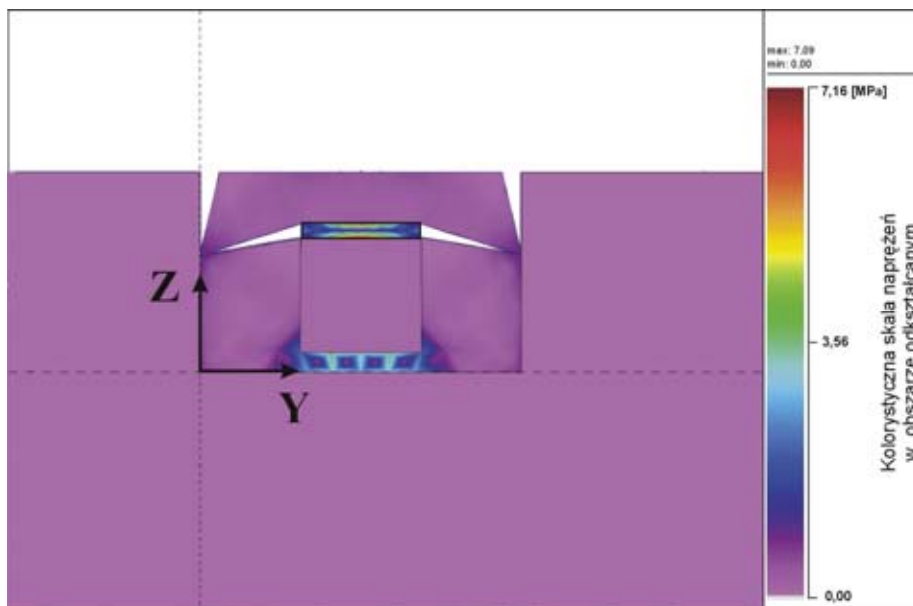
- dla średnicy bijaka 120 [mm] – 12 [mm];
- dla średnicy bijaka 180 [mm] – 1,16 [mm];
- dla średnicy bijaka 240 [mm] – 10 [mm].

Przedstawiony model pozwala na ocenę wpływu wymiarów i kształtu bijaka oraz wartości siły przyłożonej do powierzchni gruntu na pokrywę naciskową miny w nim umieszczonej. Konieczne jest dalsze rozwijanie modelu – umożliwiające modelowanie kolejnych uderzeń – przy uwzględnieniu zarówno obciążenia, jak i zmieniających się właściwości gruntu nad miną i w bezpośrednim jej otoczeniu.

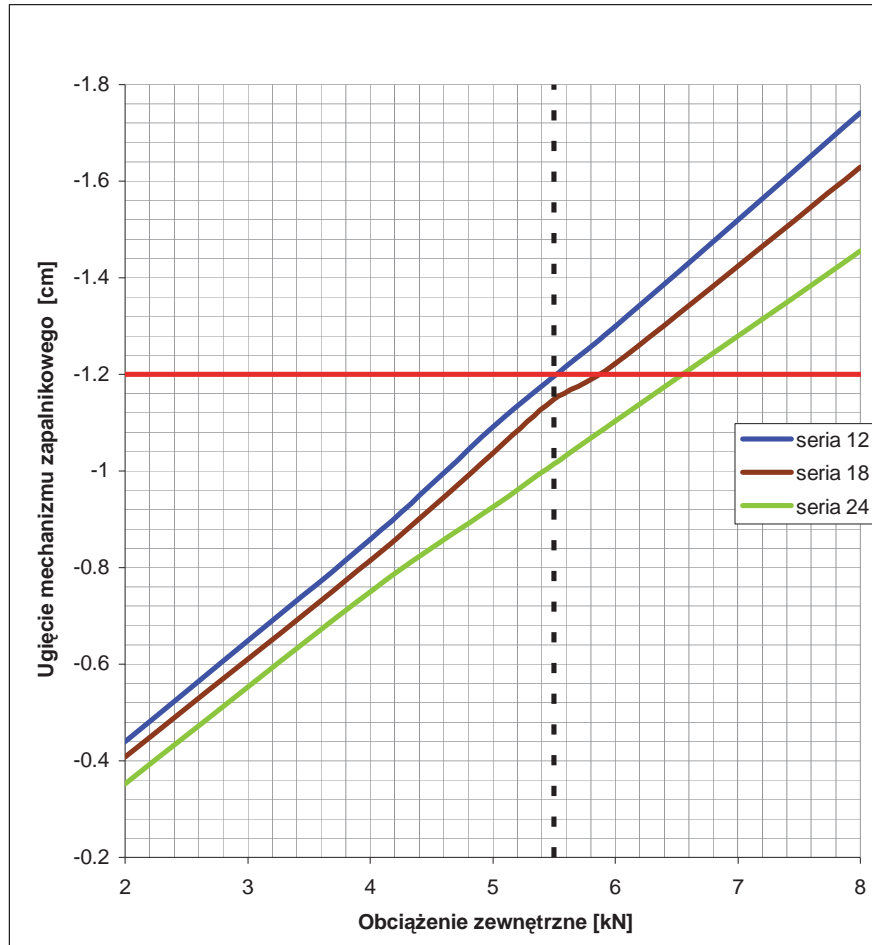


Rys. 6. Schemat dyskretyzacji rozpatrywanego układu grunt – mina
 Figure 6. The digitization of the described soil-mine model

a)



b)



Rys. 7. Przykładowe wyniki badań modelowych: a) rozkład składowej naprężenia w kierunku osi z , w korpusie miny oraz bliskim jej otoczeniu, na planie obszaru odkształconego; b) ugięcie płyty naciskowej mechanizmu zapalnikowego miny ppanc przykrytej warstwą gruntu o grubości 5 [cm], w funkcji obciążenia zewnętrznego w zależności od średnicy bijaka (bijak o masie 13[kg] poruszający się z prędkością w chwili uderzenia $V_0=2$ [m/s]): seria 12 – 12 [cm], seria 18 – 18 [cm], seria 24 – 24 [cm]

Figure 7. The demonstration of the modeling research results: a) the distribution of the stress component towards the z -axis, in the body of the mine and in its direct environment, on the plan of the deformed area. b) the bend of the pressure plate of the firing mechanism in an anti-tank mine covered with a 5 [cm] layer of the ground serving as an external load, depending on the ram's diameter (the ram with a weight of 13 [kg] moving at an impact speed of $V_0 = [m/s]$): series 12 – 12[cm], series 18 – 18[cm], series 24 – 24[cm]

3. Podsumowanie

W literaturze są przedstawione opisy problematyki pomiaru nacisku w gruncie. Brak jednak danych o ich zmianie w czasie oddziaływania mechanicznego pojazdów, a szczególnie trałów o działaniu dynamicznym, co jest istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa przy pokonywaniu pól minowych. Skuteczność działania trałów uderowych można ocenić na podstawie eksperymentalnych danych uzyskanych z aparatury pomiarowej.

Opracowanie wiarygodnego modelu układu min – mina, dla krótkotrwałych (udarowych) oddziaływań na jego powierzchnię powinno przyspieszyć proces doboru parametrów trału dynamicznego w aspekcie uzyskania maksymalnego destrukcyjnego oddziaływania na minę, lub uaktywniającego jej mechanizmy zapalnikowe dla różnych typów min, głębokości ich posadowienia oraz rodzaju i właściwości gruntu. Zadanie to jest celem dalszych prac w problematyce przedstawionej w tym referacie.

Literatura

- [1] Wiechno, T., *Minerstwo i pokonywanie zapór*. Skrypt, WAT, Warszawa, 1987.
- [2] Włodarczyk, E., *Modele gruntów i skał w zagadnieniach falowych, Cz. I. Modele sprężyste i sprężystoplastyczne*, Biul. WAT, XXXIX, 1990.
- [3] Instytut Budowy Maszyn PBG Nr 0 T00A 060 20.: *Badania efektywności trałowania min oraz opracowanie metody pracy i konstrukcji trału o działaniu dynamicznym*, WAT, 2004.
- [4] Sprawka, P., *Badania i modelowanie nacisków w gruncie dla oceny skuteczności zewnętrznego działania na miny*. Mat. Konferencyjne tom: Budownictwo i inżynieria środowiska, Zielona Góra, 2002.
- [5] Dobrociński, S., Fila, J., Zatorski, Z., *II Konferencja Naukowo – Techniczna Odporność Udarowa Konstrukcji*, Rynia 1998.

