

# Projekt konstrukcji garażu wielokondygnacyjnego

Mgr inż. Jan Klimasara, dr inż. Mariusz Gnatowski – promotor,  
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Politechnika Białostocka

## 1. Wprowadzenie

Problem parkowania samochodów osobowych w największych miastach wciąż narasta. Bardzo szybki rozwój i rozbudowa obszarów miejskich wskazuje na konieczność szukania nowych rozwiązań technicznych infrastruktury parkingowej i garażowej [3].

Ze względu na ograniczoną przestrzeń w centrach miast inwestorzy coraz częściej przewidują zastąpienie parkingów otwartych przez garaże wielokondygnacyjne, które często budowane są w pobliżu budynków użyteczności publicznej, opieki zdrowotnej, supermarketów czy galerii handlowych. Pozwala to na znacznie lepsze wykorzystanie powierzchni, na której projektowany obiekt ma powstać. Garaż czterokondygnacyjny oferuje czterokrotnie większą powierzchnię postojową niż parking otwarty. Niezaprzecalną zaletą takich konstrukcji jest ochrona pojazdów przed deszczem, śniegiem i wiatrem.

## 2. Podział garaży

Garażem nazywa się samodzielny obiekt budowlany bądź jego część, służąca do przechowywania lub postoju samochodów [1]. Można je podzielić ze względu na:

- rodzaj pojazdów: samochody osobowe, samochody ciężarowe, autobusy, pojazdy specjalne; na tej podstawie kształtowane są miejsca postojowe oraz ciągi jezdne,
- rodzaj przegród zewnętrznych: garaże otwarte, garaże zamknięte,
- usytuowanie: garaże podziemne, garaże nadziemne.
- liczbę stanowisk postojowych: małe (do 20 stanowisk postojowych), średnie (od 21 do 200) oraz duże (powyżej 200),
- powierzchnie garażu (małe, średnie i duże),
- rodzaj transportu wewnętrznego: garaże niezmechanizowane (transport odbywa się za pomocą pochylni lub ramp), częściowo zmechanizowane bądź zmechanizowane,
- usytuowanie stanowisk postojowych (prostopadłe, równoległe, skośne),
- rodzaj materiału/kompozytu, z jakiego ma być wykonana konstrukcja.

Garażami zamkniętymi nazywa się obiekty z pełnymi przegrodami zewnętrznymi (ściany konstrukcyjne, osłono-we). Garaże otwarte to obiekty z przegrodami niepełnymi lub ażurowymi. Rodzaj przegród oraz ich usytuowanie

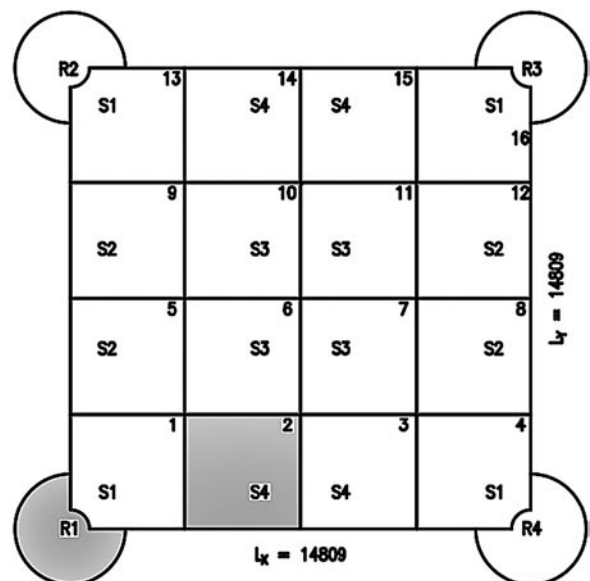
określają, czy należy zastosować wentylację mechaniczną, czy jest ona zbędna.

Parkingi wielopiętrowe najczęściej projektuje się jako konstrukcje żelbetowe monolityczne, rzadziej prefabrykowane, niekiedy również w formie konstrukcji stalowej. Wybór materiału podyktowany jest przede wszystkim względami ekonomicznymi, łatwością wykonania oraz koniecznością zapewnienia odpowiedniej odporności ogniowej. Konstrukcje żelbetowe zapewniają wysoką odporność na ogień, dowolność w kształtowaniu i rozmieszczaniu otworów w stropach, zwiększają sztywność konstrukcji oraz zabezpieczają przed przenikaniem hałasu i spalin na wyższe kondygnacje oraz do pomieszczeń zlokalizowanych obok garażu.

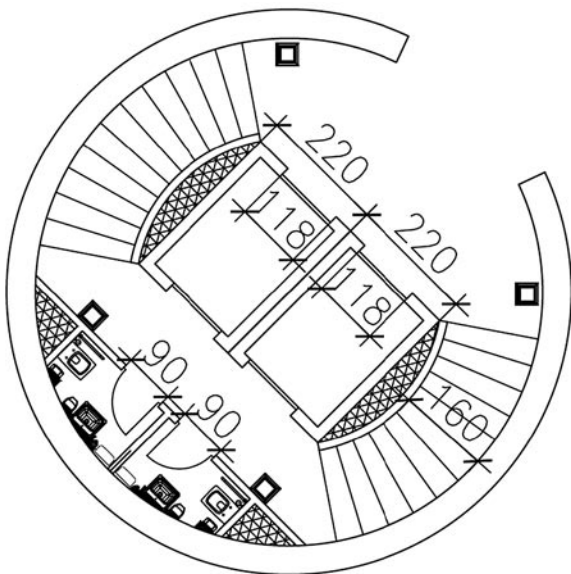
## 3. Założenia architektoniczno-budowlane

Analizowana konstrukcja ma cztery kondygnacje przystosowane do ruchu i parkowania samochodów osobowych. Część parkingową garażu zaprojektowano w technologii monolitycznej jako ustrój płytowo-słupowy, o wymiarach w rzucie 119,49x119,29 m. Obiekt ma cztery spiralne rampy wieżowe, po jednej w każdym z czterech naroży, w celu zapewnienia płynnej komunikacji pieszych oraz kierowców.

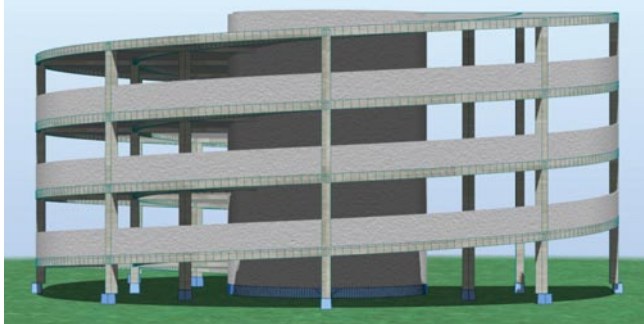
Z uwagi na obciążenia termiczne oraz skurcz betonu [N1] budynek składa się z 16 oddylatowanych segmentów S1 (29,7x29,7 m), S2 (30,0x29,7 m), S3 (30,0x30,0 m,



**Rys. 1.** Numeracja segmentów oraz sekcji poddanych analizie (wypełnienie)



Rys. 2. Rozwiązanie trzonu komunikacyjnego

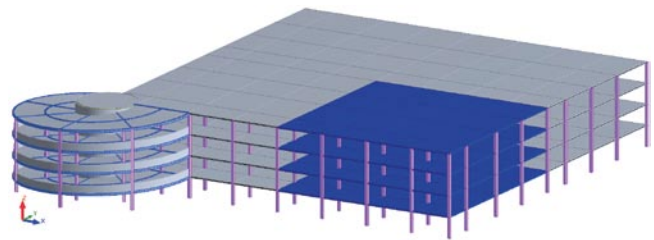


Rys. 3. Rozwiązanie konstrukcyjne rampy wjazdowej wzorowane na obiekcie – The Pike Parking Structure, Long Beach, California (USA)

S4 (30,0x29,7 m) (rys. 1). Wymiary konstrukcji z uwzględnieniem ramp – 148,09x148,09 m.

Komunikację zapewniają cztery klatki schodowe w trzonach żelbetowych w narożach budynku. W każdej z nich znajdują się dwa szyby windowe oraz schody spiralne (ze względu na geometrię trzonu). Na każdej kondygnacji przewidziano dwie toalety przystosowane do użytku przez osoby niepełnosprawne (rys. 2). Ruch pojazdów pomiędzy kondygnacjami umożliwiają wieżowe rampy spiralne o ruchu dwukierunkowym, usytuowane na zewnątrz budynku (rys. 3, 4).

## 4. Modelowanie oraz wymiarowanie numeryczne

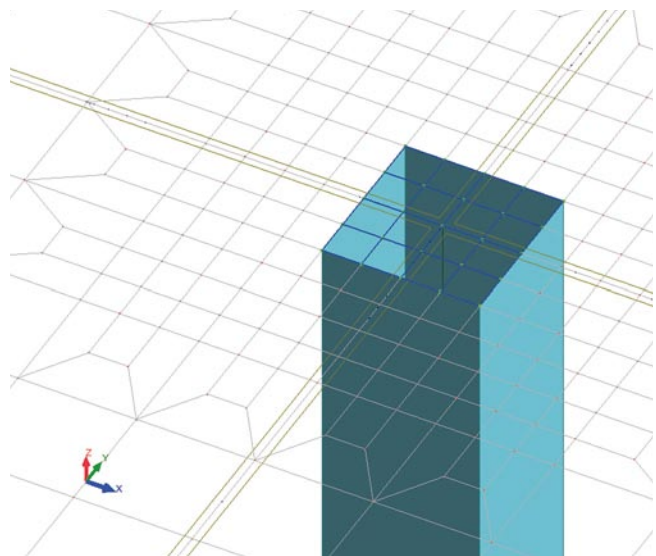


Rys. 4. Model numeryczny ćwiartki projektowanego obiektu

### 4.1. Wariantowe modelowanie stref podporowych w stropach

#### Model nr 1 – redukcja sił nad słupami i ścianami

W konstrukcjach płytowo-słupowych przy odczytywaniu wartości momentów z map występuje zjawisko tzw. pikę momentu w miejscu połączenia osi słupa i płyty. Wynika to z faktu, iż słupy są modelowane jako elementy prętowe, a płyty jako elementy powierzchniowe. Połączenie jest jednym punktem – program automatycznie nie uwzględnia faktu oparcia płyty na powierzchni przekroju słupa. Aby to uwzględnić, używa się opcji redukcji sił nad słupami i ścianami – wykorzystano to w pierwszym modelu. Opcja działa prawidłowo pod warunkiem poprawnego zagęszczenia siatki MES w miejscu połączenia płyty i słupa – krawędź siatki powinna zbiegać się z krawędzią przekroju słupa (rys. 5).

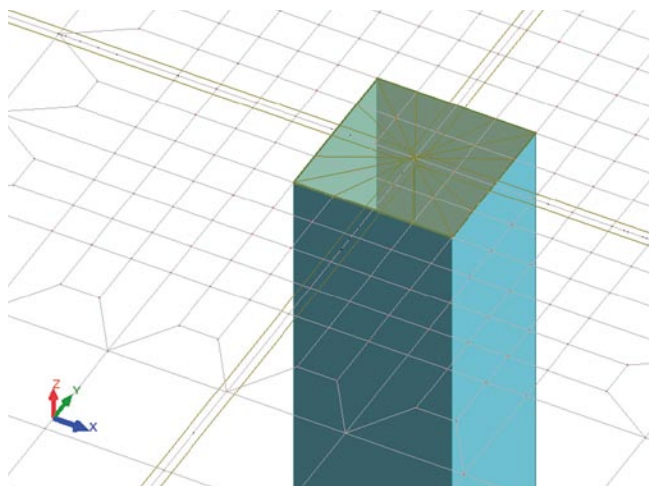


Rys. 5. Model nr 1

#### Model nr 2 – sztywne połączenia węzłów na krawędzi słupa – rigid links

W drugim modelu zastosowano sztywne połączenie górnego węzła modelu prętowego słupa z węzłami na krawędzi jego przekroju. Tak utworzona płaszczyzna (rys. 6) zmieniła pracę fragmentu płyty pokrywającego się z przekrojem słupa

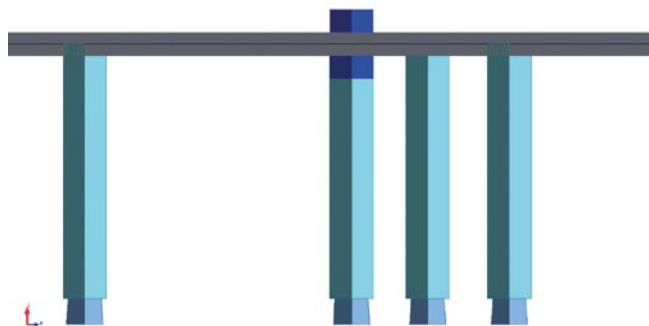
– została zwiększona sztywność. W celu otrzymania poprawnych wyników – opcja redukcji sił została wyłączona.



Rys. 6. Model nr 2

### Model nr 3 – pogrubienie płyty w obszarze przekroju słupa

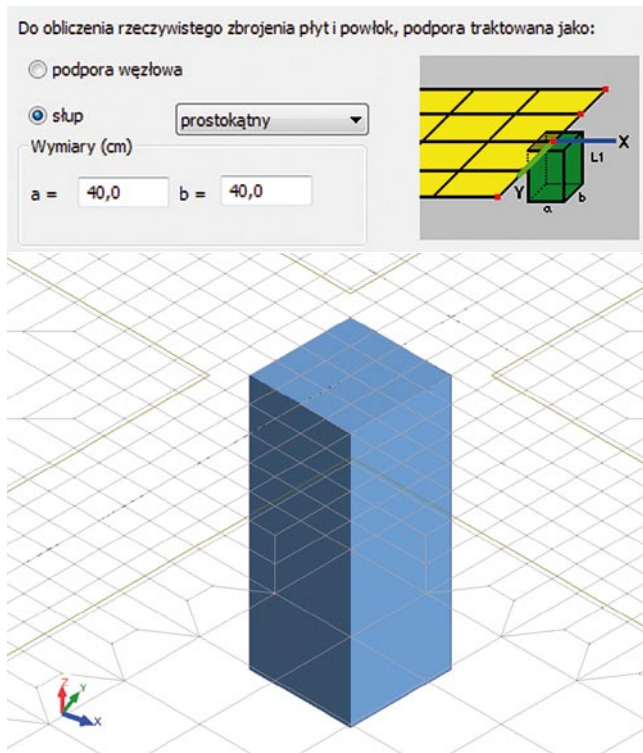
W trzecim modelu zastosowano metodę zaproponowaną przez prof. Starosolskiego [7], polegającą na pogrubieniu (2,5 do 3 razy) płyty (rys. 7), zwiększając w ten sposób sztywność w miejscu połączenia. Zastosowano panel o grubości 90 cm (przy grubości płyty 30 cm). Doprowadziło to do skupienia momentów w pogrubionej sekcji (rys. 9) i umożliwiło odczytanie wartości momentów na krawędziach słupa, niezbędnych do obliczenia zbrojenia górnej płyty.



Rys. 7. Model nr 3

### Model nr 4 – definicja podpory zaawansowanej

Czwarty model różni się od poprzednich tym, że został wykonany jako model składający się wyłącznie z płyt – geometria: projektowanie płyty (tryb ten nie umożliwia definicji elementów prętowych takich jak belki czy słupy). Do zamodelowania podparcia użyto zaawansowanej definicji podpór (jako słup) oraz nadano jej odpowiednie wymiary (40x40 cm). Przy tym sposobie otrzymuje się zbrojenie rzeczywiste przy wymiarowaniu elementów żelbetowych. Siatka elementów skończonych powinna pokrywać się z krawędzią podpory, gdyż używana jest opcja redukcji momentów

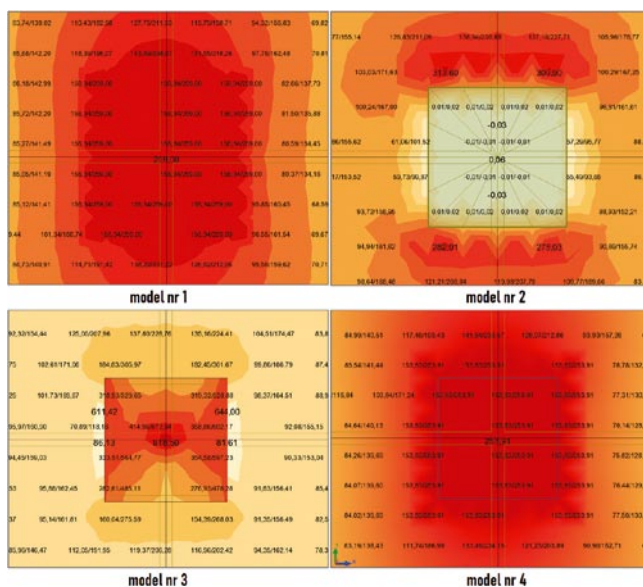


Rys. 8. Uwzględnienie powierzchni podparcia dla modelu nr 4

(jak w modelu nr 1). Wadą tej metody modelowania jest brak możliwości wizualizacji modelu obliczeniowego jako całego układu konstrukcyjnego. Schemat podpory zaawansowanej przedstawiono na rysunku 8.

## 4.2. Porównanie wyników zastosowanych rozwiązań

Poniżej przedstawiono porównanie wartości momentów dla wybranego słupa, przyjęte za miarodajne do obliczeń za pomocą map (obwiedni momentów) dla każdego z przedstawionych wyżej modeli podparcia.



Rys. 9. Wyniki momentów zginających (MXX) dla przykładowego słupa

**Tabela 1.** Porównanie wyników zastosowanych rozwiązań

	Kierunek działania momentu	Model podparcia płyt			
		1	2	3	4
Wartości momentów [kNm]	MXX	182,98	179,88	177,77	174,33
	MYY	173,21	171,63	171,06	165,54
Różnica (względem modelu 4)	MXX	4,7%	3,1%	1,9%	0,0%
	MYY	4,4%	3,6%	3,2%	0,0%

Wartości odczytane z map różnią się nie więcej niż 5% (tab. 1), co wskazuje na niewielkie różnice między poszczególnymi modelami w kwestii określenia momentów podporowych. Do wymiarowania zbrojenia nie zaleca się bezpośredniego odczytywania wartości momentów z map, ponieważ obserwuje się gwałtowne wzrosty wartości na bardzo małych odcinkach – niezbędne jest całkowanie (rys. 10). Należy też zwrócić szczególną uwagę na odpowiednią dyskretyzację siatki MES, ze względu na duże zmienności wyników w zależności od zagęszczenia i kształtu elementów skończonych.

### 4.3. Interpretacja otrzymanych wyników

Założenia do przyjęcia wartości momentów miarodajnych do wymiarowania:

- zbrojenie górne przekrojów podporowych:
  - słupy wewnętrzne – wartość całki na kierunku momentu dla przekroju o szerokości 1,00 m w odległości 30 cm (wymiar 3 elementów skończonych) od lica słupa,
  - słupy krawędziowe oraz słupy narożne – wartość całki na kierunku momentu dla przekroju jw. w odległości 20 cm (wymiar 2 elementów skończonych) od lica słupa;
- zbrojenie dolne przekrojów przęsłowych – wartości w przęsłach przyjęto bezpośrednio z map momentów, ze względu na ich niewielką zmienność.

Przykład przedstawiono na rysunku 10a.

### 4.4. Płyty stropowe

Płyty wszystkich kondygnacji części parkingowej, grubości 30 cm, zostały zaprojektowane jako monolityczne, dwukierunkowo zbrojone, z betonu klasy C35/45. W analizowanym segmencie nr 4 zastosowano zbrojenie prętami Ø12 ze stali B500SP (klasa C, wysoka ciągliwość). W strefach połączenia płyty ze słupami zastosowano trzpienie stalowe dwugłowiowe zapobiegające przebicciu płyty.

Początkowo stwierdzono przekroczenie maksymalnej rozwarłości rys w pasmach międzysłupowych – stan graniczny użytkowości ze względu na zarysowanie nie został spełniony (rys. 11). Zastosowano najprostszą metodę, tj. dozbrojenie newralgicznych przekrojów, poprzez zmniejszenie rozstawu prętów zbrojonych w rozważanym paśmie płyty.

Program Robot domyślnie przyjmuje sztywności przekrojów niezarysowanych, co znacznie zwiększa globalną sztywność ustroju. Obliczone w ten sposób ugięcia, wizualizowane przez program (rys. 12), nie mogły być przyjęte jako miarodajne. Program nie ma opcji redukcji momentu bezwładności płyt, więc sztywność zredukowaną określono osobno. Przy uproszczonym założeniu, że moment bezwładności (w najgorszym przypadku) zmniejsza się dwukrotnie w stosunku do momentu bezwładności przekroju niezarysowanego, otrzymano:

$$\frac{L}{250} = \frac{780}{250} = 3,12 \text{ cm}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \text{ dla } \varphi(\infty, t_0) = 2,00 \text{ (RH=50\%)}$$

$$E_{c,eff} J_{red50} = \frac{E_{cm}}{1 + 2,00} \cdot \frac{J}{2} = \frac{E_{cm} J}{6} \rightarrow x_{red50} \cdot u = 6 \cdot 0,544 = 3,26 \text{ cm}$$

Z uwagi na uproszczony sposób określenia sztywności, warunek uznano za spełniony.

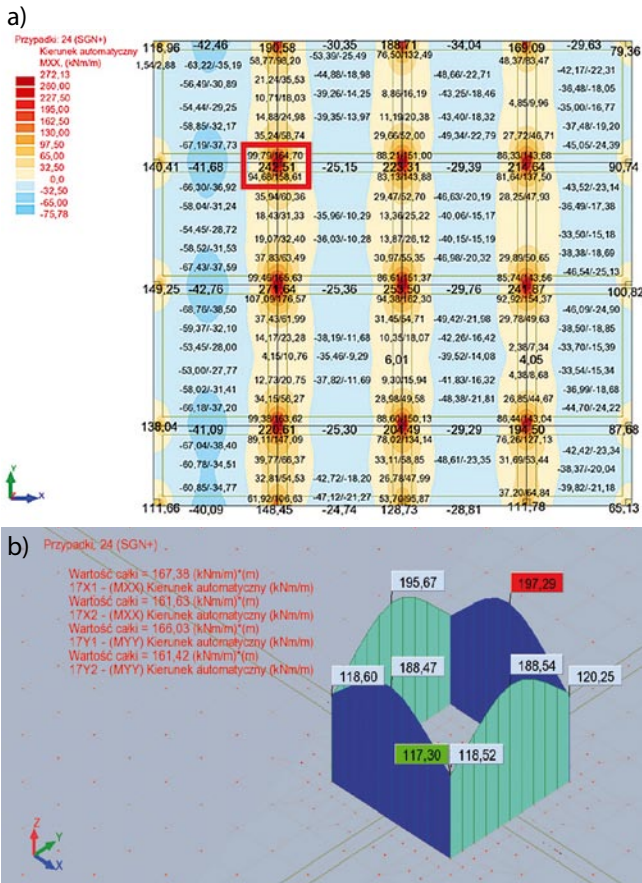
### 4.5. Słupy

Słupy wszystkich kondygnacji zostały zaprojektowane jako żelbetowe monolityczne o przekroju kwadratowym (40x40 cm), sztywno połączone z płytami stropu oraz stopami fundamentowymi. Słupy krawędziowe zlicowano z krawędziami płyt stropowych i barierami ograniczającymi. Przyjęto zbrojenie ze stali B500SP EPSTAL – zbrojenie główne: Ø16 (słupy narożne i krawędziowe) oraz Ø20 (słupy wewnętrzne), strzemiona: Ø8 (rys. 13).

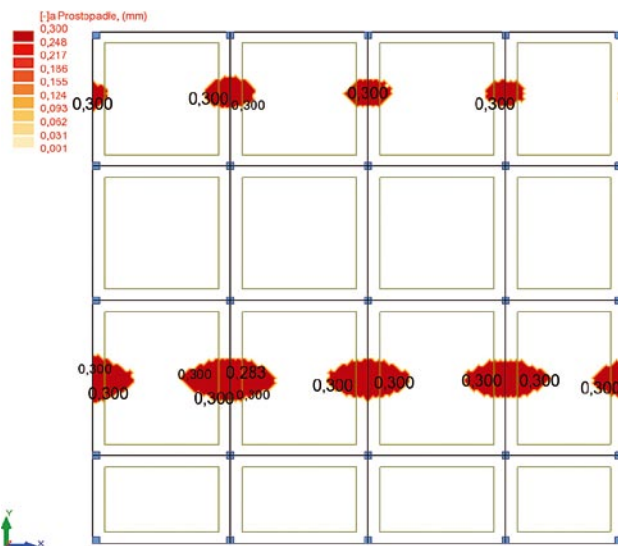
Przekroje słupów zwymiarowano metodą analityczną oraz numeryczną. Porównując otrzymane zbrojenie, stwierdzono, że wyniki są zbieżne. Maksymalna różnica to dodatkowe dwa pręty w przekrojach, gdzie dużą rolę odgrywa warunek nośności na zginanie ukośne i z uwagi na spełnienie tego warunku zbrojenie zostało powiększone. W obliczeniach analitycznych, biorąc pod uwagę występowanie momentów zginających różnych znaków, nie wykazano potrzeby uwzględnienia efektów drugiego rzędu. Program Robot uwzględnił wpływ smukłości (lecz nie we wszystkich słupach). Metoda analityczna dała wyniki bardziej asekuracyjne (otrzymano większe zbrojenie). Ostatecznie przyjęto zbrojenie określone numerycznie, ze względu na bardziej ekonomiczne rozwiązanie.

### 4.6. Fundamenty

Słupy fundamentowe zaprojektowano jako schodkowe, wykonane z betonu klasy C30/37, zbrojone prętami Ø14 B500SP EPSTAL. Pod stopami, bezpośrednio na gruncie, przewidziano 10 cm warstwę wyrównawczą z betonu klasy co najmniej C12/15.

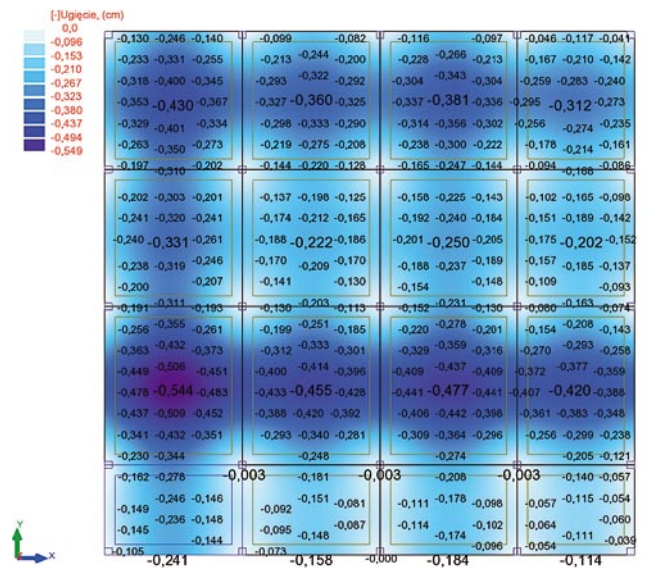


Rys. 10. Przykładowa mapa momentów (a), określanie wartości momentów metodą całkowania (b)

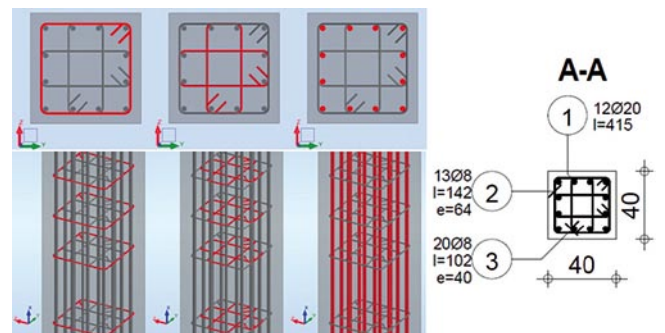


Rys. 11. Zarysowanie przekrojów na kierunku X – pasmo między-słupowe

Ze względu na duże siły normalne problemem była nośność podłoża gruntowego (tab. 2, rys. 14). Ostatecznie przyjęto wymiary stopy:  $B = L = 3,00$  m,  $h = 100$  cm (rys. 15), spełniając wszystkie warunki nośności przewidziane w normach. W zależności od warunku nośności stosowano zróżnicowane współczynniki zwiększające siły w kombinacjach.



Rys. 12. Ugięcia płyty po aktualizacji zbrojenia (RH = 50%)



Rys. 13. Wizualizacja zbrojenia najbardziej wyężonego słupa wewnętrznego

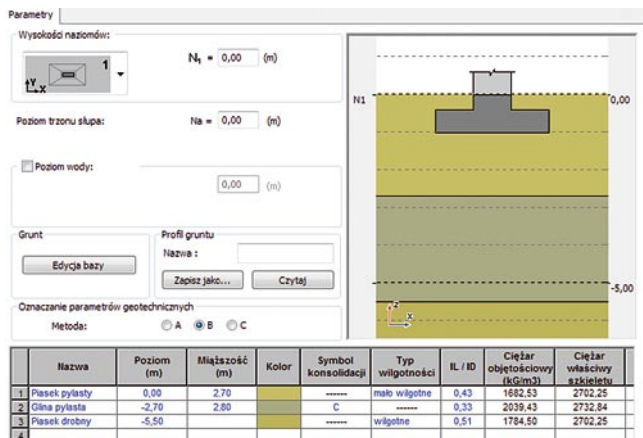
Tabela 2. Warunki gruntowe

Mięższość [m]	Oznaczenie gruntu	Nazwa gruntu	ID/IL
2,7	$P_{nr}$ mw	piasek pylasty małowilgotny	0,43
2,8	$G_{nr}$ C	głina pylasta	0,33
3,5	$P_{dr}$ w	piasek drobny wilgotny	0,51

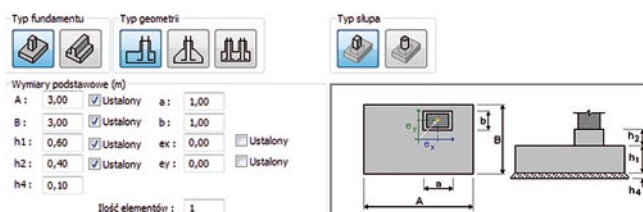
Za pomocą programu ARSA 2018 dokonano wymiarowania fundamentu ze względu na graniczne naprężenia, osiadanie średnie, odrywanie, przesunięcie i obrót. Przyjęto, że stopa o podanej geometrii nie ulegnie przebiciu przez słup [11].

## 5. Podsumowanie

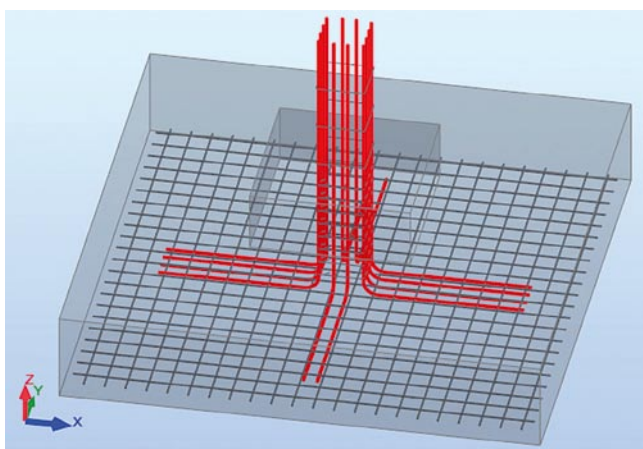
W ustrojach płytowo-słupowych należy zwracać szczególną uwagę na wymiarowanie stref podporowych płyt. Aby skutecznie wykorzystać możliwości programów numerycznych do obliczeń statycznych i właściwie rozwiązać problem, należy umiejętnie stosować zalecenia i wskazówki dostępne w literaturze naukowo-technicznej i specjalistycznej (dotyczącej oprogramowania). Porównując uzyskane wyniki



Rys. 14. Odzworowanie warunków gruntowych (Autodesk Robot 2018)



Rys. 15. Geometria najbardziej wyężonej stopy fundamentowej



Rys. 16. Wizualizacja zbrojenia najbardziej wyężonej stopy fundamentowej

obliczeń metodami analitycznymi (zastosowano algorytmy wymiarowania według [5], [6], [8]) i komputerowymi, można stwierdzić, że są zbieżne. Przekroczone początkowo stany graniczne użyteczności (zarysowanie płyt stropowych) zostały ostatecznie spełnione po dozbrojeniu przekrojów. Wykazano także spełnienie warunków ugięcia oraz stanów granicznych nośności – konstrukcję można zatem uznać za zaprojektowaną prawidłowo.

Równolegle prowadzone obliczenia komputerowe oraz metodami analitycznymi zastosowano w przypadku płyt i słupów. Do analizy zagadnienia przebicia wykorzystano program HALFEN. Zdecydowano, że stopy fundamentowe zostaną zaprojektowane wyłącznie metodą numeryczną, m.in. ze względu na wiele warunków nośności. Było to nowe doświadczenie

wymagające stosowania zapisów zarówno norm polskich, jak i europejskich. Niezaprzeczną zaletą zastosowanego oprogramowania inżynierskiego są trójwymiarowe wizualizacje projektowanych elementów, pozwalające na precyzyjne kształtowanie zbrojenia (rys. 13, rys. 16). W znaczący sposób poprawia to jakość i wydajność przy projektowaniu konstrukcji o dużych gabarytach, jakimi niewątpliwie są garaże wielokondygnacyjne.

Praca dyplomowa inżynierska „Projekt konstrukcji garażu wielokondygnacyjnego” otrzymała wyróżnienie Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej w 2018 roku oraz została nagrodzona w Konkursie PZITB „Najlepsze Prace Dyplomowe Absolwentów Studiów Wyższych kierunku Budownictwo” w 2019 roku.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Michalak H., Garaże wielostanowiskowe, projektowanie i realizacja, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2009
- [2] Biedrońska J., Projektowanie obiektów motoryzacyjnych, Monografia Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2008
- [3] Gradkowski K., Wielopoziomowe budowle parkingów w dużych miastach, Przegląd Komunikacyjny 4/2009, str. 41–47, SiTK RP, Gliwice, 2004
- [4] Neufert E., Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2004
- [5] Knauff M., Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2 zasady ogólne i zasady dotyczące budynków, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2015
- [6] Knauff M., Gulubińska A., Knyziak P., Tablice i wzory do projektowania konstrukcji żelbetowych z przykładami obliczeń, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2013
- [7] Starosolski W., Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych. T.1, T.2, T.3, T.4, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012, 2013, 2014
- [8] Łapko A., Jensen B. C., Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2009
- [9] Rawska-Skotniczna A., Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według Eurokodów z CD-ROM, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2014
- [10] Zybura A., Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2. Atlas rysunków z CD-ROM, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010
- [11] Pisarczyk S., Fundamentowanie dla inżynierów budownictwa wodnego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2012
- [12] Eurokody – Zeszyty edukacyjne Buildera – Projektowanie konstrukcji żelbetowych, Builder 1/2011

AKTY USTAWODAWCZE I NORMY

- [N1] PN-EN 1990:2005 Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji
- [N2] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [N3] PN-EN 1991-1-2:2006 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru
- [N4] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem
- [N5] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru
- [N6] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-5: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne
- [N7] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [N8] PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne, Część 1: Zasady ogólne
- [N9] PN-81 B-03020 Polska norma: Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [R1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75, poz. 690)