

# MODELOWANIE I ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA SIATEK GABIONOWYCH

THE MODELING AND STRENGTH ANALYZING OF GABION GRIDS

Szczepan Śpiewak – Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Częstochowskiej przy współpracy z firmą DAWID Sp. z o.o. z siedzibą w Częstochowie-Sabinów

*W artykule zaprezentowano oryginalną metodę modelowania siatek gabionowych przy wykorzystaniu metody elementów skończonych (MES). Zidentyfikowano podstawowe problemy obliczania wytrzymałości gabionów. Przedstawiono dystrybucję sił wewnętrznych w poszczególnych segmentach siatki przy uwzględnieniu pojedynczego uszkodzenia drutu. Prezentowana metoda badań łączy wyniki eksperymentu z modelowaniem MES. Praca powstała przy współpracy Politechniki Częstochowskiej z przedsiębiorstwem DAWID Sp. z o.o.*

*An original method of modeling gabion grid by using the finite element method (FEM) is presented in the article. The basic problems of calculating the strength of gabions have been identified. Distribution of internal forces in individual segments of the grid taking into account the damage of a single wire has been presented. The presented method joins the results of experimental research with modeling by using FEM. The thesis was created in cooperation with Czestochowa University of Technology and DAWID company.*

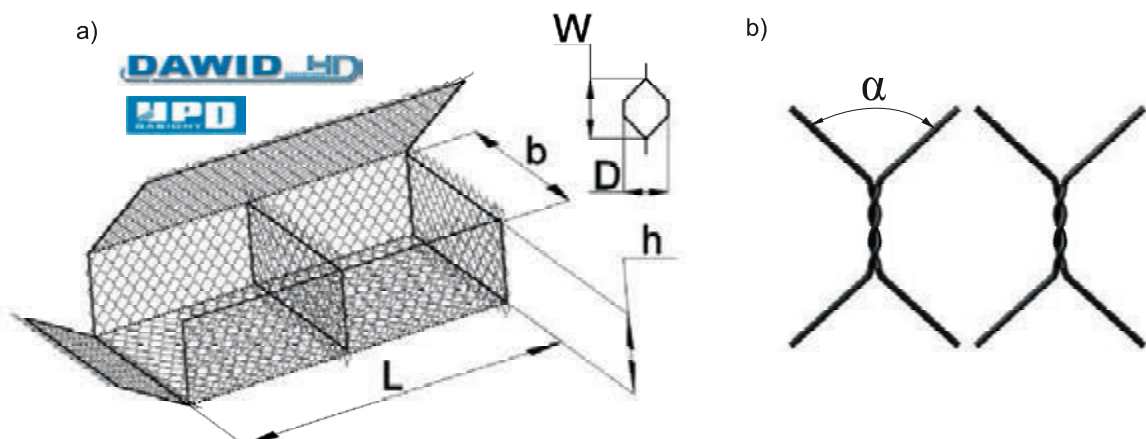
## Wstęp

Szybki rozwój budownictwa komunikacyjnego wymaga stosowania możliwie łatwych i tanich technologii budowy infrastruktury drogowej, dostosowanej do różnych warunków geologicznych i klimatycznych. Nie bez znaczenia jest również oddziaływanie konstrukcji na środowisko naturalne. Nadrzędnym kryterium budownictwa drogowego jest zapewnienie odpowiedniej stabilizacji zarówno podłoża jak i wszelkiego rodzaju otaczających infrastrukturę skarp, których przemieszczanie się może powodować zagrożenie trwałości budowli. Oprócz tradycyjnych rozwiązań opartych na technologii betonu coraz powszechniej wykorzystuje się systemy ścian oporowych składających się z koszy wykonanych z drutu stalowego ocynkowanego zwanych gabionami. Przykład jednego z typowych gabionów przedstawiono na rysunku 1a.

Kosze te wypełnia się materiałem skalnym o zróżnicowanej frakcji granulometrycznej dostosowanej do rozmiarów oczek,

a następnie poprzez odpowiedni system kotwienia osadza na gruncie, tworząc rodzaj zapory. Przykład sytuowania zabudowy gabionowej skarp przedstawiono na rysunku 2a. Taka konstrukcja w porównaniu z układem żelbetonowym cechuje się niewielką wrażliwością na nierównomierne osiadanie gruntu, przez co dobrze sprawdza się między innymi na terenach zalewowych oraz obszarach objętych szkodami górniczymi. Ponadto struktura zabudowy gabionowej ma wysoką przepuszczalność wodną. Gabiony są coraz częściej stosowane w budownictwie hydrologicznym. Ponadto wykorzystywane są w technice wojskowej, gdzie pełnią funkcję czasowych umocnień i osłon balistycznych [1, 2].

Ściany gabionów (rys. 1a) powstają poprzez zagięcia i wiązania siatek gabionowych. Podstawowe cechy wytrzymałościowe siatek gabionowych nadawane są poprzez silnie zaplecione heksagonalne oczka (rys. 1b). Siatka heksagonalna (gabionowa) oprócz zastosowania do produkcji gabionów, może być użyta jako tzw. kurtyna skalna, służąca zabezpie-



Rys. 1. Kosz gabionowy z przeponą zaplatany oczkami heksagonalnymi produkcji HPD (a), splot oczka heksagonalnego (b)

a)



b)



Rys. 2. Przykład wykorzystania koszy gabionów do budowy ścian oporowych (a), oraz kurtyn skalnych (b [3])

czaniu tras przed niebezpieczeństwem opadania odłamków skalnych lub jako tzw. geomata, której zadaniem jest zbrojenie powierzchni skarpy i zapobieganie spływowi gruntu (umożliwia zakorzenienie się roślin przeciwdziałających erozji). Wybrany przykład funkcjonowania kurtyny skalnej zaprezentowano na rysunku 2b [3].

Z uwagi na szerokie możliwości zastosowania siatek gabionowych, a w szczególności na uzasadniony technicznie i ekonomicznie aspekt doboru rozmiaru oczka i średnicy drutu, przydane będzie przeprowadzenie odpowiednich analiz wytrzymałościowych, uwzględniających charakterystyczny układ splotu i sześciokątny kształt oczka. W literaturze zauważalny jest brak informacji dotyczących metodyki obliczania i analizy parametrów wytrzymałościowych siatek gabionowych, a zawarte informacje pochodzące od producentów są pobieżne. Z inżynierskiego punktu widzenia posiadanie opracowanego modelu obliczeniowego siatki gabionowej, powinno umożliwić bardziej świadomy dobór parametrów geometrycznych siatki jak również oszacować poziom bezpieczeństwa całej konstrukcji oporowej. Prace doświadczalne prowadzone są przez światowego producenta gabionów - firmę MACCAFERRI oraz przedsiębiorstwo szwajcarskie Geobrugg AG [3]. Doświadczalne wyniki analizy sił naporu poziomego materiału skalnego na ściany gabionu jak również próby modelowania siatek gabionowych przedstawiono w pracy [2].

Wiodącym krajowym producentem siatek gabionowych i gabionów jest Zakład Produkcyjny DAWID Sp. z o.o., zlokalizowany na terenie Częstochowy i Włocławka. Przedsiębiorstwo to od ponad pół wieku specjalizuje się w technologii produkcji wyrobów z drutu w postaci między innymi szerokiego asortymentu taśm transportowych, sił, siatek ogrodzeniowych, siatek architektonicznych, tkanin technicznych, paneli ogrodzeniowych. Firma wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klientów inwestuje zarówno w nowoczesne zaplecze technologiczne jak i badawczo rozwojowe. Ponadto posiada stosowne rekomendacje i aprobaty techniczne wydane przez uprawnione instytucje (Instytut Techniki Budowlanej, Instytut Badawczy Dróg i Mostów). Przy wykorzystaniu doświadczeń produkcyjnych przedsiębiorstwa DAWID we współpracy z Instytutem Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Częstochowskiej postanowiono opracować metodykę wyznaczania obciążeń wewnętrznych powstających w strukturze siatki gabionowej, wywołanych działaniem złożonych sił zewnętrznych.

### Założenia budowy modelu obliczeniowego

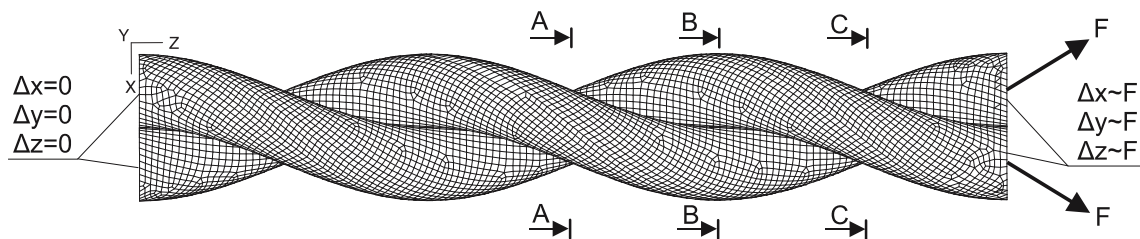
Siatki gabionowe mogą być wykonywane techniką zaplatania lub zgrzewania drutu. Z uwagi na szereg właściwości, zarówno technologicznych jak i wytrzymałościowych, najczęściej wykorzystuje się siatki plecione z oczkami heksagonalnymi [1]. Charakterystyczną cechą geometryczną siatek heksagonalnych jest krotność splotu, która wynosi 1,5. Nawijanie drutów (w efekcie czego powstają oczka siatki) następuje naprzemiennie, tzn. kierunek wzniosu linii śrubowej splotu pojedynczego drutu będzie zmieniał się cyklicznie z kierunku prawego na kierunek lewy. Zmiana kierunku zaplatania drutu następuje zgodnie z przyjętym wymiarem wysokości oczka heksagonalnego  $W$  (rys. 1a i 1b). Prezentowana w pracy analiza wytrzymałościowa dotyczy siatek plecionych z oczkami heksagonalnymi.

Prowadzenie prac doświadczalnych nad wytrzymałością siatek gabionowych w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu uniwersalnych maszyn wytrzymałościowych jest mocno uciążliwe ze względu na rozmiary zajmowanej przestrzeni. Alternatywą dla analizy doświadczalnej jest wykorzystanie współczesnych metod komputerowych.

Z mechanicznego punktu widzenia można założyć, że poszczególne odcinki siatki będące obrysem konturów oczek, stanowiąc będą układ cięgien (prętów) o dwóch różnych polach przekroju poprzecznego połączonych węzłowo. Biorąc pod uwagę warunki statycznej wyznaczalności układów prętowych można stwierdzić, że rozpatrywany układ będzie wielokrotnie statycznie niewyznaczalny. Zastosowanie klasycznych metod analitycznego wyznaczenia wartości sił w poszczególnych elementach siatki takich jak metoda sił, metoda przemieszczeń nastroczałoby wiele trudności. W związku z tym do analizy wytrzymałościowej siatki gabionowej wykorzystano metodę elementów skończonych (MES). Na podstawie charakterystycznej budowy siatki gabionowej stwierdzono, że metodykę obliczania nośności elementów gabionowych należy przeprowadzić w trzech etapach. W pierwszym etapie powinno się przeprowadzić pomiary średnic drutu i wykonać statyczną próbę rozciągania próbek wykonanych z drutu, z którego będą zaplatane siatki. W efekcie tego uzyskuje się charakterystykę naprężenie-odkształcenie ( $\sigma$ - $\epsilon$ ). W kolejnych etapach można przystąpić do wykonania modelu MES całej siatki gabionowej. W wyniku nawinięcia fragmentów drutu pole przekroju poprzecznego w miejscu powstania splotów jest dwukrotnie większe od pola przekroju poprzecznego odcinka drutu wychodzącego ze splotu oczka (rys. 1b). Powoduje to, że splot będzie

miał większą wytrzymałość mechaniczną. Ponadto pomiędzy elementami splotu powstaje złożony stan naprężenia, który częściowo wywołany jest zjawiskami kontaktowymi. Dodatkowo pomiędzy zwojami występują siły tarcia ślizgowego. Biorąc pod uwagę uwarunkowania dotyczące prowadzenia procedur obliczeniowych, opartych o modele MES, uzasadnione jest zbudowanie modelu siatki gabionowej, który nie będzie wymagał użycia dużej mocy obliczeniowych przy niewielkiej czasochłonności obliczeń. Przyjęte założenie wyklucza budowę modelu przestrzennego siatki z wykorzystaniem elementów skończonych trójwymiarowych. Zgodnie z przedstawioną we wstępie pracy specyfiką stosowania siatek gabionowych (podobnie i gabionów) można stwierdzić, że kierunek działania obciążenia będzie najczęściej nachylony względem płaszczyzny zawierającej się w oczkach siatki. W związku z tym modele obliczeniowe siatek gabionowych charakteryzować będą się geometryczną nieliniowością, która nieznacznie komplikuje metodykę definiowania równań równowagi statycznej zadania [4]. W celu uniknięcia konieczności rozwiązywania wielokrotnego zadania kontaktowego w strefie styku drut-drut w splotach przy złożonym stanie naprężenia, przystąpiono do drugiego etapu pracy, w którym wykorzystując podobieństwo geometryczne segmentów oczka siatki gabionowej zbudowano pełnowymiarowy model pojedynczego splotu. Ideą opracowanego modelu MES siatki gabionowej jest sprowadzenie poszczególnych odcinków obwodu oczek do jednoosiowego stanu naprężenia. Działanie to będzie stanowić trzeci etap proponowanej metodyki modelowego wyznaczania obciążeń siatek gabionowych i gabionów.

Siatkę MES modelu drugiego etapu przedstawiono na rysunku 3. Do dyskretyzacji struktury geometrycznej splotu



Rys. 3. Siatka modelu MES splotu oczka siatki gabionowej (drugi etap obliczeń)

użyto elementów skończonych ośmiowęzłowych typu *solid* [4]. Dla węzłów modelu zawartych w czołowych powierzchniach splotu zdefiniowano odpowiednie warunki przemieszczeń ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ), które zapewnią ciągłość statycznej równowagi sił wewnętrznych w drutach siatki. Kierunek działania obciążenia modelu siłą  $F$  przyjęto zgodnie z kątem  $\alpha$  mierzonym pomiędzy drutami zakończającymi splot oczka (rys. 1b).

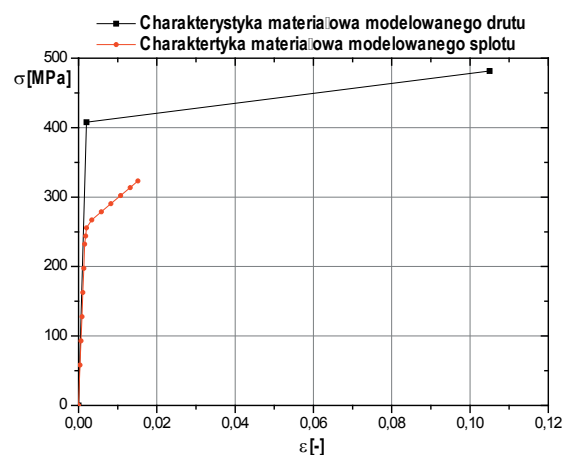
Dla węzłów opisujących zewnętrzne powierzchnie zaplatanego drutu określono warunki kontaktowe z uwzględnieniem sił tarcia. Na podstawie wyników opracowania [5], które uzyskano w oparciu o przeprowadzoną statyczną próbę rozciągania drutu (wg [6]), sporządzono charakterystyką  $\sigma$ - $\epsilon$ . Następnie na podstawie wartości  $\sigma$ - $\epsilon$  przyjęto, że stan materiału będzie opisany modelem materiałowym sprężysto-plastycznym (dwulinowym) z umocnieniem izotropowym [4], którego formę graficzną zaprezentowano na rysunku 4. Pozostałe założenia modelu etapu drugiego opierają się na idealizacji kształtów

i wymiarów geometrycznych segmentów siatki oraz jednorodności i izotropowości materiału drutu.

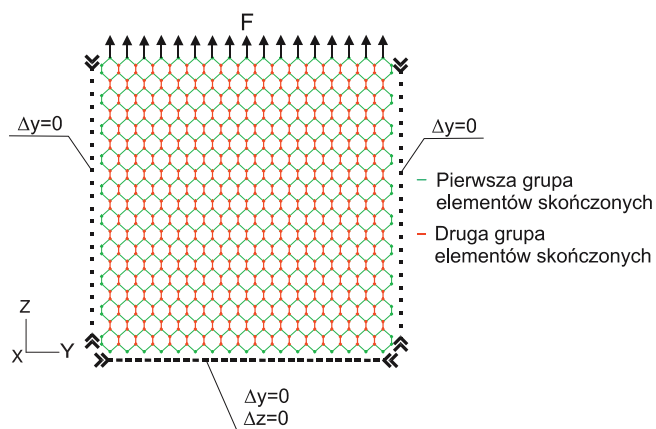
Prezentowany model MES posłużył do analizy obciążenia panującego wewnątrz zaplatanego drutu, wywołanego siłami rozciągającymi oraz umożliwił sporządzenie charakterystyki  $\sigma$ - $\epsilon$  dla pojedynczego splotu. Charakterystykę tę uzyskano poprzez wyznaczenie przemieszczeń węzłów do których przyłożono krokowo narastające siły rozciągające  $F$ .

Dysponując przygotowanymi charakterystykami modeli materiałowych opisującymi jednoosiowy stan naprężenia przystąpiono do budowy modelu MES siatki gabionowej (trzeci etap obliczania nośności). Siatkę MES modelu siatki gabionowej zaprezentowano na rysunku 5. W modelu tym poszczególne odcinki opisujące kontur oczek z zachowaniem wymiarów geometrycznych siatki, podzielono na elementy prętowe [4] (o stałej wartości pola przekroju poprzecznego) połączone w węzłach. Elementy skończone modelu były rozdzielone na dwie grupy. Pierwsza grupa odwzorowywała odcinki siatki jako pojedyncze druty, a druga zastępowała odcinki drutu zaplecionego. Do opisu modelu materiałowego elementów skończonych grupy pierwszej użyto takiej samej charakterystyki materiałowej jak w modelu etapu drugiego. Natomiast dla elementów skończonych grupy drugiej (splotu) przyjęto wieloliniową charakterystykę materiałową otrzymaną w efekcie prowadzonych obliczeń w etapie drugim (rys. 4). Zdefiniowane wielkości prezentowanego modelu stanowią uniwersalny opis typowej siatki gabionowej.

W celu przeprowadzenia wymaganych symulacji, precyzyjnie zdefiniowanego obciążenia w prezentowanym modelu na poszczególne węzły należy nałożyć odpowiednie warunki brzegowe przemieszczeń.



Rys. 4. Charakterystyki materiałowe modeli siatki gabionowej

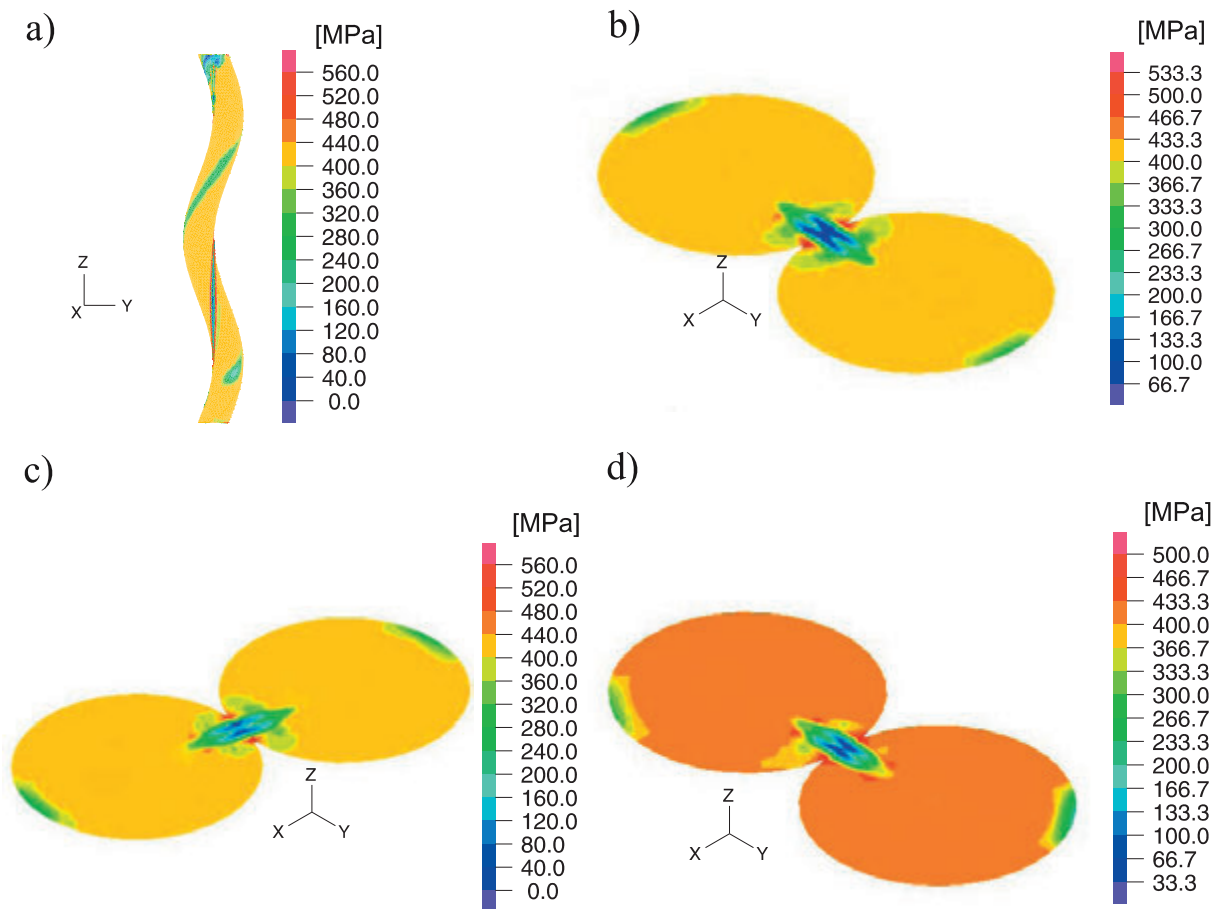


Rys. 5. Siatka MES modelu siatki gabionowej (trzeci etap obliczeń)

### Przykładowe rezultaty obliczeń

Analizie poddano siatkę gabionową produkcji HPD o wymiarze oczka heksagonalnego  $D \times W = 60 \times 80$  mm, wykonanej z drutu stalowego o średnicy 2,2 mm. Rozpiętość siatki przyjęto w przybliżeniu równą  $1 \times 1$  m. Założono, że na modelu etapu trzeciego wykonane będą obliczenia pozwalające na oszacowanie wytrzymałości na rozciąganie wyodrębnionego fragmentu siatki gabionowej. W związku z tym należało określić wartość naprężeń dopuszczalnych dla poszczególnych grup elementów

skończonych modelu. Na podstawie rezultatów badań zawartych w pracy [5] przyjęto, że naprężeniem dopuszczalnym będzie granica plastyczności wyznaczona w wyniku statycznej próby rozciągania drutu, która dla badanych próbek wyniosła  $R_e = 407,9$  MPa. Wielkość tę uwzględniono w modelu materiałowym drutu (rys. 4). Na podstawie granicy plastyczności i wielkości pola przekroju poprzecznego obliczono dopuszczalną wartość siły rozciągającej jaką można obciążyć elementy skończone grupy pierwszej (rys. 5) równą  $F_{1dop} = 1550$  N. Natomiast wyznaczenie wartości dopuszczalnej siły rozciągającej elementów skończonych grupy drugiej, ze względu na złożony stan obciążenia wewnętrznego wymaga analizy pól naprężeń w przekrojach poprzecznych oraz na powierzchniach zewnętrznych splotu. W tym celu przy wykorzystaniu modelu splotu (drugi etap obliczeń) wyznaczono pola naprężeń zredukowanych. Model obciążano krokowo wzrastającą siłą  $F$  przy jednoczesnym monitoringu odpowiednich pól naprężeń. Gdy w obszarach elementów skończonych pojawiło się rozległe uplastycznienie (równe wartości  $R_e$ ) to siłę rozciągającą, która je wywołała uznano za wartość dopuszczalnej siły rozciągającej dla elementów skończonych grupy drugiej  $F_{2dop}$ . Na rysunku 6 zaprezentowano wybrane pola naprężeń zredukowanych dla wartości siły  $F_{2dop} = 2456$  N wyznaczone dla zewnętrznej powierzchni splotu (rys. 6a) oraz dla wybranych płaszczyzn przekroju (rys. 6a-d), których położenie opisano na rysunku 3. Lokalizację reprezentatywnych powierzchni przekroju przyjęto odpowiednio równą połowie odcinka splotu (płaszczyzna A-A),



Rys. 6. Pola naprężeń zredukowanych zewnętrznej powierzchni splotu (a), oraz przekrojów poprzecznych poprowadzonych odpowiednimi płaszczyznami opisanymi na rysunku 3 odpowiednio: A-A (b), B-B (c), C-C (d) dla wartości siły rozciągającej  $F_{2dop} = 2456$  N

podziałce zwoju drutu w splocie (płaszczyzna B-B) oraz miejscu, w którym kończy się bezpośrednie oddziaływanie drutu na drut w splocie (płaszczyzna C-C).

Zgodnie z założonym celem analizy zdefiniowano warunki brzegowe modelu dla węzłów zlokalizowanych na obrzeżach siatki co zaznaczono na rysunku 5. Lewostronne i prawostronne skrajne odcinki modelu siatki pomimo, że geometrycznie reprezentowałyby fragmenty splotów, dyskretyzowano elementami grupy pierwszej. Założenie to przyjęto ponieważ przy zautomatyzowanym zaplataniu siatki gabionowej jej szerokość produkcyjna wynosi 4 metry. Z uzyskanego półfabrykatu wycina się segmenty, stanowiące ściany boczne gabionów lub żądane wymiary siatki.

Model obciążano krokowo wzrastającymi siłami rozciągającymi po kierunku z (rys. 5), dla których obliczano siły wewnętrzne działające na poszczególnych odcinkach siatki. Proces iteracji zakończono w momencie uzyskania maksymalnej dopuszczalnej wartości siły powodującej osiągnięcie granicy plastyczności elementu prętowego. Siły graniczne uzyskano dla elementów skończonych grupy pierwszej. Wartość dopuszczalnego obciążenia zewnętrznego na rozciąganie dla analizowanej siatki gabionowej, wyniosła  $q = 35700$  N/m.

Zbliżony wynik można uzyskać również na drodze prostych obliczeń analitycznych opartych na klasycznej mechanice wektorowej. Biorąc pod uwagę założenie o uniwersalności opracowanego modelu zdecydowano o przeprowadzeniu analizy obciążenia siatki gabionowej, w której wystąpił defekt w postaci przerwania drutu w oczku, spowodowany przypadkowym uszkodzeniem (będącym na przykład skutkiem sił ścinających, zaistniałych przy montażu siatki). Rozcięty odcinek drutu wybrano losowo. W modelu siatki gabionowej założono, że będzie to element grupy pierwszej (o mniejszych wartościach parametrów wytrzymałościowych). W modelu element ten zdefiniowano jako pręt o zerowym polu przekroju poprzecznego. Pozostałe warunki modelu nie uległy zmianie. Następnie w sposób analogiczny jak poprzednio, wykonano szereg obliczeń w celu identyfikacji elementu siatki, w którym pojawiła się wartość graniczna obciążenia wewnętrznego. Rezultat przeprowadzonej analizy zaprezentowano w postaci warstwy sił ( $R$ ) działających w elementach prętowych modelu siatki z defektem (rys. 7).

Na rysunku 7 wyszczególniono dwie maksymalne wartości sił działających w elementach siatki. Pierwsza wartość wy-

sząca 2284 N, dotyczyła elementu oznaczonego na rysunku jako *EL 107*. Element ten należy do drugiej grupy elementów skończonych modelu. Zidentyfikowana wartość maksymalna nie przekracza przyjętej wartości  $F_{2dop} = 2456$  N. Natomiast drugie maksimum opisuje stan najbardziej wyętego elementu grupy pierwszej oznaczonego jako *EL 255*, a siła w nim działająca stanowi obciążenie graniczne  $R = F_{1dop}$ .

Analizując wyniki przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że aby uniknąć propagacji uszkodzeń kolejnych segmentów siatki, wartość obciążenia rozciągającego siatkę w kierunku osi z powinna być o 6,9% mniejsza od wartości jaką można obciążyć tę samą siatkę bez defektu. Zobrazowane rezultaty przeprowadzonych symulacji wytrzymałościowych siatki gabionowej uwiadcniają jej zasadnicze zalety wynikające z heksagonalnej budowy oczka i charakterystycznej struktury splotu. Jak przedstawiono na rysunku 7 przy pojedynczym defekcie słabszego odcinka siatki, obciążenie wewnętrzne jest przejmowane przez mocniejsze segmenty (sploty), co sprawia, że ciągłość pozostałych elementów struktury siatki pozostaje nie naruszona. Krotność splotu oczka heksagonalno sprawia, że siatka gabionowa z defektem nie wykazuje znacznych tendencji do samoczynnego rozplatania drutów.

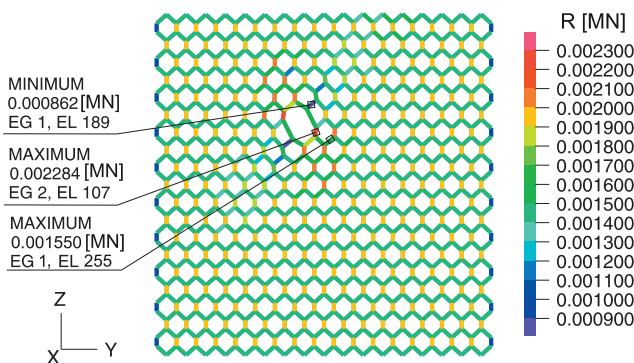
Należy również zaznaczyć, że w prowadzonej analizie przyjęto naprężenie dopuszczalne równe granicy plastyczności  $R_e = 407,9$  MPa, a natomiast wytrzymałość na rozciąganie badanego drutu wynosi  $R_m = 481,7$  MPa.

## Podsumowanie

W oparciu o przeprowadzoną analizę stosowalności siatek gabionowych o oczkach heksagonalnych, opracowano oryginalną metodę prowadzenia obliczeń wytrzymałościowych tego typu elementów. Opracowane modele mają charakter uniwersalny. Model etapu drugiego może być wykorzystany nie tylko do wyznaczenia prezentowanych w pracy charakterystyk materiałowych, ale również do obszernej analizy zjawisk kontaktowych zachodzących w strefie styku w splocie (drut-drut). Ponadto pozwala rozpatrywać złożone stany naprężeń występujących w splotach. Natomiast model etapu trzeciego poprzez odpowiednie uwarunkowanie brzegowe węzłów daje możliwość określenia wpływu obciążenia zewnętrznego siatek działającego wzdłuż dowolnych kierunków na ich właściwości użytkowe. W szczególności oprócz prezentowanej w pracy możliwości uwzględniania defektów struktury siatki za pomocą modelu trzeciego etapu można rozpatrywać warunki kotwienia siatek (określić podziałkę rozmieszczenia kotew lub innego typu zamocowań), prowadzić obliczenia związane zapewnieniem odpowiednich warunków bezpieczeństwa, projektowanym kurtynom skalnym, itp.

Wyznaczenie charakterystyki materiałowej splotu (rys. 4) w zakresie siły  $F_{2dop}$  umożliwia prowadzenie obliczeń dla siatek z defektami. Prezentowane w niniejszej pracy przykładowe rezultaty symulacji numerycznych mają charakter poglądowy i uwiadcniają jedną z wielu możliwości praktycznego wykorzystania proponowanej metody. Podkreślić należy, że uzyskane wyniki obliczeń odnoszą się do przeprowadzonych wcześniej eksperymentów.

Bazując na przedstawionych założeniach istnieje możliwość budowy modelu kosza gabionowego (dowolnego typu) z uwzględnieniem warunków obciążenia w ścianie oporowej.



Rys. 7. Warstwy sił wewnętrznych elementów modelu siatki gabionowej z pojedynczym defektem uzyskane dla maksymalnej dopuszczalnej wartości obciążenia rozciągającego siatkę

Niniejsza praca stanowi przykład praktycznego wykorzystania technik modelowania wytrzymałościowego w zagadnieniach związanych z projektowaniem obiektów, w których istnieje możliwość zastosowania siatek gabionowych i gabionów. Idea

powstałego opracowania skłania do podejmowania szerokiej integracji przemysłu i nauki. Obszerniejsze rezultaty badań prowadzonych we współpracy Politechniki Częstochowskiej z firmą DAWID będą przedmiotem kolejnych publikacji.

## Literatura

- [1] Grzegorzewicz K., *Gabiony*. Seminarium Instytutu Badawczego Dróg i Mostów oraz firm: Maccaferri, Konsport, P.P.H. TEX-1, Nector, Betafence, Dawid, ArcelorMittal – Konstrukcje Siatkowe W Drogownictwie I Geotechnice. Warszawa 24 kwietnia 2013
- [2] Kozłowski W., Surowiecki A., *Model symulacyjny elementu ściany gabionowej stabilizującej nasyp komunikacyjny*. Symulacja w Badaniach i Rozwoju, Vol 2, No. 2/2011
- [3] Mroziak M., Baraniak P., *Konstrukcje chroniące przed sphywami gruzowymi i spadającymi odłamkami skalnymi – testowanie, wymiarowanie, instalacja, użytkowanie*. Geobrugg AG, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Marzec – Kwiecień 2011
- [4] Rusiński E., Czmochoowski J., Smolnicki T., *Zaawansowana metoda elementów skończonych w ustrojach nośnych maszyn*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000
- [5] Głodkiewicz J., Pietrzykowski Ł., *Raport z badań nr LK00-0704/12/Z00NK wykonany dla HPD Sp. z o.o.* Laboratorium Konstrukcji i Elementów Budowlanych. Warszawa 2012
- [6] PN-EN ISO 6892-1:2009

