

PRACE NAUKOWE
**GŁÓWNEGO
INSTYTUTU
GÓRNICTWA**



G I G

NO

881

Marek ROTKEGEL, Sławomir BOCK, Marcin WITEK

Analiza wybranych sposobów pełnego wykorzystania
parametrów nośnościowych portalowej obudowy
odgałęzienia

KATOWICE 2010

**Prace Naukowe
Głównego Instytutu Górnictwa**

STUDIA – ROZPRAWY – MONOGRAFIE

Nr 881

Marek ROTKEGEL, Sławomir BOCK, Marcin WITEK

**Analiza wybranych sposobów pełnego wykorzystania
parametrów nośnościowych portalowej obudowy
odgałęzienia**

**ANALYSIS OF SELECTED METHODS OF COMPLETE
USE OF LOAD-BEARING CAPACITY PARAMETERS
OF JUNCTION'S PORTAL SUPPORT**

KATOWICE 2010

Rada Programowa ds. Wydawnictw: *prof. dr hab. inż. Jakub Siemek (przewodniczący), prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, prof. dr hab. inż. Andrzej Maranda, prof. dr hab. inż. Korneliusz Miksch, prof. dr hab. inż. Joanna Pinińska, prof. dr hab. inż. Krystian Probiez, prof. dr hab. inż. Czesława Rosik-Dulewsko, prof. dr hab. inż. Janusz Roszkowski, prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś*

Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: *dr hab. inż. Jan Wachowicz, prof. GIG (przewodniczący), prof. dr hab. inż. Krystyna Czaplicka-Kolarz (zastępca przewodniczącego), dr hab. inż. Grzegorz Mutke, prof. GIG, prof. dr hab. inż. M. Jacek Łączny, dr hab. inż. Józef Kabiesz, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk, mgr Małgorzata Zielińska*

Recenzent

prof. dr hab. inż. Władysław Konopko

Redakcja wydawnicza

Ewa Gliwa

Redakcja techniczna, korekta

Barbara Dusik

Małgorzata Kuśmirek-Zegadło

Skład i łamanie

Krzysztof Gralikowski

ISSN 1230-2643

Printed in Poland

All rights reserved

Copyright by Główny Instytut Górnictwa

Sprzedaż wydawnictw Głównego Instytutu Górnictwa prowadzi

Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych

tel. 32-259-24-03, 32-259-24-04, e-mail: m.kusmirek@gig.eu

wydawnictwa.gig.eu

Katowice, GIG 2010. Wyd. 1. Nakład 70 egz. Ark. wyd. 2,7. Format B5.

Wpłynęło do redakcji: 10.02.10. Podpisano do druku: 15.09.10. Druk ukończono: 20.10.10.

Nr 881. Cena 59,00 zł

Druk: Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych Głównego Instytutu Górnictwa

Oprawa: Zakład Poligraficzny „Węglogryf”, Katowice

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	7
1. Stan wyężenia zasadniczej konstrukcji portalowej obudowy odgaęzienia	9
2. Sposoby poprawy stanu wyężenia konstrukcji	13
2.1. Stabilizacja portalu i pełny odpór ociosów	13
2.2. Modyfikacja kształtu portalu	18
2.3. Wzmacnianie belek wspornika	27
2.4. Wzmacnianie narożnika odgaęzienia.....	34
2.4.1. Wyniki obliczeń numerycznych dla górotworu I.....	40
2.4.2. Wyniki obliczeń numerycznych dla górotworu II	43
2.4.3. Wyniki obliczeń numerycznych dla górotworu III	47
2.4.4. Analiza wyników	50
3. Podsumowanie i wnioski.....	52
Literatura	54

Streszczenie

Szeroko stosowaną w Polsce obudową skrzyżowań i odgałęzień wyrobisk korytarzowych jest konstrukcja portalowa. Do zapewnienia optymalnego rozkładu obciążenia niezbędna jest jej prawidłowa stabilizacja. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań wybranych sposobów zapewniania stateczności oraz pełnego wykorzystania parametrów nośnościowych obudowy odgałęzienia.

Poprawę stateczności konstrukcji można uzyskać poprzez zapewnienie pełnego oporu ociosów. Przyjęty w analizach schemat podparcia pozwala na poprawę stanu wyężenia konstrukcji oraz zmniejszenie jej deformacji. Innym sposobem poprawy stabilizacji konstrukcji jest jej przykotwienie. Ważne jest przy tym, aby obliczone wymagane wartości sił stabilizujących mogły być przeniesione przez zastosowane elementy (kotwie). Wymaga to także odpowiedniego przystosowania konstrukcji – na przykład zaprojektowanie specjalnych uch mocowanych na belkach obudowy.

Pełne wykorzystanie parametrów nośnościowych obudowy odgałęzienia może być również osiągnięte przez wzmocnienie jej najbardziej wyężonych fragmentów. Polega to na zastosowaniu dodatkowych blach nakładkowych spawanych w miejscach, w których mogą być przekroczone dopuszczalne naprężenia. W badaniach porównano różne sposoby modelowania połączenia spawanego blachy nakładkowej z belką oraz analizowano wpływ spoin otworowych zastosowanych w wyżej wymienionym połączeniu.

Doskonałe wyniki poprawy stanu wyężenia konstrukcji można uzyskać przez modyfikację kształtu konstrukcji zasadniczej. Umożliwia to zmniejszenie jej niekorzystnego wychyleń. W ramach badań przeprowadzono analizę porównawczą konstrukcji leżących w płaszczyznach przecinających się pod kątami 20° i 40° .

Pośrednim sposobem na poprawę stanu wyężenia konstrukcji jest zmniejszenie oddziaływania górotworu na obudowę. Analizy, z zastosowaniem programu FLAC3D, przeprowadzono w trzech wariantach dla jednorodnego górotworu o zróżnicowanych parametrach wytrzymałościowo-deformacyjnych. Poprawę stanu wyężenia obudowy można uzyskać przez wzmocnienie naroża – najbardziej wyężonego fragmentu górotworu wokół połączeń wyrobisk. Potwierdzają to wyniki badań modelowych oraz obserwacje dołowe.

Słowa kluczowe: *bezpieczeństwo; górnictwo; podporność; obudowa chodnikowa; skrzyżowanie; wytrzymałość; projekt.*

Abstract

The commonly used in Poland supports for roadways junctions and intersections are portal constructions. Their proper stabilization is necessary to allow optimal load distribution. This work presents the results of model tests of selected methods of stability assurance and complete use of load-bearing capacity of portal constructions.

The improvement of construction's stability can be obtained, for example, through the assurance of full side wall's resistance. The scheme of support adopted in analyses allows to improve the strain state of the construction and to reduce it's deformation. Another way to improve the stabilization is to anchor the support. It is important in this case, that the calculated required values of forces stabilizing the construction could be transferred through the applied elements (bolts). It requires also appropriate construction's adaptation – for example special ears mounted on the support's beams.

The complete use of load-bearing capacity of portal constructions could be also achieved through the reinforcement of it's most strained elements. This consists in the application of additional cover sheets welded in places where permitted stresses can be exceeded. In the tests different methods of modelling of welded cover sheet connection with the beam were compared. Moreover, the influence of use of plug welds in the connection mention above were checked.

Excellent results in the improvement of the construction's strain state can be obtained through the modification of shape of basic construction. The allow to reduce an unfavourable deflection of the support. In the framework of tests a comparative analysis of constructions was carried out, in which the support lies in planes intersecting at angles of 20° and 40°.

An indirect method of improvement of the construction's strain state is the decrease of rock mass influence on the support. Analyses, using the FLAC3D program, were carried out in three variants for the homogeneous rock mass with different strength and deformation parameters. The improvement can be obtained through the reinforcement of the corner – the most strained rock mass fragment around the connection of mine workings. The results of model tests and underground observations confirm the improvement of the construction's strain state.

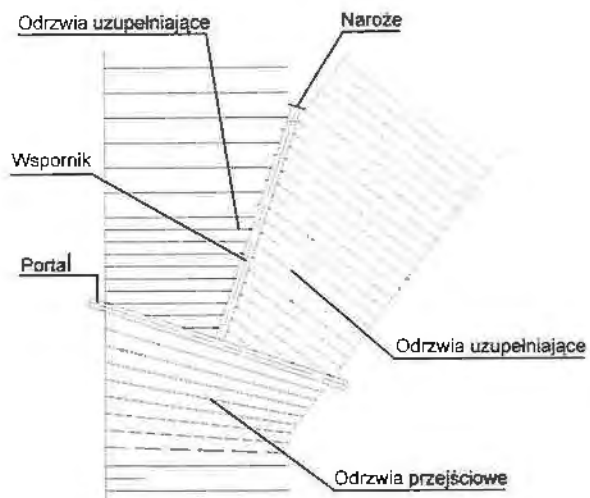
Key words: *safety; mining; load-bearing capacity; roadway support; crossing; strength; project.*

Wprowadzenie

Spełnienie podstawowych zadań obudowy wyrobisk korytarzowych wymaga jej zastosowania zgodnego z przeznaczeniem, co powinno być uwzględniane już w procesie projektowo-konstrukcyjnym. Pozwala to na pełne wykorzystanie parametrów wytrzymałościowych elementów, przez co obudowa staje się tańsza, a zabezpieczenie wyrobiska efektywniejsze. W każdym przypadku rozumie się przez to między innymi właściwe podparcie i obciążenie poszczególnych odrzwi. W przypadku typowej obudowy łukowej wyrobisk korytarzowych ważne jest zapewnienie jej pełnego kontaktu z otaczającym górotworem oraz właściwej stabilizacji odrzwi. Istnieją jednak obudowy, w przypadku których spełnienie powyższego postulatu, jest warunkiem koniecznym, lecz niewystarczającym do ich właściwej pracy. Przykładem mogą być szkieletowe obudowy połączeń wyrobisk korytarzowych.

Najczęstszym połączeniem wyrobisk korytarzowych jest odgałęzienie jednostronne, pod ostrym kątem. W szczególnym przypadku połączenie wyrobisk prostoliniowych przyjmuje w rzucie pionowym kształt nieco zdeformowanej litery Y. Możliwe jest także połączenie wyrobisk rozwidlających się łukowo. Obudowa odgałęzienia w wykonaniu tradycyjnym (palmowym) składa się z wieloelementowych łukowych odrzwi podatnych, których szerokość zwiększa się w miarę zbliżania się do naroża odgałęzienia. Znaczne gabaryty odrzwi stosowanych w miejscu największej szerokości odgałęzienia i powiązana z tym mniejsza ich nośność występują w najszerszym miejscu wyrobiska, w którym oddziaływanie górotworu na obudowę jest największe. Często wymusza to maksymalne zagęszczenie odrzwi. Alternatywnym rozwiązaniem jest obudowa portalowa dokładnie dopasowana do gabarytów łączących się wyrobisk. W przypadku odgałęzienia składa się ona ze szkieletowej konstrukcji zasadniczej oraz odrzwi przejściowych i uzupełniających. Konstrukcję zasadniczą tworzy portal rozpięty ponad strefą połączenia wyrobisk oraz połączony z nim wspornik, usytuowany w płaszczyźnie przenikania się wyrobisk. Zespoły te składają się z belek dwuteowych lub skrzynkowych łączonych śrubami. Do wspornika są dopięte odrzwia uzupełniające, natomiast przestrzeń przed portalem zabezpieczają odrzwia nazywane przejściowymi. Wszystkie te elementy są indywidualnie projektowane z uwzględnieniem kształtu i gabarytów połączenia oraz warunków geologiczno-górnictwowych panujących w miejscu przyszłej zabudowy. Podstawowe zadania takiej obudowy spełnia konstrukcja zasadnicza, przenosząc tym samym przeważającą część obciążeń pochodzących od górotworu. Odrzwia natomiast stanowią ważne uzupełnienie konstrukcji, przenosząc obciążenia częściowo na wspornik, a częściowo na spąg (Rotkegel 2003; Stałęga 2001).

Obudowa taka skutecznie zabezpiecza wyrobiska korytarzowe w strefie ich odgałęzienia. Właściwie zaprojektowana konstrukcja w porównaniu z tradycyjną obudową typu palmowego ma wiele zalet. Najważniejsze z nich to korzystne zewnętrzne wymiary pozwalające na zminimalizowanie wysokości wyłomu w narożu odgałęzienia oraz zwiększona nośność obudowy. Schematycznie przykładową opisaną wyżej konstrukcję przedstawiono na rysunku 1.

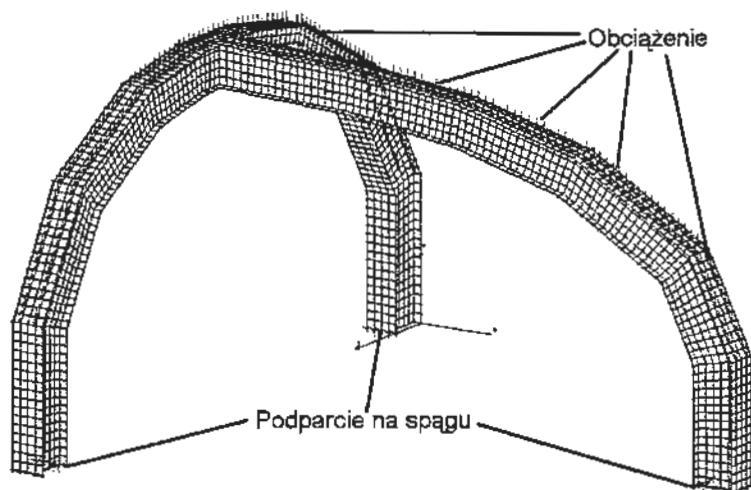


Rys. 1. Przykładowa obudowa odgałęzienia wyrobisk korytarzowych

1. Stan wyężenia zasadniczej konstrukcji portalowej obudowy odgaęzenia

Postać i kształt obudowy odgaęzenia, wynikające z parametrów geometrycznych połączenia wyrobisk, są ściśle powiązane ze stanem obciążenia konstrukcji i wynikającego z niego stanu wyężenia poszczególnych elementów obudowy. Generalnie można stwierdzić, że wraz ze wzrostem wartości obciążeń wzrastają naprężenia wygenerowane w konstrukcji. W celu przeniesienia spodziewanych obciążeń i zapewnienia bezpiecznej pracy takiej obudowy, w procesie projektowo-konstrukcyjnym dobiera się postać geometryczną szkieletu (proporcje między portalem a wspornikiem), kształtowniki na konstrukcję zasadniczą i odrzwia oraz podziałkę odrzwia. Najczęściej na konstrukcję zasadniczą stosuje się dwuteownik szerokostopowy IPB450, IPB500 lub IPB550, a w szczególnie trudnych warunkach geologiczno-górnich przekrój skrzynkowy 550 × 400. Odrzwia, wykonane najczęściej z kształtowników V32 i V36, rzadziej V29, są natomiast zabudowywane w rozstawie 0,4–0,6 m. W skrajnie niekorzystnych przypadkach stosuje się rozstawy mniejsze, nawet 0,33 m. Oprócz obciążeń działających na obudowę, wywołanych bezpośrednio przez górotwór, generowane są siły wynikające z postaci obudowy odgaęzenia. Pionowe obciążenie górotworem, działające na wspornik bezpośrednio lub przez odrzwia uzupełniające, powoduje wygenerowanie składowej normalnej do płaszczyzny portalu, działającej na portal w miejscu jego połączenia ze wspornikiem. Oddziaływanie to może powodować przemieszczenie (odchylenie) portalu z pierwotnej płaszczyzny zabudowy. Ponadto, obciążenie pionowe działające na konstrukcję powoduje jej deformacje, między innymi zwiększenie rozpiętości portalu. O wielkości tych dodatkowych obciążeń oraz ich skutkach można się przekonać, analizując między innymi wyniki badań wytrzymałościowych konstrukcji zasadniczej obudowy odgaęzenia.

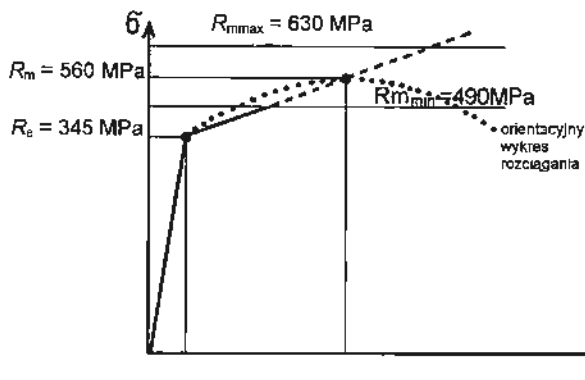
Badania takie przeprowadza się jako modelowe. Z uwagi na wielkość całej konstrukcji i wynikającą stąd cenę nie mogą być brane pod uwagę niszczące badania stanowiskowe. Jedynym sposobem weryfikacji wytrzymałościowej zaprojektowanej konstrukcji są zatem symulacje komputerowe najczęściej przeprowadzane metodą elementów skończonych (Chmielewski, Nowak 1996; Dyląg, Jakubowicz, Orłoś 1996; Rakowski 1996), na przykład za pomocą programu COSMOS/M (User's Guide... 1999; Rusiński 1994). Dla tego typu analizy jest konieczne zbudowanie odpowiedniego modelu, który jak najwierniej odzwierciedli parametry geometryczne i fizyczne modelowanego ustroju. Powstaje więc przestrzenny model, najczęściej składający się z kilku tysięcy czterowęzłowych elementów powłokowych typu SHELL4T, opisanych na podobnej liczbie węzłów. Model podpira się w miejscach styku ze spągkiem, a następnie poddaje się działaniu sił, jakimi oddziaływać będzie górotwór na rzeczywistą konstrukcję. Uwzględnia się także fakt, że część obciążenia przenoszą odrzwia. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy model konstrukcji zasadniczej wraz z zaznaczonym sposobem podparcia i obciążenia.



Rys. 2. Model konstrukcji zasadniczej obudowy odgałęzienia z zaznaczonym sposobem podparcia i obciążenia

Analiza wytrzymałościowa konstrukcji zasadniczej obudowy odgałęzienia najczęściej jest prowadzona w kilku etapach. W pierwszym etapie wykonuje się badania w zakresie liniowym. Często w niektórych fragmentach konstrukcji pod wpływem przewidywanych obciążeń ze strony górotworu występują naprężenia przekraczające granicę wytrzymałości materiału, przy jednoczesnym występowaniu znacznych obszarów obciążonych nieznacznie. Celowe jest wtedy rozszerzenie analizy o badania nieliniowe z uwzględnieniem charakterystyki materiału, a przez to redystrybucji naprężeń w rzeczywistym obiekcie. Dzięki temu jest możliwe uwzględnienie, tzw. plastycznej rezerwy materiału oraz znaczne zwiększenie dokładności symulacji i obliczeń. W tych przypadkach podstawę analizy wytrzymałościowej projektowanej konstrukcji stanowią badania w zakresie nieliniowym.

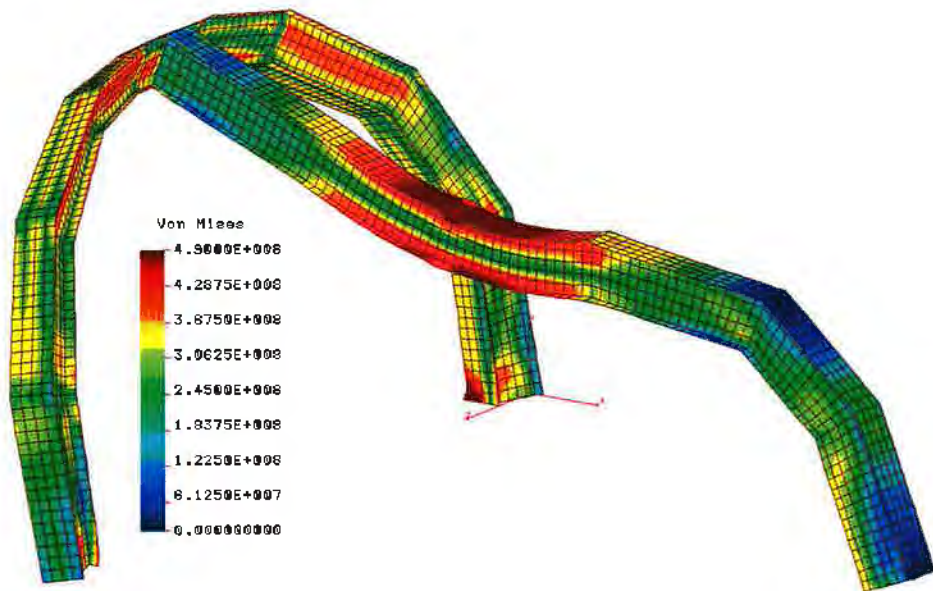
Konstrukcji szkieletowej nadaje się parametry materiałowe odpowiadające stali, z której jest wykonana konstrukcja, przy czym wykres rozciągania przybliża się najczęściej dwiema liniami, tworząc model materiału sprężysto-plastycznego z umocnieniem liniowym (Rakowski, Kacprzyk 1996). Przykładową krzywą materiałową stali 18G2A, z której jest wykonywana konstrukcja zasadnicza, przedstawiono na rysunku 3. Punktami charakterystycznymi są: granica plastyczności ($R_e = 345$ MPa) oraz wytrzymałość materiału na rozciąganie ($R_m = 560$ MPa), przyjęta jako średnia wartość z zakresu między minimalną a maksymalną wytrzymałością ($R_{m18G2A} = 490\text{--}630$ MPa).



Rys. 3. Biliniowy model materiału

Z analizą nieliniową bezpośrednio jest związany iteracyjny charakter obliczeń numerycznych. Podczas analizy prowadzonej za pomocą zmodyfikowanej metody Newtona-Raphsona (MNR) (Rakowski, Kacprzyk 1996), model jest obciążany stopniowo od zera do założonej wartości (odpowiadającej obciążeniom górotworem). Program automatycznie rozpoznaje w jakim punkcie charakterystyki znajduje się każdy z elementów i nadaje im właściwe parametry opisane pierwszą bądź drugą linią powyższej charakterystyki.

W wyniku obliczeń otrzymuje się rozkład naprężeń zredukowanych oraz zdeformowaną postać modelu obudowy odgałęzienia. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy rozkład naprężeń zredukowanych w konstrukcji podpartej jedynie na spągu. W prezentowanym przykładzie maksymalne naprężenia przekraczają minimalną granicę wytrzymałości $R_{m\min}$, osiągając 522,8 MPa i są głównie zlokalizowane w połowie rozpiętości wspornika. Skutkiem tak dużej wartości naprężeń jest uszkodzenie konstrukcji. Ponadto, wyraźnie daje się zauważyć oddziaływanie wspornika na portal, powodujące znaczne jego przemieszczenia. Powstałe deformacje modelu grożą utratą stateczności całej konstrukcji. Konieczne jest zatem zastosowanie i uwzględnienie w obliczeniach, a później w zabudowie, środków pozwalających na ograniczenie opisanych wyżej skutków.



Rys. 4. Rozkład naprężeń [Pa] i zdeformowana postać modelu
(zakres naprężeń $0-R_{\text{min}}$, skala deformacji $1\times$)

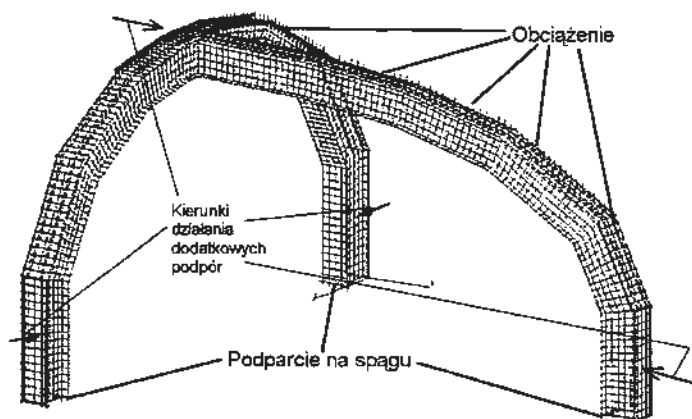
W celu poprawy stanu wyężenia i ograniczenia deformacji przykładowa konstrukcja musi zostać przeprojektowana; najczęściej prowadzi to do znacznego zwiększenia jej masy, a zarazem ceny. Możliwe są jednak inne sposoby poprawiania stanu deformacyjno-obciążeniowego obudowy.

2. Sposoby poprawy stanu wyęczenia konstrukcji

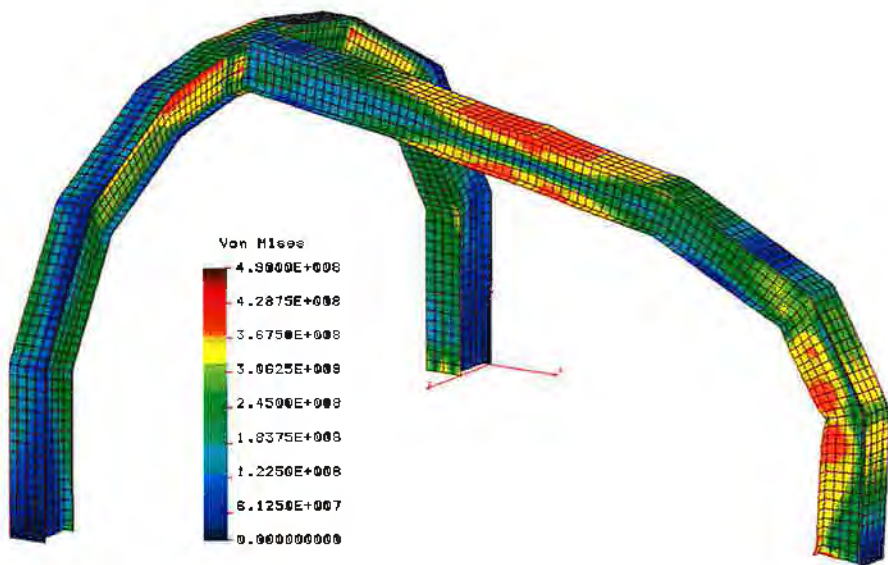
2.1. Stabilizacja portalu i pełny odpór ociosów

Uzyskiwane podczas analizy wytrzymałościowej zdeformowane postacie konstrukcji oraz rozkłady naprężeń w większości przypadków wskazują na konieczność wprowadzenia dodatkowych podpór, między innymi uniemożliwiających przemieszczanie się portalu. Sytuacja taka wystąpiła także w prezentowanym przykładzie. Na rysunku 5 przedstawiono podparte miejsca i kierunki działania dodatkowych podpór. Założono podparcie portalu oraz segmentów upodatniających na ociosach tak, aby uniemożliwić zwiększenie ich rozpiętości, a ponadto zablokowano przemieszczenia portalu w części przystropowej. Takie podparcie wpływa na wyraźne zmniejszenie wyęczenia modelu, co w identycznej skali przedstawiono na rysunku 6. Maksymalne naprężenia występują, jak poprzednio, w połowie rozpiętości wspornika, lecz ich wartość została znacznie zredukowana do 429,1 MPa. Deformacje modelu natomiast są niezauważalne.

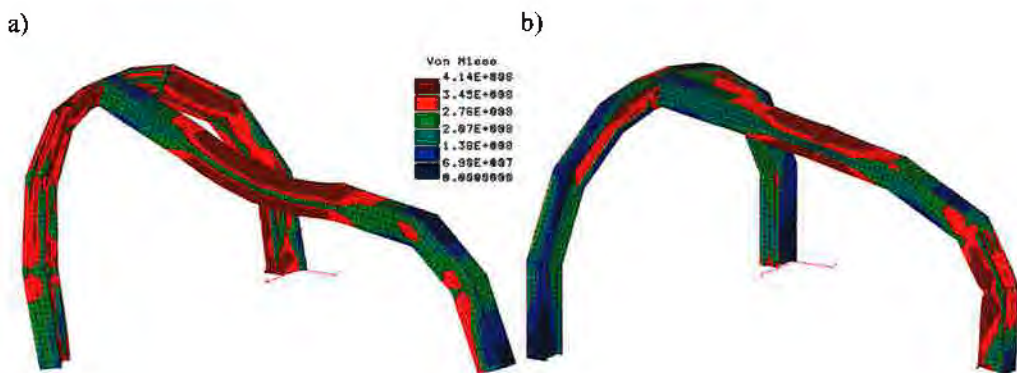
Z powyższego wynika, że wprowadzenie dodatkowego podparcia obudowy powoduje zmniejszenie deformacji oraz zmniejszenie stanu wyęczenia konstrukcji. Daje to zmniejszenie wartości naprężeń zredukowanych oraz ograniczenie stref uplastycznienia materiału, w których $\sigma_{red} > 345$ MPa. Na rysunku 7 kolorem bordowym zaznaczono zasięg stref uplastycznienia w obu modelach – bez dodatkowego podparcia oraz z dodatkowym podparciem stabilizującym portal. Należy jednak zaznaczyć, że mimo znacznego zmniejszenia wyęczenia konstrukcji po podparciu portalu, wartości naprężeń w prezentowanym przykładzie, w dalszym ciągu są znaczne, a najbardziej wyęzione miejsca konstrukcji wymagają wzmocnień.



Rys. 5. Dodatkowe podparcie konstrukcji



Rys. 6. Rozkład naprężeń [Pa] i zdeformowana postać modelu z dodatkowo podpartym portalem (zakres naprężeń 0– $R_{m \min}$, skala deformacji 1×)



Rys. 7. Porównanie uplastycznionych stref konstrukcji wyjściowej (a) oraz z dodatkowym podparciem portalu (b)

W związku z powyższym, ważnym zagadnieniem jest uwzględnienie w trakcie zabudowy założeń przyjętych w badaniach modelowych, biorąc pod uwagę lokalne warunki geologiczno-górnictwe i możliwości techniczne. W większości przypadków dotyczy to głównie realizacji właściwego podparcia portalu, zatem istotnymi wynikami obliczeń są reakcje podporowe. Ich wartości wskazują możliwe do zastosowania sposoby stabilizacji konstrukcji. W każdym przypadku siły stabilizujące portal (reakcje dodatkowych podpór) muszą być przeniesione na dalsze odcinki obudowy za pomocą rozpór lub na górotwór przez przykotwienie portalu. Ważne jest wtedy sprawdzenie poniższego warunku

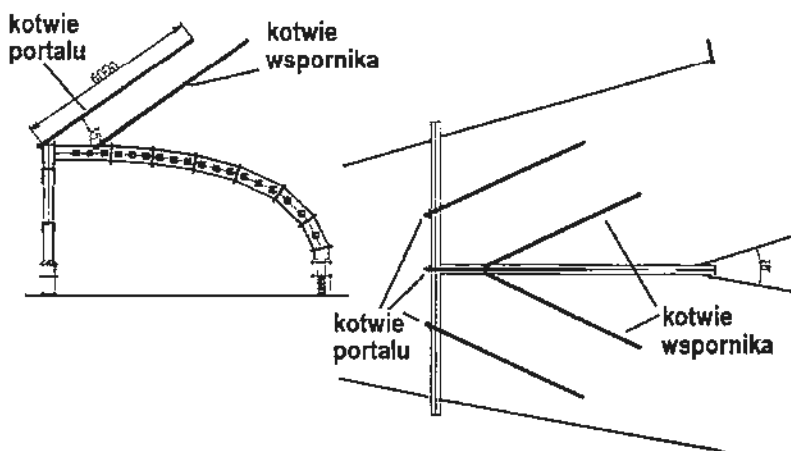
$$\sum R_{\text{stab}} \leq n_r N_{r, \text{rozpór}} + n_c N_{c, \text{rozpór}} + m N_{\text{kotwi}} \quad (1)$$

gdzie:

- R_{stab} – reakcje podporowe stabilizujące portal,
- n_r – liczba rozpór rozciąganych stabilizujących portal,
- n_c – liczba rozpór ściskanych stabilizujących portal,
- $N_{r, \text{rozpór}}$ – siła rozciągająca przenoszona przez rozporę,
- $N_{c, \text{rozpór}}$ – siła ściskająca przenoszona przez rozporę,
- m – liczba kotwi stabilizujących portal,
- N_{kotwi} – nośność kotwi.

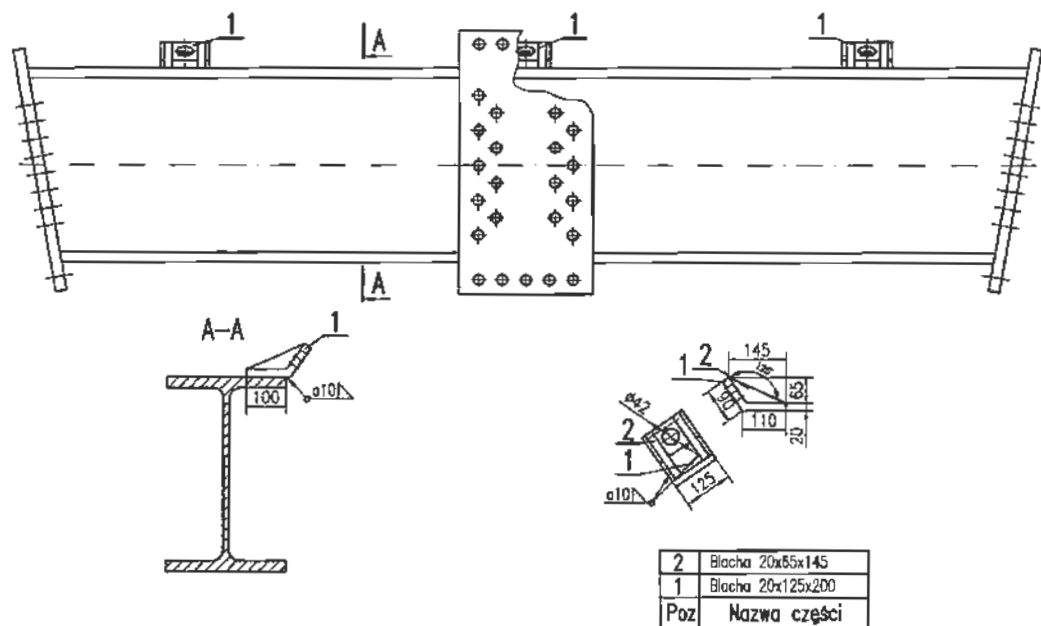
Konieczne jest także uwzględnienie kąta odchylenia kotwi od kierunku działania obciążenia oraz uwzględnienie kierunków sił, jakim są poddawane rozpory – ściskanie po stronie odrzwi przejściowych oraz rozciąganie po stronie odrzwi uzupełniających.

Stabilizację portalu za pomocą kotwi zastosowano ostatnio w obudowie przeznaczonej do zabezpieczenia odgałęzienia w kopalni węgla kamiennego „Mysłowice-Weśół”. Obliczoną składową poziomą zrównoważono pięcioma kotwiami: trzema mocowanymi do portalu i dwiema do wspornika. Schemat kotwienia konstrukcji zasadniczej przedstawiono na rysunku 8.

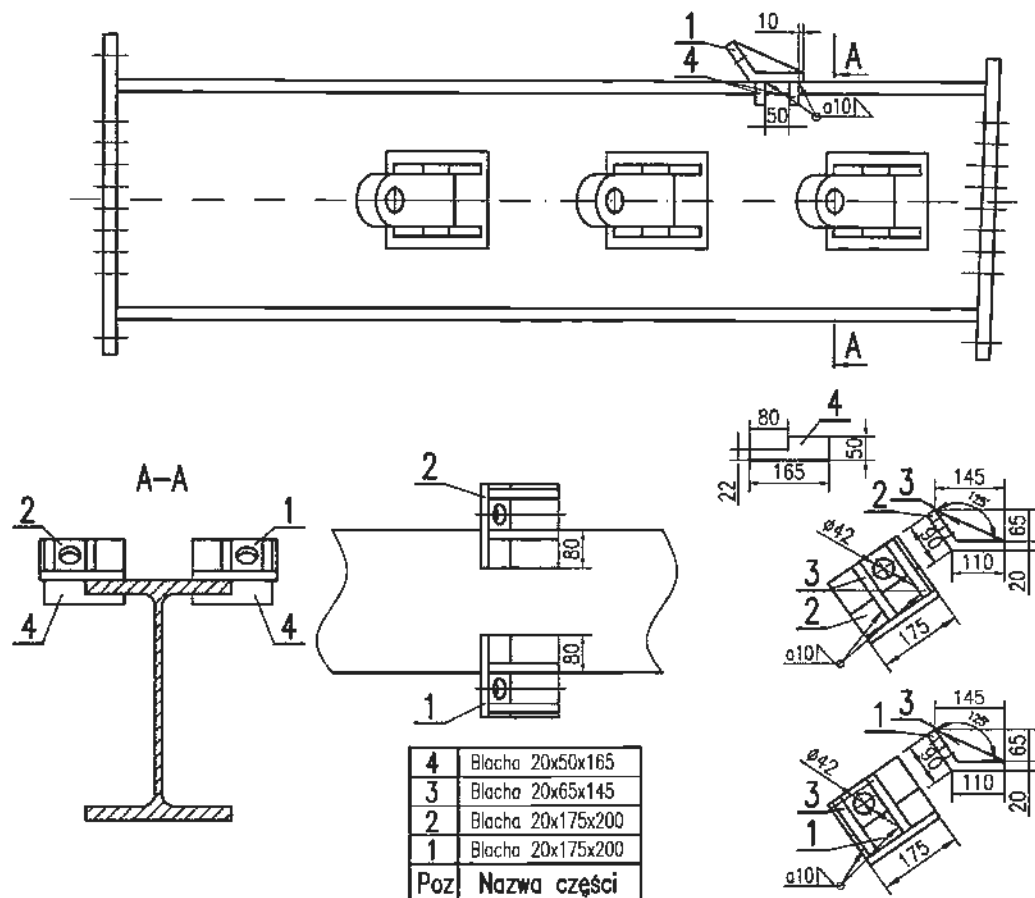


Rys. 8. Schemat kotwienia portalu i wspornika

Zastosowanie schematu kotwienia, przedstawionego na rysunku 8, wymaga zaprojektowania odpowiednich uch, które pozwolą na prawidłową pracę zabudowanych skośnie kotwi. Ucha takie zaprojektowano oddzielnie dla portalu i wspornika. Charakteryzują się one ukośnym usytuowaniem osi otworów, pozwalających na wprowadzenie kotwi. W celu uzyskania wysokiej wytrzymałości tych elementów, zastosowano blachy gatunku 18G2A grubości 20 mm oraz dodatkowe żebra. Na rysunku 9 przedstawiono konstrukcję ucha przyspawanego do portalu, natomiast na rysunku 10 – ucha przyspawanego do belek wspornikowych.

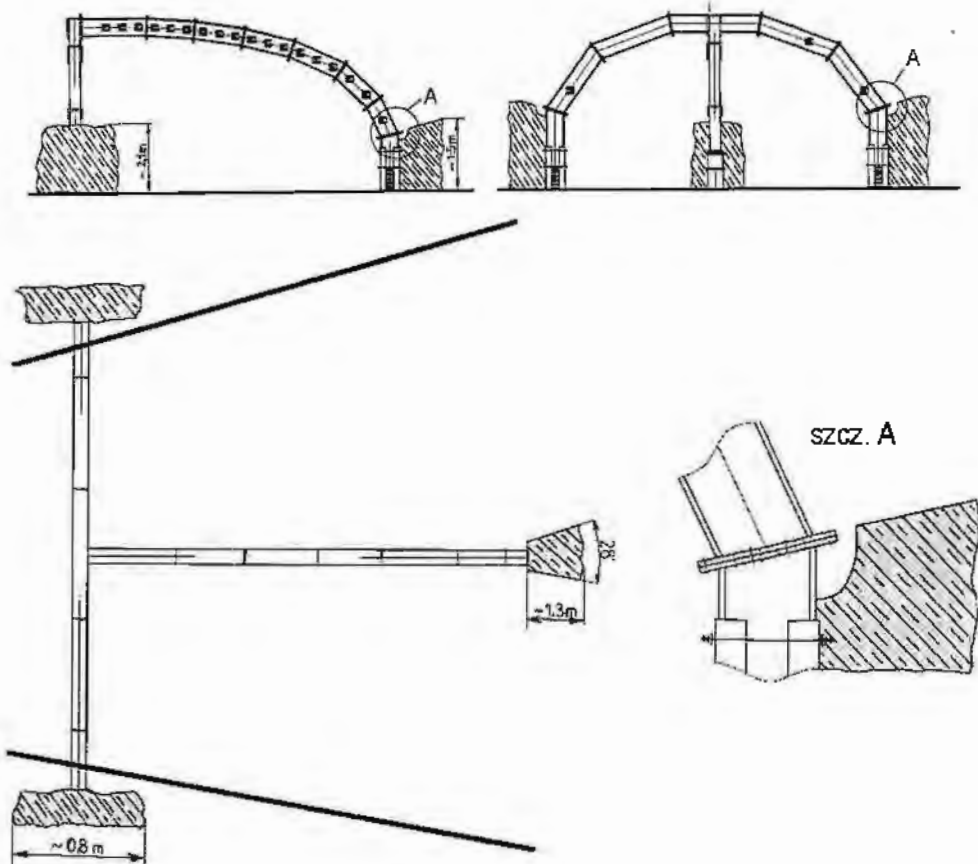


Rys. 9. Konstrukcja uch do przykotwienia portalu



Rys. 10. Konstrukcja uch do przykotwiania wspornika

Istotne są także założenia przyjęte do obliczeń dotyczące podparcia modelu. W celu spełnienia założeń przedstawionych na rysunku 5, jest konieczne zastosowanie środków pozwalających na natychmiastowe oddziaływanie ociosów uniemożliwiających zwiększenie rozpiętości konstrukcji. Najprostszym i najskuteczniejszym sposobem zapewnienia pełnego kontaktu segmentów upodabniających z ociosami jest ich obetonowanie. Należy jednak zwrócić uwagę na pozostawienie wolnych przestrzeni pod blachami czołowymi tak, aby było możliwe zmniejszenie ich wysokości i właściwa praca jako upodabnień. Ponadto, nie można dopuścić do zabetonowania wewnętrznych przestrzeni segmentów (nad stosem drewna). Sposób obetonowania segmentów upodabniających, pozwalający na spełnienie założeń przyjętych w modelowaniu, przedstawiono na rysunku 11.

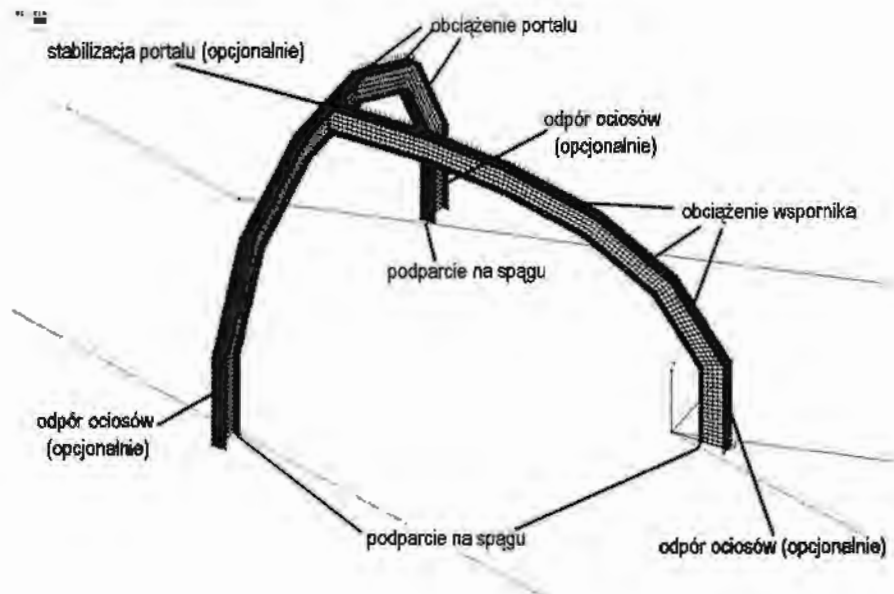


Rys. 11. Schemat zewnętrznego obetonowania portalu i wspornika

Opracowane sposoby stabilizacji konstrukcji oraz jej rozparcia pozwalają na uzyskanie w praktyce schematu podparcia przyjętego w badaniach modelowych. Przedstawione analizy modelowe wykazały, że takie rozwiązanie znacząco zmniejsza wyężenie i odkształcenie obudowy portalowej odgałęzień.

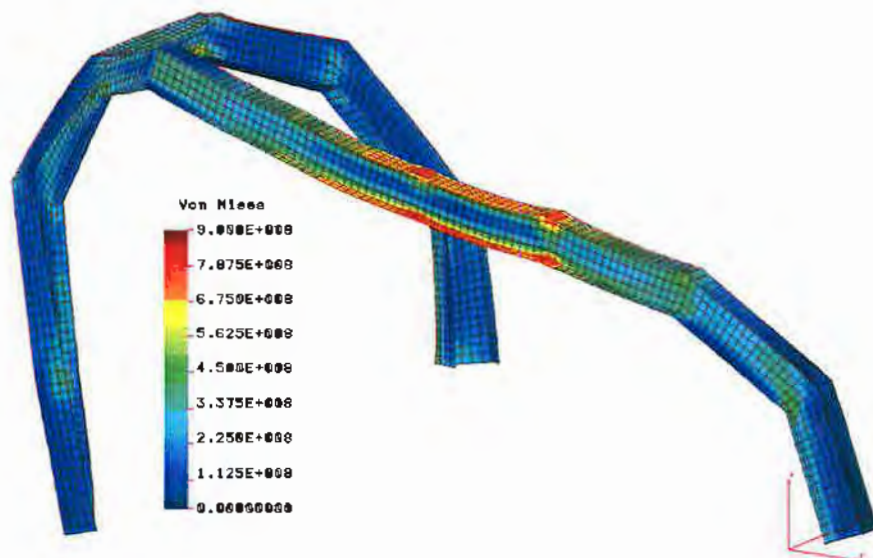
2.2. Modyfikacja kształtu portalu

Analizując wyniki wytrzymałościowych badań modelowych portalowej obudowy odgałęzień można zauważyć, że oddziaływanie wspornika na portal powoduje znaczne deformacje całej konstrukcji oraz zwiększenie naprężeń w poszczególnych jej elementach. Zaprojektowanie bezpiecznej konstrukcji wymaga więc zastosowania dodatkowych środków, które równocześnie powodują zwiększenie nakładów na obudowę portalową. Możliwe jest jednak takie zmodyfikowanie konstrukcji, aby była ona w pełni stabilna, także pod wpływem działających znacznych obciążeń ze strony górotworu. W związku z powyższym, zaproponowano zastosowanie portalu leżącego w dwóch nachylonych względem siebie płaszczyznach. Przeprowadzono analizę po-



Rys. 13. Sposób podparcia i obciążenia modeli

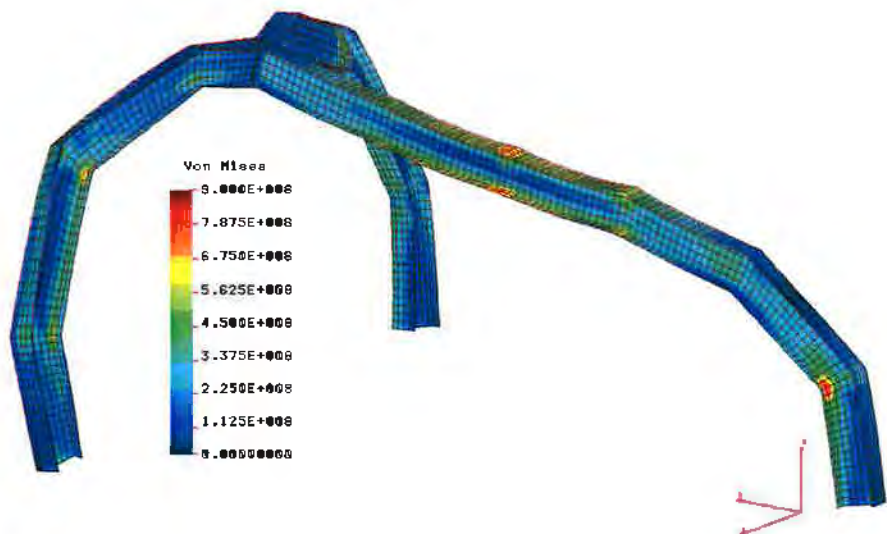
W wyniku obliczeń uzyskano między innymi rozkład naprężeń zredukowanych oraz zdeformowane postaci modeli. Na rysunkach 14–18 przedstawiono w jednakowej skali barwne mapy naprężeń zredukowanych w modelach podpartych tylko na spągu, wywołanych założonym obciążeniem ze strony górotworu. Wynika z nich, że zmiana kształtu obudowy odgałęzienia wpływa na stan wyężenia całej konstrukcji. Wartości maksymalnych naprężeń zredukowanych uzyskanych w czasie analizy liniowej zmniejszały się z 890 do 571 MPa.



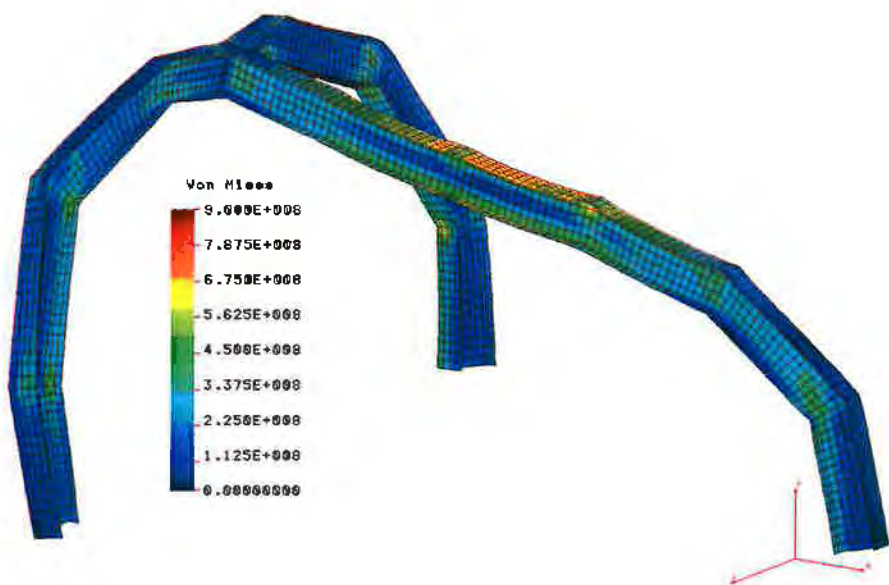
Rys. 14. Rozkład naprężeń zredukowanych [Pa] w modelu a z portalem jednopłaszczyznowym (skala deformacji 10×)



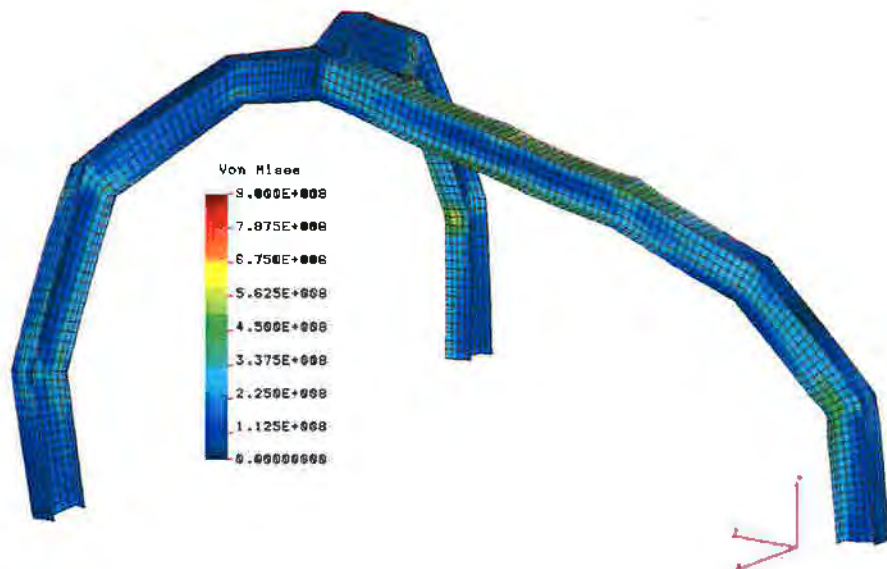
Rys. 15. Rozkład naprężeń zredukowanych [Pa] w modelu b z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 20° przy zachowanej rozpiętości wspornika (skala deformacji 10×)



Rys. 16. Rozkład naprężeń zredukowanych [Pa] w modelu c z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 40° przy zachowanej rozpiętości wspornika (skala deformacji $10\times$)



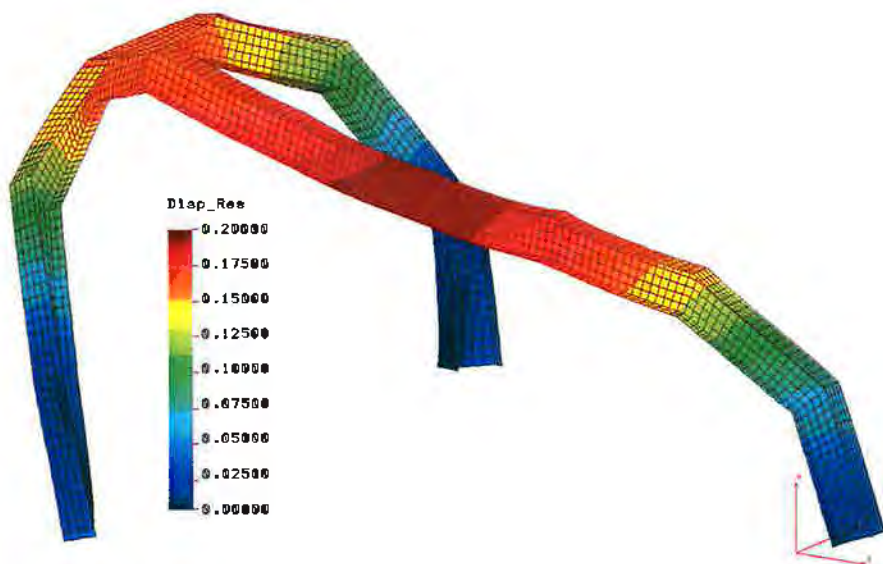
Rys. 17. Rozkład naprężeń zredukowanych [Pa] w modelu d z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 20° przy zachowanej rozpiętości całej konstrukcji (skala deformacji $10\times$)



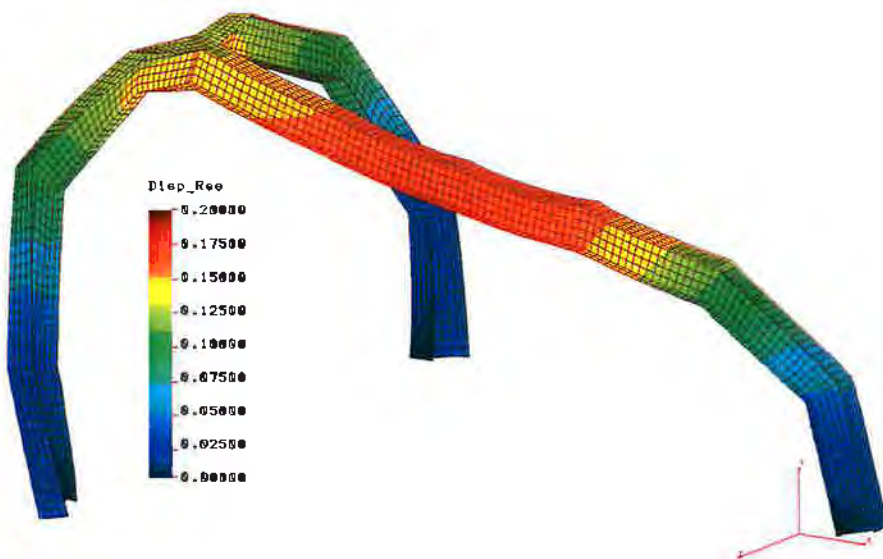
Rys. 18. Rozkład naprężeń zredukowanych [Pa] w modelu e z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 40° przy zachowanej rozpiętości całej konstrukcji (skala deformacji $10\times$)

Zaproponowana modyfikacja kształtu portalowej obudowy odgałęzienia wpływała także na zmniejszenie deformacji i przemieszczeń całej konstrukcji. Przemieszczenia te zmniejszały się ze 195 mm w modelu bazowym do 90 mm w modelu z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 40° .

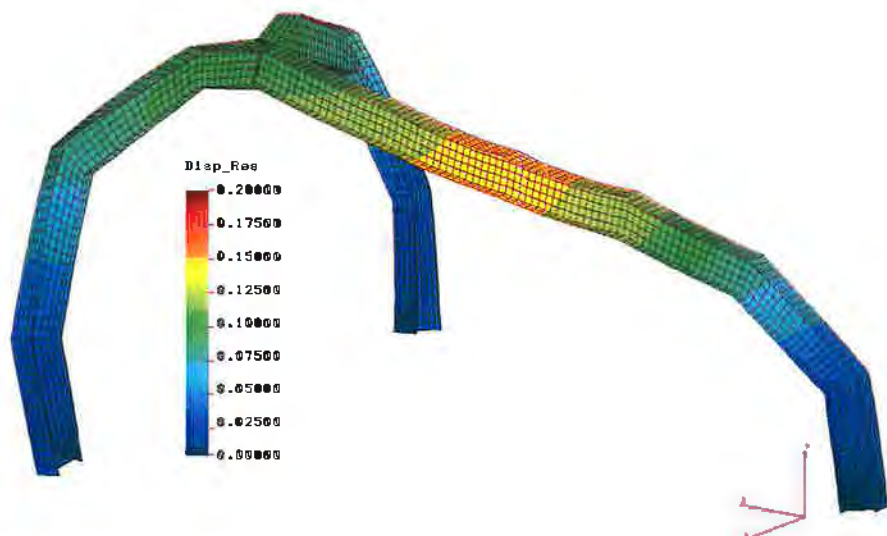
Na rysunkach 19–23 przedstawiono w jednakowej skali zdeformowane postaci modelu obudowy odgałęzienia.



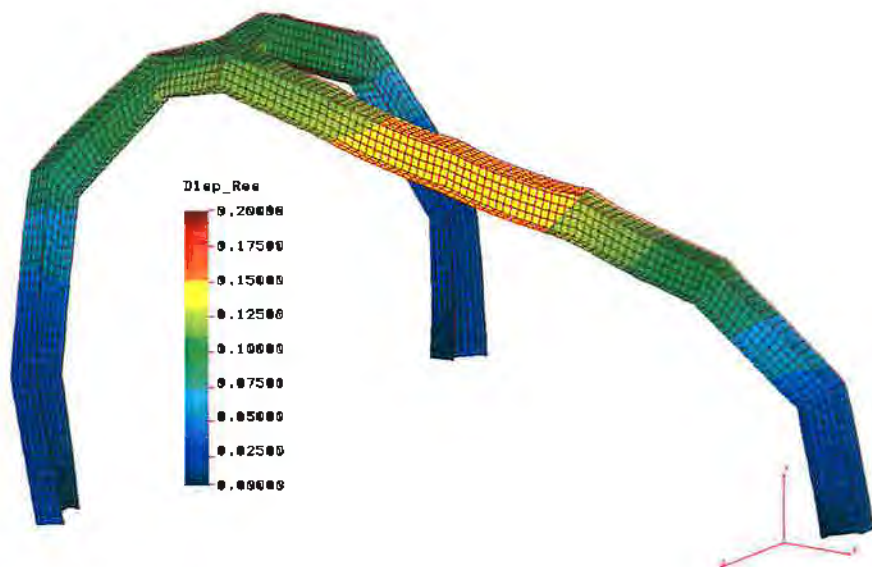
Rys. 19. Deformacje modelu a z portalem jednopłaszczyznowym (skala deformacji 10×)



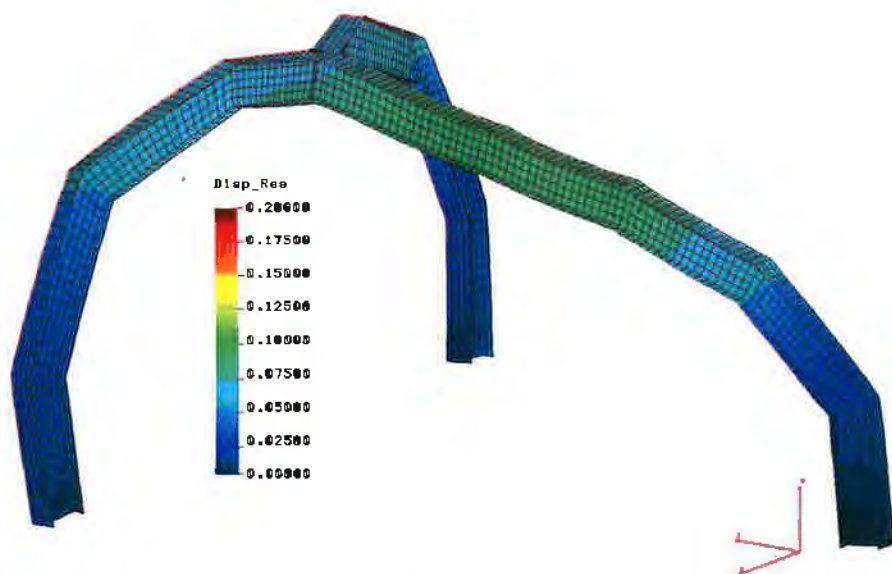
Rys. 20. Deformacje modelu b z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 20° przy zachowanej rozpiętości wspornika (skala deformacji 10×)



Rys. 21. Deformacje modelu c z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 40° przy zachowanej rozpiętości wspornika (skala deformacji $10\times$)



Rys. 22. Deformacje modelu d z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 20° przy zachowanej rozpiętości całej konstrukcji (skala deformacji $10\times$)



Rys. 23. Deformacje modelu e z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 40° przy zachowanej rozpiętości całej konstrukcji (skala deformacji 10×)

Wyniki przeprowadzonej analizy zebrano w tablicy 1.

Tablica 1. Wyniki analizy porównawczej modeli

Model	Opis modelu	Całkowite obciążenie	Maksymalne naprężenie	Całkowite przemieszczenie konstrukcji	Poziome przemieszczenie portalu	Reakcja podporowa stabilizująca portal
		$F = R_y$, MN	σ_{red} , MPa	u , mm	u_x , mm	R_x , MN
a	z portalem jednopłaszczyznowym	5,142	890	195	166	2,931
b	z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 20°, z zachowaną rozpiętością wspornika	5,400	727	170	140	2,727
c	z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 40°, z zachowaną rozpiętością wspornika	5,571	829	135	104	2,378
d	z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 20°, z zachowaną rozpiętością całej konstrukcji	5,253	647	139	114	2,509
e	z portalem leżącym w dwóch płaszczyznach skrzyżowanych pod kątem 40°, z zachowaną rozpiętością całej konstrukcji	5,253	571	90	68	2,023

Oprócz naprężeń i przemieszczeń w tablicy podano także wartości sumarycznej reakcji podporowej pionowej, będącej liczbowym odpowiednikiem sumarycznego obciążenia

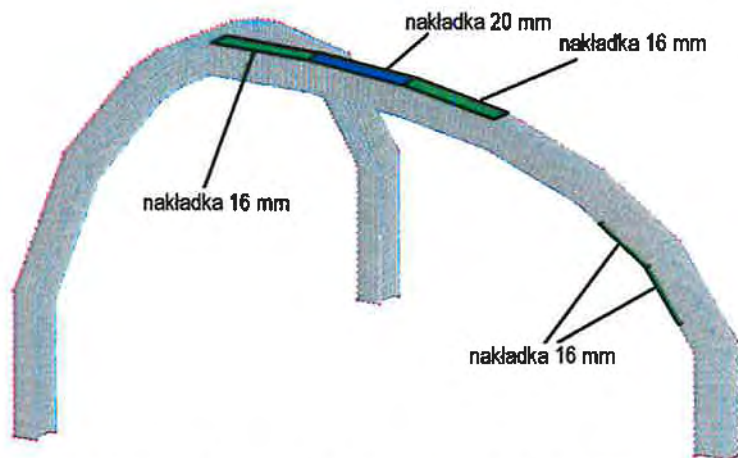
żenia obudowy oraz wartości reakcji podporowej w miejscu podparcia stabilizującego portal, wymaganej do utrzymania portalu w pierwotnej płaszczyźnie zabudowy.

Z przedstawionej analizy wynika, że zastosowanie portalu dwupłaszczyznowego wyraźnie wpłynęło na zmniejszenie deformacji i wyężenia całej konstrukcji. Wpływ ten był większy ze wzrostem kąta przecięcia płaszczyzn połówek portalu. Zwiększenie kąta płaszczyzn połówek portalu powodowało zmniejszenie przemieszczenia przystropowej części portalu oraz zmniejszenie sił wymaganych do zachowania pionowego usytuowania portalu. Należy też zwrócić uwagę na fakt, że zmiana kształtu portalu w obu analizowanych wariantach nie powodowała zwiększenia kosztów materiałowych.

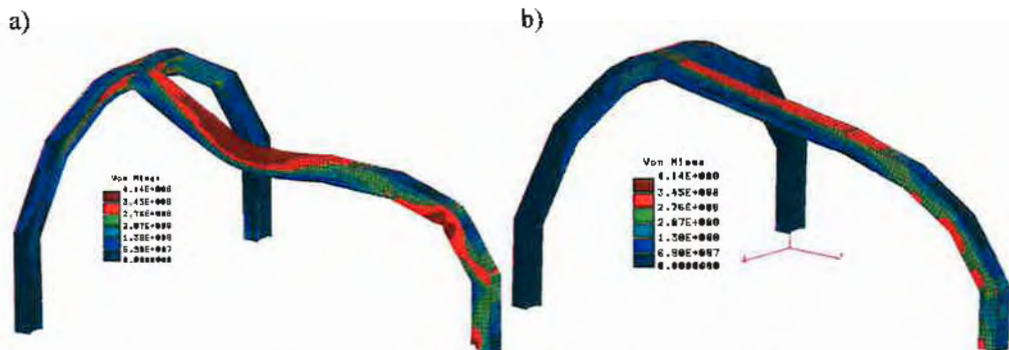
2.3. Wzmacnianie belek wspornika

Sposobem na optymalne wykorzystanie wytrzymałości kształtowników stosowanych na konstrukcję zasadniczą jest wzmocnienie najbardziej wyężonych jej fragmentów. Polega to na zastosowaniu dodatkowych blach nakładkowych spawanych w miejscach, gdzie zostały przekroczone dopuszczalne naprężenia. Grubości blach nakładkowych stanowiących wzmocnienie, najczęściej wspornika, mieszczą się w większości przypadków w przedziale 10–20 mm. Tylko sporadycznie stosuje się blachy większej grubości.

W czasie analizy sprawdza się, w których belkach została przekroczona ich wytrzymałość. Konieczne jest wtedy zastosowanie blach nakładkowych. W kolejnych krokach analizy określa się grubość, jaką powinny mieć te blachy, aby można było wyeliminować strefy uplastycznienia konstrukcji. Sprowadza się to do zdefiniowania w programie nowych podgrup elementów, charakteryzujących się zwiększoną grubością. Pomija się w ten sposób czasochłonne modelowanie połączenia blach nakładkowych z belkami wzmocnianej konstrukcji. Na rysunku 24 przedstawiono przykładowy schemat wzmocnienia belek wspornika, na rysunku 25 natomiast porównano rozkład naprężeń w konstrukcji przed i po wzmocnieniu.

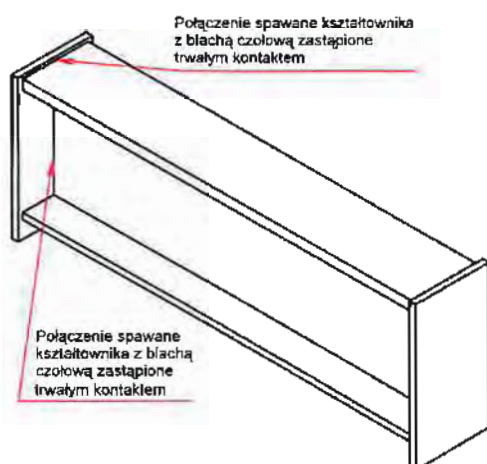


Rys. 24. Przykład wzmocnienia belek wspornika blachami nakładkowymi

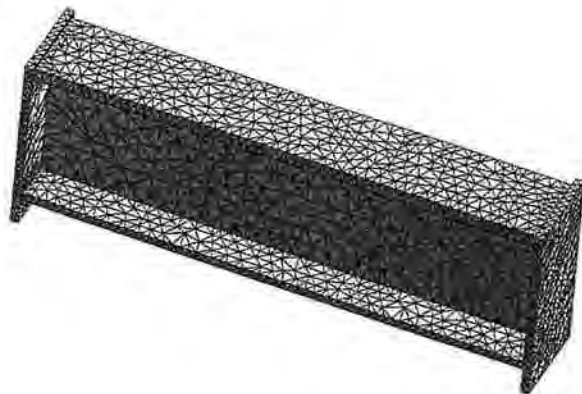


Rys. 25. Porównanie rozkładu naprężeń [MPa] zredukowanych w konstrukcji przed wzmocnieniem (a) i po wzmocnieniu blachami nakładkowymi (b); kolorem bordowym zaznaczono elementy uplastycznione (skala deformacji 10×)

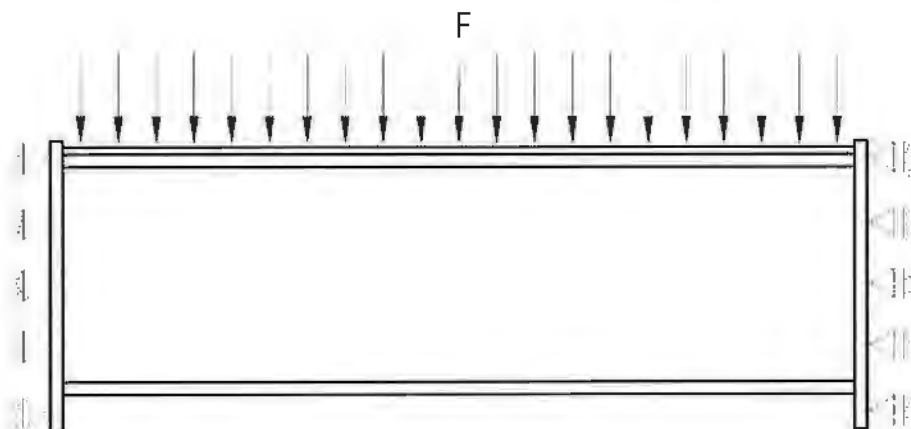
W celu sprawdzenia pracy belki wspornika, wzmocnionej blachami nakładkowymi, przeprowadzono dwuetapową analizę wytrzymałościową za pomocą metody elementów skończonych z wykorzystaniem programu ANSYS (ansys.com). W pierwszym etapie badaniom poddano podstawowy model, przedstawiony na rysunku 26, w którym wzmocnienie górnej półki belki dwuteowej potraktowano jako jej większą grubość, a wzmocniany element wraz ze wzmocniającą blachą jako jednorodny materiał. Geometrię modelu i podział na elementy przedstawiono na rysunku 27. Połączenia spawane kształtownika z blachą czołową zostały zamodelowane jako stały, nierozłączny kontakt między dwoma powierzchniami. Następnie nadano warunki brzegowe przedstawione na rysunku 28. Belkę podpartą na płytach czołowych obciążono siłą F działającą prostopadle do płaszczyzny półki o wartości 5,0 MN, dobraną tak, aby w wyniku jej oddziaływania w badanym modelu pojawiły się odkształcenia plastyczne.



Rys. 26. Zdefiniowanie kontaktów w podstawowym modelu

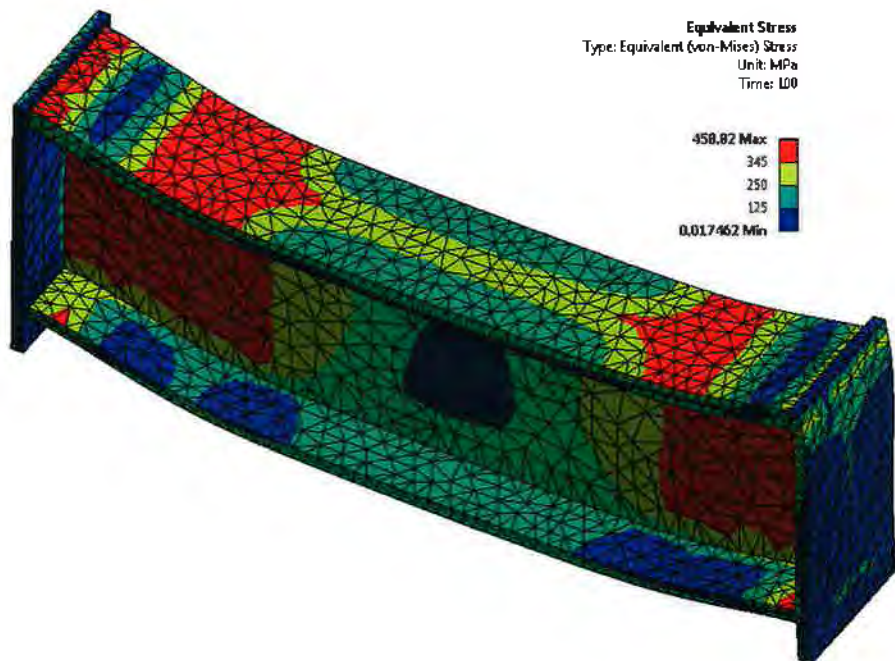


Rys. 27. Siatka elementów skończonych



Rys. 28. Sposób podparcia i obciążenia

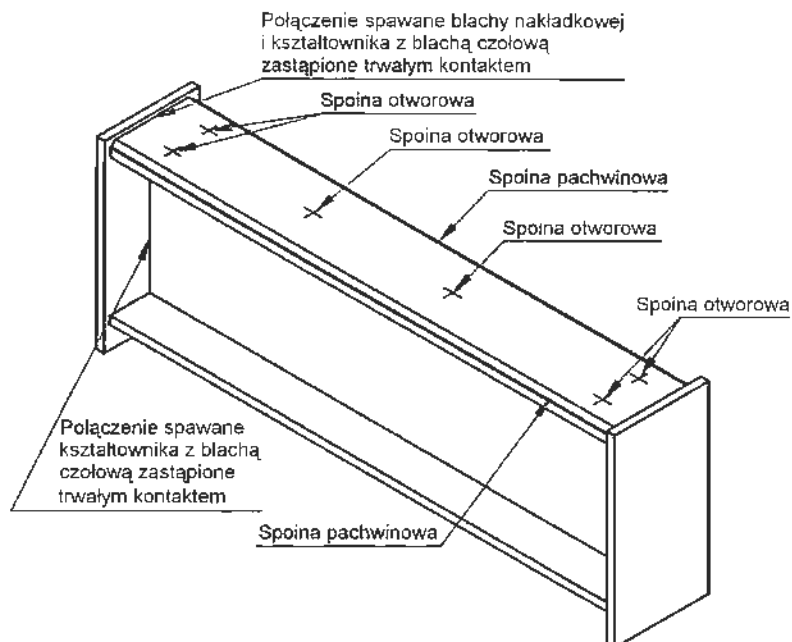
W wyniku obliczeń otrzymano między innymi naprężenia zredukowane i odkształcenia modelu. Na rysunku 29 przedstawiono barwną mapę naprężeń zredukowanych. Na mapie tej czerwone pola oznaczają elementy uplastycznione.



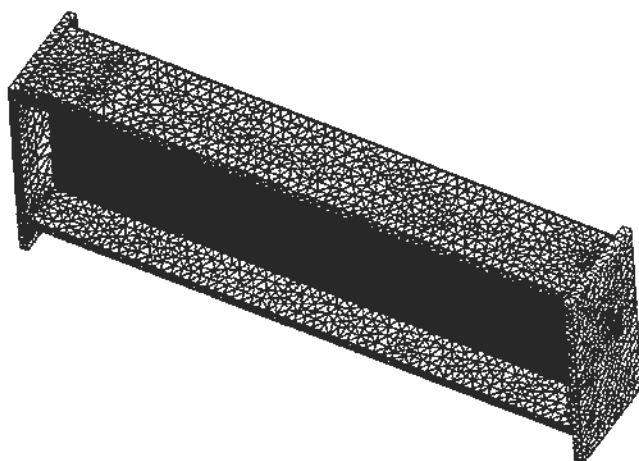
Rys. 29. Rozkład naprężeń [MPa] i zdeformowana postać modelu (skala deformacji 10×)

W drugim, rozbudowanym modelu, uwzględniono zarówno grubość blachy nakładkowej, jak i sposób jej połączenia z belką dwuteową. Połączenia spawane kształtownika i blachy nakładkowej z blachą czołową zostały zdefiniowane jako trwały, nierozłączny kontakt między dwiema powierzchniami. Odwzorowanie spoin otworowych łączących blachę nakładkową z półką dwuteownika zrealizowano, tworząc na obu elementach sześć powierzchni mających identyczne właściwości geometryczne (podział na elementy) oraz trwały i nierozłączny kontakt¹. Ponadto, zdefiniowano kontakt w postaci tarcia między blachą nakładkową a półką dwuteownika w miejscach poza strefami spoin otworowych. Model schematycznie przedstawiono na rysunku 30, natomiast wygenerowaną siatkę elementów – na rysunku 31. Badanemu obiektowi nadano identyczne jak poprzednio warunki brzegowe.

¹ Założenie upraszczające wymaga określenia niezbędnej liczby spoin otworowych w celu „zblżenia” wytrzymałości takiego wzmocnienia do wytrzymałości jednorodnej półki.

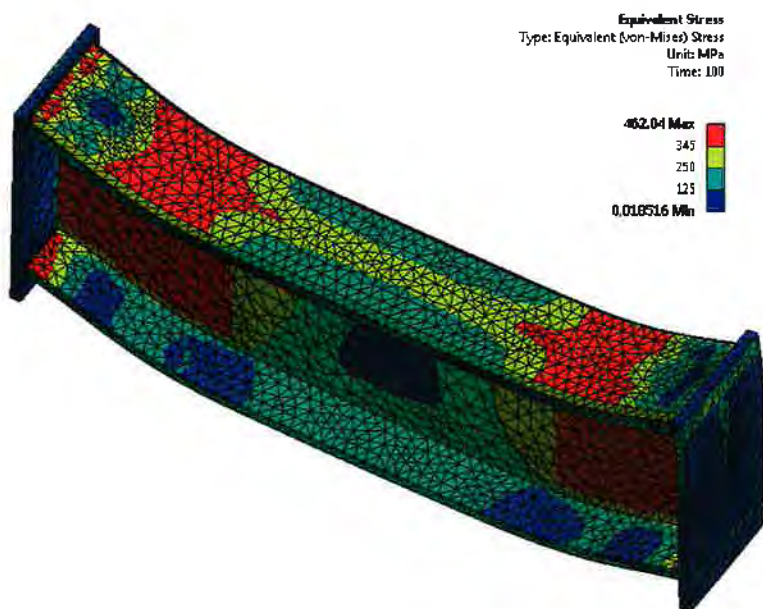


Rys. 30. Połączenia spawane oraz zdefiniowanie kontaktów w rozbudowanym modelu

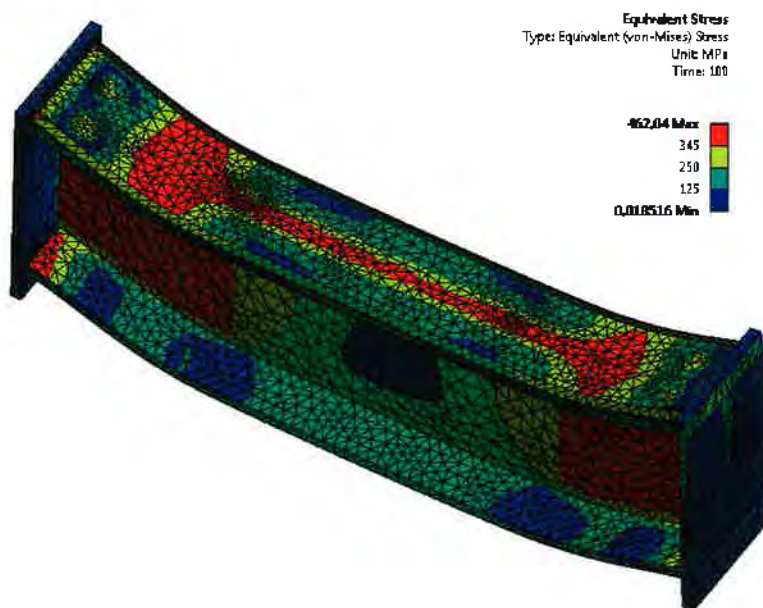


Rys. 31. Siatka elementów skończonych

Na rysunku 32 przedstawiono wyniki obliczeń wytrzymałościowych – barwną mapę naprężeń zredukowanych dla całego modelu, natomiast na rysunku 33 – mapę naprężeń z pominięciem blachy nakładkowej, co pozwala na prezentację naprężeń w miejscu spoin otworowych. Na rysunkach, podobnie jak poprzednio, uplastycznione fragmenty konstrukcji zaznaczono kolorem czerwonym.

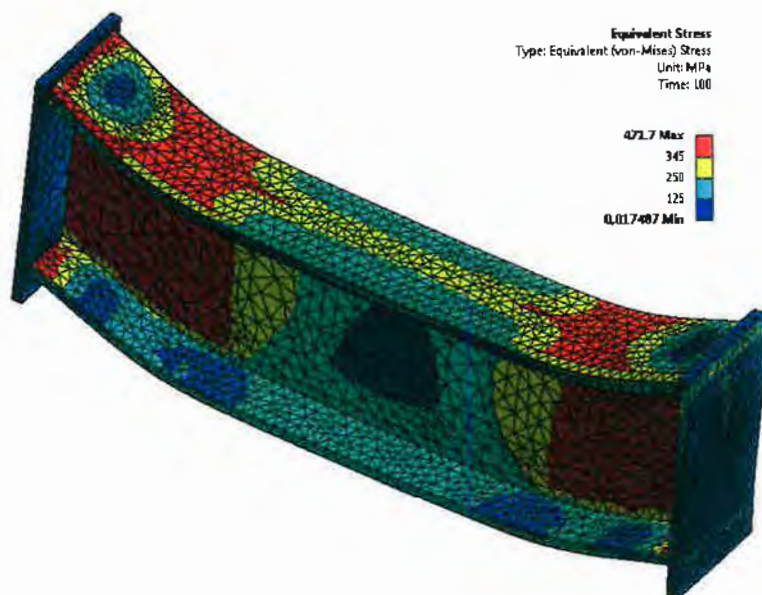


Rys. 32. Rozkład naprężeń [MPa] i zdeformowana postać modelu z widoczną blachą nakładkową (skala deformacji 10×)

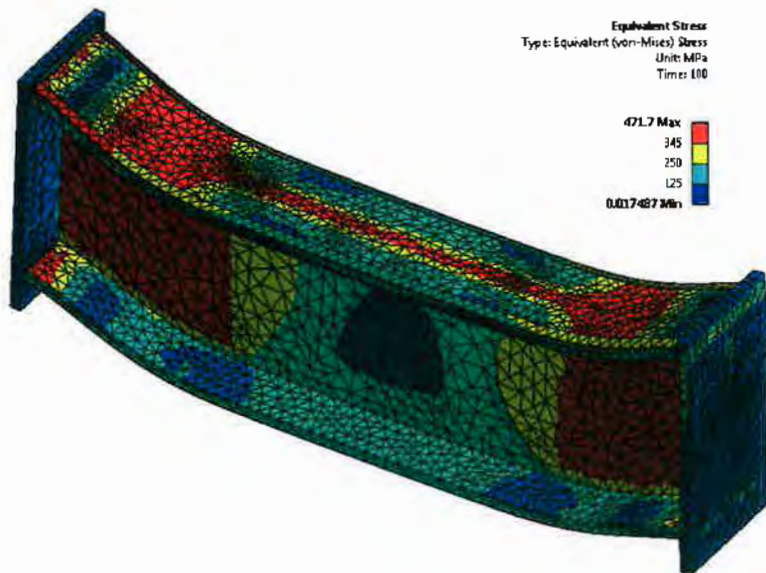


Rys. 33. Rozkład naprężeń [MPa] i zdeformowana postać modelu z pominięciem blachy nakładkowej (skala deformacji 10×)

Dodatkowo przeprowadzono badania modelu, w którym blacha nakładkowa została przyspawana do półki kształtownika jedynie spoinami pachwinowymi – z pominięciem spoin otworowych. Obliczenia wytrzymałościowe wykonano dla modelu identycznie podpartego i obciążonego jak poprzednio, a wyniki tych obliczeń przedstawiono na rysunkach 34 i 35.



Rys. 34. Rozkład naprężeń [MPa] i zdeformowana postać modelu z widoczną blachą nakładkową (skala deformacji 10×)



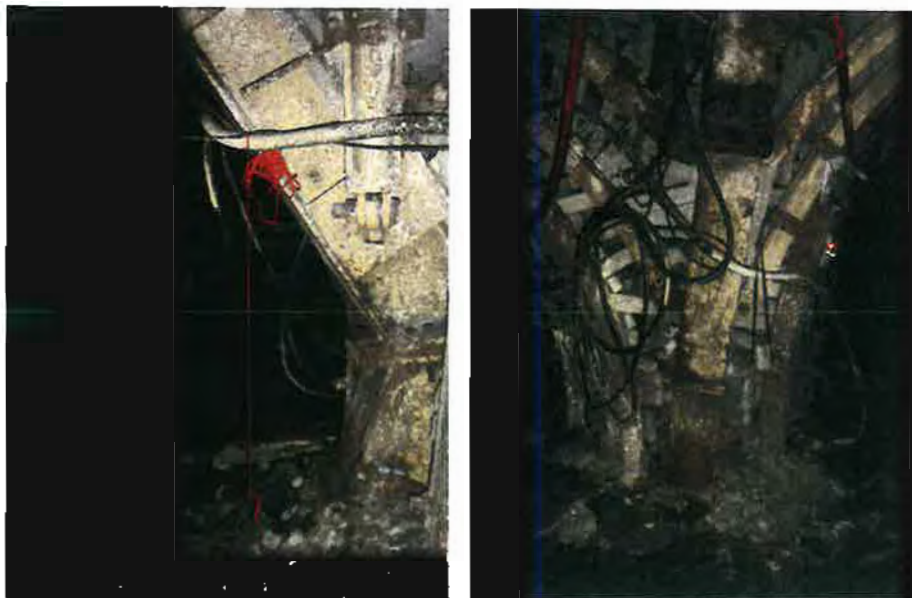
Rys. 35. Rozkład naprężeń [MPa] i zdeformowana postać modelu z pominięciem blachy nakładkowej (skala deformacji 10x)

Przeprowadzone analizy wykazały celowość zastosowania spoin otworowych w celu lepszego przeniesienia obciążeń z belki na blachę nakładkową. Ponadto, spoiny te odciążają spoiny pachwinowe.

Porównując wyniki obliczeń wytrzymałościowych analizowanych modeli, można stwierdzić, że badania modelowe przeprowadzone na uproszczonych modelach z wystarczającą dokładnością odwzorowują pracę całego elementu.

2.4. Wzmacnianie narożnika odgałęzienia

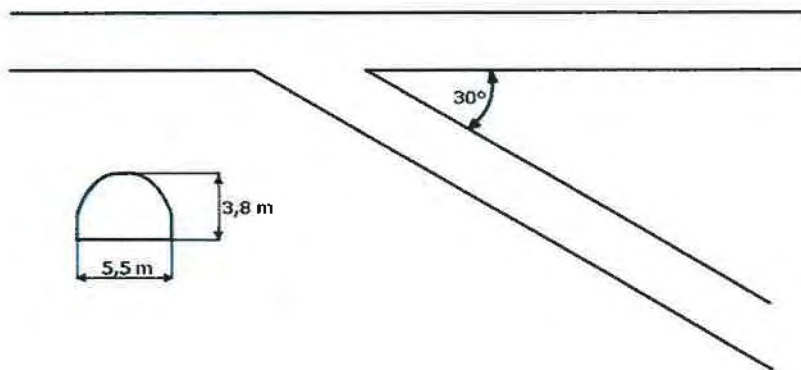
Najbardziej wyężonym fragmentem górotworu wokół połączenia wyrobisk jest naroże. Świadczą o tym między innymi wyniki badań modelowych (Rotkegel, Bock 2009) oraz obserwacje dołowe. Na fotografii 1 przedstawiono efekty przekroczenia wytrzymałości tego fragmentu górotworu w jednej z kopalń, skutkujące niekontrolowanym przechyleniem wspornika.



Fot. 1. Przykład zniszczenia górotworu w rejonie naroża połączeń wyrobisk

Do numerycznego określenia obciążenia obudowy wykorzystano program FLAC3D (heitasca.com), bazujący na metodzie różnic skończonych oraz schemat obliczeniowy Langrange'a. Umożliwia on przestrzenne modelowanie znacznych odkształceń i zniszczeń ośrodków skalnych oraz niektórych obudów. Rozwiązywanie złożonych zagadnień krok po kroku, w kilku etapach, umożliwia odzwierciedlenie rzeczywistej sytuacji w analizowanym zakresie. Istotne w modelowaniu górotworu są także: możliwość obliczania dużych przemieszczeń i naprężeń, nieliniowy charakter pracy materiałów oraz analiza utraty stateczności wyrobisk. Program FLAC3D jest wyposażony w interpreter języka FISH – co umożliwia tworzenie modeli numerycznych górotworu w postaci programów wsadowych, a w konsekwencji automatyzację i możliwość wprowadzania szybkich zmian w poszczególnych elementach projektu.

Do obliczeń wybrano połączenie wyrobisk pod kątem 30° , którego schemat przedstawiono na rysunku 36.



Rys. 36. Schemat odgałęzienia przyjętego do obliczeń

Do opracowania geometrii modelu wykorzystano program 3DSHOP. Umożliwia on, w połączeniu z programem KUBRIX, dyskretyzację modelu i zapisanie geometrii bezpośrednio w formacie FLAC3D. Model zaimportowany do programu FLAC3D przedstawiono na rysunku 37.



Rys. 37. Model przyjęty do obliczeń – widok ogólny

Do opisu stanu naprężeń występujących w górotworze wykorzystano kryterium wyężeniowe Coulomba-Mohra. Jego podstawę stanowią zależności wiążące wytrzymałość na ścinanie z wartością kąta tarcia wewnętrznego i spójności (kohezji)

$$\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

gdzie:

τ – naprężenie ścinające przy zniszczeniu, MPa;

σ_n – efektywne naprężenie normalne, MPa;

- c – spójność, MPa;
 ϕ – kąt tarcia wewnętrznego, stopień.

Obliczenia wykonano w trzech wariantach dla jednorodnego górotworu o zróżnicowanych parametrach wytrzymałościowo-deformacyjnych. Do wyznaczenia parametrów skał zastosowano klasyfikację *GSI*, bazującą na badaniach Hoeka (Hoek, Kaiser, Bawden 1995). Wartości parametrów do obliczeń numerycznych wyznaczono na podstawie danych zawartych w literaturze oraz zależności (Bieniawski 1987; Kalamaras, Bieniawski 1995; Hoek i in. 1995; Hoek 1999):

$$R_{crm} = \frac{R_c}{2} \frac{GSI - 10}{85} \quad (3)$$

$$c_{rm} = \frac{R_{crm}}{2} \frac{1 - \sin \phi_{rm}}{\cos \phi_{rm}} \quad (4)$$

$$E_{rm} = \sqrt{\frac{R_c}{100} \cdot 10 \frac{GSI - 5}{40}} \text{ dla } GSI < 65 \quad (5)$$

gdzie:

- GSI* – wskaźnik jakości górotworu;
 R_c – wytrzymałość na ściskanie skały (próbki), MPa;
 R_{crm} – wytrzymałość na ściskanie masywu skalnego, MPa;
 c_{rm} – kohezja masywu skalnego, MPa;
 ϕ – kąt tarcia wewnętrznego, stopnie;
 E_{rm} – moduł Younga masywu skalnego, MPa.

Model został zbudowany jako sześćścian o wymiarach 70 m × 70 m × 50 m. Zastosowano model sprężysto-plastyczny C-M. Przyjęte parametry skał górotworu przedstawiono w tablicy 2.

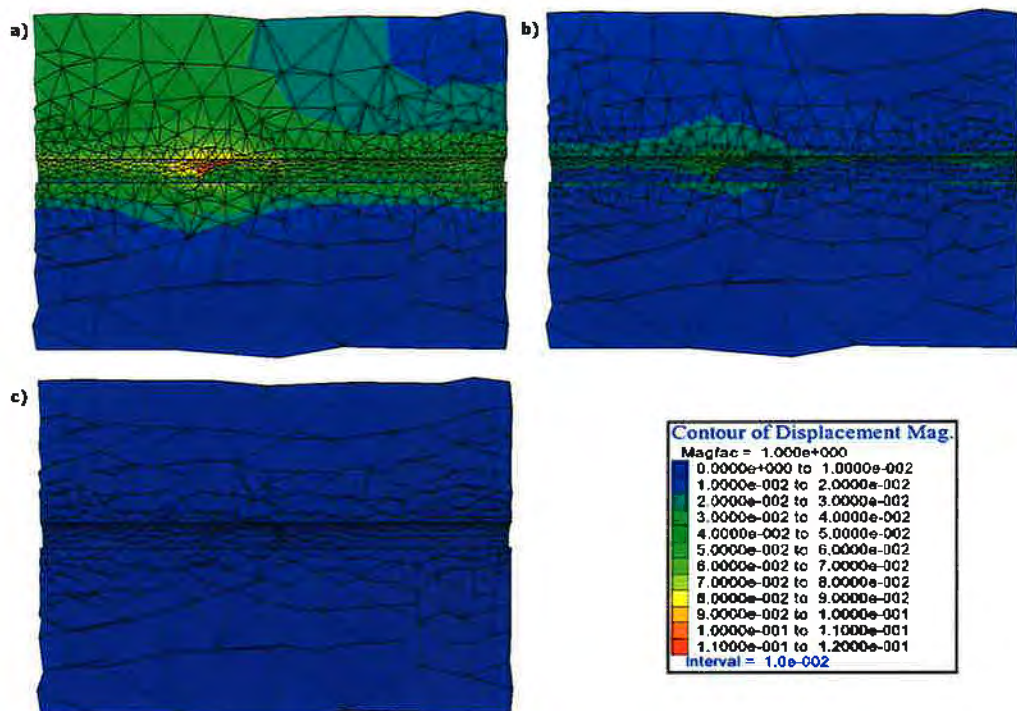
Tablica 2. Parametry górotworu

Parametr	Wartość		
	górotwór I	górotwór II	górotwór III
Gęstość objętościowa, kg/m ³	1800	2400	2400
Moduł Younga, MPa	1600	3700	9000
Liczba Poissona	0,30	0,26	0,21
Kohezja, MPa	4,40	4,58	5,91
Kąt tarcia wewnętrznego, stopnie	18	25	25
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	0,22	0,44	0,99
<i>GSI</i>	36	44	54

Problem rozpatrzono w przestrzennym stanie odkształcenia i naprężenia. Na bocznych krawędziach założono zerowe przemieszczenie poziome, zaś na dolnej – zerowe przemieszczenie pionowe. Do górnej krawędzi przyłożono obciążenie 18,4 MPa, wynikające z ciężaru warstw nadkładu występującego na głębokości 800 m.

W pierwszym etapie obliczenia wykonano na modelu sprężystym górotworu dla kostki sześcienniej o wymiarach $70\text{ m} \times 70\text{ m} \times 50\text{ m}$. W drugim etapie usunięto elementy modelujące górotwór z wyrobisk korytarzowych i rozwiązywano model sprężysto-plastyczny.

Obliczone przemieszczenia całkowite w rejonie odgałęzienia wyrobisk przedstawiono na rysunku 38.

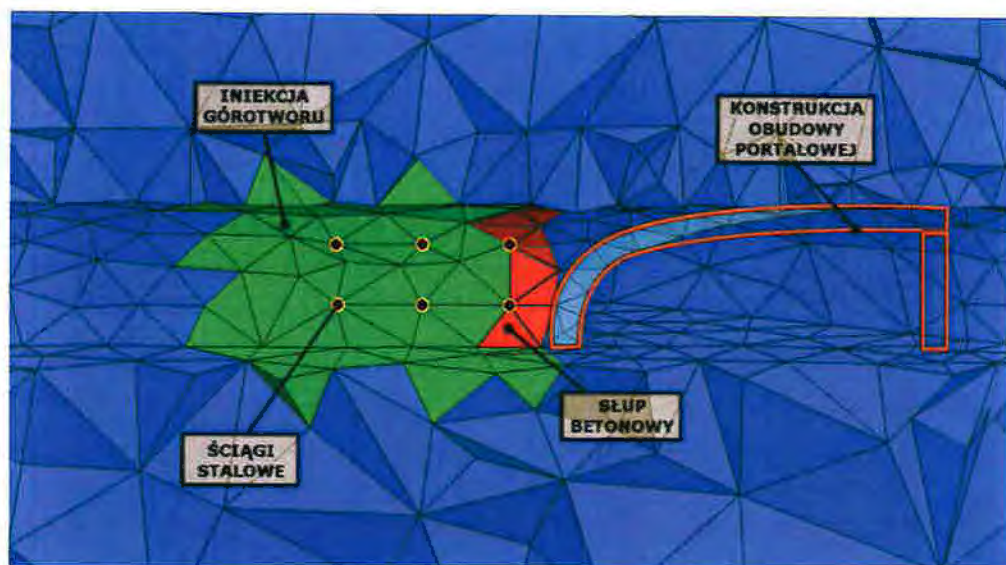


Rys. 38. Przemieszczenia całkowite w rejonie odgałęzienia wyrobisk w zależności do parametrów wytrzymałościowych: a – dla górotworu I, b – dla górotworu II, c – dla górotworu III

Jak wykazano (Rotkegel, Bock 2009; Bock, Prusek, Rotkegel 2009), na obciążenie konstrukcji obudowy portalowej znacząco wpływa koncentracja naprężeń w rejonie naroża łączących się wyrobisk. W celu zminimalizowania tego niekorzystnego wpływu rozważono kilka sposobów wzmocnienia struktury górotworu w rejonie naroża bądź zastosowanie dodatkowej obudowy. Zakres badań modelowych obejmował zastosowanie:

- ściągów z prętów stalowych $\varnothing 28\text{ mm}$,
- słupa betonowego zlokalizowanego w narożu, za konstrukcją obudowy portalowej,
- ściągów oraz słupa betonowego,
- iniekcji górotworu w rejonie naroża,
- ściągów połączonych z iniekcją górotworu.

Wymienione dodatkowe sposoby wzmocnienia górotworu i jego podparcia i ich lokalizację przedstawiono na rysunku 39.



Rys. 39. Rodzaje i lokalizacja dodatkowej obudowy i wzmocnienia górotworu

Ściagi stalowe z prętów $\varnothing 28$ mm zamodelowano jako elementy typu Beam, utwierdzone do węzłów siatki modelu po obu stronach naroża skrzyżowania. Przyjęto typowe parametry stali: moduł Younga = 210 GPa i liczba Poissona = 0,3.

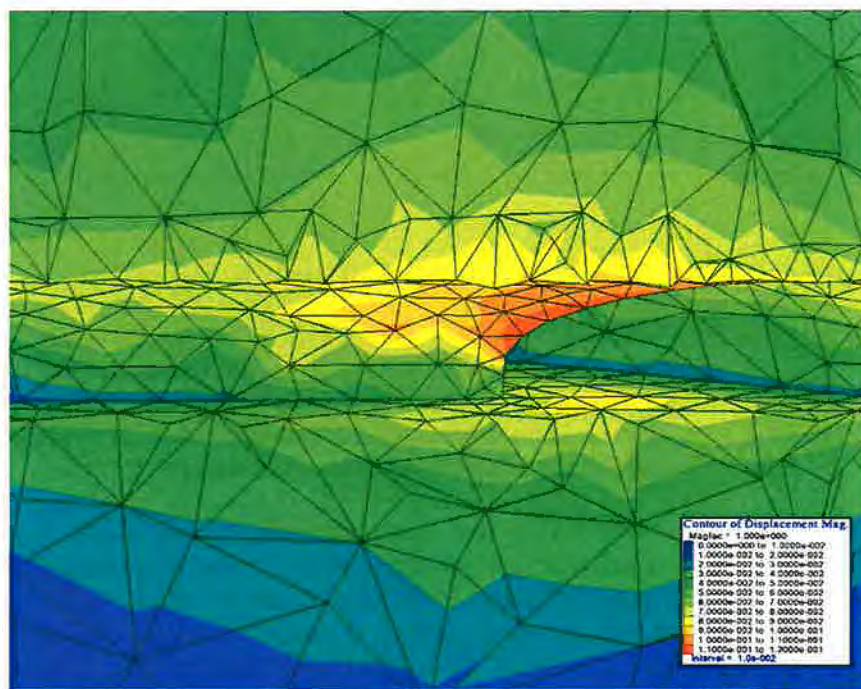
W trakcie modelowania obudowy portalowej usunięto część naroża, zabudowując w tym miejscu wspornik (fragment zaznaczony kolorem szarym na rysunku 39). W jednym z wariantów została usunięta także większa część górotworu, a następnie przestrzeń między wyłomem a konstrukcją obudowy portalowej wypełniona betonem. W modelu numerycznym parametry betonu przypisano elementom górotworu zaznaczonym na rysunku 39 kolorem czerwonym. Łączna objętość tak zamodelowanego słupa betonowego wyniosła $7,61 \text{ m}^3$. Pozostałe parametry górotworu po iniekcji oraz betonu przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Parametry górotworu po iniekcji i słupa betonowego

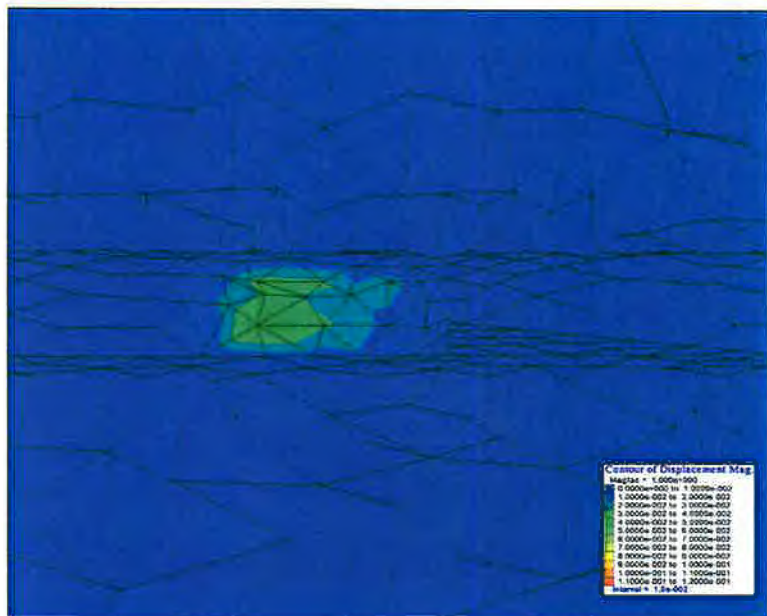
Parametr	Wartość			
	górotwór I	górotwór II	górotwór III	beton
Gęstość objętościowa, kg/m^3	1900	2500	2500	2500
Moduł Younga, MPa	9000	9000	9000	19 000
Liczba Poissona	0,30	0,26	0,21	0,22
Kohezja, MPa	6,79	8,09	14,10	1,82
Kąt tarcia wewnętrzznego, stopień	18	25	25	26
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	0,51	0,77	1,34	0,71
GSI	70	70	70	70

2.4.1. Wyniki obliczeń numerycznych dla górotworu I

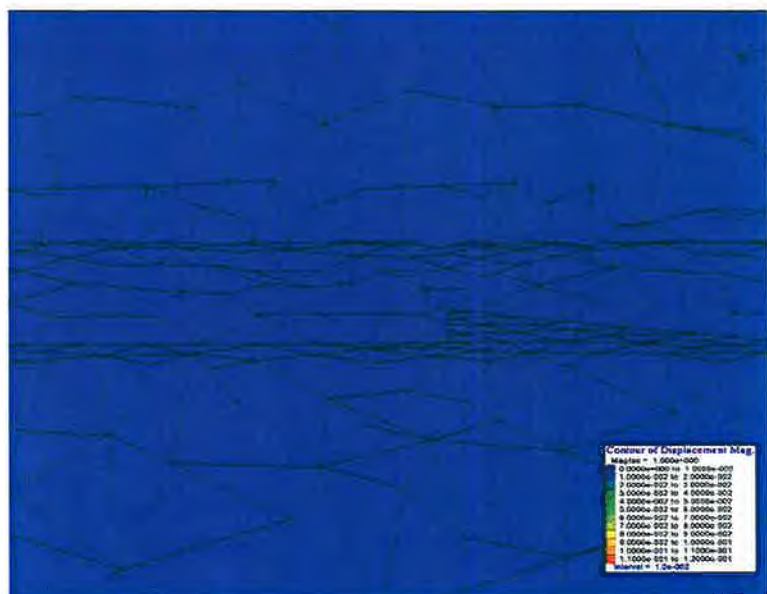
Na rysunku 40 przedstawiono przemieszczenia całkowite w rejonie łączących się wyrobisk dla modelu bazowego, zaś na rysunkach 41–45 różnicę pomiędzy przemieszczeniami modelu bazowego i modeli z uwzględnieniem wzmocnienia górotworu lub/i z zastosowaniem dodatkowej obudowy.



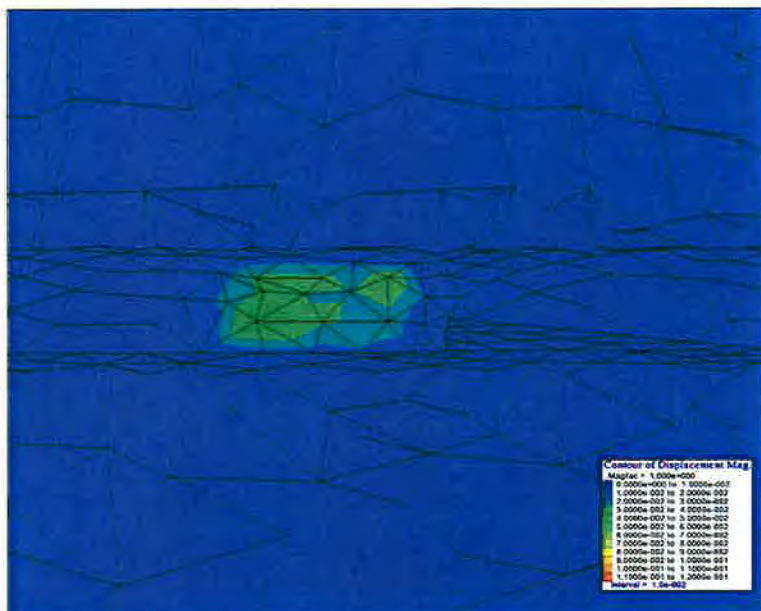
Rys. 40. Przemieszczenia całkowite górotworu w rejonie łączących się wyrobisk dla modelu bazowego (górotwór I)



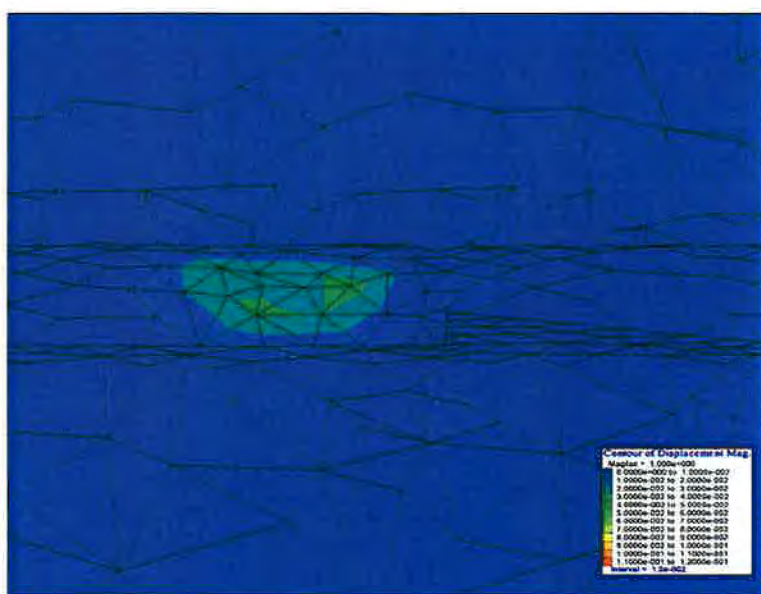
Rys. 41. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściąągów stalowych w stosunku do modelu bazowego (górotwór I)



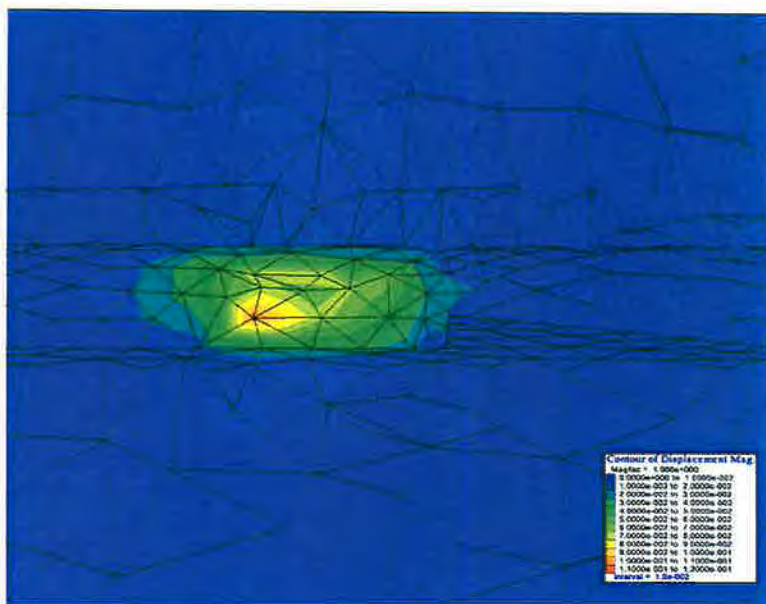
Rys. 42. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu słupa betonowego w stosunku do modelu bazowego (górotwór I)



Rys. 43. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściąągów i słupa betonowego w stosunku do modelu bazowego (górotwór I)



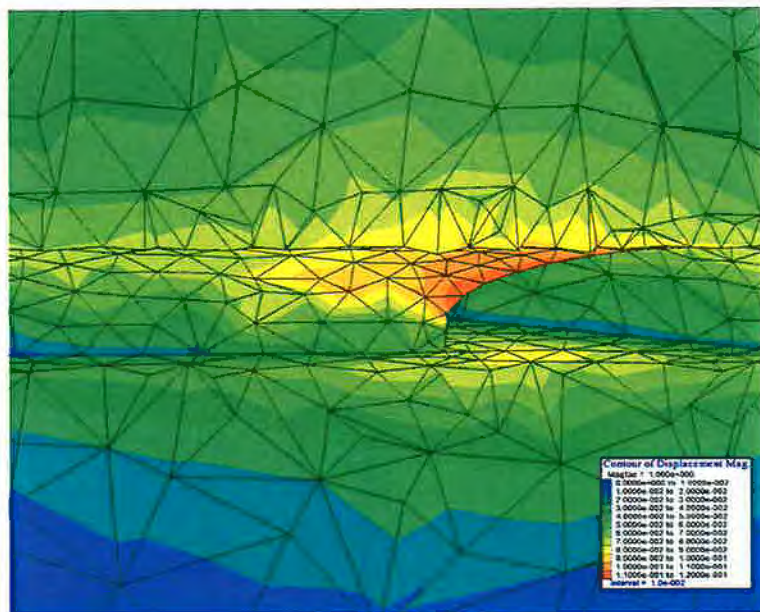
Rys. 44. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu iniekcji górotworu w stosunku do modelu bazowego (górotwór I)



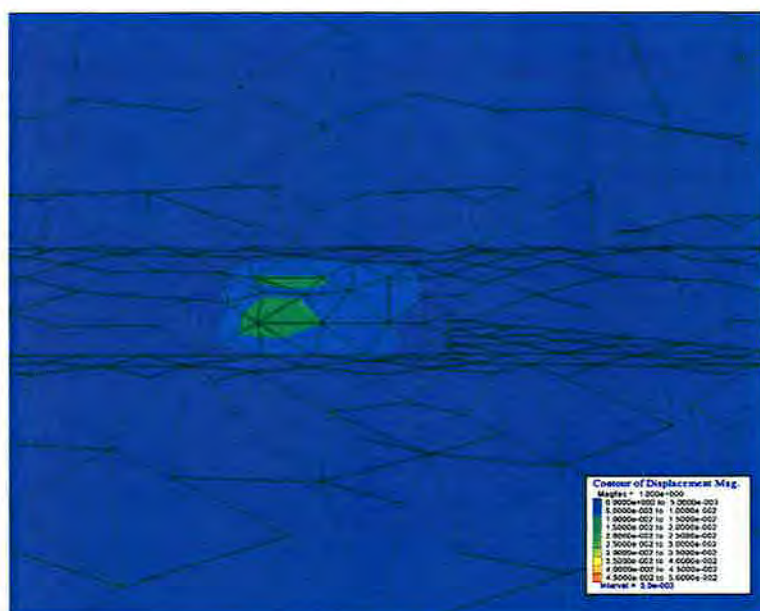
Rys. 45. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściąągów stalowych i iniekcji górotworu w stosunku do modelu bazowego (górotwór I)

2.4.2. Wyniki obliczeń numerycznych dla górotworu II

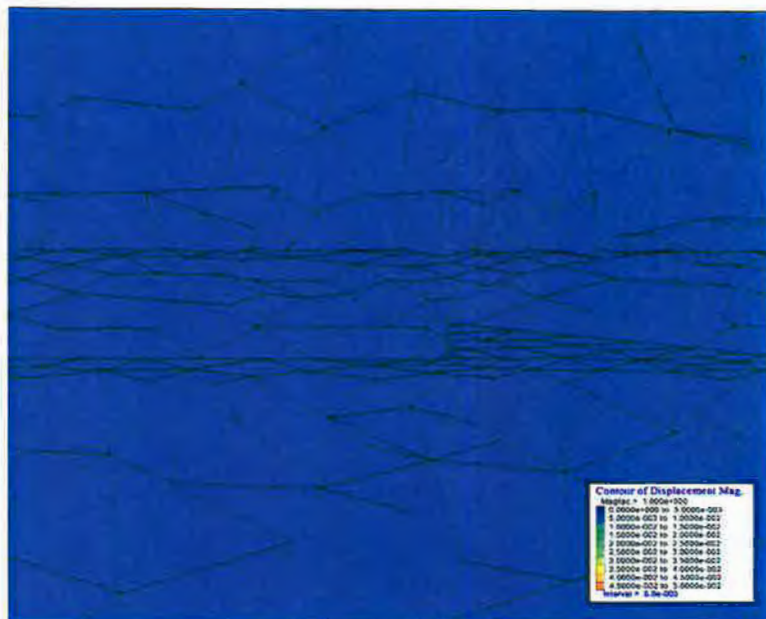
Na rysunku 46 przedstawiono przemieszczenia całkowite górotworu w rejonie łączących się wyrobisk dla modelu bazowego, zaś na rysunkach 47–51 różnice pomiędzy przemieszczeniami modelu bazowego i modeli z uwzględnieniem wzmocnienia górotworu lub/i z zastosowaniem dodatkowej obudowy.



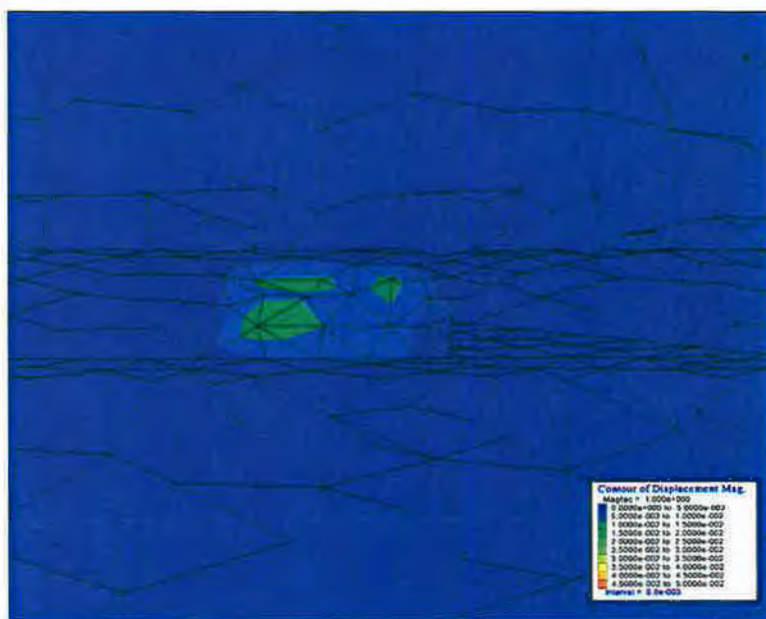
Rys. 46. Przemieszczenia całkowite górotworu w rejonie łączących się wyrobisk dla modelu bazowego (górotwór II)



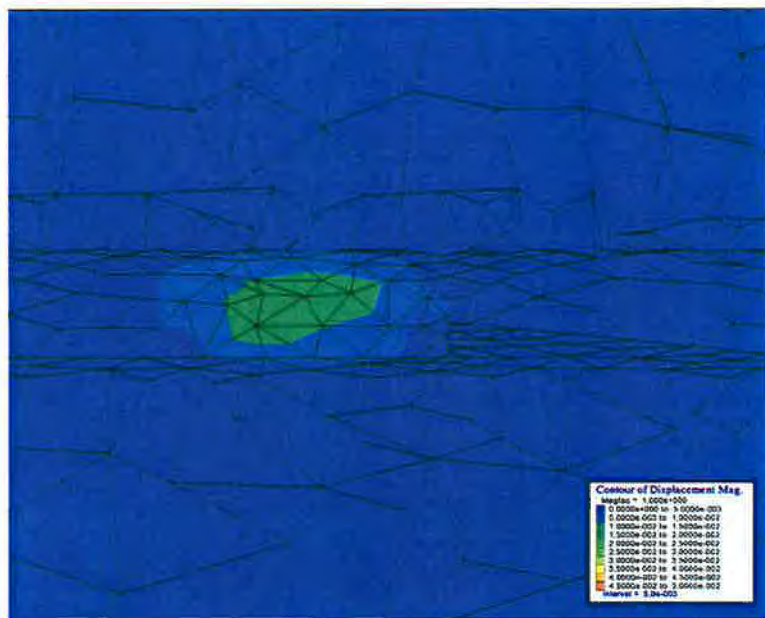
Rys. 47. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściągów stalowych w stosunku do modelu bazowego (górotwór II)



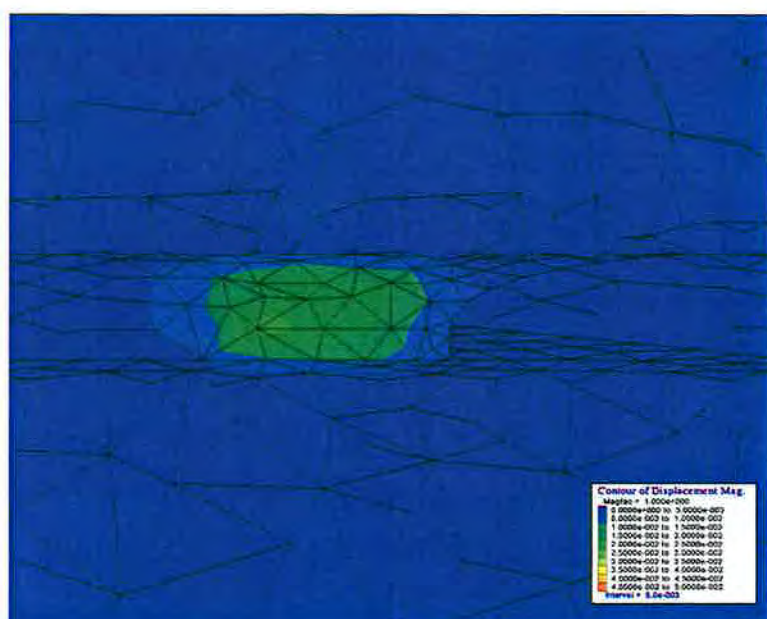
Rys. 48. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu słupa betonowego w stosunku do modelu bazowego (górotwór II)



Rys. 49. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściągów i słupa betonowego w stosunku do modelu bazowego (górotwór II)



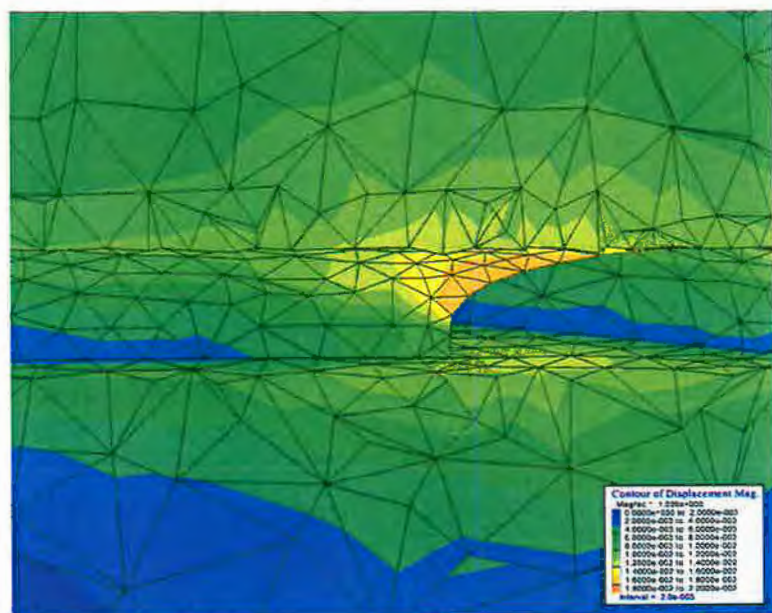
Rys. 50. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu iniekcji górotworu w stosunku do modelu bazowego (górotwór II)



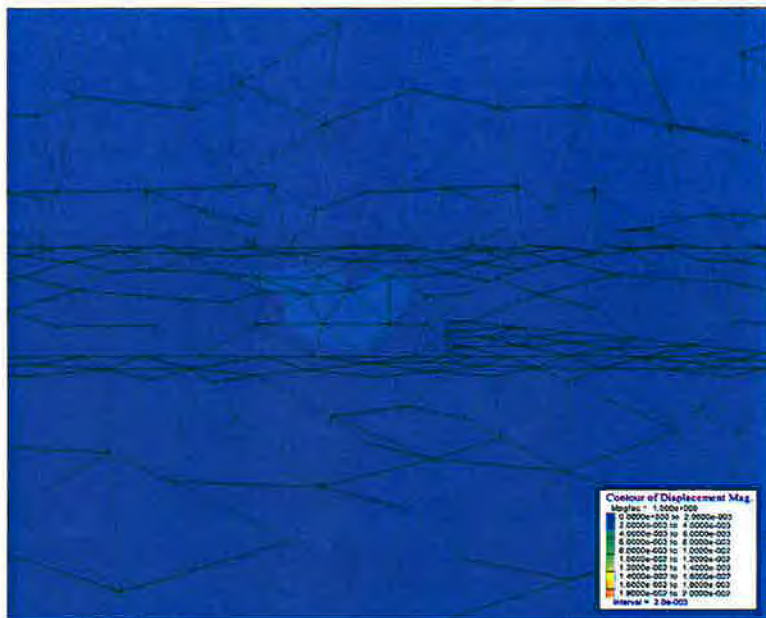
Rys. 51. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściąągów stalowych i iniekcji górotworu w stosunku do modelu bazowego (górotwór II)

2.4.3. Wyniki obliczeń numerycznych dla górotworu III

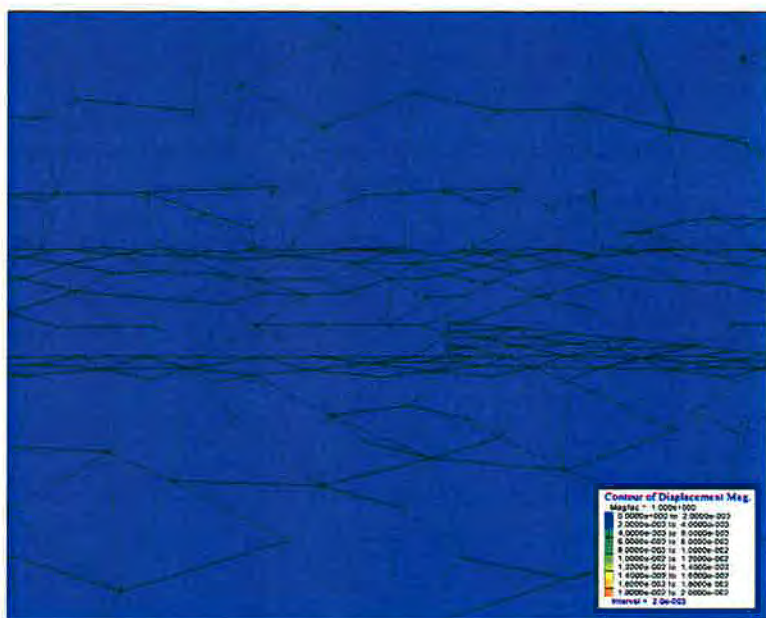
Na rysunku 52 przedstawiono przemieszczenia całkowite w rejonie łączących się wyrobisk dla modelu bazowego, zaś na rysunkach 53–57 różnicę pomiędzy przemieszczeniami modelu bazowego i modeli z uwzględnieniem wzmocnienia górotworu lub/i z zastosowaniem dodatkowej obudowy.



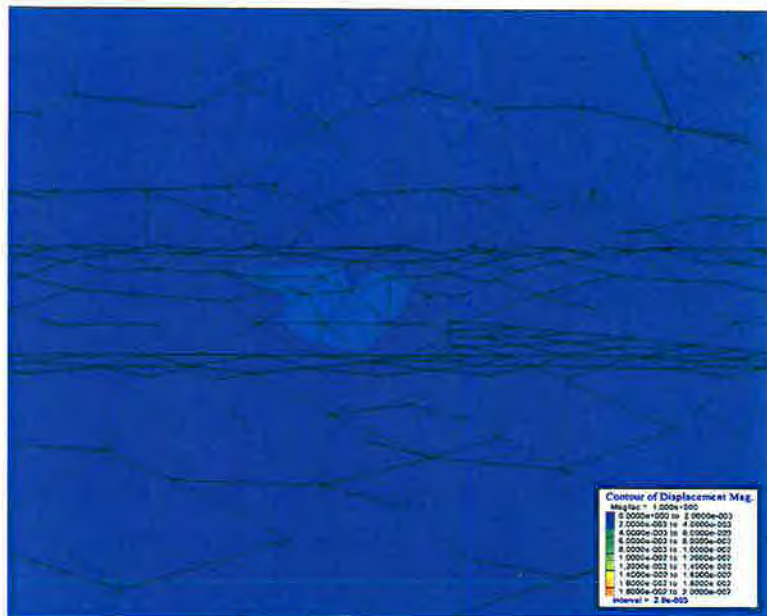
Rys. 52. Przemieszczenia całkowite górotworu w rejonie łączących się wyrobisk dla modelu bazowego (górotwór III)



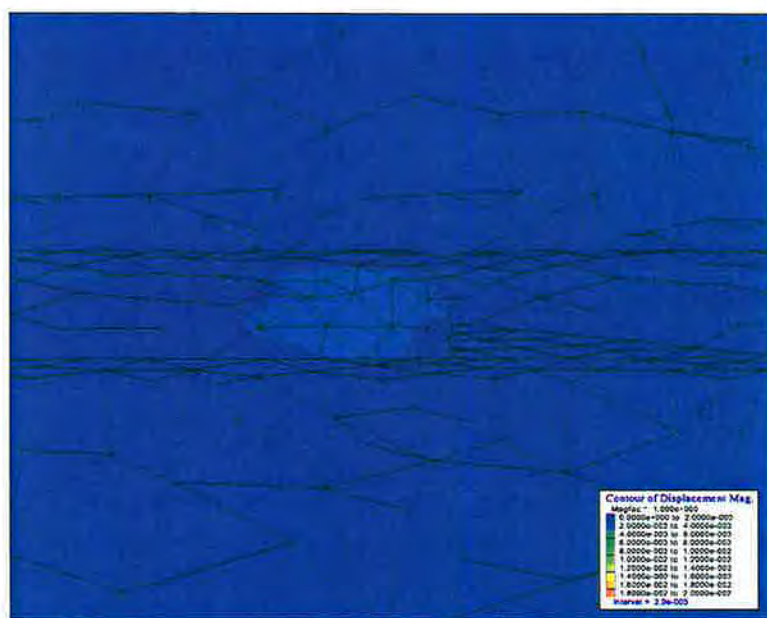
Rys. 53. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściągów stałowych w stosunku do modelu bazowego (górotwór III)



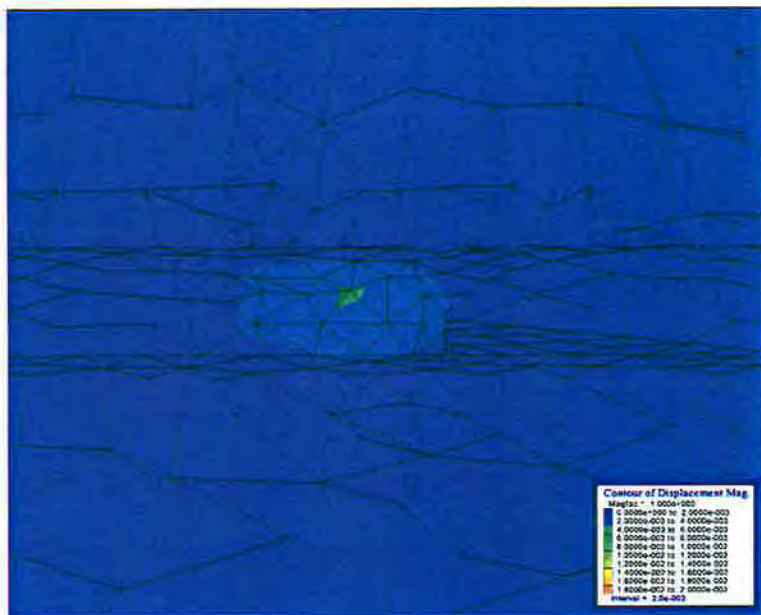
Rys. 54. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu słupa betonowego w stosunku do modelu bazowego (górotwór III)



Rys. 55. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściągow i słupa betonowego w stosunku do modelu bazowego (górotwór III)



Rys. 56. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu iniekcji górotworu w stosunku do modelu bazowego (górotwór III)



Rys. 57. Zmniejszenie przemieszczeń całkowitych w rejonie łączących się wyrobisk przy zastosowaniu ściąągów stalowych i iniekcji górotworu w stosunku do modelu bazowego (górotwór III)

2.4.4. Analiza wyników

Wykonane badania modelowe wykazały, że naroże odgałęzienia to najbardziej wyteżony obszar górotworu w rejonie połączenia wyrobisk. Zwiększenie parametrów wytrzymałościowych tego fragmentu górotworu znacząco wpłynęło na zmniejszenie obciążeń obudowy. W tablicy 5 zebrano wyniki prowadzonych badań.

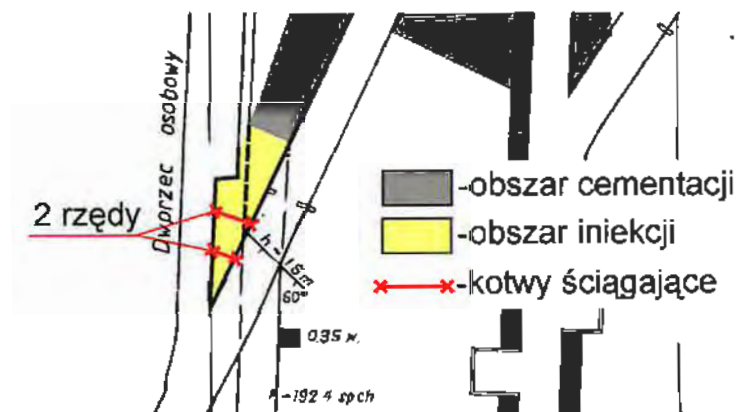
Tablica 5. Efekty zastosowania analizowanych sposobów wzmocnienia narożnika

Wyszczególnienie	Zmiana maksymalnych przemieszczeń, mm		
	górotwór I	górotwór II	górotwór III
Ściagi z prętów stalowych	52	14	3
Słup betonowy	0	0	0
Ściagi i słup betonowy	52*	14*	3
Iniekcja górotworu	36	1	0
Ściagi i iniekcja górotworu	108	22	3

* Znacząco zwiększył się obszar oddziaływania wzmocnienia.

Stwierdzono, że największy wpływ zastosowania wzmocnienia narożnika występował w przypadku skał słabych lub spękanych. Największą poprawę stanu wyteżenia górotworu wykazano, stosując ściągi wraz z iniekcją górotworu w rejonie naroża. Wyniki modelowania numerycznego wykazały, że bezcelowe jest stosowanie słupa betonowego bez dodatkowego wzmocnienia górotworu. Słup betonowy wraz ze ściągami nie powodował co prawda zmniejszenia przemieszczeń maksymalnych w rejonie naroża, jednak obszar oddziaływania wzmocnienia znacząco wzrósł.

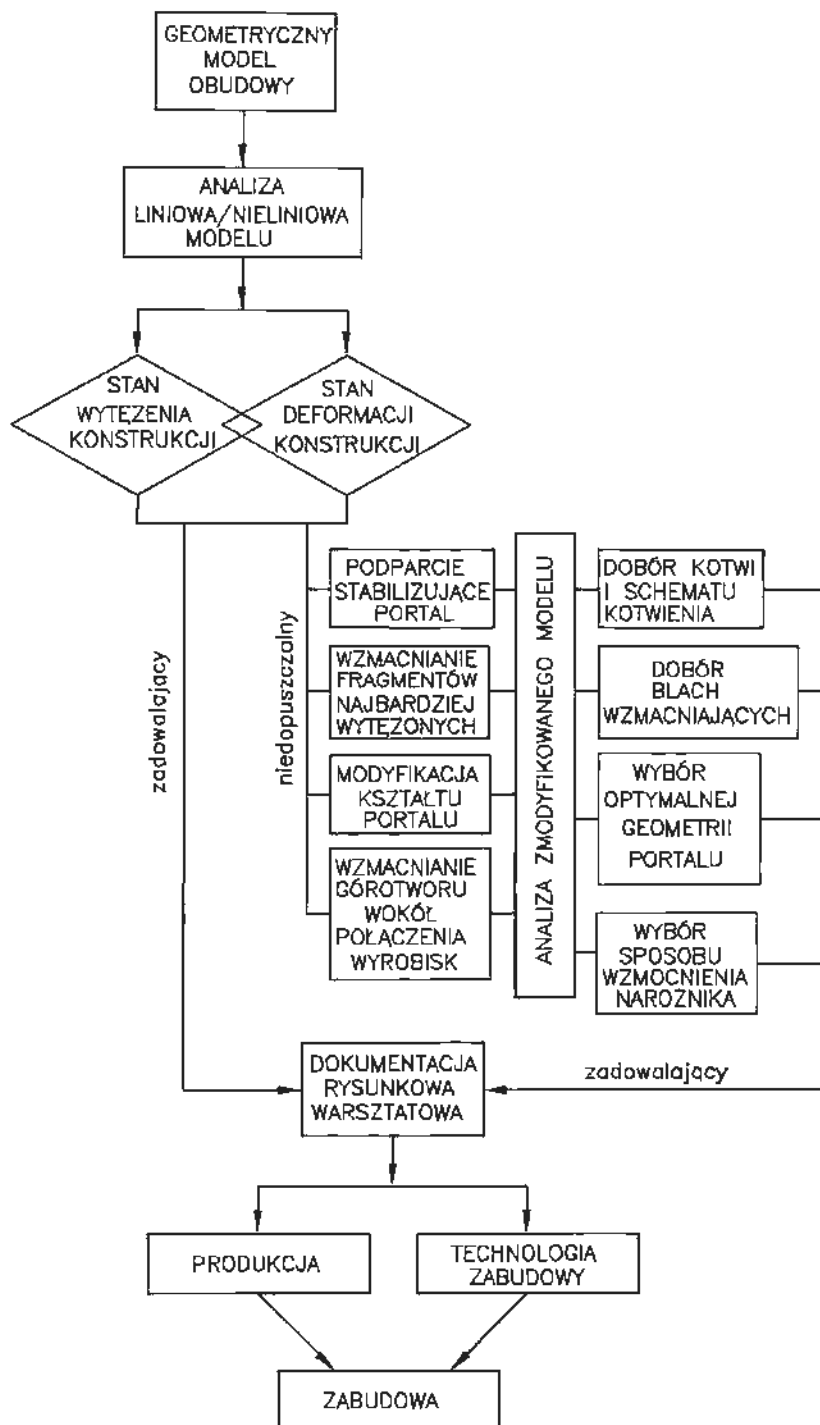
Szybkim i stosunkowo skutecznym rozwiązaniem jest iniekcja górotworu. Takie rozwiązanie zaproponowano do wzmocnienia rejonu naroża w kopalni „M” na poziomie 416 m (rys. 58).



Rys. 58. Schemat iniekcji górotworu w rejonie naroża połączeń wyrobisk w kopalni „M”

3. Podsumowanie i wnioski

Wykonano komputerowe badania modelowe zarówno konstrukcji portalowej obudowy odgałęzienia, jak i otaczającego ją górotworu. W ich wyniku zaproponowano sposoby pełnego wykorzystania parametrów nośnościowych konstrukcji zasadniczej. Polegają one na zapewnieniu stabilizacji konstrukcji, odporu ociosów, wzmacniania najbardziej wyężonych fragmentów konstrukcji oraz modyfikacji kształtu portalu. Istotnym elementem wpływającym na stan wyężenia konstrukcji jest też zwiększenie parametrów nośnościowych narożnika. Zaproponowano także algorytm projektowania portalowej obudowy odgałęzienia z uwzględnieniem sposobu jej wzmocnienia. Algorytm ten przedstawiono na rysunku 59.



Rys. 59. Algorytm projektowania obudowy odgałęzienia

Literatura

1. ANSYS – strona domowa producenta (www.ansys.com).
2. Bieniawski Z.T. (1987): Strata control in mineral engineering. Rotterdam, A.A. Balkema.
3. Bock S., Prusek S., Rotkegel M. (2009): Design and control of working support in Polish coal mines based on three-dimensional numerical modeling. 28th Int. Conf. on Ground Control in Mining, Morgantown, USA, s. 113-120.
4. Chmielewski T., Nowak H. (1996): Mechanika budowli. Metoda przemieszczeń. Metoda Crossa. Metoda elementów skończonych. Warszawa, Wydaw. Naukowo-Techniczne.
5. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłowski Z. (1996): Wytrzymałość materiałów, Tom I. Warszawa, Wydaw. Naukowo-Techniczne.
6. FLAC3D – strona domowa producenta (www.heitasca.com).
7. Hoek E. (1999): Rock engineering – course notes. Toronto, Evert Hook Consulting Engineer Inc.
8. Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1995): Support of underground excavations in hard rock. Rotterdam, Balkema.
9. Kalamaras G.S., Bieniawski Z.T. (1995): A Rock Mass Strength Concept for Coal Seams Incorporating the Effect of Time. Proc. of 8th ISRM Congress, Tokio.
10. Rakowski G. (1996): Metoda elementów skończonych. Wybrane problemy. Warszawa, Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej.
11. Rakowski G., Kacprzyk Z. (1996): Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Warszawa, Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej.
12. Rotkegel M. (2003): Obudowa odgałęzień i skrzyżowań wyrobisk korytarzowych. Od założeń do gotowego wyrobu. Konf. Wybrane zagadnienia z zakresu stosowania stalowych obudów chodnikowych. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, Seria Konferencje nr 45.
13. Rotkegel M., Bock S. (2009): Określenie strefy spękań wokół połączenia wyrobisk. II Konf. Nauk.-Szkol. Problemy Współczesnego Górnictwa. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko nr 2/1.
14. Rysiński E. (1994): Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M. Warszawa, Wydaw. Komunikacji i Łączności.
15. Stałęga S. (2001): Podstawy teoretyczno-badawcze projektowania szkieletowych konstrukcji obudowy skrzyżowań i odgałęzień wyrobisk udostępniających. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 845.
16. User's Guide (1999): COSMOS/M. Structural Research & Analysis Corp. Los Angeles, USA.

