

Wojciech SOŁOWSKI*
Politechnika Śląska

MODELOWANIE NUMERYCZNE NIELINIOWEGO PROBLEMU WSPÓLPRACY POSADZKI Z PODŁOŻEM

Streszczenie. W artykule przedstawiono problemy związane z projektowaniem posadzki na gruncie. Następnie przedstawiono przykładowe rozwiązanie układu posadzka podłóże przy użyciu metody elementów skończonych. Wykonano obwiednie sił wewnętrznych w płycie podkładu.

NUMERICAL MODELING OF THE FLOOR AND THE GROUND NONLINEAR INTERACTION

Summary. The designing problems of a floor on the ground are shown. It presents an exemplary FEM analysis of the floor on the ground. The envelope of bending moments in the concrete floor plate was made.

1. Wstęp

Podczas projektowania budynku rzadko przywiązuje się wystarczającą wagę do projektu posadzki na gruncie. Typowe rozwiązanie sprowadza się do wykonania posadzki na warstwie podkładu – płycie betonowej/żelbetowej (czasem z betonu asfaltowego), wylanej na warstwie kruszywa – tłucznia, keramzytu etc. Zalecenia dotyczące grubości warstw dostarczane przez firmy produkujące posadzki przemysłowe mają charakter orientacyjny, i wynoszą, dla warstwy kruszywa (bądź kruszywa z piaskiem) kilkadziesiąt centymetrów (najczęściej około 30-40 cm), a zalecana grubość płyty to około 15-30 centymetrów. Moduł sprężystości gruntu powinien wynosić $E \geq 40 \text{ MPa}$. Żenczykowski [4] podaje wymaganą grubość warstwy podkładu (10 – 30 cm) w zależności od przewidywanych obciążeń. Betonowy podkład jest układany na cienie warstwie chudego betonu, układanego bezpośrednio na zagęszczonym gruncie. Dodatkowo zaleca układanie pośrodku płyty zbrojenia z prętów/siatki $\varnothing 3-8 \text{ mm}$,

* Opiekun naukowy: Prof. zw. dr hab. inż. Maciej Gryczmański.

w odstępach 20 – 30 cm. Obowiązującą maksymalną wielkość pól posadzki oraz maksymalną długość boku określono w polskich normach [7, 8].

Projektowanie posadzki można przeprowadzić podobnie jak dla nawierzchni niepodatnych dróg bądź płyty lotniska. Trzeba jednak pamiętać, że metody stosowane do obliczeń dróg/lotnisk są przystosowane do innych obciążeń i innego natężenia ruchu.

Ponieważ brakuje udokumentowanych metod o solidnych podstawach teoretycznych służących stricte do wymiarowania posadzek na gruncie (jak również materiału doświadczalnego), pozostaje projektowanie oparte na doświadczeniu. Wykonuje się projekt „na oko” lub posługuje się zaleceniami pochodzącymi z budowy dróg lub lotnisk. Takie podejście owocuje na ogół mało ekonomicznym rozwiązaniem lub – czasami – generalnie złym projektem posadzki, mogącym spowodować awarię.

Właściwe, bezpieczne i ekonomiczne zaprojektowanie posadzki na gruncie jest trudne. Należy przyjąć właściwy sposób przygotowania podłoża, odpowiedni rozstaw szczelin dylatacyjnych, grubość i zbrojenie podkładu, a także rodzaj betonu. W zależności od rodzaju podłoża i jego stanu należy zaprojektować grubość (grubości) warstwy podsypki oraz zdecydować o ewentualnym jej zbrojeniu geosyntetykami (siatki, geotkaniny, geowłókniny itp.).

Właściwe modelowanie współpracy podkładu posadzki z podłożem napotyka na wiele trudności. Celem opracowania jest wstępna ilustracja pracy posadzki oraz znalezienie orientacyjnych wielkości sił wewnętrznych, które pojawiają się w płycie podkładu, gdy podłoże gruntowe ma niższy od zalecanego moduł odkształcenia ($E \ll 40 \text{ MPa}$).

2. Założenia obliczeń

Przeanalizowano pracę posadzki na gruncie o układzie warstw:

- płyta betonowa B25 o grubości 20 cm i parametrach obliczeniowych:

$$E=29 \text{ GPa}, \nu=0,2, \gamma=25 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

- warstwa tłucznia o grubości 30 cm i parametrach obliczeniowych:

$$E=400 \text{ MPa}, \nu=0,3, \gamma=20 \text{ [kN/m}^3\text{]}, \phi=45^\circ$$

- warstwa gliny pylastej ($I_L=0,5$) o grubości 2 metrów i parametrach obliczeniowych:

$$E=11 \text{ MPa}, \nu=0,3, \gamma=23 \text{ [kN/m}^3\text{]}, \phi=12^\circ, c=18 \text{ [kPa]}$$

- warstwa gliny pylastej ($I_L < 0$) o dużej grubości i parametrach obliczeniowych:

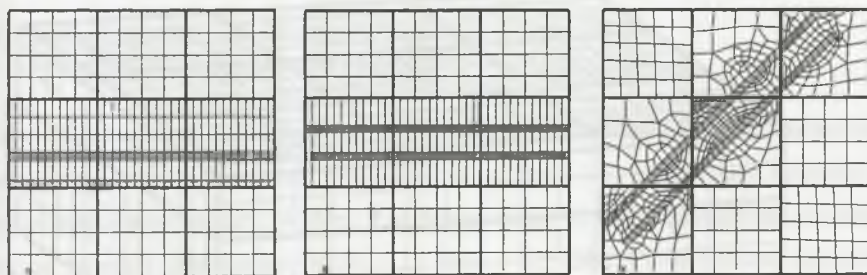
$$E=35 \text{ MPa}, \nu=0,3, \gamma=21 \text{ [kN/m}^3\text{]}, \phi=21^\circ, c=37 \text{ [kPa]}$$

Parametry obliczeniowe gruntów przyjęto jako typowe dla podanego rodzaju gruntu. Płytę podkładu zamodelowano jako liniowo-sprężystą, natomiast grunty jako sprężysto-plastyczne, przy użyciu modelu Druckera-Pragera [3, 9].

Płyty miały wymiary 6x6 m, przy czym szczeliny dylatacyjne przyjęto o szerokości równej zeru.

W programie Ansys zamodelowano 9 płyt posadzki, przy czym za miarodajne przyjęto wyniki dla płyty wewnętrznej i przyległych do niej części pozostałych płyt.

Przeanalizowano pracę posadzki dla przejazdu wózka widłowego o ciężarze z ładunkiem 236 kN, przy czym, zgodnie z PN-82/B-02004 [6], modelowano tylko 2 koła wózka (przednią oś). Modelowano przejazd wózka przez układ posadzek po różnych trasach (rys.1).



Rys. 1. Trasy przejazdu wózka
Fig. 1. The passages of the lift truck

3. Przebieg obliczeń

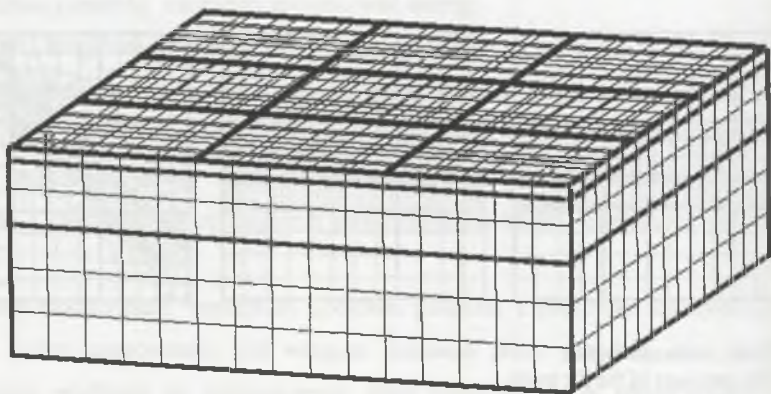
Utworzono model MES konstrukcji przy użyciu elementów powłokowych 8-węzłowych (modelowanie płyty betonowej) oraz elementów przestrzennych 20-węzłowych (modelowanie gruntu). Między gruntem a płytą zamodelowano kontakt, umożliwiający oderwanie się płyty od gruntu oraz przesuw poziomy na styku grunt-płyta. Przyjęto płytę szorstką o współczynniku tarcia pomiędzy gruntem a płytą $\mu=1$.

Przyjęto więzy na płaszczyznach ograniczających bryłę gruntu; na płaszczyznach bocznych uniemożliwiono przesuw w kierunkach poziomych (X lub Y), a na dolnej w kierunku pionowym Z.

Początkowo skonsolidowano warstwy gruntu pod ciężarem własnym oraz płyty; dodatkowo przyjęto prekonsolidację gruntu (OCR=2 na głębokości 50 cm) ciśnieniem 10 kPa (przyjęto założenie, że taką konsolidację gruntu powoduje jego zagęszczanie). Następnie dla

każdej trasy wózka, w kolejnych krokach obciążenia, przykładano ciśnienie tworzone przez wózek (472 kPa) na polu $0,5 \times 0,5$ m, do kolejnych elementów skończonych, i jednocześnie zerowano obciążenia na elementach poprzednich, tak że zawsze obciążone były tylko 2 elementy skończone, odpowiadające dwóm kołom pojazdu.

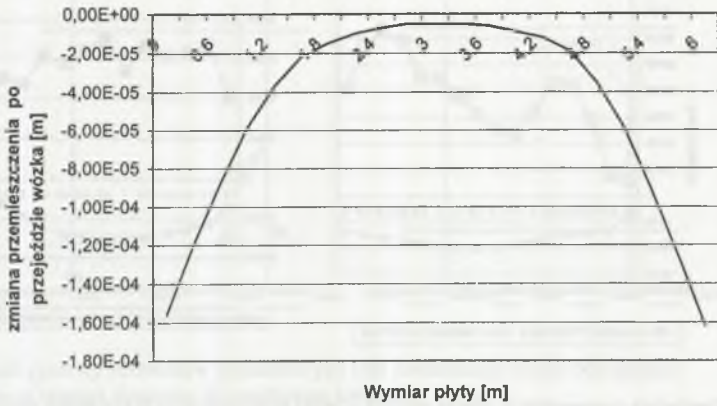
Na rysunku 2 przedstawiono użytą w obliczeniach siatkę elementów skończonych. Obliczenia wykonane dla siatki o ponad dwukrotnie większej liczbie elementów skończonych pozwoliły stwierdzić, że przyjęta siatka elementów skończonych jest wystarczająco dokładna (wartości maksymalne wyników różniły się do około 5%). Ze względu na długi czas obliczeń zdecydowano się na pozostawienie prezentowanej siatki.



Rys. 2. Siatka elementów skończonych
Fig. 2. Finite elements mesh

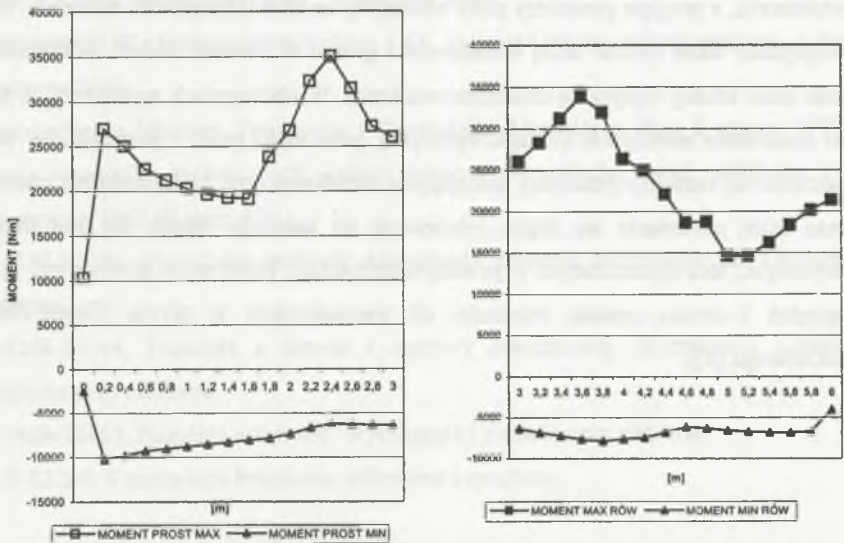
4. Wyniki obliczeń

We wszystkich analizowanych przypadkach wystąpiły odkształcenia plastyczne w gruncie. Miały one miejsce tylko w warstwie tłucznia, glina natomiast pracowała w stadium sprężystym. Odkształcenia plastyczne tłucznia sięgały około 0,05 % na wierzchniej warstwie elementu (przejazd wózka po boku płyty). Na rysunku przedstawiono zmianę przemieszczeń po przejeździe wózka (przypadek symetryczny, ścieżka pozioma w osi symetrii).

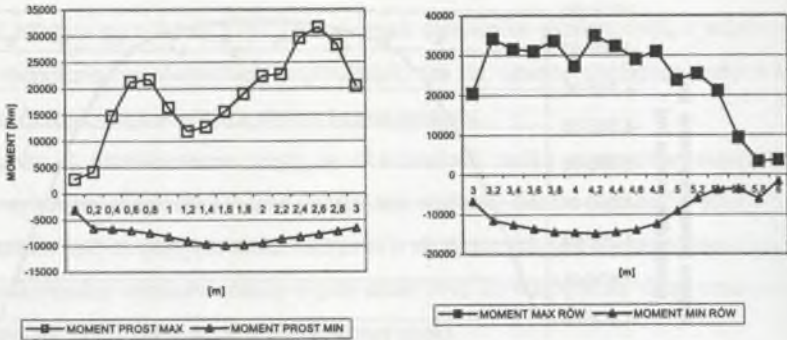


Rys. 3. Różnica przemieszczeń płyty podkładu po przejeździe wózka
 Fig. 3. The displacement of the plate after the passage of the lift truck

Wartości momentów zginających w płycie wskazują na konieczność jej zazbrojenia. Obwiednie momentów zginających przedstawiono na rys. 4 i 5. Maksymalne momenty w okolicach środka płyty sięgały 34 kNm, a na brzegu około 35 kNm. Ekstremalne momenty minimalne wynosiły odpowiednio około - 10 kNm i -15 kNm. Przedstawione obwiednie otrzymano na podstawie zasymulowanych przejazdów wózka.



Rys. 4. Obwiednia momentów w płycie wzdłuż ścieżki przechodzącej przez oś płyty. Momenty prostopadłe do krawędzi płyty i równoległe
 Fig. 4. The envelope of the bending moments in the plate along the mid-path. Bending moments perpendicular and parallel to the edge of the plate

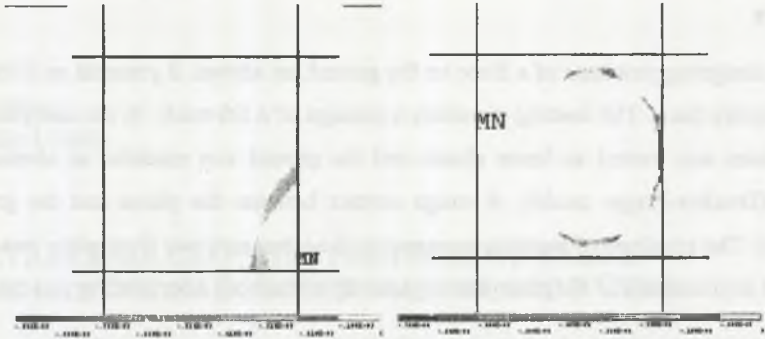


Rys. 5. Obwiednia momentów w płycie wzdłuż ścieżki przechodzącej przez brzeg płyty. Momenty prostopadłe do krawędzi płyty i równoległe

Fig. 5. The envelope of the bending moments in the plate along the side-path. Bending moments perpendicular and parallel to the edge of the plate

5. Wnioski

W analizowanych przypadkach wykazano konieczność zbrojenia płyty posadzki. Ponieważ przyjęty model gruntu nie uwzględnia wpływu obciążenia cyklicznego, można się spodziewać, że obliczone wartości sił wewnętrznych w trakcie eksploatacji ulegną zwiększeniu, a przyjęte parametry płyty obniżą się na skutek zmęczenia materiału. Model nie uwzględniał także bardzo silnej nieliniowości gruntu w zakresie małych odkształceń, która może mieć istotny wpływ na obliczone wielkości. W obliczeniach wykazano, że konieczne jest stosowanie elementów kontaktowych przy połączeniu grunt – posadzka, by umożliwić tworzenie się szczeliny pomiędzy pracującymi ośrodkami (rys. 6). Dodatkowo istotny wpływ może mieć nakładanie się drgań (obciążenie od jadącego wózka nie jest obciążeniem statycznym, lecz dynamicznym o pewnej amplitudzie), które może powodować spiętrzenia naprężeń i istotną zmianę wielkości sił wewnętrznych w płycie (Seong-Min, Won, McCullough [2]).



Rys. 6. Wielkość przerwy elementów kontaktowych (dla konkretnego kroku obciążenia)
 Fig. 6. Gap size of contact elements (for particular load step)

LITERATURA

1. Lenczewski S. i inni: Budownictwo betonowe, t. XV, Drogi, Lotniska, Koleje, Budowle Podziemne. Arkady, Warszawa 1971.
2. Seong-Min Kim, Won Moon C., McCullough B. Frank: Behavior of plate on viscoelastic foundation under moving harmonic loads, 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, New York 2002.
3. Wilun Z.: Zarys geotechniki. WKŁ, Warszawa 2000.
4. Żenczykowski W.: Budownictwo ogólne, t. IV, Izolacje i roboty wykończeniowe. Arkady, Warszawa 1960.
5. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. DzU 43, poz. 430.
6. PN-82/B-02004, Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Obciążenia pojazdami.
7. PN-62/B-10144, Posadzki z betonu i zaprawy cementowej. Wymagania i badania techniczne przy odbiorze.
8. PN-74/B-10155, Posadzki asfaltowe. Wymagania i badania przy odbiorze.
9. PN-B-03264, Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone.

Abstract

The designing problems of a floor on the ground are shown. It presents an FEM analysis of exemplary floor. The loading simulates a passage of a lift-truck. In the analysis, concrete floor plates was treated as linear elastic and the ground was modeled as elastic-perfectly plastic (Drucker-Prager model). A rough contact between the plates and the ground was assumed. The envelope of bending moments in the inner concrete floor plate was made and the final displacement of the plate (due to plasticity of the soil) after loading was calculated.