

Analiza kosztu i czasu wykonania budynku szkieletowego w aspekcie topologii schematu statycznego na przykładzie parkingu wielopoziomowego

Analysis of the cost and construction time of a frame building in terms of the static scheme topology on the example of a multi-storey car park

mgr inż. Tomasz Harczuk (ORCID: 0000-0003-1533-5260) Borowski Krzysztof Zakład Produkcyjno-Usługowy TOPAZ, Lublin, dr hab. inż. Magdalena Rogalska (ORCID: 0000-0001-8408-3242), prof. uczelni, Politechnika Lubelska

DOI 10.5604/01.3001.0016.2713

Streszczenie: Podczas projektowania obiektów inżynierskich częstą praktyką projektantów jest stosowanie rozwiązań konstrukcyjnych z określonym zapasem bezpieczeństwa, większym niż wymagany normowo. Celem pracy jest określenie czasu i kosztu realizacji przedsięwzięcia budowlanego, obliczonego przy założeniu takich samych wysokości podciągów żelbetonowych oraz przy redukcji ich wysokości o 15, 20 i 30%, przy zachowaniu wymaganego normowo zapasu bezpieczeństwa. Ze względu na złożony charakter analizowanego problemu zastosowano szereg nowoczesnych narzędzi Autodesk AutoCAD, Robot Structural Analysis Professional, Norma EXPERT.

Słowa kluczowe: czas, koszt, budynek szkieletowy, topologia, schemat statyczny.

Abstract: When designing engineering structures, it is common practice for designers to use structural solutions with a certain safety margin, greater than required by the standard. The aim of the work is to determine the time and cost of the construction project, calculated with the assumption of the same height of reinforced concrete beams and reduction of their height by 15, 20 and 30%, while maintaining the safety margin required by the standard. Due to the complex nature of the analyzed problem, a number of modern tools Autodesk AutoCAD, Robot Structural Analysis Professional, Norma EXPERT were used.

Keywords: time, cost, frame building, topology, static scheme.

1. Wprowadzenie

Praca ma na celu wykazanie, czy możliwa jest redukcja przekrojów podciągów zewnętrznych budynków szkieletowych (w tym przypadku wielopoziomowego parkingu naziemnego) oraz czy ma znaczący wpływ na koszt i czas wykonywanego planowanego przedsięwzięcia budowlanego. Od lat 60. XX wieku parkingi samochodowe zaczęły zajmować znaczącą część obszarów zurbanizowanych. Wielopoziomowe parkingi nadziemne lub podziemne stały się także ważną częścią centr handlowych i korporacji. Zarówno funkcjonalność, jak i estetyka wykonania parkingów ma kluczowe znaczenie. Parkingi wielopoziomowe są wykorzystywane w centrach miast, na lotniskach, w centrach konferencyjnych, marketach, szpitalach, hotelach, miejscach zatrudnienia, obiektach sportowych, stacjach kolejowych, a nawet parkach rozrywki [3].

2. Podstawowe zasady projektowania parkingów

Potencjalni użytkownicy powinni być w stanie łatwo zidentyfikować zarówno miejsce parkingowe, jak i wjazd

na parking. W dużych miastach identyfikacja takiego miejsca jest bardzo pomocna dla podróżnych, którzy nie znają okolicy. Konstrukcje takich budowli są zazwyczaj otwarte, zapewniając dobrą wentylację i nie są wyższe niż 15 metrów. Zasadniczo parkingi wolnostojące wielopoziomowe są konstrukcjami szkieletowymi złożonymi z serii płyt (podestów) wspartych na belkach konstrukcyjnych (podciągach) oraz słupów, aby zapewnić dużą powierzchnię jezdnią dla pojazdów. Głównym czynnikiem decydującym o przydatności obiektu wydaje się liczba miejsc parkingowych w stosunku do wielkości, przekładając funkcjonalność nad estetykę, jednak nowoczesne obiekty łączą funkcjonalność z bardzo dobrym odbiorem wizualnym. Konstrukcje te wymagają niewielkiej ochrony przed warunkami atmosferycznymi i generalnie nie ma potrzeby stawiania dachu nad górną kondygnacją, co zmniejsza koszty takiego przedsięwzięcia. Należy jednak brać pod uwagę warunki pogodowe występujące w Polsce. Narażenie powierzchni na zawarte w soli chlorki oraz częste zmiany temperatur i opady muszą być brane pod uwagę przy doborze np. klasy ekspozycji betonu. Inwestorzy często kładą nacisk na osiągnięcie

niskich kosztów przypadających na jedno miejsce parkingowe, co prowadzi do projektowania konstrukcji z niewielkim zapasem wytrzymałościowym. Połączenie tych czynników wykazuje, że planowanie, projektowanie i budowa estetycznych, funkcjonalnych a zarazem ekonomicznych parkingów wielopoziomowych jest prawie zawsze bardzo trudna do realizacji [7].

Nowoczesne wielopoziomowe żelbetowe parkingi stają się coraz bardziej powszechne w obszarach miejskich, nie tylko obok innych budynków, takich jak centra handlowe i biura, ale także jako wolnostojące obiekty. Ich konstrukcje mogą być wykonane różnymi technologiami, na przykład:

- stalowe,
- żelbetowe monolityczne,
- żelbetowe monolityczne ze sprężonymi stropami,
- zespolone stal-beton lub beton-beton,
- prefabrykaty żelbetowe,
- stalowe z płytami kompozytowymi (stalowe ramy przestrzenne z niewspółpracującymi elementami kompozytowymi, głównie płytami jezdnyimi) [5].

Parkingi projektuje się tak, aby pasowały do lokalnego środowiska z odpowiednio połączonymi obiektami dla ruchu pieszych, ich użytkowanie powinno być zawsze możliwe dla wszystkich. Oznacza to, że projektant powinien wziąć pod uwagę pełen zakres elementów użytkowych w celu uzyskania kompleksowego rozwiązania projektowego, które skutkuje bezpiecznym, łatwym w użytkowaniu parkingu o wysokiej jakości [11].

Na proces projektowania wpływa przeznaczenie parkingu, częstotliwość użytkowania, system płatności i kontroli, a także związek z zewnętrzną siecią autostrad. Dlatego w przypadku parkowania krótkoterminowego, na przykład przez klientów sklepów, gdzie wymagana jest większa dynamiczność, zaleca się szersze miejsca parkingowe. Jednak w przypadku parkingów biurowych i długoterminowych, gdzie użytkownicy są zaznajomieni z procedurami parkowania, a ruch jest znacznie mniejszy, można rozważyć węższe miejsca parkingowe. Podobnie na mniejszych parkingach akceptowalna jest mniejsza dynamiczność, ponieważ w najgorszym przypadku niedogodności będą dotyczyć niewielu kierowców przez krótki czas. W przypadku dużych parkingów takie niedogodności są nieakceptowalne ze względu na większą liczbę kierowców oraz większe opóźnienia [12].

Małe, prywatne parkingi mogą dobrze radzić sobie z węższymi miejscami parkingowymi i mniejszą wysokością w świetle, ponieważ brak dynamiczności można zwalczyć poprzez kontrolowanie ruchu. Jednak w przypadku parkingów publicznych spowodowałoby to złe warunki parkowania, co mogłoby wpłynąć na bezpieczeństwo i prowadzić do niskiej jakości użytkowania. Należy też wziąć pod uwagę, że wielkość auta jest zmienna, a obecny rynek zapewnia pełną gamę pojazdów. Z tego względu w projekcie należy uwzględnić elastyczność wymiarów samochodów, szczególnie szerokości

i wymagania dotyczące wysokości w świetle. Wszelkie wymagania dotyczące dostępu dla pojazdów ratunkowych w zasadniczy sposób wpłyną na aspekty projektowania parkingów, dlatego związane z nimi kwestie wymagają wczesnego rozważenia [14].

Zaleca się, aby już na początku planowania parkingu przemyśleć kwestie dotyczące kontroli wjazdu oraz wyjazdu. W wielu przypadkach, zarówno dla parkingów publicznych, jak i prywatnych, kontrole wjazdu i wyjazdu są niezbędne, aby ograniczyć korzystanie z nich osób nieupoważnionych, aby zapobiec wjeżdżaniu na pełny parking, wjeżdżaniu przez wyjazd oraz aby zapewnić, żeby opłata za użytkowanie została uiszczona. Projekt powinien również zapewniać elastyczność w rodzaju instalowanych urządzeń sterujących, ponieważ z czasem może być konieczna ich wymiana lub zainstalowanie ich tam, gdzie początkowo nie było to wymagane. Jeżeli nie przemyślano wstępnych rozwiązań w kwestii środków kontroli wjazdu i wyjazdu, może stać się to trudne lub niemożliwe do wykonania w późniejszych etapach projektu.

Parking musi zapewniać dobre połączenia dla pieszych z obiektami zewnętrznymi. Połączenia przez parking będą wymagały zastosowania wielu elementów, takich jak chodniki, przejścia i obszary stojące, które przylegają do wind i drzwi. Dobra widoczność z odpowiednimi prześwitami umożliwi bezpieczne poruszanie się po parkingu [1].

Wiele czynników wpływa na to, czy użytkownik uzna parking za łatwy w użytkowaniu i będzie czuł się na nim komfortowo, na przykład:

- rozmiar parkingu i dynamiczność ruchu,
- układ parkingu, łatwość w znajdowaniu wolnych miejsc, szerokość alejek,
- bezpieczeństwo i ochrona,
- poziom widoczności,
- oświetlenie,
- jakość i styl wykończenia,
- jasne i zwięzłe informacje oraz oznaczenia.

Układ parkingu powinien być zaprojektowany tak, aby umożliwić kierowcom łatwe i bezpieczne manewrowanie, oraz w stosownych przypadkach oddzielić pojazdy od stref dla pieszych. Łatwość manewrowania zależy od szerokości alejek i miejsc parkingowych, które również wpływają na dynamiczną pojemność parkingu. Jest to niezmiernie ważne szczególnie w przypadku parkingów krótkoterminowych, na przykład w centrach handlowych, gdzie wielkość alejek ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania parkingu. W przypadku parkingów długoterminowych nie jest to aż tak istotne, dlatego wielkość miejsc parkingowych może być zmniejszona tam, gdzie użytkownicy są zaznajomieni z aranżacją parkingu, na przykład na parkingach biur [3].

Zalecaną praktyką jest projektowanie miejsc parkingowych do normalnego użytkowania przez samochody o standardowej wielkości oraz do sporadycznego użytkowania przez duże samochody. Należy jednak zwrócić uwagę na wymagania

parkingów specjalistycznych oraz na zwiększone gabaryty pojazdów. Większe wysokości w świetle mogą być dobrym rozwiązaniem na parkingach znajdujących się w obszarach turystycznych, gdzie prawdopodobny jest większy odsetek pojazdów z bagażnikami dachowymi. Typowe wymiary miejsc parkingowych dla standardowych pojazdów przedstawiono w tabeli 1 [6].

Tabela 1. Wymiary miejsc parkingowych

Lp.	Rodzaj użytkowania	Długość miejsca parkingowego [m]	Szerokość miejsca parkingowego [m]
1	Zróznicowane	4,80	2,40
2	Krótkie parkowanie	4,80	2,50
3	Długie parkowanie	4,80	2,30
4	Miejsce dla inwalidów	4,80	3,60
5	Rodzic z dzieckiem	4,80	3,20

Szerokości alejek projektuje się tak, aby pomieścić zwisy pojazdów, które mogą wystawać ponad zaplanowane 4,8 m. Można rozważyć zmianę tych wymiarów, aby dostosować się do problemów wynikających z ograniczonej przestrzeni lub szczególnych działań użytkownika. Jeśli spowoduje to zmniejszenie wymiarów, użytkownik powinien być świadomy różnic i wynikających z nich ograniczeń, takich jak trudniejsze manewrowanie. Tam, gdzie wymagane są komfortowe warunki parkowania, tak jak w centrach handlowych, projektowane są alejki o zwiększonych wymiarach.

Chociaż zwiększają dynamiczną pojemność alejki, kąty parkowania mniejsze niż 90° są rzadko stosowane na parkingach podziemnych i wielopoziomowych, ponieważ powoduje to wzrost powierzchni miejsc parkingowych i zmniejszenie wydajności kosztowej. Parkowanie pod kątem 45° zmniejsza całkowitą powierzchnię parkingu o około 20% w porównaniu do parkowania pod kątem 90°. W związku z tym kąty parkowania i związane z nimi szerokości alejek są podawane jako wytyczne, a okoliczności mogą uzasadniać stosowanie innych wymiarów [6].

Szerokości ostatnich miejsc parkingowych należy zwiększyć w miejscach, gdzie sąsiadują one ze ścianami lub barierami samochodowymi. Ten wzrost będzie podlegał kształtowi krawędzi, ale sugerowana jest dodatkowa przestrzeń boczna wynosząca około 300 mm od linii miejsca parkingowego do ściany lub bariery [3].

Preferowana jest konstrukcja o otwartej przestrzeni, ponieważ zapewnia bezpieczniejsze środowisko zarówno dla kierowców, jak i pieszych, ale wymagania projektowe często dyktują użycie słupów wewnętrznych. Rozmiary oraz rozmieszczenie tych słupów muszą być dokładnie przemyślane, aby zachować wydajność parkowania, dostęp do miejsc

parkingowych oraz pole widzenia. Słupy znajdujące się z przodu miejsc parkingowych mogą ograniczyć możliwości manewrowe, dlatego w celu usprawnienia ruchu na parkingu zaleca się zwiększyć odległości słupów od alejki.

Zaleca się, aby przynajmniej trzy standardowe miejsca parkingowe znajdowały się pomiędzy słupami wewnętrznymi przylegającymi do alejek oraz aby krawędzie słupów nie ograniczały szerokości tych miejsc. Słupy mogą jednak wystawać od 150 do 200 mm na miejsce parkingowe pod warunkiem, że znajdują się w zalecanej odległości od alejki. Tam, gdzie stosowane są większe słupy, wymagana jest szczególna uwaga, aby zachować zadowalające odstępy i użytkowanie. W takich przypadkach koordynacja sieci budynków i parkingów będzie musiała być procesem wielokrotnym.

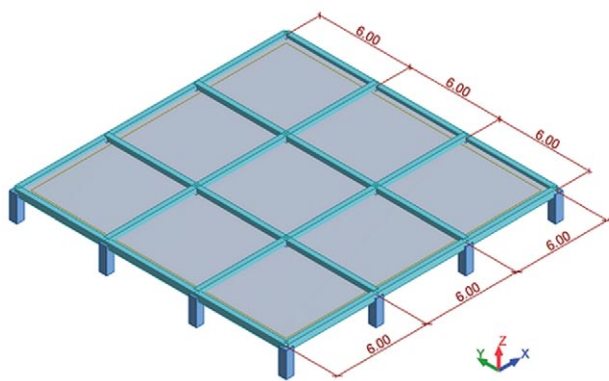
Należy również zauważyć, że słupy znajdujące się po bokach miejsc parkingowych mogą blokować drzwi i należy je dokładnie rozważyć, zwłaszcza tam, gdzie proponowane są ściany usztywniające. W tym przypadku wymagane będą dodatkowe odstępy boczne [2].

Zalecana minimalna wysokość w świetle dla pojazdów, mierzona prostopadle do powierzchni, powinna wynosić 2,10 m. Wielkość ta stosowana jest do wjazdów, wyjazdów, miejsc parkingowych, alejek oraz ramp, dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na różne wymagania dotyczące każdego obszaru. Dodatkowe odstępy będą potrzebne przy zmianach nachylenia, jak w przypadku ramp i gdzie stosowane są środki uspokajania ruchu (na przykład progi zwalniające).

Aby określić wysokość konstrukcyjną, zaleca się przygotowanie projektów branżowych do oznakowania, oświetlenia, wentylacji, barier i wszelkich innych możliwych występow pod konstrukcją, takich jak przewody i rury. Wystające elementy należy oszacować i dodać do minimalnej wysokości w świetle w celu określenia wymaganej wysokości konstrukcyjnej. Ponadto należy wziąć pod uwagę wykończenia, tolerancje wymiarowe oraz ugięcia konstrukcyjne.

Środki uspokajania ruchu, takie jak progi zwalniające, muszą być starannie umieszczone. Ich wysokość wynosi przeważnie od 75 do 100 mm, a zatem lokalnie zmniejszają wysokość w świetle. Tam, gdzie proponuje się kontrolę ruchu w postaci wznoszących się barier, wymagane są dodatkowe doły o głębokości od 300 do 600 mm. Takie lokalne wzrosty głębokości muszą być uwzględnione przy rozważaniu dostępnej przestrzeni na niższych piętrach. Minimalna wysokość w świetle wynosząca 2,10 m przeważnie wystarczy dla wszystkich standardowych samochodów, o ile uwzględni się zjazdy z ramp, szczególnie na dwupoziomowych parkingach, gdzie często stosuje się maksymalne nachylenie 1:6.

Tam, gdzie wymagane jest zapewnienie przestrzeni przeznaczonej dla pojazdów z wysokim dachem, na przykład dla osób niepełnosprawnych, zalecana jest minimalna wysokość w świetle 2,60 m zamiast normalnej wynoszącej 2,10 m.



Rys. 1. Schemat konstrukcji

Jeżeli nie jest możliwe zapewnienie jej na wszystkich trasach parkingu, kierowcy powinni zostać ostrzeżeni o ograniczeniach dotyczących wysokości jeszcze zanim zaczną ustawiać się w kolejce lub wjeżdżać na takie obszary. W takich przypadkach powinno się stosować wskazówki dojazdu do odpowiedniego miejsca parkingowego [2].

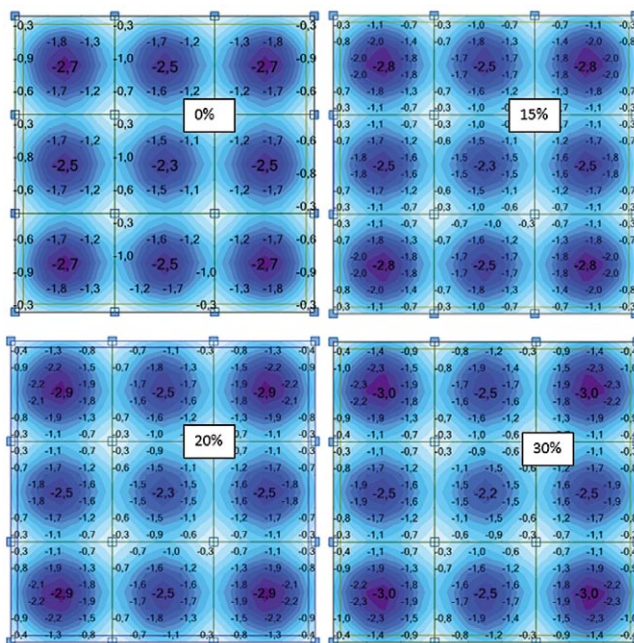
Nachylenie posadzek należy zaprojektować ze spadkiem około 2% w celu odwadniania. Ugięcia belek o dużej rozpiętości mogą również wpływać na nachylenie wymagane do utrzymania spadków drenażowych. Tam, gdzie parkingi są stale nachylone, zaleca się maksymalny spadek 5%. Jeżeli parking będzie bardziej stromy, mogą wystąpić trudności z otwieraniem i zamykaniem drzwi. Ponadto nachylenie parkingu może powodować niechciane ruchy wózków zakupowych, które mogą uderzać w pojazdy, a osoby o ograniczonej sprawności ruchowej mogą mieć problemy. Dodatkowo miejsca parkingowe przeznaczone dla motocykli powinny posiadać inny kąt nachylenia, aby uniknąć przewracania się pojazdów [4].

3. Schemat konstrukcji

Analizie obliczeniowej poddano budynek garażowy o konstrukcji szkieletowej, monolitycznej, 4-kondygnacyjny, o powierzchni kondygnacji 3600 m². Rozpatrzony został reprezentatywny wycinek konstrukcji o powierzchni 324 m² (3x6 m na 3x6 m) (rys. 1). Geometria konstrukcji pozwala na rozpatrzenie wycinka i zastosowanie obliczonych elementów w odniesieniu całej konstrukcji. Przyjęto najmniej korzystną konfigurację obciążeń przy uwzględnieniu 112 kombinacji normowych [7–10, 13].

Tabela 2. Zestawienie różnicy kosztów w poszczególnych kosztorysach

Lp.	Nazwa	Cena	Różnica między zwykłym a zredukowanym [zł]	Różnica między zwykłym a zredukowanym [%]
1	Podciągi 30x55	4 907 761,50 zł	0,00 zł	0,00%
2	Podciągi 30x55+30x46	4 848 018,61 zł	59 742,89 zł	1,22%
3	Podciągi 30x55+30x42	4 831 644,43 zł	76 117,07 zł	1,57%
4	Podciągi 30x55+30x38	4 818 926,03 zł	88 835,47 zł	1,84%



Rys. 2. Ugięcia płyt – schemat bazowy (0% redukcji) i po redukcji wysokości podciągów zewnętrznych o 15, 20 i 30%

Wykonano obliczenia z zastosowaniem programu Robot Structural Analysis Professional. Otrzymano wykresy ugięć płyt (rys. 2) i podciągów w odniesieniu do schematu konstrukcyjnego bazowego oraz z redukcją wysokości podciągów o 15, 20 i 30%.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że redukcja wysokości zewnętrznych podciągów jest możliwa nawet o 30%.

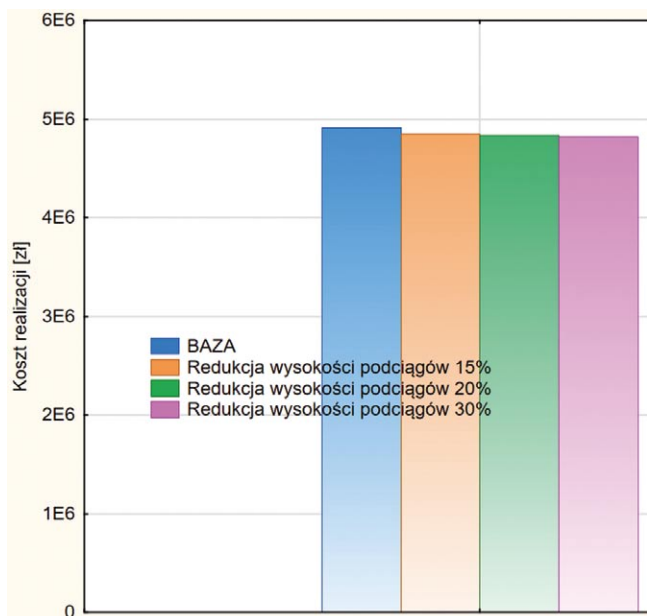
Na podstawie wykonanych obliczeń sporządzono kosztorys zawierający wykonanie deskowania, betonowania oraz zbrojenia płyty monolitycznej, podciągów, słupów oraz stóp fundamentowych. Narzuty kosztorysu wynoszą: koszty zakupu 7,8%, koszty pośrednie 70,5%, zysk 12,3% oraz podatek VAT 23%. Dodatkowo wykonano trzy kosztorysy różnicowe. Na ich podstawie dokonano analizy kosztów oraz czasu wykonania poszczególnych konfiguracji.

4. Zestawienie różnicy kosztów

Na podstawie kosztorysów różnicowych sporządzono tabelę, w której obliczona jest różnica kosztu wykonania obiektu podstawowego oraz obiektów ze zredukowanymi wysokościami przekrojów podciągów zewnętrznych (tab. 2).

Tabela 3. Zestawienie różnicy czasu w poszczególnych kosztorysach

L.p.	Nazwa	Liczba roboczo-godzin	Różnica r-g	Różnica r-g przy dwóch 4-osobowych brygadach	Różnica w dniach, przyjmując 8-godzinny czas pracy	Różnica w%
1	Podstawowy	29469	0	0	0	0,00%
2	Redukcja 15%	29160	309	39	5	1,05%
3	Redukcja 20%	29053	416	52	7	1,41%
4	Redukcja 25%	28967	502	63	8	1,70%

**Rys. 3.** Zestawienie różnicy kosztów w poszczególnych kosztorysach za pomocą wykresu słupkowego

5. Zestawienie różnicy czasu wykonania przedsięwzięcia

Na podstawie kosztorysów różnicowych sporządzono tabelę, w której obliczona jest różnica czasu wykonania obiektu podstawowego oraz obiektów ze zredukowanymi wysokościami przekrojów podciągów zewnętrznych. Przyjęto 8-godzinny czas pracy oraz dwie 4-osobowe brygady – jedną do układania mieszanki betonowej drugą do wykonania zbrojenia (tab. 3).

6. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza statyczno-wytrzymałościowa wykazała, że zaprojektowana konstrukcja przeniesie założone obciążenia. Według wykonanych obliczeń redukcja wysokości przekrojów podciągów o 15, 20 oraz o 30% jest możliwa.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że redukcja wysokości przekrojów podciągów ma wpływ na koszt wykonania obiektu parkingu wielopoziomowego. Redukcja kosztów

jest widoczna, ale oscyluje w granicach błędu statystycznego. Należy jednak zauważyć, że przy inwestycji oscylującej w granicach 5 mln zł różnica kosztów 2% to 100 000 zł. Różnica czasu wykonania podstawowego obiektu oraz obiektu o zredukowanych wysokościach przekrojów podciągów zewnętrznych o 30% przy pracy dwóch czteroosobowych brygad wynosi 8 dni, procentowa różnica czasu wynosi 1,70%. Projektowanie takiej konstrukcji jest problematyczne i czasochłonne, co prowadzi do zwiększonych kosztów poniesionych przez inwestora na etapie projektowania – opracowanie takiej konstrukcji będzie bardziej kosztowne. Redukcja wysokości przekrojów zewnętrznych może mieć zastosowanie tylko w niektórych przypadkach.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Akobo I., Georgewill V., Ngekpe B., Punching Shear Failure of Reinforced Concrete Flat Slab System-A Review Euro., J. Adv. Engg. Tech. 6(2)2019, str. 10–16
- [2] Association of Chief Police Officers in England and Wales, British Parking Association, Automobile Association and Home Office: The Secured Car Park Award Scheme – Guidelines For Self Assessment, (available from British Parking Association), London: ACPO, 1995
- [3] Bartolac M., Damjanović D., Duvnjak I., Proboj ravnih ploča s posmičnom armaturoj i bez takve armature, Gradjevinar, 67(8) 2015, str. 771–786 ISCEE 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1144 (2021) 012004 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1144/1/012004 9
- [4] BS 6093: Code of practice for design of joints and jointing in building construction. London: British Standards Institution, 1993
- [5] Building Regulations 1991: Approved Document A. Structure, London: HMSO, 1994
- [6] Chrest A. P., Smith M. S., Bhuyan S., Parking Structures – Planning, design, construction, maintenance and repair, 3rd edn., New York: Van Nostrand Reinhold, 2001 (4.7)
- [7] ENV1991-2-7: Eurocode 1: Basis of design and actions on structures: Part 2–7: actions on structures: accidental loads due to impact and explosions, European committee for standardization, London: British Standards Institution, 1998
- [8] Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji
- [9] Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – część 1 – 4 – Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru
- [10] Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu
- [11] Health and Safety Executive: Managing health and safety in construction, HSG 224. HSE, 2002
- [12] Institution of Structural Engineers, Soil-structure interaction – the real behaviour of structures, London: The Institution, 1989
- [13] Norma PN-EN 1992-1-1:2008: Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1
- [14] Skempton A. W., MacDonald D. H., Allowable settlements of buildings, ICE Procs Eng Divns (HPSW), Part III, tom 5, 1956, str. 727–768