

Urządzenie do mocowania próbek siatek gabionowych w maszynie wytrzymałościowej



**Wykonanie, walidacja i ocena ergonomii użytkowania prototypu urządzenia
do mocowania próbek siatek gabionowych w maszynie wytrzymałościowej**

Opracowali:

dr inż. Szczepan Śpiewak
e-mail: szczepan.spiewak@pcz.pl

we współpracy z

mgr inż. Adrian Sadowski
e-mail: biuro@grupa-abs.pl

Politechnika Częstochowska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
ul. J.H. Dąbrowskiego 73
42-201 Częstochowa

Grupa ABS
Kusięta 343, 42-256 Olsztyn



1. Opis założeń projektowych i warunków zastosowania

Przedmiotem badań jest wynalazek nr 236192 o nazwie **urządzenie do mocowania próbek siatek gabionowych w maszynie wytrzymałościowej** objęty ochroną patentową przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej od dnia 11-07-2019 i zatwierdzony dokumentem patentowym z dnia 13-01-2021 (rys. 1).



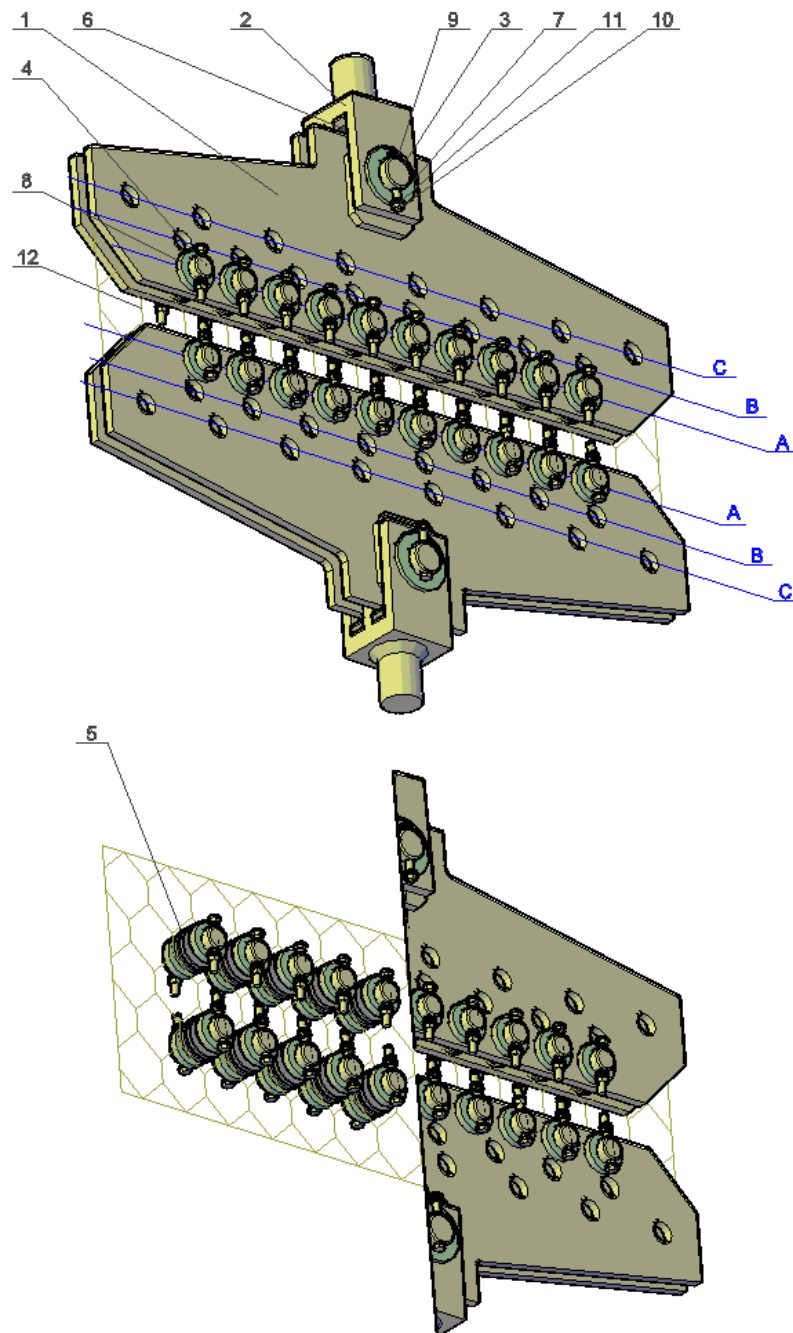
Rys. 1. Dokument patentowy urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych w maszynie wytrzymałościowej

Urządzenie to jest przeznaczone w szczególności do badania parametrów wytrzymałościowych heksagonalnych siatek gabionowych. Heksagonalne siatki gabionowe wytwarzane są głównie techniką zaplatania drutu stalowego. Charakterystyczną cechą geometryczną tych siatek jest krotność splotu, która wynosi 1,5. Nawijanie drutów (w efekcie czego powstają heksagonalne 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. Z uwagi na szereg własności zarówno technologicznych jak i wytrzymałościowych siatki gabionowe są wykorzystywane do zabezpieczania osuwisk skalnych (jako tzw. kurtyny skalne lub geomaty) oraz do produkcji gabionów, które wypełnione materiałem skalnym używane są między innymi do budowy ścian oporowych. W literaturze zauważalny jest brak informacji dotyczących metodyki obliczania i analizy parametrów wytrzymałościowych siatek gabionowych, a zawarte informacje pochodzące od producentów są pobieżne. Z publikacji pt. „Modelowanie i analiza wytrzymałościowa siatek gabionowych”, Górnictwo Odkrywkowe, 2014, Nr 5–6, Vol. 55, strony 177–182 znana jest procedura prowadzenia analizy wytrzymałościowej siatek gabionowych wykorzystująca metodę elementów skończonych. Z normy PN-EN 10223-3:2014-03 pt. „Drut stalowy i wyroby z drutu na ogrodzenia i siatki” znane są wytyczne w zakresie procedury wyznaczania wytrzymałości siatek gabionowych o standardowych wymiarach oczek $W \times D$: 50x70,

60x80, 80x100, 100x120. Według normy badanie siatek można przeprowadzać z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej (zrywarki). W normie w sposób schematyczny pokazano ideę montażu próbek wyciętych z siatki gabionowej. Norma sugeruje, aby próbki były zaczepiane na hakach osadzonych w płytach mocujących, a płyty te należy wymiarowo dostosować do każdego z wymiarów oczek siatki. Wymogiem normy – uznającym poprawność przeprowadzenia próby rozciągania jest by zerwanie segmentu siatki nie następowało w bliskości haka. W dokumencie nie zdefiniowano żadnego z wymiarów systemu mocowania próbek, rodzaju materiału oraz współczynników bezpieczeństwa wytrzymałościowego płyt mocujących, jak również wytycznych jak skonstruować oprzyrządowanie zapewniające jednoczesne spełnienie wszystkich opisanych w normie wymagań badania.

Celem wynalazku było opracowanie urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych w uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej (zrywarcie), które umożliwi badanie parametrów wytrzymałościowych heksagonalnych siatek gabionowych całego stosowanego obecnie asortymentu siatek, przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów ujętych w normach, w szczególności wymogu normy PN-EN 10223-3:2014-03, tj. by zerwanie segmentu siatki nie następowało w bliskości haka do którego podczepiany jest początek splotu oczka siatki. Urządzenie powinno ponadto zapewnić zbliżenie warunków prowadzonej próby wytrzymałościowej do warunków rzeczywistego funkcjonowania siatek gabionowych dla rozpatrywanego asortymentu oraz pozwolić na przeprowadzanie badań wytrzymałościowych struktur zaplatanych o zbliżonych do siatek gabionowych parametrach geometrycznych wytrzymałościowych. Cel ten osiągnięto w urządzeniu do mocowania próbek siatek gabionowych w maszynie wytrzymałościowej złożonym z dwóch bliźniaczych uchwytów

Budowę oprzyrządowania i sposób instalowania próbek siatek gabionowych zaprezentowano na rysunku 2. Zaprojektowane oprzyrządowanie składa się z dwóch identycznych zespołów części zwanych uchwytem górnym i uchwytem dolnym. Zaczep 2 sprzężony jest z płytami mocującymi 1 za pośrednictwem luźno osadzonego w otworach zaczepu i płyty sworznia 3. Sworznie 3 jest zabezpieczony przed wysunięciem za pomocą okrągłych podkładek 7 i poprzecznie umieszczonych w otworach sworznia śrub 9. Śruby 9 zabezpieczone są podkładką okrągłą 11 i nakrętką 10. Badana próbka siatki gabionowej 12 jest umieszczana pomiędzy płytami mocującymi 1. Obrzeża heksagonalnych oczek siatki 12 spoczywają na specjalnie zaprojektowanych wymiennych tulejkach 5 o stałej wysokości. Tulejki 5 zespolono z płytami mocującymi 1 za pośrednictwem luźno osadzonych sworzni 4. Wymienne sworznie 4 są zabezpieczone przed wysunięciem za pomocą podkładek okrągłych 8 i poprzecznie umieszczonych w otworach sworzni 4 śrub (podobnie jak dla powyżej opisanego połączenia). W kanałach zaczepu 2 umieszczono za pośrednictwem kleju gumowe wkładki amortyzujące 6. Wszystkie zaprojektowane elementy przyrządu pełnią ściśle określoną funkcję, a ich wymiary zostały dostosowane do wymagań wytrzymałościowych materiałów z których zostały wykonane ze szczególnym uwzględnieniem charakterystycznych parametrów geometrycznych próbek siatek gabionowych o zdefiniowanym asortymencie. Założono również możliwie ograniczenie masy zespołu w celu ręcznego montażu osprzętu w maszynie wytrzymałościowej. Ponieważ podstawowy asortyment powszechnie stosowanych siatek obejmuje siatki heksagonalne o wymiarach: oczek /średnica drutu splotów ($W \times D/d$) 60x80/2,2; 60x80/2,7; 80x100/2,2; 80x100/2,7; 100x120/2,7, 100x120/3,0, warunkuje tym samym wymaganą podziałkę poprzecznego rozmieszczenia oczek.



Rys. 2. Wizualizacja budowy oprzyrządowania (wynalazku) ze sposobem instalowania próbek siatek gabionowych (uchwyt górny i uchwyt dolny)

W związku z tym bazując na wytycznych normy PN-EN 10223-3:2014-03 o liczbie oczek próbki przypisanych do wymienionego asortymentu określono podziałkę rozmieszczenia poszczególnych rzędów otworów w płytach mocujących 1:

- rząd dziesięciu otworów w płytach mocujących 1 oznaczonych na rysunku 2 literą A dostosowany jest do instalowania próbek siatki gabionowej o wymiarach oczka 60x80;

- rząd ośmiu otworów w płytach mocujących 1 oznaczonych na rysunku 2 literą B dostosowany jest do instalowania próbek siatki gabionowej o wymiarach oczka 80x100;

- rząd ośmiu otworów w płytach mocujących 1 oznaczonych na rysunku 2 literą C dostosowany jest do instalowania próbek siatki gabionowej o wymiarach oczka 100x120;

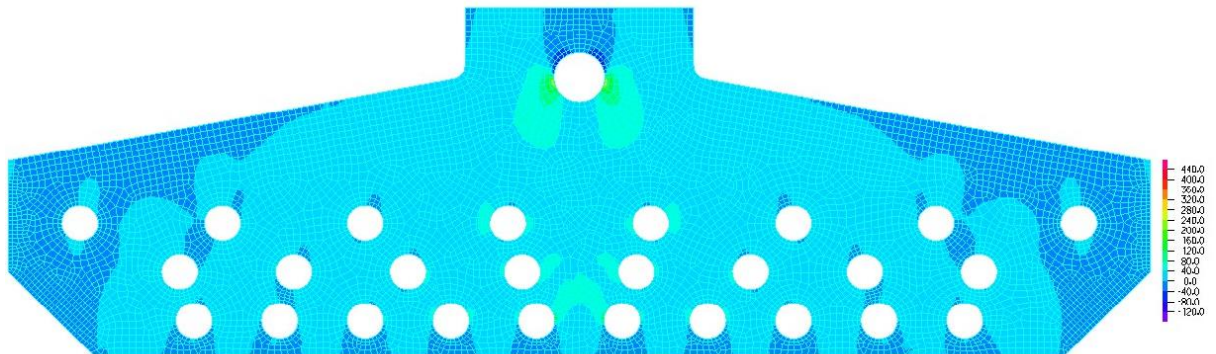
Rozmieszczenie i dobór odległości pomiędzy rzędami A, B i C przyjęty został w oparciu o wymiary próbek danego asortymentu siatek oraz możliwość bezkolizyjnego ich montażu.

Średnice otworów montażowych w poszczególnych rzędach pod sworznie 4 i wymienne tulejki pośrednie oczek 5 są takie same w celu ograniczania do minimum liczby części zespołu. Płyta mocująca 1, zaczep 2, sworznie 3, sworznie 4 zostały zaprojektowane przy zachowaniu możliwie jak najwyższych współczynników bezpieczeństwa (w odniesieniu do granic plastyczności poszczególnych materiałów) celem zapewnienia odpowiednio wysokiej sztywności całego przyrządu względem sztywności badanych próbek tak, aby praca sił zadawanych przez maszynę wytrzymałościową była bezpośrednio transformowana na energię odkształcenia próbki siatki gabionowej aż do momentu jej zerwania. Minimalna wartość współczynnika bezpieczeństwa w całym układzie wynosi 3. Z uwagi na zapewnienie możliwie długiej trwałości przyrządu, która warunkowana jest uniknięciem lokalnych odkształceń plastycznych w obszarach strefy styku połączeń sworzniowych - wybrane elementy zostały ulepszone cieplnie. Cały przyrząd z zachowaniem wyszczególnionych założeń projektowych został dostosowany do badań wytrzymałościowych próbek siatek heksagonalnych wykonanych z drutu o średnicy do 4 mm i wytrzymałości na rozciąganie 550 MPa. Kształt i wymiary zaczepu 2 jak i wysokość tulejek 5 zostały dobrane tak by płyty mocujące 1 nie były narażone na zjawisko rozciągania mimośrodowego, które mogło by zakłócać rejestrację odkształceń badanych próbek. W efekcie płyta mocująca 1 z mechanicznego punktu widzenia może być traktowana jako belka zginana w jednej płaszczyźnie. Przegubowe połączenie zaczepu 2 z płytami mocującymi 1 zostało wprowadzone celem zapewnienia jednokierunkowego działania wypadkowych sił w oczkach siatki. Takie działanie pozwala na identyfikację ewentualnych wad nierównomierności struktury na całej szerokości siatki (belka będzie samoczynnie korygować swoje nachylenie względem poziomu w zależności od sił wewnętrznych w poszczególnych segmentach siatki). Przy bardziej zaawansowanych badaniach takie rozwiązanie pozwala rozpatrywać wpływ uszkodzeń pojedynczych segmentów siatki na dalszą propagację uszkodzeń.

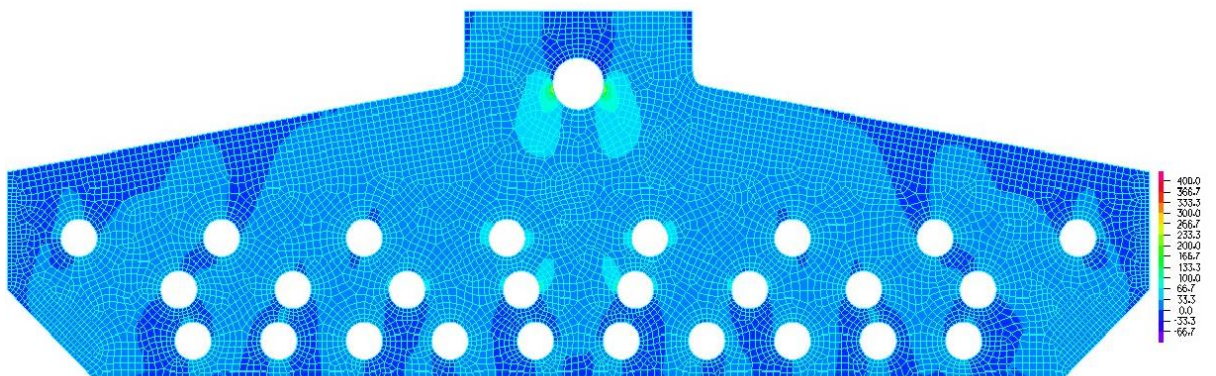
Zerwanie badanych próbek siatki może mieć charakter dynamiczny, próbka może pękać nierównomiernie w efekcie tego powstała wypadkowa reakcji może spowodować obrót płyty mocującej 1 (z osprzętem) względem osi symetrii sworznia 3. Wówczas istnieje niebezpieczeństwo, że krawędź płyty mocującej uderzy w zaczep, a energia uderzenia zostanie dalej przekazana na głowicę maszyny wytrzymałościowej. W celu zniwelowania skutków ewentualnego zderzenia w kanałach zaczepów 1 zainstalowano gumowe wkładki amortyzujące 6.

Kształt płyt mocujących 1, rozstaw i średnice otworów zostały tak zaprojektowane, aby maksymalne naprężenia jakie mogą zostać wywołane siłami niszczącymi próbki siatek były względnie równomierne i nie mogły mieć znaczącego wpływu na dystrybucję sił wewnętrznych w poszczególnych segmentach badanych siatek. W celu weryfikacji tego założenia przy wykorzystaniu metody elementów skończonych zamodelowano płytę mocującą. Następnie w oparciu o wykonany model obliczeniowy wyznaczono dystrybucję naprężeń normalnych w strukturze elementu, który obciążano w zakresie granicznym dla maksymalnych sił zrywających próbki, wykonane z drutu o średnicy 4 mm

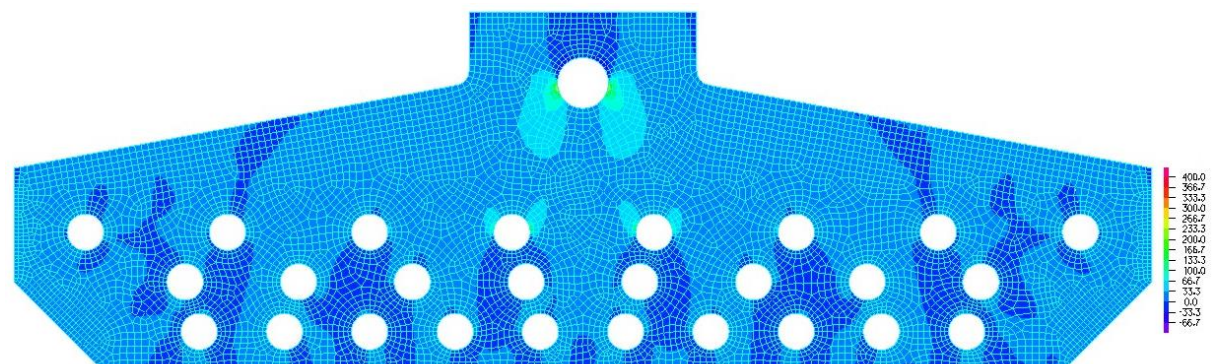
i wytrzymałości na rozciąganie 550 MPa. Rezultaty obliczeń modelowych dla asortymentów 60x80/4; 80x100/4; 100x120/4 zaprezentowano kolejno na rysunkach: 3, 4, 5.



Rys. 3. Warstwy naprężeń normalnych w [MPa] powstałych w chwili równomiernego rozerwania próbki siatki gabionowej asortymentu 60x80/4



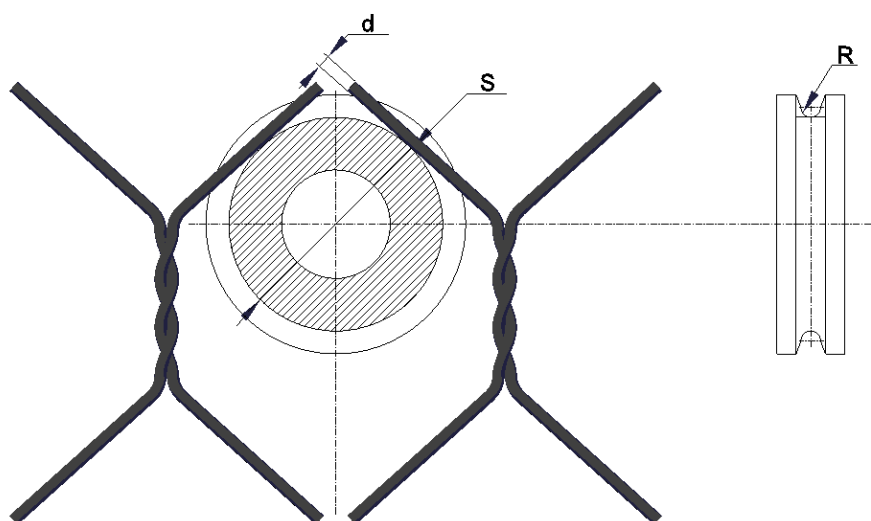
Rys. 4. Warstwy naprężeń normalnych w [MPa] powstałych w chwili równomiernego rozerwania próbki siatki gabionowej asortymentu 80x100/4



Rys. 5. Warstwy naprężeń normalnych w [MPa] powstałych w chwili równomiernego rozerwania próbki siatki gabionowej asortymentu 100x120/4

Z przedstawionych dystrybucji naprężeń wynika, że największe lokalne ich koncentracje zlokalizowane są w obrębie otworu za pośrednictwem, którego mocowany jest zaczepek. W związku z tym bazując na rozmiarach pól naprężeń obejmujących ich koncentrację w miejscu zaczepek umiejscowiono nakładkę. Nakładkę tę połączono ze strukturą płyty spoiną pachwinową. Minimalne wartości współczynników bezpieczeństwa dla rozpatrzonych stanów obciążeń płyty mocującej z nakładką wynoszą: 5,7 dla asortymentu 60x80/4, 6,4 dla asortymentu 80x100/4 i 5,4 dla asortymentu 100x120/4.

Ponieważ zgodnie z wymogiem normy PN-EN 10223-3:2014-03 próbki siatek gabionowych nie powinny ulegać zerwaniu w bliskości haka. Według rysunku przedstawionego w normie haki o nieokreślonych wymiarach opierają się o początek splotu oczka. Takie skojarzenie par materiałowych powoduje powstawanie dużych wartości naprężeń kontaktowych, które po skumulowaniu z naprężeniami rozciągającymi będą powodowały zerwanie drutu w bliskości splotu. Aby to zjawisko ograniczyć, a próbę wytrzymałościową zbliżyć do warunków rzeczywistego funkcjonowania siatek gabionowych dla rozpatrywanego asortymentu zaprojektowano wymienne tulejki pośrednie oczek 5 (rys. 6) o specjalnie dobranej geometrii, zapewniającej korzystniejszą dystrybucję naprężeń kontaktowych. Szczegół skojarzenia oczka próbki siatki gabionowej i tulejki pośredniej przedstawiono na rysunku 6.

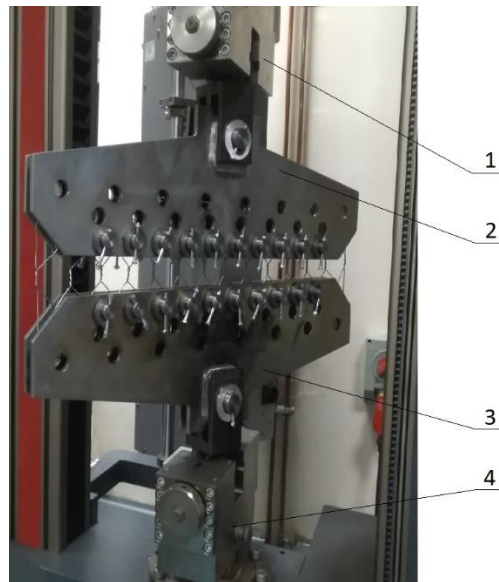


Rys. 6. Skojarzenie tulejki i oczka siatki gabionowej w przyrządzie

Każde z heksagonalnych oczek jednego rzędu badanej próbki siatki gabionowej o szerokości W jej oczka heksagonalnego układa się w obwodowych rowkach tulejek.

Wszystkie tulejki wymienne dedykowane są do asortymentu wymiarowego oczek i średnic drutu: $(W \times D/d)$ 60x80/2,2; 60x80/2,7; 80x100/2,2; 80x100/2,7; 100x120/2,7, 100x120/3,0. W tulejkach zdefiniowano dwa charakterystyczne wymiary, które mają spełniać opisane funkcje. Są to średnica osadzca S , którą określono proporcjonalnie do wymiaru W oczka siatki oraz promień R , którego wartość uzależniono od średnicy drutu d przy zachowaniu stałej wartości współczynnika przylegania $k = 0,6$.

Na rysunku 7 zaprezentowano docelowy sposób użycia zaprojektowanego urządzenia. Uchwyt górny 2 (za pośrednictwem części walcowej zaczepu) jest mocowany w uniwersalnych szczękach ruchomej głowicy pomiarowej 1 maszyny wytrzymałościowej (użycie szczęk pryzmatycznych do instalowania próbek walcowych). Podobnie uchwyt dolny 3 jest mocowany do stacjonarnej głowicy maszyny wytrzymałościowej 4.

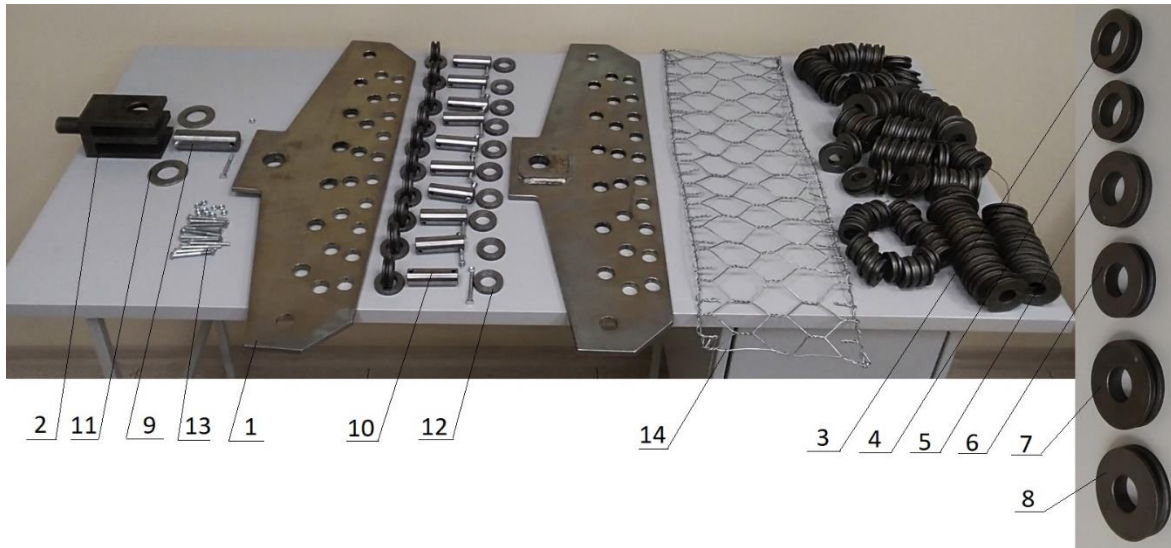


Rys. 7. Osadzenie uchwyty w szczękach pryzmatycznych

2. Opis prototypu i warunków montażu – walidacja i ergonomia użytkownika

2.1. Montaż pojedynczego uchwytu z próbką siatki gabionowej

Prototypy części składowych zaprojektowanego urządzenia przedstawiono na rysunku 8. Wszystkie powołania na numery części w dalszej części raportu będą się odnosiły do numerów oznaczonych na rysunku 8.



Rys. 8. Fotografia elementów urządzenia i próbki siatki gabionowej

Najefektywniejszy sposób i kolejność montażu elementów urządzenia i próbki siatki gabionowej zaprezentowano poniżej. W pierwszej kolejności zaleca się umieścić wszystkie elementy na stole (rys. 8). Opisany montaż przeprowadzono na stole laboratoryjnym o wysokości 1 metra. Następnie należy dobrać zestaw tulejek pośrednich oczek (numery od 3-8 w rys. 8) odpowiedni do wariantu siatki gabionowej na której będzie przeprowadzony test. Śruby 13 zabezpieczające sworznie tulejek pośrednich 10 należy umieścić w jednym z otworów tych sworzni i zabezpieczyć przed wysunięciem nakrętkami. Podobnie należy postąpić ze sworzniem zaczepu 9. Płytę mocującą 1 z nakładką należy wysunąć ponad blat stołu (rys. 9a) tak by była możliwość przelotowego umieszczenia sworzni tulejek pośrednich 10 w odpowiednim rzędzie otworów (rys. 2). Zalecane jest zabezpieczenie wysuniętej płyty przed zsunieniem ze stołu za pomocą np. ścisku stolarskiego.



Rys. 9a. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

Podkładki 12 pod śrubę M24 należy nasunąć na sworznie i umieścić w odpowiednim rzędzie otworów (rys. 9b).



Rys. 9b. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

W dalszej kolejności płytę z umieszczonymi otworami należy ustawić w pozycji pokazanej na rysunku 9c, opierając o brzegi sworzni (rys. 9d).



Rys. 9c. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej



Rys. 9d. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

Następnie bez oderwania płyty od stołu należy obrócić układ względem najdłuższej krawędzi. Kolejną płytę należy wysunąć poza obrys stołu tak żeby obrys otworu płyty pod sworzień zaczepu 9 wystawał poza krawędź blatu (rys. 9e). Zalecane jest zabezpieczenie zmontowanego układu przed przypadkowym zsunięciem ze stołu.



Rys. 9e. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

Na wystające sworznie 10 należy nałożyć tulejki pośrednie oczek (rys. 9f).



Rys. 9f. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

W takim ustawieniu można umieścić próbkę siatki gabionowej 14. Obrzeża oczek siatki należy równomiernie nasunąć w rowki tulejek pośrednich (rys. 9g).



Rys. 9g. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

Następnie na sworznie tulejek pośrednich należy równomiernie nałożyć płytę mocującą (rys. 9h).



Rys. 9h. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

Kolejny etapem jest nasunięcie na wystające (poza powierzchnię płyty mocującej) końcówki sworzni podkładek 12 (rys. 9i) oraz umieszczenie w otworach tych sworzni śrub zabezpieczających

z nakrętkami 13 (rys. 9j).



Rys. 9i. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej



Rys. 9j. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

Podkładkę 11 pod śrubę M36 należy nasunąć na sworzeń 10, a zaczepek 2 wsunąć przegradą pomiędzy płyty i ustawić go współśrodkowo względem otworu (rys. 9k).



Rys. 9k. Etap montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

W otworach płyt i zaczepu należy od góry umieścić sworzень 10 z podkładką 11 (rys. 9l). Następnie od spodu nasunąć na ten sworzень podkładkę 11 i zabezpieczyć śrubą i nakrętką 13.



Rys. 9l. Etapy montażu części składowych urządzenia i próbki siatki gabionowej

2.2. Montaż urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych w maszynie wytrzymałościowej

Najefektywniejszy sposób i kolejność montażu elementów urządzenia i próbki siatki gabionowej zaprezentowano poniżej. W pierwszej kolejności zaleca się umieścić zmontowany (jak opisano powyżej) wraz z próbką siatki gabionowej uchwyt dolny (rys. 10a) za pośrednictwem zaczepu 2 w przyrządnych szczękach (rys. 10b) stacjonarnej głowicy maszyny wytrzymałościowej. Następnie wsunąć drugi zaczep w szczęki ruchomej głowicy maszyny wytrzymałościowej. Zaczep należy ustawić tak aby powierzchnie jego przegród były ustawione równoległe względem powierzchni przegród zaczepu zamontowanego w głowicy stacjonarnej.



Rys. 10a. Etapy montażu w maszynie wytrzymałościowej urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych



Rys. 10b. Etapy montażu w maszynie wytrzymałościowej urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych

Następnie za pośrednictwem sworznia zaczepu 9 zamontować płytę mocującą z nakładką 1 (rys. 10c).

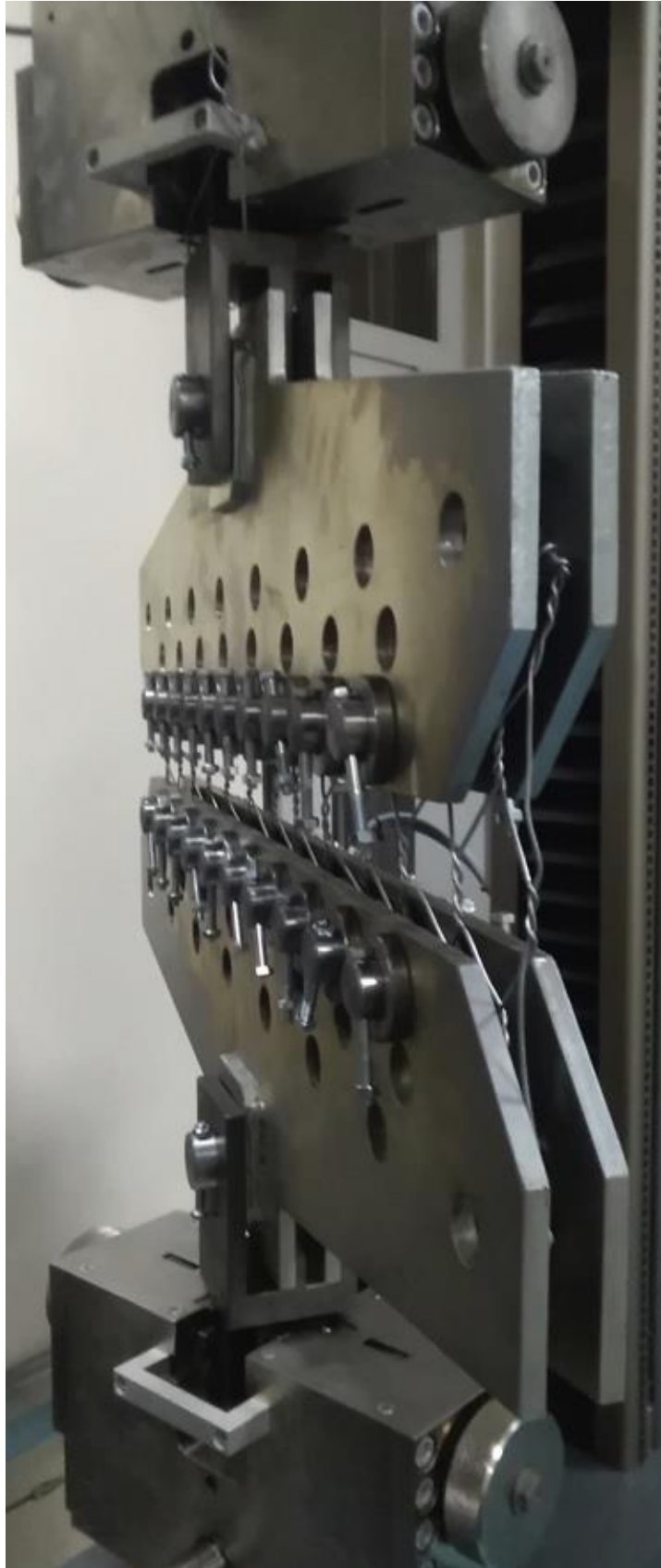


Rys. 10c. Etapy montażu w maszynie wytrzymałościowej urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych
W dalszej kolejności należy od zewnętrznej strony płyty należy wsunąć sworznie 10 z podkładkami 11 i zestawem zabezpieczającym 13. Z drugiej strony (rys. 10d) nasunąć na wystające sworznie tulejki pośrednie oczek (tego samego rozmiaru, zamontowanego w uchwycie dolnym).



Rys. 10d. Etapy montażu w maszynie wytrzymałościowej urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych

Następnie należy ustawić sworznie 10 i sworzień 9 w pozycji umożliwiającej wsunięcie płyty 1 w przegrodę zaczepu 2. Po współśrodkowym ustawieniu większego otworu płyty z otworem zaczepu należy wsunąć w otwór sworznień 9 i zabezpieczyć go przed wysunięciem. W ostatniej kolejności należy wsunąć sworznie 10 w otwory płyty 1, nasunąć podkładki 12 i zamontować zestaw 13. Postać wynikową zamontowanego urządzenia zaprezentowano na rysunku 10e.



Rys. 10e. Zamontowane w maszynie wytrzymałościowym urządzenie do mocowania próbek siatek gabionowych

2.3. Walidacja założeń projektowych

W ramach pierwszego etapu walidacji znormalizowaną próbkę siatki gabionowej udało się w układzie bezproblemowo zamontować. Wszystkie założenia konstrukcyjne w zakresie wymiarów, kształtów, luzów montażowych i doboru materiałów opisanych w dokumentacji wykonawczej urządzenia spełniły zamierzone cele urządzenia.

W ramach drugiego etapu walidacji przeprowadzono zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 10223-3:2014-03 próby zrywania próbek siatek. W efekcie tych prób dowiedziono, że zaprojektowany układ zapewnia spełnienie najtrudniejszego z warunków narzuconych przez normę, a mianowicie żeby zerwanie drutu nie następowało w bliskości haka. Wprowadzenie opatentowanego układu tulejek przejściowych zapewniło, że próbki ulegały przerwaniu w miejscu największej koncentracji naprężeń powstałych od skręcania drutu w warunkach zaplatania oczek oraz od naprężeń rozciągających w warunkach statycznej próby rozciągania (rys. 11).



Rys. 11. Lokalizacja miejsca zerwania oczka próbki siatki gabionowej

Opasanie oczek na powierzchniach rowków tulejek spowodowało redukcję naprężeń kontaktowych i zminimalizowało ich wpływ na lokalizację miejsca uszkodzenia.

3. Ergonomia użytkowania urządzenia

3.1. Określenie dopuszczalnych mas transportowanych przez człowieka w warunkach użytkowania urządzenia

We wstępie badań ergonomicznych pomierzono masy poszczególnych elementów urządzenia i zestawiono je w tabeli 1.

Tab. 1. Wykaz części urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych (zgodnie z numeracją opisaną na rys 8.

Nr części wg rys. 8	Nazwa części	Masa pojedynczego elementu [kg]	Liczba sztuk w całym układzie
1	Płyta mocująca z nakładką	8,70	4
2	Zaczepek	3,60	2
3	Tulejka pośrednia oczka 60x80/drut 2,2	0,10	20
4	Tulejka pośrednia oczka 60x80/drut 2,7	0,10	20
5	Tulejka pośrednia oczka 80x100/drut 2,2	0,20	16
6	Tulejka pośrednia oczka 80x100/drut 2,7	0,20	16
7	Tulejka pośrednia oczka 100x120/drut 2,7	0,30	16
8	Tulejka pośrednia oczka 100x120/drut 3,0	0,30	16
9	Sworzeń zaczepu	0,70	2
10	Sworzeń tulejki pośredniej	0,30	20
11	Podkładka pod śrubę M36	0,09	4
12	Podkładka pod śrubę M24	0,06	40
13	Zestaw zabezpieczający sworznie śruba+podkładka+nakręta	0,06	44

Następnie zgodnie z metodą NIOSH opisaną w normie PN-EN 1005-2+A1:2010 przeprowadzono badania nad pracą człowieka przy montażu elementów urządzenia wraz z próbką siatki gabionowej. W pierwszym etapie zdefiniowano zgodnie z normą wartości dopuszczalnego obciążenia człowieka przy podnoszeniu i przemieszczaniu (oburącz) komponentów urządzenia podczas operacji montażu. Uwzględniono dwa warianty montażowe. Pierwszy dotyczący montażu pojedynczego uchwytu oraz drugi obejmujący montaż dolnego uchwytu urządzenia w maszynie wytrzymałościowej. W oparciu o wymogi normy zmierzono wartości parametrów niezbędne do wyznaczenia współczynników zawartych we wzorze:

$$M_{dop} = 23 \cdot K_H K_V K_F K_D K_A$$

Określone parametry, współczynniki oraz wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wykaz dobranych współczynników dopuszczalnego obciążenia człowieka podczas wykonywania pracy związanej z montażem urządzenia do mocowania próbek siatek gabionowych

Współczynnik metody	Montaż pojedynczego uchwytu		Montaż dolnego uchwytu urządzenia w maszynie wytrzymałościowej	
	Zmienna współczynnika	Wartość współczynnika	Zmienna współczynnika	Wartość współczynnika
K _H -współczynnik odległości w poziomie	30 cm	0,8	50 cm	0,5
K _V -współczynnik odległości w pionie	100 cm	0,9	170 cm	0,7
K _F -współczynnik częstości przenoszenia	4/h	1	4/h	1
K _D -współczynnik przemieszczenia w pionie	40 cm	0,9	5 cm	1
K _A -współczynnik asymetrii	45°	0,9	45°	0,9
M _{dop} - maksymalna dopuszczalna masa przy dźwiganiu oburącz	13,4 kg		7,2 kg	

Biorąc pod uwagę uzyskane rezultaty obliczeń, dane zawarte w tabeli 1 oraz zaprezentowany sposób montażu urządzenia można stwierdzić, że obsługa urządzenia z zakresu swobodnego montażu pojedynczego uchwytu może być przeprowadzona bezpiecznie przez jedną osobę. Natomiast montaż uchwytu w maszynie wytrzymałościowej powinien być przeprowadzony przez dwie osoby.

3.2. Oszacowanie wydatku energetycznego pracy człowieka

Określenie wydatku energetycznego pracy człowieka przy montażu elementów urządzenia wraz z próbką siatki gabionowej przeprowadzono metoda chronometryczowo-tabelaryczną w odniesieniu do normy PN-EN 1005-2+A1:2010. W oparciu o wskaźniki zawarte w uproszczonej metodzie Lehmana zdefiniowano wartości jednostkowego wydatku energetycznego człowieka dorosłego przy montażu elementów składowych analizowanego urządzenia. Określając czasy zabiegów montażu obliczono wydatek energetyczny.

Dane dotyczące wydatku energetycznego podczas montażu pojedynczego uchwytu wg opisu przedstawionego w podrozdziale 2.2 opisano w tabeli 3. Natomiast dane dotyczące wydatku energetycznego podczas montażu całego urządzenia w maszynie wytrzymałościowej wg opisu przedstawionego w podrozdziale 2.3 opisano w tabeli 4.

Tab. 3. Składowe wydatku energetycznego pracy człowieka podczas montażu pojedynczego uchwytu wg opisu przedstawionego w podrozdziale 2.2

Lp.	Nazwa montowanej części (podzespołu)	Jednostkowy wydatek energetyczny [kJ/s]	Ciężkość pracy wg Lehmana	Czas zabiegu montażu [s]	Wydatek energetyczny zabiegu montażu [kJ]
1	Płyta mocująca z nakładką	0,35	średnia	240	84,0
2	Zaczepek	0,14	średnia	60	8,4
3	Tulejka pośrednia oczka 60x80/drut 2,2	0,03	lekka	100	3,0
4	Tulejka pośrednia oczka 60x80/drut 2,7	0,03	lekka	100	3,0
5	Tulejka pośrednia oczka 80x100/drut 2,2	0,03	lekka	80	2,4
6	Tulejka pośrednia oczka 80x100/drut 2,7	0,03	lekka	80	2,4
7	Tulejka pośrednia oczka 100x120/drut 2,7	0,03	lekka	80	2,4
8	Tulejka pośrednia oczka 100x120/drut 3,0	0,03	lekka	80	2,4
9	Sworzeń zaczepu	0,07	lekka	30	2,1
10	Sworzeń tulejki pośredniej	0,03	lekka	100	3,0
11	Podkładka pod śrubę M36	0,03	lekka	20	0,6
12	Podkładka pod śrubę M24	0,03	lekka	200	6,0
13	Zestaw zabezpieczający sworznie śruba+podkładka+nakręta	0,03	lekka	320	9,6
14	Próbka siatki gabionowej	0,03	lekka	60	1,8
Maksymalna osiągalna suma				1130	118,5

Dane podane jako maksymalne osiągalne sumy odniesiono do układu gdy siatka będzie montowana w rzędzie A (rys. 2).

Tab. 4. Składowe wydatku energetycznego pracy człowieka podczas montażu całego urządzenia w maszynie wytrzymałościowej wg opisu przedstawionego w podrozdziale 2.3

Lp.	Nazwa części (podzespołu)	Jednostkowy wydatek energetyczny [kJ/s]	Ciężkość pracy wg Lehmana	Czas zabiegu montażu [s]	Wydatek energetyczny zabiegu montażu [kJ]
1	Uchwyt górny z próbką siatki gabionowej	0,70	ciężka	60	42,0
2	Zaczep	0,14	średnia	120	8,4
3	Tulejka pośrednia oczka 60x80/drut 2,2	0,03	lekka	100	3,0
4	Tulejka pośrednia oczka 60x80/drut 2,7	0,03	lekka	100	3,0
5	Tulejka pośrednia oczka 80x100/drut 2,2	0,03	lekka	80	2,4
6	Tulejka pośrednia oczka 80x100/drut 2,7	0,03	lekka	80	2,4
7	Tulejka pośrednia oczka 100x120/drut 2,7	0,03	lekka	80	2,4
8	Tulejka pośrednia oczka 100x120/drut 3,0	0,03	lekka	80	2,4
9	Sworzeń zaczepu	0,07	lekka	30	2,1
10	Sworzeń tulejki pośredniej	0,03	lekka	200	6,0
11	Płyta mocująca z nakładką	0,35	średnia	120	42,0
12	Podkładka pod śrubę M36	0,03	lekka	20	0,6
13	Podkładka pod śrubę M24	0,03	lekka	200	6,0
14	Zestaw zabezpieczający sworznie śruba+podkładka+nakręta	0,03	lekka	320	9,6
Maksymalna osiągalna suma				1170	119,7

Sumaryczny wydatek energetyczny przy czynnościach obsługi urządzenia podczas badań oszacowano na 238,2 [kJ].

3.3. Ocena ergonomii użytkowania urządzenia

W ramach oceny ergonomii użytkowania urządzenia wybrano ilościową metodę badań statystycznych [opisaną przez Fu L., Schmidt, K. (2001). Usability Evaluation. W: W. Karwowski (red.), International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors. London: Taylor & Francis: 1187–1190] zatytułowaną metodą pytań użytkowników o opinie. Do tego celu zaproszono dziesięciu ankietowanych, których poproszono o przetestowanie urządzenia, tj. samodzielne przeprowadzenie montażu i demontażu komponentów składowych oraz próbki siatki gabionowej. Ankietowanym przedstawiono opis urządzenia. Grupa ankietowanych reprezentowała osoby z branży inżynierskiej i poza inżynierskiej. Po wykonanych zadaniach ankietowani udzielili odpowiedzi na pytania zawarte w ankiecie (tab. 5), dokonując oceny urządzenia w zakresie wskazanych kryteriów. Ustalono następującą skalę ocen do kryteriów:

1-nie nadaje się do użycia, 2-wymaga poprawy, 3-stan wystarczający, 4-stan dobry, 5-stan bardzo dobry

Tab. 5. Ankieta ergonomii urządzenia do mocowania próbek siatki gabionowej - wyniki

Nr ankietowanego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe
Intuicyjność montażu poszczególnych elementów	4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	4,5	0,53
Intuicyjność demontażu poszczególnych elementów	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4,8	0,42
Estetyka projektu	4	4	5	4	4	5	5	5	4	4	4,4	0,52
Bezpieczeństwo użytkowania	4	4	5	4	4	5	5	5	4	5	4,5	0,53
Łatwość w powtarzalności montażu i demontażu próbek	4	5	5	4	4	4	5	5	4	5	4,5	0,53
Rozmiary i masa urządzenia	4	4	5	4	4	5	5	5	5	4	4,5	0,53
Uniwersalność zastosowania koncepcji urządzenia	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4,8	0,42
Komfort użytkowania	4	4	5	4	4	5	5	5	4	4	4,4	0,52
Dostosowanie obiektu do wymiarów antropometrycznych dorosłego człowieka	4	4	5	4	4	5	5	5	5	5	4,6	0,52
Branża zawodowa ankietowanego (inżynierska - i/poza inżynierska - pi)	pi	pi	pi	pi	pi	i	i	i	i	i		

W oparciu o przedstawione oceny i ich obróbkę statystyczną można stwierdzić, że średnie z ocen ankietowanych kwalifikują produkt jako dobry w odniesieniu do wszystkich postawionych kryteriów. Najwyżej oceniono kryterium intuicyjności montażu i uniwersalności zastosowania. Pozostałe słabsze oceny wynikają z gabarytów urządzenia, których w przypadku wymagań normy PN-EN 10223-3:2014-03 nie można ograniczyć. Można stwierdzić, że osoby z branży inżynierskiej wyżej oceniły własności użytkowe urządzenia.

Ankietowani zawarli następujące uwagi (spostrzeżenia):

- zaletą urządzenia jest prostota budowy i możliwość samodzielnego montażu;
- w przypadku montażu urządzenia w uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej przydatna jest pomoc drugiej osoby;
- czas potrzebny do wymiany próbki jest krótszy od czasu montażu urządzenia;
- zaciśnięty splot oczka nierozzerwanego na tulejce pośredniej przyspiesza demontaż próbki, ale wymusza konieczność wypchnięcia tulejki lub użycia narzędzi dodatkowych;
- dokładne ustawienie równoległości przegród na zrywarcie wymaga stosowania osprzętu pomocniczego;
- minimalne niebezpieczeństwo zablokowania próbki w uchwycie;

4. Podsumowanie

Wykonanie prototypu urządzenia i przeprowadzenie badań walidacyjno-ergonomicznych pozwoliło na sformułowanie następujących wniosków

- urządzenie pod względem technologicznym jest łatwe do wykonania ze względu na dostępność materiałów i narzędzi;
- urządzenie może być użyte do badań siatek o innej krotności splotu oczka;
- urządzenie może wejść w skład specjalistycznego oprzyrządowania maszyn wytrzymałościowych;
- przyrząd może być instalowany pod dowolnym kątem w uchwytych pryzmatycznych w maszynie wytrzymałościowej o minimalnym prześwicie pomiędzy dźwigarami (słupami nośnymi) wynoszącym 300 mm, co zwiększa jego uniwersalność;
- podczas badań zrywających siatkę heksagonalną spełnione są wymagania narzucone normą PN-EN 10223-3:2014-03;
- system tulejek pośrednich oczek zapewnia równomierność dystrybucji nacisków kontaktowych na powierzchniach styku między sworzniami tulejek pośrednich otworami płyt mocujących z nakładką, co korzystnie wpływa na stan obciążenia wewnętrznego urządzenia podczas testów.