

## ANALIZA ODDZIAŁYWANIA UKŁADU ZĘBÓW W PROCESIE SKRAWANIA GRUNTU

### ANALYSIS OF TEETH INTERACTION IN THE SOIL DIGGING PROCESS

W pracy przedstawiono program badań eksperymentalnych weryfikujący oddziaływanie układu zębów w trakcie procesu urabiania ośrodka spoistego. Badania pozwoliły na określenie interakcji pomiędzy elementami roboczymi, jak i pomiędzy narzędziami a ścianami bocznymi kanału. Przedyskutowano występowanie strefy płaskiego stanu odkształcenia dla narzędzi o różnych szerokościach oraz wpływ oporów tarcia w trakcie procesu skrawania gruntu.

In the paper, an experimental verification of correctness of the common assumption that the plane strain conditions occur in the tests performed in soil bins is presented. An experimental program was executed basing on the soil cutting problem, with the application of vertical rigid walls of various widths as the working tools. It turned out that in the case of the tool width equal to the width of the soil bin, the soil cutting problems may be treated as the plane strain processes. The influence of the friction phenomena on the side walls of the bin was estimated. For the tools for which no interaction with the side walls of the bin was observed, the zone of the plane strain deformation occurred in the central part of the tools.

#### 1. Badania eksperymentalne

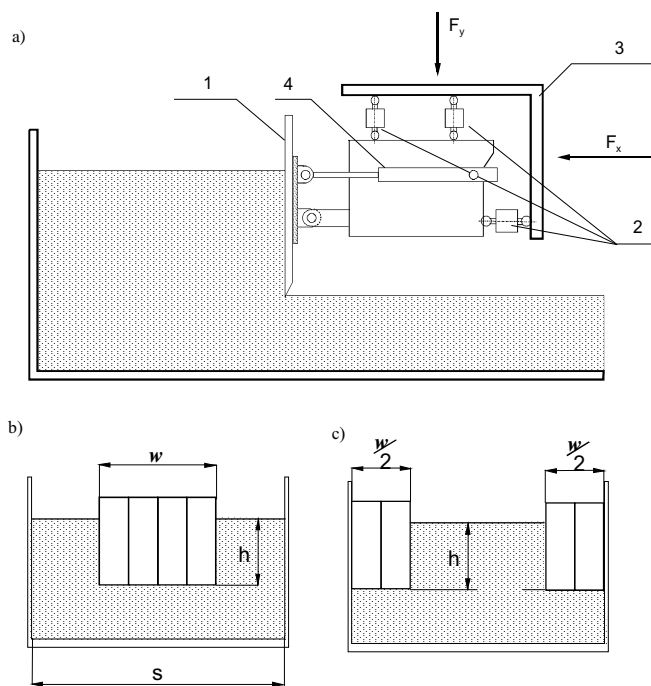
Badania eksperymentalne przeprowadzono na stanowisku badania procesów skrawania gruntów [1, 2] (Rys. 1) z zastosowaniem specjalnego osprzętu, umożliwiającego określenie oddziaływań ścian bocznych w procesie naporu narzędzi maszyn roboczych, jak również wpływu tworzenia się brzegowych mechanizmów przestrzennych (zmienna szerokość narzędzia, różna konfiguracja jego ustawienia względem kanału ziemnego). Osprzęt składał się z szeregu niezależnych zębów (1) o szerokości 65 mm, które można było montować w dowolnej konfiguracji względem kanału ziemnego. Testowane modele narzędzi poruszały się za pośrednictwem trzech siłowników hydraulicznych (4), których ruch sterowany był komputerowo przy pomocy zaworów elektromagnetycznych oraz pompy hydraulicznej. Pomiar sił realizowany był poprzez czujniki tensometryczne (2) umieszczone na sztywnej ramie (3).

Wykorzystując w pełni zautomatyzowane stanowisko badawcze przeprowadzono szeroki program badań doświadczalnych procesu naporu narzędzi o różnej szerokości. Wykorzystano w nich ośrodek spoisty, będący mieszaniną cementu (35% - 50%), betonitu (20%), piasku (18%) i białej wazeliny (12%), o następujących parametrach: kąt tarcia wewnętrznego  $\phi=24^\circ$ , spójność  $c=20$  kPa,  $\gamma=18.4$  kN/m<sup>3</sup>, odpowiadających parametrom gliny. Ośrodek przygotowywany był w kanale (2mx1.2mx0.6m) posiadającym przezroczyste szklane ściany umożliwiające obserwację ruchu ośrodka oraz jego fotograficzną rejestrację. W procesie naporu narzędzi w kształcie pionowych zębów o różnej szerokości materiał deformował się w postaci ruchu sztywnych obszarów wzdłuż linii poślizgów (wyraźnie widoczne pęknięcia), wzdłuż których następowała zmiana jego własności (początkowa spójność materiału  $c$  zmniejszała się do pewnej wartości resztkowej bliskiej  $c_r=0$ ).

Eksperymenty wykonywane były w dwóch grupach:

- 1) testy z zębami umieszczonymi centralnie względem kanału (mechanizm przestrzenny) o szerokościach 65 mm, 130 mm, 195 mm, 260 mm, 325 mm i 390 mm (Rys.1b),
- 2) testy z zębami umieszczonymi przy ścianach bocznych kanału (mechanizm przestrzenny + tarcia o boczne ściany) o szerokościach 130 mm, 260 mm, 390 mm i płaskiej ściany (Rys.1c).

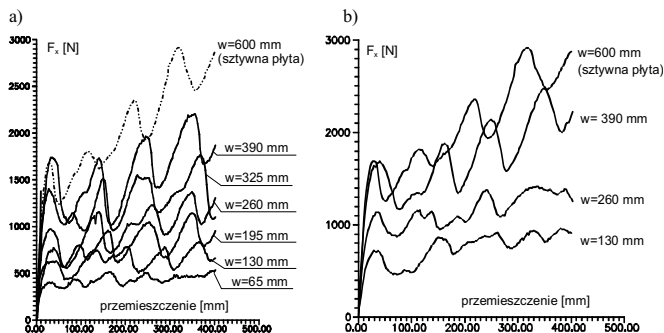
Wszystkie eksperymenty przeprowadzone były dla jednakowych warunków początkowych, tj. dla poziomego naziomu i głębokości skrawania  $h=100$  mm. Narzędzia poruszały się prostoliniowym ruchem poziomym na odcinku 400 mm.



Rys. 1. Schemat programu badań; a) schemat stanowiska, b) układ zębów umieszczony centralnie, c) układ zębów umieszczony przy ścianach bocznych

W trakcie trwania eksperymentu mierzono wartości sił na narzędziach w funkcji przemieszczenia, a także wykonywano dokumentację fotograficzną.

Na rysunkach 2a i 2b przedstawiono przykładowe przebiegi wartości sił odpowiednio dla testów z zębami umieszczonymi centralnie jak i symetrycznie. Wynika z nich, że siła pozioma narastała w trakcie procesu w sposób niestabilny. Moment spadku siły odpowiadał momentom tworzenia się nowych mechanizmów deformacji ośrodka. Mechanizm ten został dokładnie przebadany i opisany w pracach [1-4].

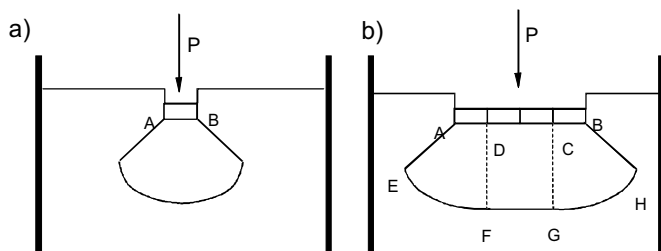


Rys. 2. Przebieg siły poziomej  $F_x$  dla testów z zębami umieszczonymi a) centralnie względem kanału; b) symetrycznie przy ścianach kanału

## 2. Analiza wyników badań

Porównując przebiegi testów z zębami umieszczonymi centralnie względem kanału możemy należeć zwrócić uwagę na następujące spostrzeżenia:

- 1) przed wąskim zębem (65 mm) tworzył się skomplikowany, trójwymiarowy obszar deformacji, przedstawiony schematycznie na Rys. 3a w widoku z góry kanału,
- 2) począwszy od szerokości 130 mm w strefie centralnej tworzył się jednorodny stan deformacji (p.s.o.), który rozszerzał się liniowo wraz ze wzrostem narzędzia (obszar DCGF na rys.3b). Obserwowany obszar był węższy niż szerokość narzędzia.
- 3) mechanizm przestrzenny tworzący się po obu bokach narzędzia ulegał nieznacznym zmianom dla szerokości 65, 130 i 195 mm, zaś dla szerokości większych był jednakowy.

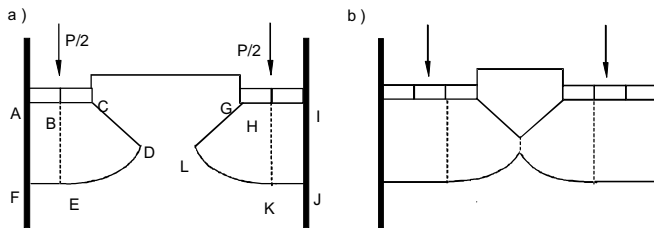


Rys. 3. Deformacja ośrodka dla układu zębów umieszczonych centralnie

Analiza przebiegu eksperymentów z zębami umieszczonymi symetrycznie wykazała, że:

- 1) stan deformacji w strefie kontaktu ośrodka ze ścianą był jednakowy niezależnie od szerokości narzędzia t.j.: dla szerokości 130, 260, 390 i 600 mm (płaska ściana),
- 2) w strefie przy ścianach tworzył się jednorodny stan deformacji (p.s.o.), który rozszerzał się wraz ze wzrostem narzędzia (obszary ABFE i HIJK na rys. 4a),
- 3) dla szerokości 130 i 260 mm nie występowało wzajemne oddziaływanie stref mechanizmów przestrzennych dla zębów z lewej i prawej strony kanału, zaś dla szerokości 390 mm strefy te zaczynały się przenikać (rys.4b).

Do analizy procesu naporu narzędziami o różnej szerokości przyjęto dwa kryteria: wartość siły naporu  $P_x$  w momencie pierwszego maksimum oraz wartość pracy siły naporu  $P_x$  na przemieszczeniu 50 mm. Wartości sił naporu oraz prac sił naporu na przemieszczeniu 50 mm przedstawiono odpowiednio na Rys. 5 i 6 dla różnych szerokości narzędzi. Wyniki testów dla narzędzi umieszczonych centralnie ozna-



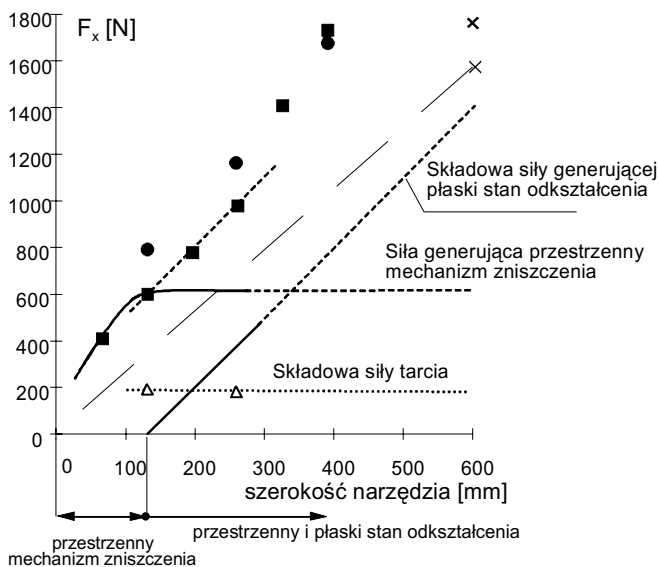
Rys. 4. Deformacja ośrodka dla układu zębów umieszczonych symetrycznie względem kanału

czono kwadratami, zaś dla narzędzi umieszczonych na brzegach kanału zaznaczono kropkami. Wynik dla testu naporu płaskiej ściany o szerokości równej szerokości kanału zaznaczono grubym x-em.

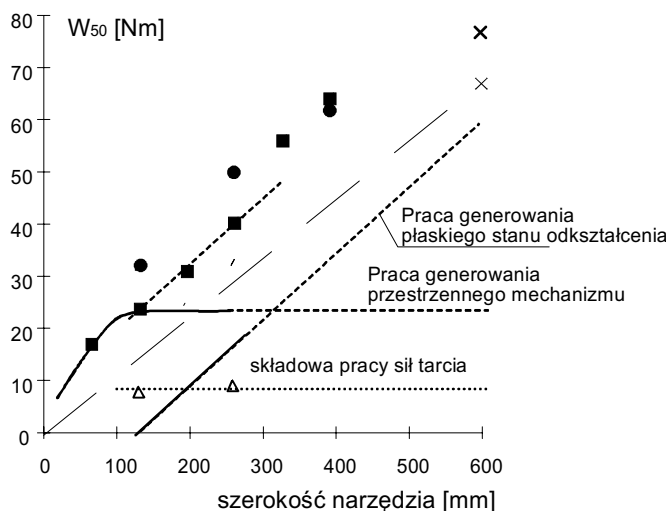
Porównując testy z zębami umieszczonymi symetrycznie i centralnie dla szerokości 130 i 260 mm możemy stwierdzić, że zakresy stref p.s.o. i mechanizmów przestrzennych były jednakowe dla obu grup testów, zaś wartość siły poziomej oraz wartość pracy tej siły były większe dla testów z zębami umieszczonymi symetrycznie. Wyznaczając różnicę pomiędzy odpowiednimi testami otrzymamy wartość składowej siły tarcia oraz wartość pracy tarcia ośrodka o szybę dla testów symetrycznych (oznaczone na rys. 5 i 6 trójkątem). Do dalszej analizy przyjęto, że wartości te nie zależą od szerokości narzędzi (linia pozioma kropkowana na rys. 5 i 6).

Ponieważ przed narzędziami umieszczonymi centralnie o szerokościach 65 i 130 mm tworzyły się trójwymiarowe obszary deformacji, które nie ulegały już zmianie dla narzędzi szerszych, a jedynie rozdzielone były obszarami o jednorodnym stanie deformacji, przyjęto, że składowa siła (i pracy) konieczna do wygenerowania obszarów trójwymiarowych stabilizowała się dla szerokości narzędzi większych od 130 mm (linia gruba ciągła i przerywana na rys.5 i 6).

Bazując na powyższych dwóch wynikach wyznaczyć można udział siły poziomej przypadający na jednostkę szerokości strefy p.s.o. (współczynnik nachylonej prostej grubej i przerywanej na rys. 5 i 6) dla narzędzi o szerokości mniejszej od szerokości kanału, a także dla narzędzia o pełnej szerokości (współczynnik linii cienkiej przerywanej). Różnica nachylenia tych linii, mniejsza od 8% w przypadku naszych testów, potwierdza poprawność założenia występowania płaskiego stanu odkształcenia w testach przeprowadzanych w kanałach ziemnych dla narzędzi o szerokości równej szerokości kanału.



Rys. 5. Składowe sił urabiania



Rys. 6. Składowe pracy sił urabiania

### 3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania eksperymentalne wykazały, że dla ośrodka spoiстого przebieg procesu skrawania ma charakter niestacyczny, niezależnie od szerokości narzędzia. Występują charakterystyczne efekty oscylacji sił i skokowe zmiany mechanizmów deformacji. Porównując badania dla narzędzi o różnej szerokości można wyciągnąć następujące wnioski:

### 4. Literatura

- [1] Jarzębowski A., Maciejewski J., Szyba D., Trąmpczyński W.: *On the energetically most efficient trajectories for heavy machine shoving process*, Engineering Transactions, Vol. 43, 1-2, 1995, p 169-182.
- [2] Jarzębowski A., Maciejewski J., Szyba D., Trąmpczyński W.: *The optimization of heavy machines tools filling process and tools shapes (modelling test results)*, Symposium ISARC 1995, Automation and Robotics in Construction XII, E.Budny, A.McCrea, K.Szymański (Editors), 1995 ImBiGS. p 159- 166.
- [3] Mróz Z., Maciejewski J.: *Post-critical response of soils and shear band evolution*, Chambon, Derues, Vardoulakis (eds.): *Localisation and bifurcation theory for soils and rocks*, Proceedings of the third international workshop, Grenoble (Aussois), France, 6-9 September 1993, p 19-32, Balkema 1994.
- [4] Jarzębowski A., Maciejewski J., Szyba D., Trąmpczyński W.: *Experimental and theoretical analysis of a cohesive soil shoving process (the optimisation of the process)*, Proceedings, 6th European ISTVS Conference, 28-30.09.1994 (Wieden, Austria).

\*\*\*\*\*

Pracę wykonano w ramach Projektu Badawczego KBN nr 8 T07C 029 20 p.t.: "Analiza procesów urabiania gruntu przy uwzględnieniu efektów zużycia narzędzi i ich kształtów".

\*\*\*\*\*

- 1) Strefa płaskiego stanu odkształcenia generuje się w centralnej części narzędzi, których szerokość jest wystarczająco duża (dla przedstawionych eksperymentów szerokość była > 130 mm dla głębokości skrawania 100 mm).
- 2) Dla narzędzi centralnie położonych przy szerokości 320 mm praca generowania płaskiego stanu odkształcenia stanowiła 50% całkowitej pracy sił urabiania. Obliczając udział pracy generowania płaskiego stanu odkształcenia dla narzędzia o szerokości 1000 mm (10 razy większej od głębokości skrawania) wyniesie on 80% całkowitej pracy sił urabiania.
- 3) Praca generowania mechanizmu przestrzennego związana jest z szerokością narzędzia, przy czym od pewnej szerokości ma wartość stałą.
- 4) Badania doświadczalne przy użyciu narzędzi o szerokości równej szerokości kanału mogą być traktowane jako badania przeprowadzone w płaskim stanie odkształcenia. Oddziaływanie ze ścianami bocznymi nie wpływa na mechanizm deformacji, zaś praca sił tarcia stanowi około 10% pracy sił urabiania (dla przedstawionych testów).
- 5) Wykonując badania eksperymentalne w kanałach laboratoryjnych należy tak dobierać szerokość narzędzi aby unikać ich interakcji ze ścianami bocznymi. Dla przykładu, przy proporcji głębokości skrawania do szerokości kanału 1/6 oddziaływanie ścian bocznych obserwowano dla narzędzi o szerokości przekraczającej 50 % szerokości kanału.