ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: BUDOWNICTWO z. 29 Nr kol. 346

Karol Malcharek,
Antoni Rosikoń

BADANIA MODELOWE ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ STYCZNYCH W STANIE GRANICZNYM PODWIOTKIM FUNDAMENTEM LEŻĄCYM NA PODŁOŻU ROZPEŁZAJĄCYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań modelowych dotyczących rozkładu granicznych naprężeń stycznych w podstawie wiotkiego fundamentu. Badania realizowano z sypkim podłożem (piaskiem) poddanym rozpełzaniu. Opisane doświadczenia stanowią etap w konfrontacji założeń przyjętych w pracy [1].

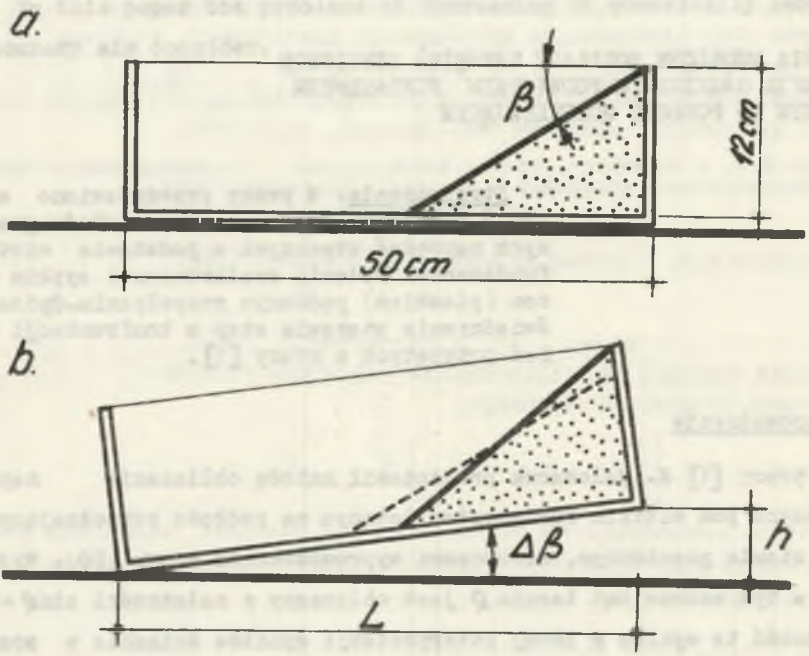
1. Wprowadzenie

W pracy [1] K. Malcharek przedstawił metodę obliczania naprężeń stycznych pod wiotkim fundamentem leżącym na podłożu rozpełzającym w jego stanie granicznym, zakończoną wyprowadzeniem wzoru (20). Występujący w tym wzorze kąt tarcia ϱ jest obliczany z zależności $\sin\varrho = \mathrm{tg}\varphi$. Zależność ta wynika z innej interpretacji wyników ścinania w aparacie skrzynkowym, odmiennej od interpretacji dotychczasowej, której wyjaśnienie będzie treścią odrębnej publikacji. W niniejszej pracy ograniczono się jedynie do przedstawienia ilustracji problemu na przykładzie prostego doświadczenia z granicznym nachyleniem skarpy. Natomiast właściwą treścią artykułu jest konfrontacja wyników obliczeń według wzoru (20) publikacji [1] z wynikami pomiarów, otrzymanych w badaniach modelowych fundamentu wiotkiego leżącego na podłożu rozpełzającym.

2. Graniczne nachylenie płaskiej skarpy usypanej z gruntu niespoistego w stanie luźnym

W pojemniku (rys. 1) usypano skarpę z piasku i grysiku w stanie luźnym według wytycznych normy PN-55/B-04494. Pomierzono kąt β, który jest

w tym przypadku kątem stoku naturalnego. Następnie zwiększano kąt nachylenia skarpy bardzo wolno z wykluczeniem jakichkolwiek oddziaływań dynamicznych. Mierzono wartość kąta $\Delta\beta$ w stanie poprzedzającym bezpośrednio osunięcie się skarpy. Oznaczono przez $\alpha = \beta + \Delta\beta$.



Rys. 1. Badanie granicznego pochylenia płaskiej skarpy

Osunięcie następowało zawsze raptownie, przebiegało szybko na całej powierzchni skarpy i równie raptownie zatrzymywało się. Skarpa była znowu płaszczyzną nachyloną pod kątem β do poziomu.

Badania przeprowadzono na piasku o uziarnieniu 0 do 1 mm oraz na grysiku o uziarnieniu 2-8 mm. W jednej serii badań układano skarpę wzdłuż krótszego boku pojemnika (32 cm), w drugiej wzdłuż dłuższego (50 cm). Wyniki serii przedstawiono w tablicy 1.

W obu wartości kątów α i β są takie same, a przy tym jednakowe na całej długości skarpy między ścianami poprzecznymi. Nie dostrzeżono żadnego wpływu ścian.

Tablica 1

Kąt	Piasek							Grysik				
	Doświadczenia ze skarpą wzdłuż boku krótszego (32 cm)											
	1	2	3	4	5	6	Średnia	1	2	3	4	Średnia
β	31,4°	30,5°	30,0°	32,0°	31,7°	31,3°	31,2°	41,4°	40,0°	41,5°	40,5°	40,9°
α	34,3°	33,5°	33,3°	34,7°	34,7°	34,2°	34,1°	50,4°	51,2°	52,8°	52,7°	51,8°
	Doświadczenia ze skarpą wzdłuż boku dłużnego (50 cm)											
	1	2	3				Średnia	1	2	3		Średnia
β	30,7°	30,3°	30,0°				30,4°	39,2°	41,1°	40,6°		40,3°
α	34,2°	34,2°	34,5°				34,3°	48,7°	50,0°	50,4°		49,7°

Niezależnie pomierzono kąt tarcia wewnętrznego piasku i grysiku. Pomiaru tego dokonano przy pomocy aparatu skrzynkowego wielociętego c wymiarach próbki: długość 115 mm, szerokość 70 mm, wysokość 40 mm. Wysokość jednej ramki 3,7 mm, ilość ramek 12. Próbkę układano zawsze w stanie luźnym w sposób ustalony normą PN-55/B-04494, obciążano w poszczególnych doświadczeniach w granicach od 0,3 do 2,8 kG/cm^2, a następnie ścinano.

W wyniku otrzymano:

- dla piasku $\varphi = 29^\circ$,
- dla grysiku $\varphi = 39^\circ$.

Łatwo zauważyć, że z dokładnością bardzo dobrą jak dla doświadczeń z gruntem sprawdza się zależność $\mathrm{tg}\,\varphi = \sin\alpha$, bowiem:

- dla piasku $\mathrm{tg}\,29^\circ = 0{,}5543 = \sin 33{,}7^\circ$
- dla grysiku $\mathrm{tg}\,39^\circ = 0{,}8098 = \sin 54{,}4^\circ$.

Kąt β jest w tym wypadku kątem stoku naturalnego. Kąt α zaś opisuje stan graniczny danego gruntu.

3. Model wiotkiego fundamentu na podłożu rozpełzającym

3.1. Opis aparatu

Piasek umieszczony jest w pojemniku o wymiarach: szerokość 30 cm, wysokość 40 cm, długość 166 cm. Modeluje on pewną bryłę gruntu o skończonych wymiarach jako wycinek półprzestrzeni stanowiący podłoże budowli. Dno i ściany boczne pojemnika są wykonane z pasków o szerokości 4 cm w części środkowej, a 6 cm w częściach końcowych. Paski są przymocowane do pewnej konstrukcji, za pomocą której można rozsuwać lub zsuwać pojemnik jednostajnie na całej jego długości. Jednostkowy przyrost długości może osiągać wartość $\pm$ 60 mm/m. Ściany czołowe skrzyni są połączone z krańcowymi elementami ścian bocznych za pośrednictwem siłomierzy pierścieniowych i śrub, umożliwiających utrzymywanie ich w stałym położeniu względem krańcowych elementów ścian bocznych. To położenie jest stale kontrolowane przy pomocy czujników zegarowych. Dodatkowo ściana czołowa podzielona jest na trzy paski pionowe: środkowy o szerokości

150 mm i dwa boczne po 75 mm. Mierzone jest parcie na każdy z pasków. Podział tej ściany umożliwia badanie tzw. efektu ścian.

Na piasku układane są elementy obciążenia pionowego w trzech pasach podłużnych szerokości po 10 cm. W kierunku długości pojemnika pasy są pocięte w odstępie 25 cm. Jeden element ma wymiary rzutu pionowego 10 x 25 cm. Obciążenie wywierane jest na niego za pośrednictwem sprężyn spiralnych. Osiadanie jest mierzone za pomocą czterech czujek na stałe zamocowanych. Elementy mogą być łączone ze sobą za pomocą spinek, w które wmontowane są siłomierze. Wtedy każdy z pasów obciążenia stanowi oddzielną taśmę wiotką w płaszczyźnie pionowej. Podział na pasy umożliwia między innymi badanie tzw. efektu ściany. Konstrukcyjna długość taśmy wynosi 6 x 25 = 150 cm. Można więc modelować bezpośrednio ławę o tej właśnie długości całkowitej. Wtedy jej środek leży w czasie rozpełzania na środku długości pojemnika. Pośrednio zaś, przy pomocy pewnej konstrukcji, której opis zostaje tu pominięty, długość 6 x 25 = 150 cm można zamienić na połowę długości ławy, łącząc jej środek z jedną ze ścian czołowych aparatu. Wtedy druga połowa ławy, o całkowitej długości 300 cm jest pomyślana poza aparatem.

Bliższe szczegóły konstrukcyjne aparatu, dotyczące wersji aparatu o wymiarach pojemnika 30 x 30 x 66 cm opisane zostały w pracy [3].

3.2. Opis wykonanych doświadczeń

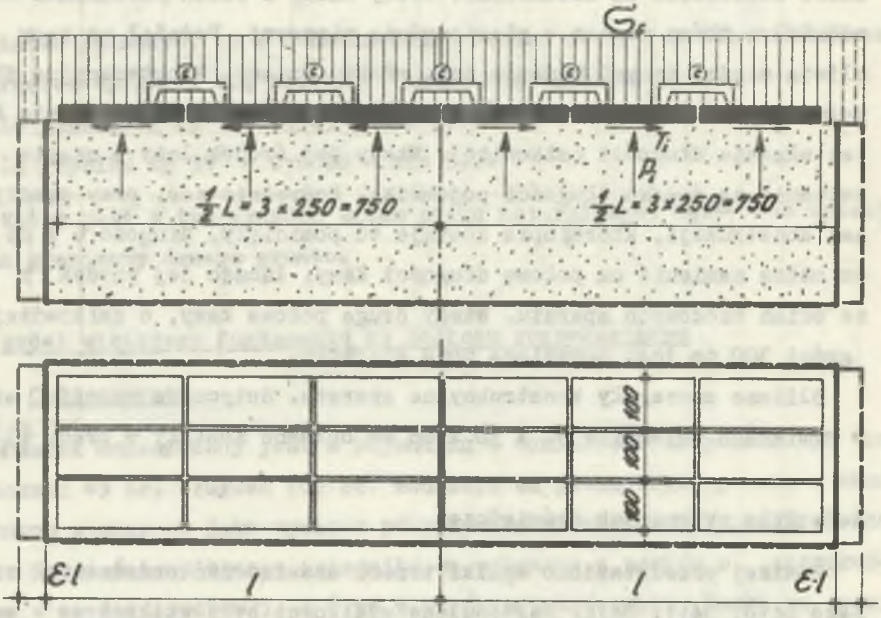
Poniżej przedstawiono wyniki trzech doświadczeń oznaczonych roboczo jako D410, D411, D412. Następujące wielkości były stałymi we wszystkich doświadczeniach:

- ten sam piasek o: ciężarze objętościowym γ_o = 1,73 G/cm^3, stopniu zagęszczenia ϱ_z = 0,70; kącie tarcia wewnętrznego φ= 38°, tzn. ϱ= 51,3^o
- modelowano stan płaski
- modelowano tylko rozpełzanie
- naprężenie pionowe wywierane przez ławę

σ_f = 0,80 kG/cm^2 w D410

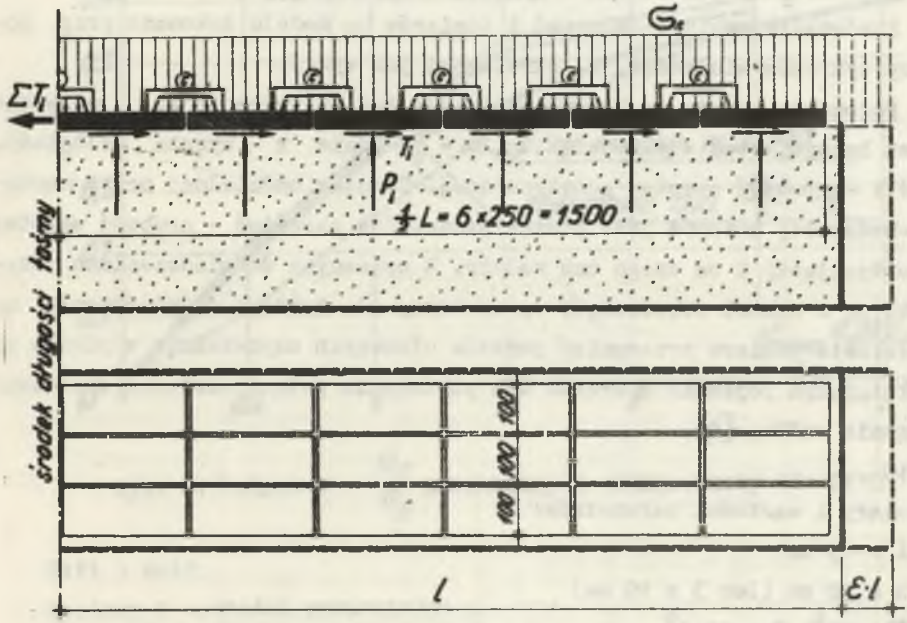
σ_f = 1,00 kG/cm^2 w D411 i D412.

W doświadczeniu D410 ława miała długość całkowitą 150 cm (rys. 2), w doświadczeniach D411 i D412 - długość 300 cm (rys. 3). Te dwa ostatnie były identyczne, wykonane tak dla zbadania rozrzutu wartości mierzonych.



Rys. 2. Schemat ułożenia modelu ławy w D410

W miarę realizacji rozpełzania następuje osiadanie piasku. Sprężyny pionowego nacisku odciążają się. W etapach $\Delta\varepsilon$ = 1,2 mm/m dokonywano dociążania i pomiaru osiadań. Równocześnie regulowano naciski na ścianach czołowych i bocznych, aby utrzymać czujniki posuwu na tych samych odczytach czujników zegarowych i odczytywano siłomierze. Odczytywano również wartości sił na spinkach ław (c, na rys. 2 i 3).



Rys. 3. Schemat ułożenia modelu ławy w D411 i D412

Ze wzrostem rozpełzania rosną siły rozciągające w poszczególnych przekrojach ławy do pewnych wartości maksymalnych. Osiągnięcie ich następuje najwcześniej na końcach ławy, cośkolwiek później pod częścią środkową. Stan, przy którym na całej długości ławy siły rozciągające nie rosną już mimo wzrastania rozpełzania, można określać jako graniczny stan odkształceń podłoża, który jest również granicznym stanem równowagi.

3.3. Rozkład naprężeń stycznych w podstawie ławy w stanie granicznym

Rozkład ten jest opisanym wzorem

$\Theta_f = \sigma_f \cdot F$ - wzór (20) z pracy [1],

gdzie:

Θ_f - naprężenie styczne w dowolnym punkcie spodu ławy

σ_f - naprężenie pionowe

F - czynnik zawierający położenie punktu, w którym obliczane jest Θ_f oraz kąt tarcia ϱ (wzór 1 w pracy [1]).

Porównanie wyników obliczeń i pomiarów na modelu dokonano przy pomocy wykresów wielkości F, określonej jak wyżej.

Położenie punktu, w którym obliczane jest naprężenie Θ_f, wyrażone jest bezwymiarową wielkością $tg\ 2\alpha = \frac{x}{t}$, gdzie x - wyraża odległość, zaś t - grubość warstwy amortyzującej. Tematem oddzielnej pracy naukowo-badawczej autorów jest poszukiwanie, jak określać - grubość warstwy amortyzującej i od czego ona zależy. W opisanych doświadczeniach przyjęto ją z siatki przesunięć, opracowanej dla każdego doświadczenia na podstawie pomiaru przesunięć punktów ułożonych odpowiednio w piasku wypełniającym pojemnik aparatu. Dla porównania podano wartości obliczane obecnie według [4].

D410

Wymiary i wartości parametrów:

$\frac{1}{2}$ L = 75 cm

b = 30 cm (lub 3 x 10 cm)

$\varphi = 38^\circ$, $\varrho = 51{,}3^\circ$

t = 25 cm z pomiaru, podczas gdy według [4]

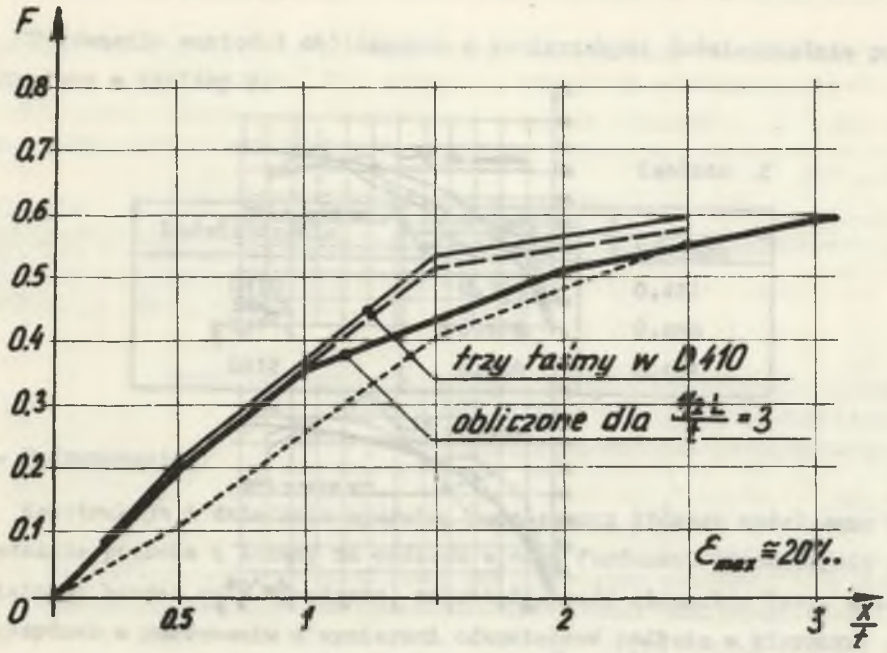
$t_1 = b = 30$ cm

$t_2 = 0{,}25 \cdot 150 \cdot tg\ 38^\circ = 29{,}5$ cm

przyjęto do obliczeń t = 25 cm

$$\frac{X_{max}}{t} = \frac{0{,}5 \cdot L}{t} = \frac{75}{25} = 3.$$

Wyniki obliczeń i porównanie przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wykres $F = \frac{\Theta_f}{\sigma_f}$ pomierzony i obliczeniowy dla D410

D411 i D412

Wymiary i wartości parametrów:

$\frac{1}{2}$ L = 150 cm

b = 30 cm (lub 3 x 10 cm)

$\varphi = 38^{\circ}$, $\varrho = 51,3^{\circ}$

t = 25 cm z pomiaru podczas gdy według [4]

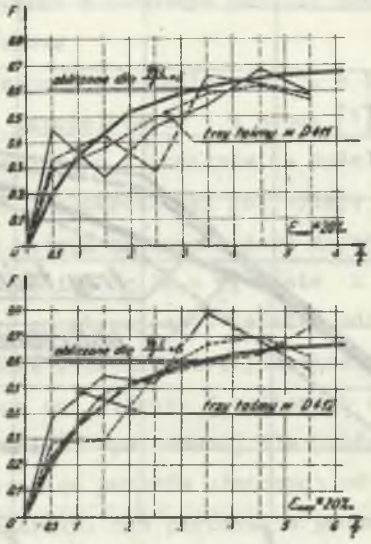
t_1 = b = 30 cm

$t_2 = 0,25 \cdot 300 \cdot tg\, 38^{\circ} = 59$ cm

przyjęto do obliczeń t = 25 cm

$$\frac{X_{max}}{t} = \frac{0,5 \cdot L}{t} = \frac{150}{25} = 6.$$

Wyniki obliczeń i porównanie przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wykres $F = \frac{\theta_f}{\sigma_f}$ pomierzony i obliczeniowy dla D411 i D412

3.4. Graniczna siła rozrywająca

Wyniki obliczeń można również porównać z wartościami pomierzonymi doświadczalnie przy pomocy obliczeniowego współczynnika tarcia f, określonego wzorem

$$f = \frac{T}{G},$$

w którym G oznacza całkowite obciążenie połowy długości ławy,

T siłę rozrywającą.

W pracy [2] obliczono wartości współczynnika f dla różnych długości ław, czyli dla różnych wartości stosunku

$$\frac{X_{max}}{t} = \frac{0,5 \cdot L}{t}.$$

Porównanie wartości obliczonych z pomierzonymi doświadczalnie przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Doświadczenie	Wartość f	
	z obliczeń	z pomiaru
D410	0,394	0,424
D411	0,498	0,488
D412	0,498	0,467

4. Podsumowanie

Konstrukcja i działanie aparatu, przy pomocy którego modelowano rozpełzanie podłoża i leżący na podłożu wiotki fundament jednostajnie obciążony, bardzo mała sprężysta odkształcalność elementów ławy, a także spinek w porównaniu z wymiarami odkształceń podłoża w kierunku podłużnym zdają się upoważniać do twierdzenia, że model ławy realizowany w aparacie jest adekwatny z jej modelem matematycznym przyjętym w pracy [1]. Zagadnienia podobieństwa modelowego podano w [3].

Wzór (20) wyprowadzony w pracy [1] daje wyniki dość dobrze zbliżone do wyników pomiarów na modelu. Nie występuje przy tym niezgodność z rozkładem naprężeń normalnych, tkwiąca w podobnym wzorze w pracy [4].

Opisane wyniki otrzymano po wprowadzeniu do obliczeń takiej grubości warstwy amortyzującej, jaka faktycznie zarysowała się w doświadczeniach.

LITERATURA

1. Malcharek K. - Graniczne naprężenia styczne w podstawie wiotkiego fundamentu, poddanego wpływom rozpełzania sypkiego podłoża", artykuł na Sesję Naukową Wydziału Budownictwa i Architektury Pol. Sl. Gliwice 1972.

2. Malcharek K. - "Oddziaływanie ruchomego podłoża sypkiego na wiotką taśmę równomiernie obciążoną", Gliwice 1971 (maszynopis).

3. Rosikoń A. - "Badania modelowe odkształceń i naprężeń w podłożu ławy rozciąganym i ściskanym poziomo", Archiwum Inżynierii Lądowej - Tom XVI - z.2/1970.

4. Wasilkowski F. - "Wpływ rozpełzania podłoża na fundamenty budowli posadowionych na terenach górniczych", Inżynieria i Budownictwo, Nr 7/1966.

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРЕДЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ ПОД ГИБКИМ ФУНДАМЕНТОМ НАХОДЯЩИМСЯ НА РАСПОЛЗАЮЩЕМСЯ ОСНОВАНИИ

Р е з ю м е

В работе приведены результаты начальных модельных исследований по распределению предельных касательных напряжений под фундаментом, являющимся гибкой нерховатой лентой, Описанные опыты относятся к модели гибкого фундамента, лежачего на расползающемся основании (песка).

Результаты опытов являются стадией в сопоставлении данных принятых в работе [1].

ESSAI SUR MODÈLE DE LA RÉPARTITION DES CONTRAINTES TANGENTIELLES À L'ÉTAT LIMITE SOUS UNE FONDATION FLEXIBLE POSÉE SUR UN SOUS/SOL DEFLUABLE

R é s u m é

Ce travail contient les résultats des essais initiaux sur modèle concernant la répartition des contraintes-limites tangentielles sous une fondation étant une bande flexible et rugueuse. Les expériences décrites se rapportent au modèle d'une fondation posée sur un sous-sol défluable, pulvérant (sable). Les résultats des essais font une certaine étape dans la confrontation des hypothèses admises dans l'étude [1].