

Analiza numeryczna dwusegmentowego budynku mieszkalnego dla zmiennej krzywizny terenu pochodzenia górniczego

Numerical analysis of a two-segment building for a variable curvature of mining origin



Dr inż. Łukasz Kapusta^{*)}



Dr hab. inż. Leszek Szojda,
prof. PŚ^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono analizę numeryczną budynku dwusegmentowego zlokalizowanego w strefie aktywnej działalności górniczej. Front eksploatacyjny przebiegał bezpośrednio pod budynkiem wywołując w pierwszej fazie wypukłą, a następnie wklęsłą krzywiznę terenu. Zarówno powierzchnia terenu, jak i sam obiekt objęte były w tym czasie monitoringiem geodezyjnym. Otrzymane wyniki pomiarowe oraz przeprowadzone wizje lokalne stanowiły dane źródłowe do analiz numerycznych, jak również pozwalały na weryfikację uzyskanych wyników. Nadrzędnym celem pracy było zwrócenie uwagi na problematykę modelowania budynku dwusegmentowego w fazie dwóch krzywizn: wypukłej i wklęsłej.

Abstract: This paper presents a numerical analysis of the two-segment building located in an active mining area. The exploitation front ran directly under the building, causing convex curvature of the terrain in the first phase and then a concave one. Both the surface area and the object itself were covered by geodetic monitoring at that time. The measurement results which were obtained and the site visits which were carried out were both source data for numerical analyzes and also allowed to verify the results. The main aim of the work was to draw attention to the problems of modeling a two-segment building in the phase of two curvatures: the convex one and the concave one.

Słowa kluczowe:

krzywizna terenu górniczego, analiza numeryczna, współpraca budowla-podłoże, zależność krzywizny terenowej w stosunku do krzywizny konstrukcji budynku

Keywords:

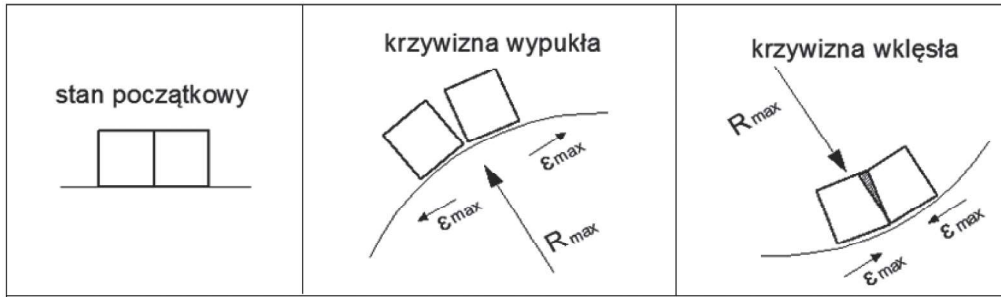
a curvature of a mining ground, a numerical analysis, a building-ground relation, a relation between a ground curvature and a curvature of a building structure

1. Wprowadzenie

Krzywizna wraz z odkształceniami poziomymi podłoża stanowi jedno z głównych zagrożeń dla konstrukcji budynków zlokalizowanych na terenach górniczych (Kwiatek 2007, Majewski i in. 1997, Szojda 2019). W wyniku eksploatacji złóż węgla dochodzi do uszkodzeń nawet kilku tysięcy obiektów rocznie (Kulczycki, Piątkowski 2010). Problem najlepiej obrazują generowane koszty. Dla przykładu tylko w ubiegłym roku kopalnie należące do Polskiej Grupy Górniczej wydały na usuwanie szkód górniczych 125,6 mln zł, na ten rok zaplanowano ok. 154,3 mln zł. Najbardziej kosztowna jest likwidacja szkód w budynkach mieszkalnych. W ubiegłym roku na ich

usuwanie kopalnie PGG wydały 60,5 mln zł, a kolejne 12,6 mln zł pochłonęło wykonanie zabezpieczeń takich budynków przed przyszłymi uszkodzeniami (<https://www.wnp.pl>). Liczną grupę remontowanych budynków stanowią popularne na terenie woj. śląskiego, tradycyjne, murowane „familoki”. Powstawanie szkód górniczych w obiektach mieszkalnych tego typu wywołują najczęściej niedostateczne bądź błędnie wykonane rozwiązania profilaktyczne. Jednym z podstawowych elementów profilaktyki budowlanej jest podział obiektu na segmenty poprzez wprowadzenie dylatacji (Kwiatek 2007, Majewski i in. 1997, Szojda 2019, ITB 2006). Jednakże starsze konstrukcje często podzielone są w taki sposób, że szerokość szczeliny wynosi zero - „na styk”. Co więcej znane są budynki o długości ścian zewnętrznych dochodzących do kilkudziesięciu metrów, wykonane jako ciągłe - bez dylatacji (Kapusta 2017, Kapusta, Szojda 2017). Nawet prawidłowo

^{*)} Politechnika Śląska, Gliwice.



Rys. 1. Obrazowe przedstawienie wpływu krzywizny terenu górniczego na budynek segmentowy
Fig. 1. The graphical presentation of the influence of the mining area curvature on the segment building

wykonana szczelina dylatacyjna o dostatecznej szerokości, ale nieodpowiednio konserwowana, po pewnym czasie może ulec zamknięciu, na skutek zmagania się z deformacjami podłoża górniczego i niekontrolowanego wnिकania zanieczyszczeń stałych. Jak wiadomo, rolą dylatacji jest m.in. bezpieczne przeniesienie wpływów deformującego się podłoża poprzez redukcję naprężeń w ścianach budynku. Dla dylatacji bez odpowiednio szerokiej szczeliny wypukła krzywizna terenu teoretycznie nie powinna stanowić większego zagrożenia. Na ogół towarzyszą jej bowiem rozpełzania, które powodują otwieranie się dylatacji (rys. 1). Inaczej jest w przypadku krzywizny wklęsłej. Idące z nią w parze odkształcenia poziome ściskające powodują wzajemne zbliżanie się poszczególnych segmentów do siebie i w rezultacie zamykanie się dylatacji.

Przedmiotem niniejszej pracy jest przede wszystkim zwrócenie uwagi na problematykę uwzględnienia dylatacji w obliczeniach inżynierskich dla budynków zlokalizowanych na terenach o zmiennej krzywiznie. Przedstawione wskazówki mogą służyć zarówno przy projektowaniu obiektów, jak również przy ocenie wpływu krzywizny dla budynków istniejących. Autorzy zaproponowali rozwiązanie mające na celu próbę zobrazowania charakteru rozkładu naprężeń w budynku dwusegmentowym obciążonym wpływem krzywizny terenu: wypukłej i wklęsłej. Analizowaną konstrukcję zamodelowano w postaci przestrzennych modeli powłokowych o kształcie bliskim rzeczywistemu obiektowi i cechach materiałowych liniowo-sprężystych. Modelem podłoża był winklerowski analog. Taki inżynierski model pozwala jedynie na uzyskanie rozwiązania zadania w sposób przybliżony. Przeprowadzone analizy skłaniają jednak do refleksji nad problemem uwzględnienia wpływu zmiennej krzywizny terenu na stan naprężeń w konstrukcji z przerwą dylatacyjną.

2. Opis analizowanych konstrukcji i dane eksploatacyjne

Do analiz numerycznych wybrano budynek dwusegmentowy o wymiarach segmentów: 12,7x11,8 m oraz 17,8x10,9 m. Obydwie części są trzykondygnacyjne i powstały w latach dwudziestych ubiegłego wieku. Wykonane zostały w technologii tradycyjnej, murowanej, stropy nad piwnicą wykonano w technologii Kleina, a pozostałe są drewniane. Zdjęcie nr 1 przedstawia południową elewację wraz z widokiem na dylatację (rys. 2).

Budynek zlokalizowany jest w Bytomiu, w strefie aktywnej działalności górniczej. Ściana frontu eksploatacyjnego przebiegała bezpośrednio pod nim i była usytuowana prostopadle do jego osi podłużnych (rys. 3).

W trakcie przejścia frontu eksploatacyjnego wykonywano pomiary krzywizny terenu i krzywizny budynku jednocześnie. Krzywiznę terenu namierzono na linii terenowej zlokalizowanej równolegle do dłuższych – południowych ścian budynku (kolor niebieski - rys. 4). Z kolei krzywiznę budynków mierzono na południowych ścianach zewnętrznych, równoległych do linii terenowej.

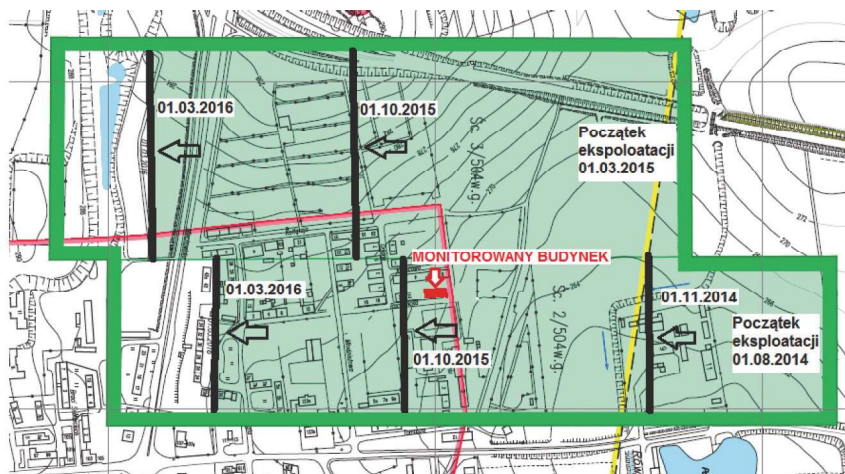
Sposób przeprowadzenia pomiarów oraz wyniki szczegółowo opisano w rozprawie doktorskiej (Kapusta 2017) oraz w (Kapusta, Szojda 2017). Wybrane rezultaty, istotne z punktu widzenia niniejszej pracy przedstawiono poniżej (rys. 5 i 7).

3. Wyniki pomiarów terenowych

Wykres (rys. 5) ukazuje zależność krzywizny budynku wyznaczonej na podstawie pomiaru różnicy nachyleń obydwu segmentów w stosunku do krzywizny terenu w bezpośrednim jego sąsiedztwie.

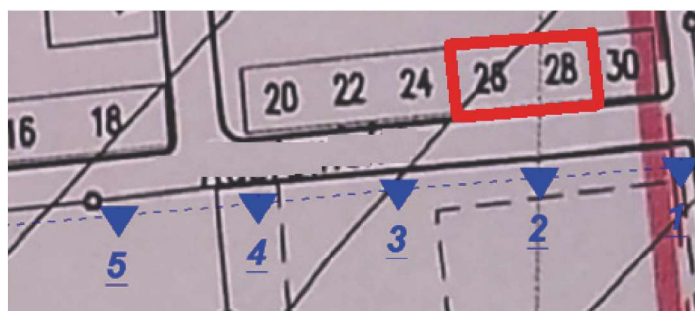


Rys. 2. Południowa elewacja budynku dwusegmentowego wraz z widokiem na dylatację
Fig. 2. The southern elevation of the building along with the view of the dilatation



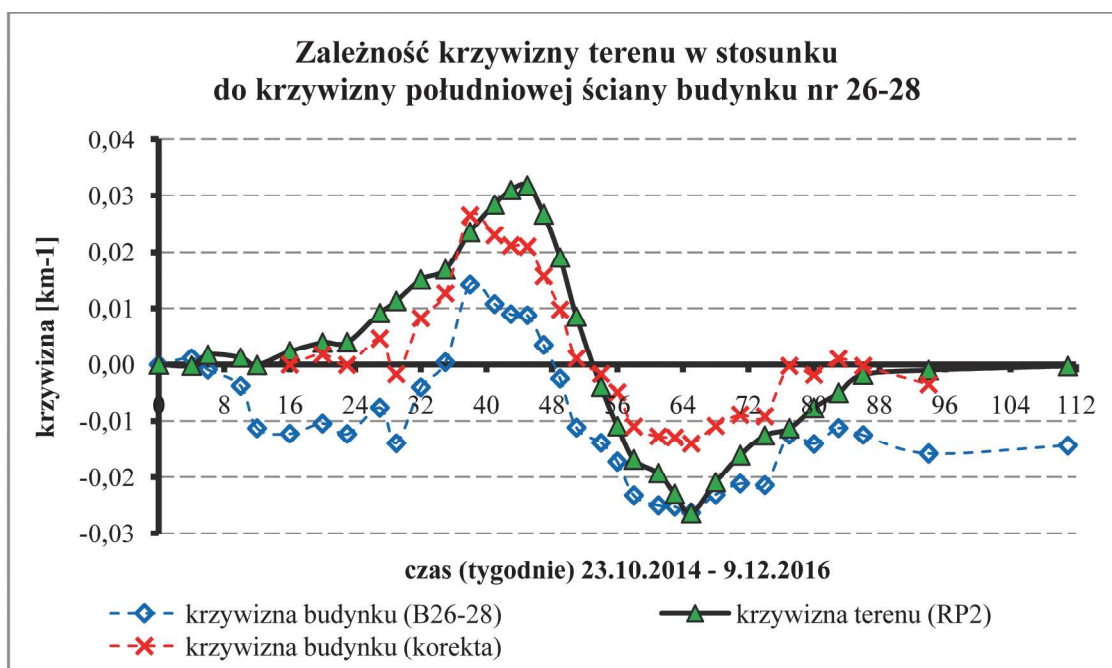
Rys. 3. Lokalizacja budynku względem pola eksploatacyjnego oraz postęp eksploatacyjny w czasie (Dokumentacja...2016)

Fig. 3. The location of the building relative to the mining field and the progress of the exploitation in time (Dokumentacja...2016)



Rys. 4. Lokalizacja linii terenowej względem monitorowanych budynków

Fig. 4. The location of the field line relative to the monitored buildings



Rys. 5. Zmienność zależności krzywizny budynku dwusegmentowego w stosunku do krzywizny terenu w trakcie przejścia frontu eksploatacyjnego (Kapusta 2017)

Fig. 5. The variability of the relation between the curvature of the two-segment building and the curvature of the terrain during the transition of the mining front (Kapusta 2017)



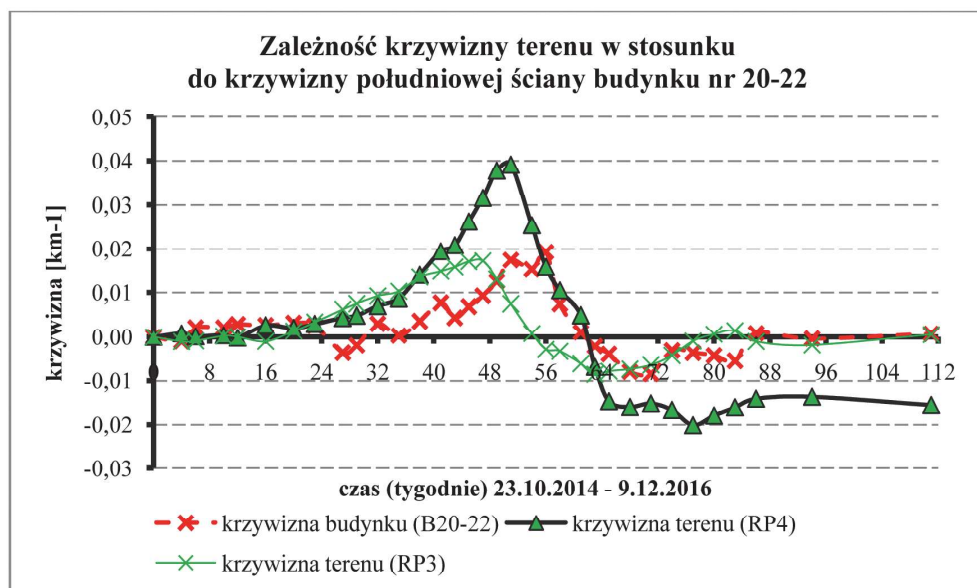
Rys. 6. Wyburzenie segmentu sąsiadującego z analizowanym budynkiem (segment nr 30 – grudzień 2014 rok)
Fig. 6. The demolition of the segment adjacent to the analyzed building (segment no. 30 – December 2014)

Analizując wykres, w pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na pewną anomalię, jaką jest ujawnienie się deformacji obiektu w początkowej fazie prowadzonych prac pomiarowych (niebieska krzywa - rys. 5). Nie jest to zachowanie wymuszone sytuacją terenową, bowiem w tym okresie deformacje podłoża w sąsiedztwie budynku były jeszcze bardzo niewielkie. Widoczny jest tutaj prawdopodobnie wpływ wyburzenia sąsiednich segmentów.

Analizowany w pracy obiekt dwusegmentowy w momencie rozpoczęcia prac pomiarowych stanowił część sześciusegmentowego kompleksu. W trakcie prowadzonych badań terenowych wyburzono segmenty sąsiednie nr 24 i 30 (rys. 4 i 6). Należy przypuszczać, że w momencie wykonywania robót rozbiórkowych mogło dojść do pewnego „rozprężenia” w dylatacji pomiędzy dwoma pozostałymi segmentami, dla których zestawiono wykres (rys. 5). Dlatego też w wynikach ujawnił się pewien obraz zmiany geometrii analizowanego budynku zauważalny pomiarowo, niewywołany wpływem deformacji podłoża, w tym czasie bardzo jeszcze niewielkich. W związku z powstałym zakłóceniem w celu bardziej trafnego odzwierciedlenia rzeczywistości w dalszych analizach na wy-

kres wprowadzono pewną „korektę” (krzywa czerwona -rys. 5). Założono, że „punkt wyjściowy – stan zerowy” deformacji budynku rozpoczyna się dopiero od momentu wyburzenia sąsiednich części (16 tydzień). Ze skorygowanego wykresu wynika, że obiekt dwusegmentowy odkształca się podobnie jak grunt. Krzywizna budynku jest w szerokim zakresie zbliżona do krzywizny terenu. Pomijając fakt skokowego charakteru wykresu (rys. 5), zauważyć można, że obiekt jako całość w znacznej mierze dopasowywał się do kształtu deformującej się powierzchni terenu. Zgodnie z przewidywaniami dochodzi tutaj do swobodnego otwierania się dylatacji (rys. 1) i budynek deformuje się na skutek swobodnych ruchów jego segmentów.

Analizując stosunek krzywizny wklęsłej terenu oraz obiektu, można dostrzec, iż deformacja budynku jest mniejsza niż krzywizna terenu. Wyniki takie mogą zatem sugerować, iż dochodzi do przynajmniej częściowego zamykania się dylatacji na skutek wzajemnego naporu sąsiednich segmentów i dwie teoretycznie niezależne konstrukcje zaczynają pracować jak jeden, długi, niepodzielony obiekt. Jeszcze bardziej to zjawisko jest widoczne na dwóch sąsiednich, niewyburzonych segmentach: nr 20 i 22 (rys 4 i 7).



Rys. 7. Zmienność zależności krzywizny budynku dwusegmentowego 20-22 w stosunku do krzywizny terenu w trakcie przejścia frontu eksploatacyjnego (Kapusta 2017)

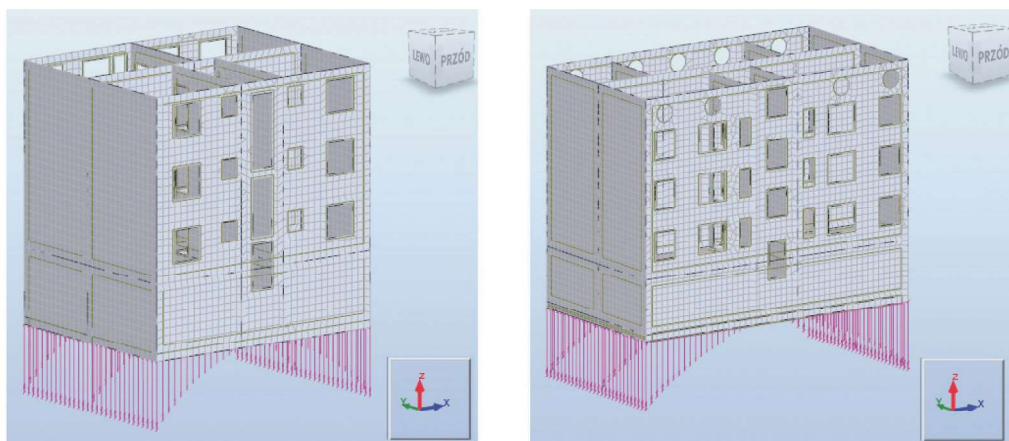
Fig. 7. The variability of the relation between the curvature of the two-segment building no. 20 – 22 and the curvature of the terrain during the transition of the mining front (Kapusta 2017)

Z wykresu (rys. 7) wynika, że obiekt dwusegmentowy rozpatrywany jako jeden budynek tylko w niewielkim zakresie współpracował z deformującym się podłożem reprezentowanym przez punkt nr 4 (rys. 4). Obiekt wygiął się w trakcie wystąpienia krzywizny wypukłej, natomiast w kierunku wklęsłym odkształceń nie zaobserwowano. Mogło tutaj zatem dojść do zamknięcia się dylatacji i ‘uciąglenia’ konstrukcji. Wyniki przedstawione na wykresie (rys. 7) obciążone są jednak pewną nieścisłością. Widać tutaj efekt mocnego zróżnicowania krzywizny powierzchni terenu w bezpośrednim sąsiedztwie budynku 20-22. Na reperze nr 4 (rys. 4) zarejestrowano znacznie większą krzywiznę, zarówno wypukłą jak i wklęsłą niż na RP3 (rys. 7). Różnica jest znaczna, pomimo że oba punkty zlokalizowane są w terenie blisko siebie we wzajemnej odległości ok. 25 metrów. Po raz kolejny można zatem zauważyć, że krzywizna lokalna może być wielkością mocno zróżnicowaną. Warto również podkreślić, że żaden z reperów nie znajduje się na wysokości środka budynku 20-22. Obydwa reprezentują raczej sytuację terenową na dwóch krańcach obiektu. Podobnie jak dla przedmiotowego budynku (26-28), w tym wypadku również trudno na podstawie wyników terenowych jednoznacznie wnioskować, że w budynku wystąpił efekt zamknięcia się dylatacji skutkujący silną współpracą poszczególnych segmentów w fazie krzywizny wklęsłej (rys. 1). Istnieją jednak pewne przypuszczenia, że choć w niewielkim zakresie mogło do tego zjawiska dojść.

4. Model numeryczny budynków

Podejście do numerycznego rozwiązania tego zagadnienia przedstawiono w postaci przeprowadzenia analiz obliczeniowych, w których uwzględniono problem wpływu wypukłej i wklęsłej krzywizny terenu na budynek segmentowy. W celu utworzenia modeli obliczeniowych zastosowano podejście inżynierskie, zalecane przez Instrukcję (ITB 2006). Wykorzystano oprogramowanie ROBOT Autodesk Structural Analysis 2019. Analizując wpływ krzywizny wypukłej na budynek dwusegmentowy, każdy segment rozpatrywano oddzielnie. Modele obliczeniowe po podziale na ES wraz z obciążeniem wynikającym z faktu istnienia krzywizny terenu przedstawia rys. 8.

Budynki zamodelowano jako przestrzenne obiekty powłokowe spoczywające na sprężystym podłożu. Cechy materiałowe zadano jako liniowo sprężyste. Parametry materiałowe przyjęte do analiz wykonano na podstawie badań makroskopowych dla ekspertyz zleconych przez kopalnię.



Rys. 8. Modele obliczeniowe po podziale na ES dla obydwu segmentów budynku zdylatowanego w fazie krzywizny wypukłej

Fig. 8. The numerical models after the division into the finite elements for the both segments of the building dilated in the convex curvature phase

- Parametry materiałowe przyjęte do analizy:
- wytrzymałość muru na ściskanie $f_k=2,2$ MPa,
 - ciężar objętościowy muru $\gamma=18$ kN/m³,
 - długotrwały moduł sprężystości muru $E=910$ MPa.

W analizie nie uwzględniono stropów drewnianych oraz dachu ze względu na znikomą sztywność tego typu elementów, która w niewielkim stopniu wpływa na konstrukcję budynku.

W poziomie posadowienia budynku znajduje się glina w stanie twardo-plastycznym i taki grunt przyjęto do analiz.

Parametry podłoża przyjęte do analiz:

- stopień plastyczności $I_L=0,2$,
- kąt tarcia wewnętrznego $\phi=18^\circ$,
- spójność $c=32$ kPa.

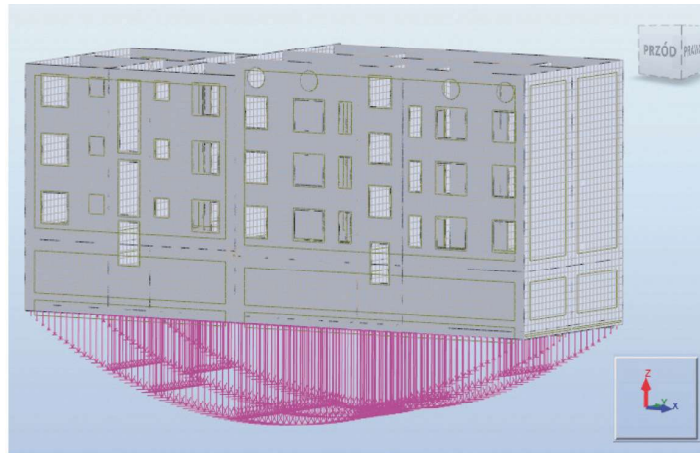
Model krzywizny terenu wykonano według wytycznych (ITB 2006), które pozwalają na przyłożenie krzywizny do modelu budynku w postaci pionowych przemieszczeń wymuszonych, zadanych w sprężystych węzłach podporowych imitujących grunt. Co godne podkreślenia, w zadaniu modelowano maksymalną krzywiznę terenu o promieniu odpowiadającym wynikom pomiarów geodezyjnych, a zatem zgodną z rzeczywistymi deformacjami podłoża. Podczas prac pomiarowych oprócz krzywizny wykonywano też pomiar odkształceń poziomych powierzchni terenu. Fakt ten również uwzględniono w obliczeniach, przykładając naprężenia styczne pod podstawami fundamentów według (ITB 2006). Oprócz uwzględnienia wpływów górniczych model budynków poddano także obciążeniu wynikającemu z ciężaru własnego i użytkowego. Uwzględniono w ten sposób wszystkie oddziaływania dla analizowanych w obliczeniach budynków. Budowę modeli szczegółowo omówiono w pracy doktorskiej (Kapusta 2017).

Analizując budynek w fazie krzywizny wklęsłej, zamodelowano go jako obiekt ciągły (rys. 9).

Takie podejście z punktu widzenia inżynierskiego stoi po stronie bezpiecznej. Ewentualne wyniki naprężeń są tutaj bowiem zawyżone. O zasadności takiego rozwiązania po części opowiadają się również wyniki pomiarów polowych przedstawione w punkcie 3.

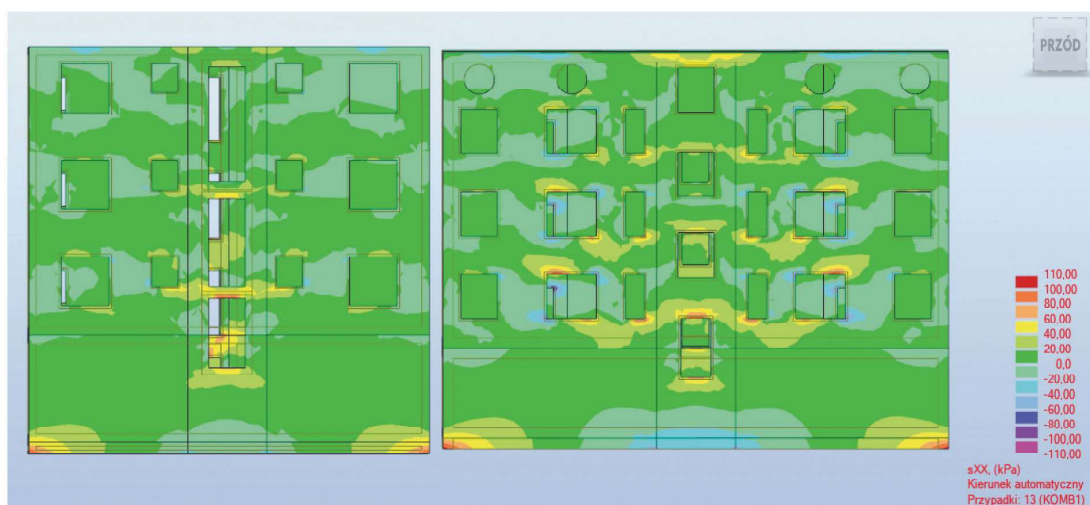
5. Wyniki obliczeń numerycznych

Analizując wielkość naprężeń poziomych w obydwu modelach (dla krzywizny wypukłej i wklęsłej), w pierwszej kolejności zwrócono uwagę na fakt, iż w fazie krzywizny wypukłej wielkości naprężeń są mniejsze (rys. 10 i 11).



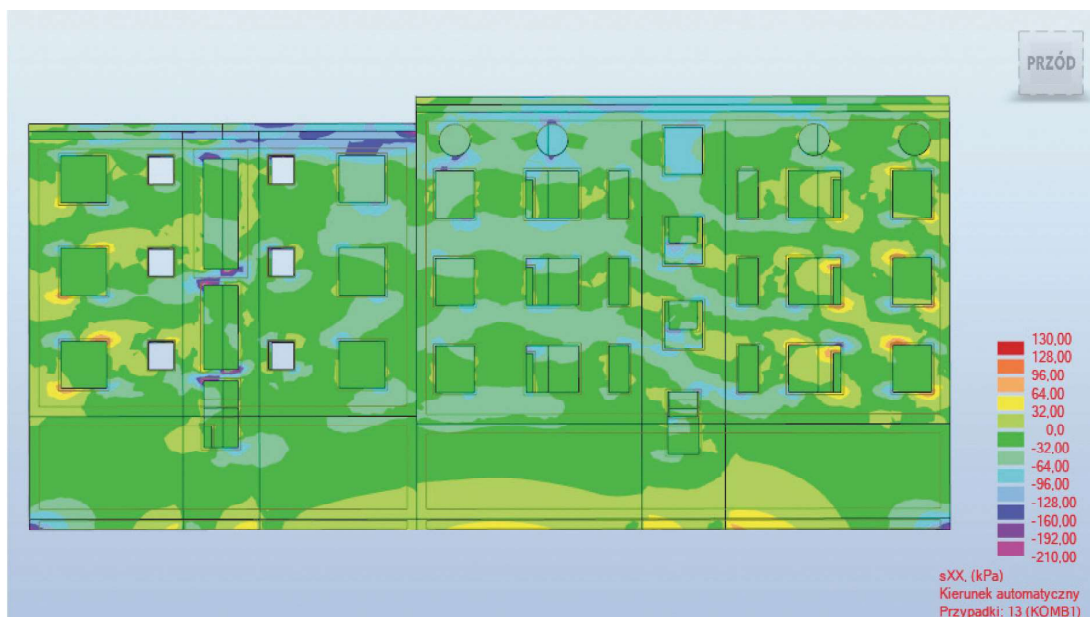
Rys. 9. Model obliczeniowy po podziale na ES dla budynku zdylatowanego w fazie krzywizny wklęsłej

Fig. 9. The numerical model after the division into the finite elements for the building dilated in the concave curvature phase



Rys. 10. Mapa naprężeń poziomych dla budynku dwusegmentowego w fazie krzywizny wypukłej (segmenty rozpatrywano oddzielnie)

Fig. 10. The map of horizontal stresses for the two-segment building in the convex curvature phase (the segments were considered separately)



Rys. 11. Mapa naprężeń poziomych dla budynku dwusegmentowego w fazie krzywizny wklęsłej (segmenty rozpatrywano jako budynek ciągły)

Fig. 11. The map of horizontal stresses for the two-segment building in the concave curvature phase (the segments were considered as a continuous building)

Oczywiście wynika to bezpośrednio z faktu, iż w tym wypadku analizowano pojedyncze segmenty, które są obiektami krótszymi niż cały kompleks rozpatrywany w fazie krzywizny wklęsłej. Podkreślić należy natomiast, iż w trakcie prac polowych zaobserwowano bardzo zbliżone wartości promienia krzywizny terenu w fazie wypukłej i następnie wklęsłej (rys. 5), stąd uzyskane wielkości naprężeń (rys. 10 i 11) są wolne od zniekształceń, które powstałyby przy zróżnicowanej wielkości krzywizny terenu dla obydwu modeli. Analizując charakter naprężeń, należy zwrócić uwagę, iż krzywizna wypukła skutkuje pojawieniem się naprężeń rozciągających (szczególnie niebezpiecznych dla kruchej struktury murowej) w górnych partiach ścian oraz w narożnikach okiennych. Tym samym stanowi ona zagrożenie dla bezpieczeństwa konstrukcji. Tradycyjne, mieszkalne budynki o konstrukcji murowej pozbawione są elementów żelbetowych, skutecznie przenoszących obciążenia powstałe od oddziaływań górniczych. Poza tym ściany budynków tradycyjnych na wyższych kondygnacjach mają często cieńszą grubość. Właśnie te fragmenty konstrukcji są szczególnie narażone na wpływ krzywizny wypukłej. Z rysunku 10 wynika, iż w dłuższym segmencie naprężenia w górnych partiach ścian są większe niż w krótszej części. To pokazuje zasadność rozdzielania konstrukcji na krótsze części przy zastosowaniu dylatacji.

Z rysunku 11 wynika, iż na skutek potencjalnego zamknięcia się dylatacji wykonanej na styk i uciągnięcia konstrukcji może dojść do dużych koncentracji naprężeń rozciągających w narożnikach otworów okiennych (rys. 11) o wartościach większych niż w fazie krzywizny wypukłej (rys. 10). Poza tym dla obiektów o znacznej długości (kilkusegmentowych) dochodzić może również do znacznego wzrostu naprężeń ściskających w górnych partiach ścian (rys. 11). W pracy analizowano tylko dwa segmenty, zgodnie z faktycznym kształtem obiektu. Przed wyburzeniami budynek stanowił jednak sześciusegmentowy kompleks o dylatacjach bez szczelin. Wystąpienie krzywizny wklęsłej, nawet tak niewielkiej jak ta zaobserwowana w trakcie prac pomiarowych (I kategorii), stanowiło potencjalne zagrożenie dla struktury budynku w przypadku zaciśnięcia się dylatacji międzysegmentowych i wzajemnego naporu poszczególnych części. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż podczas oględzin konstrukcji nie stwierdzono żadnych wyraźnych zarysowań i uszkodzeń, co mogłoby sugerować, iż przeprowadzone analizy ukazują nieco zawyżony stan naprężeń. Jest to dość typowa cecha charakterystyczna dla modeli inżynierskich.

6. Podsumowanie

Z punktu widzenia inżynierskiego dość problematyczne może okazać się modelowanie budynku segmentowego na terenach o zmiennej krzywiznie. Szczególnie w przypadku częściowo zaciśniętych dylatacji. Teoretycznie większe zagrożenie dla konstrukcji budynku stanowi krzywizna wy-

pukła. Jednakże wklęsłe wygięcie terenu może okazać się czynnikiem decydującym o wyczerpaniu nośności elementów konstrukcji, w przypadku istnienia szczelin dylatacyjnych o niedostatecznych szerokościach.

Uzyskane wyniki pomiarów polowych potwierdzają fakt, że przy ujawnianiu się deformacji terenu wywołanych przesuwanym się frontem eksploatacyjnym najpierw występuje wypukła część krawędzi niecki, a następnie wklęsła. Dylatacja wykonana „na styk” w pierwszej fazie ulegnie otwarciu, ale w momencie pojawiania się wklęsłej krzywizny dojdzie do przynajmniej częściowego zamknięcia się dylatacji, co może wywołać obrazowe uciągnięcie budynku. Wykonane analizy numeryczne sugerują, iż w przypadku zamknięcia dylatacji w fazie krzywizny wklęsłej może dochodzić do niebezpiecznej koncentracji naprężeń rozciągających w narożnikach otworów okiennych, jak również do dużego ściskania górnych partii ścian.

Celem artykułu jest przede wszystkim dyskusja nad zasadnością i sposobem modelowania budynku segmentowego zlokalizowanego na terenie o zmiennej krzywiznie. Z przedstawionych analiz i uzyskanych wyników należy wnioskować, że występowanie długich, kilkusegmentowych budynków w fazie krzywizny wklęsłej może doprowadzić do wyczerpania nośności elementów konstrukcyjnych. Uwzględnienie tego wpływu deformacji podłoża może okazać się zatem niezbędne przy ocenie bezpieczeństwa konstrukcji o dużej długości i nieprzystosowanych do tego typu wpływów.

Literatura

- Dokumentacja** górnicza, KWK Bobrek-Centrum, Bytom 2016.
- ITB** - Instytut Techniki Budowlanej 416/2006, Projektowanie budynków na terenach górniczych. Warszawa 2006.
- KAPUSTA Ł., 2017 - Analiza deformacji budynków mieszkalnych na terenach górniczych. Praca doktorska, Gliwice.
- KAPUSTA Ł., SOJDA L. 2017 - Wpływ zmiennej krzywizny terenu przy przejściu frontu eksploatacyjnego na stan techniczny wielorodzinnego budynku mieszkalnego. „Przeгляд Górnicy” 12, s. 63-74.
- KULCZYCKI Z., PIĄTKOWSKI W. 2010 - Naprawa szkód powodowanych ruchem zakładów górniczych w 2009 roku. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, nr 9.
- KWIATEK J. 2007 - Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydanie II zmienione i rozszerzone. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- MAJEWSKI S., KLEMCZAK B., SOJDA L. 1998 - Zasady zabezpieczenia istniejących budynków przed szkodami górniczymi. Prace naukowe Głównego Instytutu Górnictwa. Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi. Katowice.
- SOJDA L. 2019 - Aspekty konstrukcyjne zabezpieczenia budynków na terenach górniczych. Monografia, Gliwice.
- https://www.wnp.pl/gornictwo/polska-grupa-gornicza-wyda-blisko-155-mln-zl-na-likwidacje-szkod-gornicznych,320696_1_0_0.html

Artykuł wpłynął do redakcji – listopad 2019
Artykuł akceptowano do druku – 25.01.2020