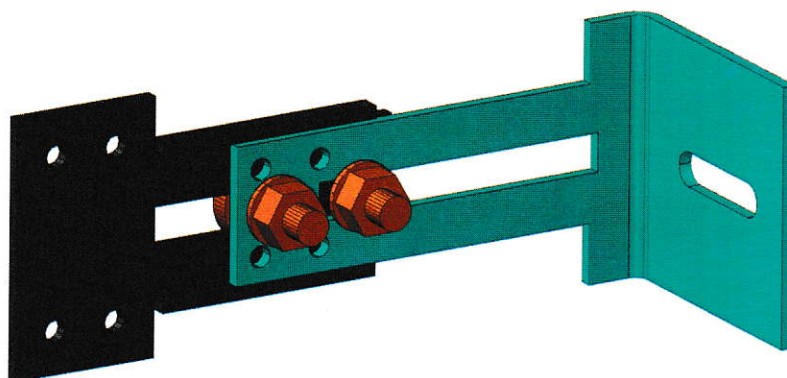




RAPORT Z OBLICZEŃ

Przedmiot opracowania: **Odporność elementów podkonstrukcji na działanie siły poziomej i pionowej.**

Obliczenia numeryczne.
Konsola: Typ B.



Instytut Innowacji i Technologii
Politechniki Białostockiej Sp. z o.o.
16-001 Kleosin, ul. Ojca Stefana Tarasiuka 2
tel./fax 85 746 98 70, biuro@iit.pb.bialystok.pl
REGON 200380605, NIP 9662055401

PREZES ZARZĄDU

Tomasz Stypułkowski

Zamawiający:

CEDA sp. z o.o.
ul. Makowa 16
15-641 Krupniki,

dr inż. Robert Grygo
upr. bud. WAM/0013/OWOK/09
w specjalności
konstrukcyjno-budowlanej

Autor: dr inż. Robert Grygo

Kleosin, listopad 2017 r.

SPIS TREŚCI

1. DANE OGÓLNE	3
1.1. Przedmiot, cel i zakres opracowania.....	3
1.2. Podstawy merytoryczne, oprogramowanie i wykorzystana literatura	3
2. PODSTAWY TECHNICZNE	5
2.1. Opis produktu i główne założenia materiałowe	5
2.2. Wymiary charakterystyczne konsol.....	6
2.3. Wymagania dotyczące oceny nośności konsol	8
3. WYNIKI OBLICZEŃ	9
3.1. Model obliczeniowy konsoli.....	9
3.2. Wyniki obliczeń	11
3.3. Analiza wyników.....	19
4. WNIOSKI KOŃCOWE	23
5. KLAUZULE	23

1. DANE OGÓLNE

1.1. Przedmiot, cel i zakres opracowania

Przedmiotem jest oszacowanie nośności konsoli (Typ B) przeznaczonej do mocowania elementów okładzin elewacji wentylowanych. Zadanie wykonane jest w oparciu o obliczenia numeryczne z uwzględnieniem zaleceń zawartych w ETAG-034-2. Obliczenia dotyczą odporności na siłę pionową oraz poziomą. Opracowanie zawiera zestawienie założeń geometrycznych i materiałowych, wyniki obliczeń numerycznych, wnioski oraz sugestie do wykonania laboratoryjnych badań wytrzymałościowych.

1.2. Podstawy merytoryczne, oprogramowanie i wykorzystana literatura

Obliczenia opracowano na podstawie:

- materiałów technicznych przekazanych przez Zamawiającego (rysunki wsporników),
- wyjaśnień i informacji przekazanych w trakcie spotkań oraz korespondencji mailowych.

Wykorzystane oprogramowanie:

- Autodesk AutoCAD 2016,
- Autodesk Robot Structural Analysis 2015,
- IDEA Statica Connections 8,
- Salome-Meca 2017.0.1 LGPL (with Code_Aster).

Spis wykorzystanej literatury:

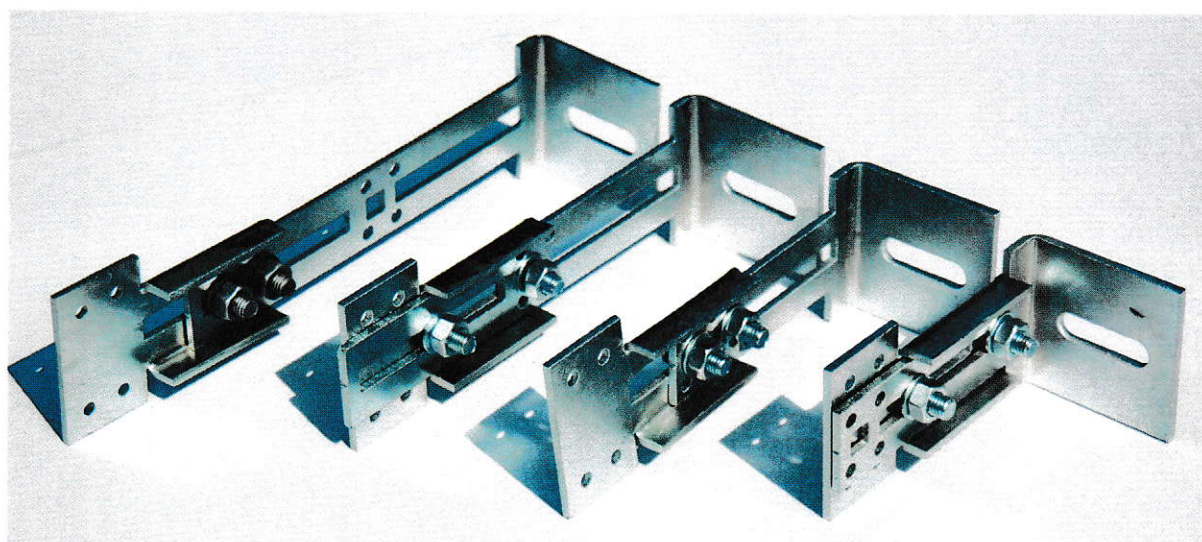
- [1] PN-EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji.
- [2] PN-EN 1991-1-1 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne, ciężar obciążeniowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [3] PN-EN 1991-1-4 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne – oddziaływanie wiatru.
- [4] PN-EN 1993-1-1 Projektowanie konstrukcji stalowych. Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [5] PN-EN 1993-1-8 Projektowanie konstrukcji stalowych. Projektowanie węzłów.

- [6] PN-EN 1090-2 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
- [7] Ustawa Prawo budowlane z dnia 07.07.1994 r. (Dz.U.03.207.2016)
- [8] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy - jednolity tekst: Dz. U. z 2003 r. Nr 169, poz. 1650; zm.: Dz. U. z 2007 r. Nr 49, poz. 330; zm.: DZ. U. z 2008 r. Nr 108 poz.690
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych Dz. U. z 2003r. Nr 47, poz.401.
- [10] Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych. Tom I Budownictwo Ogólne. Część I. Wydawnictwo ARKADY, Warszawa, 1989r.
- [11] Poradnik Majstra Budowlanego. Praca zbiorowa. Wyd. Arkady, Warszawa, 1993.
- [12] Dokumentacja projektowa konstrukcji stalowych w budowlanych przedsięwzięciach inwestycyjnych, D. Kowalski, E. Urbańska-Galewska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2015.
- [13] ETAG N° 034 GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL of KITS FOR EXTERNAL WALL CLADDINGS. Part I : VENTILATED CLADDING KITS COMPRISING CLADDING COMPONENTS AND ASSOCIATED FIXINGS.
- [14] ETAG N° 034 GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL of KITS FOR EXTERNAL WALL CLADDINGS. Part II : CLADDING KITS COMPRISING CLADDING COMPONENTS, ASSOCIATED FIXINGS, SUBFRAME AND POSSIBLE INSULATION LAYER , Edition April 2012.

2. PODSTAWY TECHNICZNE

2.1. Opis produktu i główne założenia materiałowe

Przedmiotem analiz jest jedna z dwóch rodzajów konsol do podkonstrukcji wentylowanej, zaprojektowanych przez firmę CEDA Sp. z o.o. Wysięg konsol jest zmienny, o możliwości zmiany do maksymalnie ok. 160 mm (dane Zamawiającego). Wysięgi wsporników przyjęte do obliczeń przyjęto na podstawie geometrii zaprojektowanych blach.

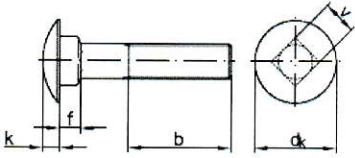


*Rys. 1. Widok prezentacyjny konsol (2 rodzaje, różne wysięgi).
Fotografia dostarczona przez Zamawiającego.*

Konsole służyć będą do budowy konstrukcji wentylowanej na ścianach budynków remontowanych oraz nowych. Jako profile pionowe planuje się stosowanie łąt drewnianych 4 mm x 60 mm. Okładzinę stanowiąc będą deski włókno – cementowe lub inne małowymiarowe płyty. Wsporniki nie są przeznaczone do mocowania wielkoformatowych płyt elewacyjnych. Obliczenia wytrzymałościowe oraz ocena wpływów podatności i jakości podłoża (ściana) i elementów mocowanych (łąty, okładziny itp.) nie są przedmiotem niniejszego opracowania.

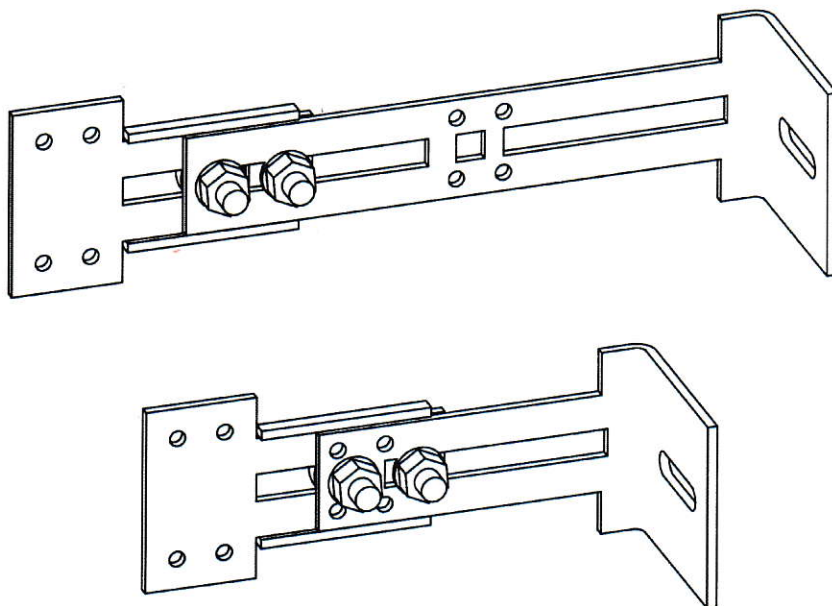
Produkt zaprojektowano ze stali S235JR (próba udarności przy temperaturze +20 °C przy pracy łamania 27 J) z ocynkowanymi blachami o grubości 3 mm metodą gięcia na zimno. Do łączenia elementów stosuje się śruby zamkowe M8.

Śruby ze łbem grzybkowym z podsadzeniem kwadratowym (śruby zamkowe)	
Normy	DIN 603
	PN 82406
	ISO 8677
Materiał i klasa: 4,6 / 8,8 / A2 / A4	
Pokrycie: cynk galwaniczny [ZN] / cynk płatkowy [fIZnnc] / cynk ogniowy [FZN] / cynk termodyfuzyjny [TZN] / niklowanie [Ni]	

DIN	Maße	M 5	M 6	M 8
603  b ₁) Für l ≤ 125 mm b ₂) Für 125 mm < l ≤ 200 mm b ₃) Für l > 200 mm	d _k	13,5	16,55	20,65
	k	3,3	3,88	4,88
	f	4,1	4,6	5,6
	v	5,48	6,48	8,58
	b ₁	16	18	22
	b ₂	22	24	28
	b ₃	-	-	41

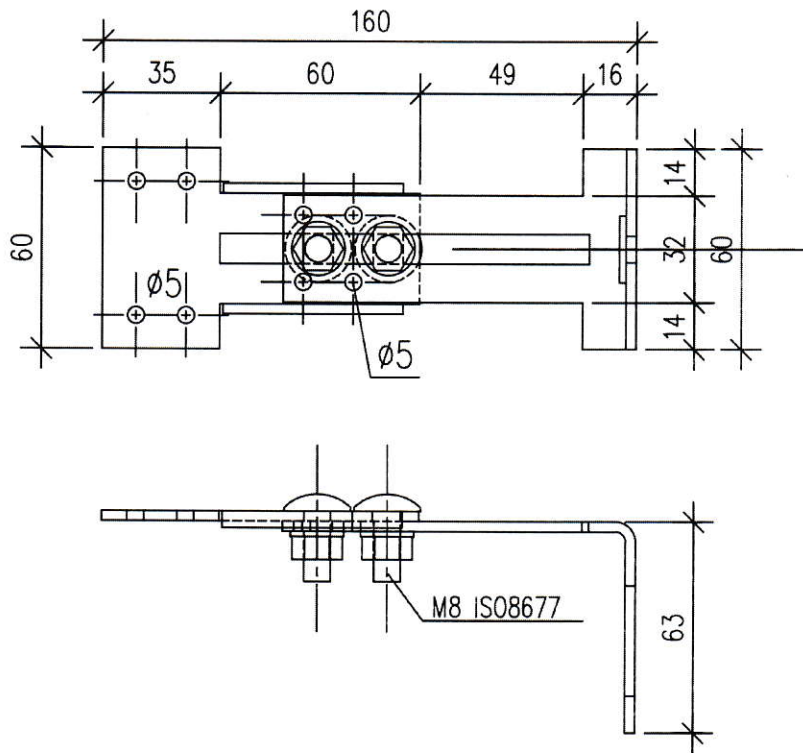
Rys. 2. Wymiary i inne parametry techniczne śrub zamkowych (Eurobolt).

2.2. Wymiary charakterystyczne konsol

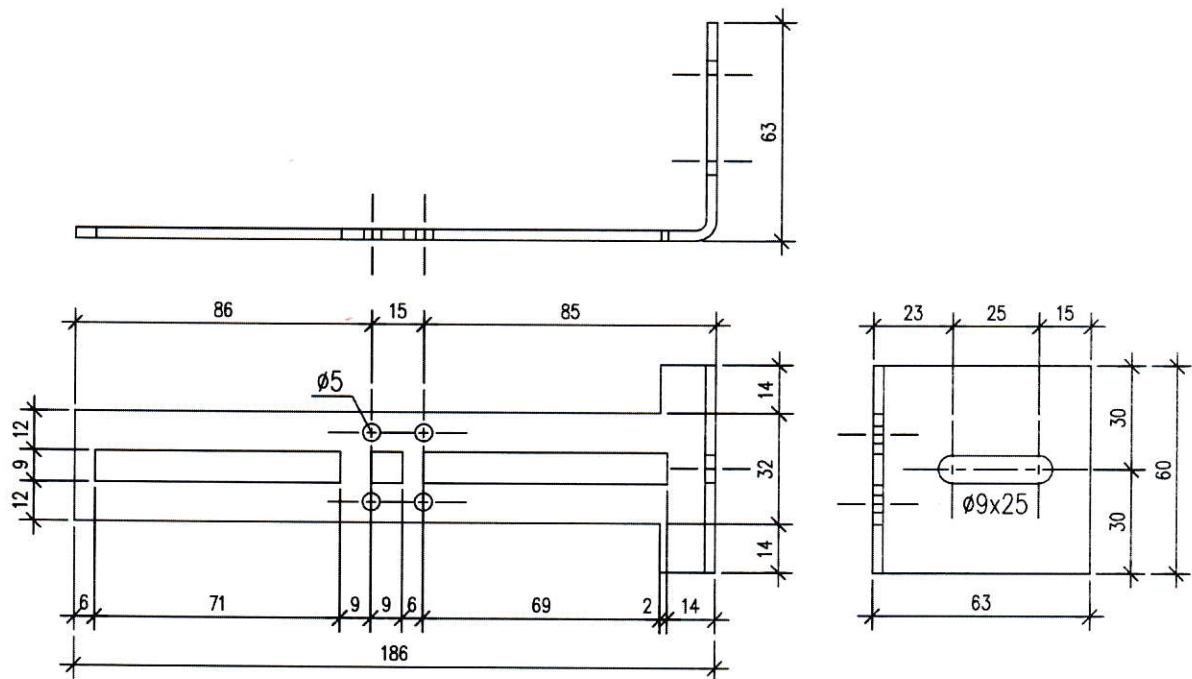


Rys. 3. Widok izometryczny złożenia analizowanych konsol przy maksymalnych wysięgach (z uwagi na geometrię).

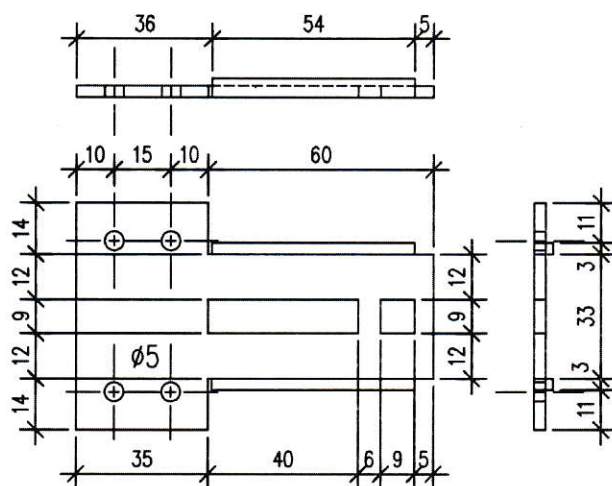
Przyjęte nazewnictwo: górna (długa) – typ A, dolna (krótka) – typ B..



Rys. 4. Wymiary orientacyjne przy maksymalnym wysięgu konsoli – Typ B.



Rys. 5. Wymiary wspornika – część stosowana w konsoli: Typ B.



Rys. 6. Wymiary blachy złącznej – część stosowana w konsolach: Typ A i Typ B.

2.3. Wymagania dotyczące oceny nośności konsol

W przypadku braku możliwości wykonania obliczeń prototypowego elementu konstrukcyjnego na podstawie dostępnych norm przedmiotowych, wymagane jest wykonanie badań eksperymentalnych celem oceny jego nośności. Wykonanie inżynierskich obliczeń złożonych jakim są przedmiotowe konsole do mocowania elewacyjnych elementów ściennych jest niewykonalne w oparciu o aktualne normy z uwagi na skomplikowaną budowę złączenia i występowanie efektów trudnych do uwzględnienia w sposób analityczny. Do takich cech należą:

- mocowanie mimośrodowe do podłoża ściennego elementu typu kąтового;
- mocowanie do podłoża na jeden łącznik, możliwa nietypowa linia przegubu plastycznego;
- istotny wpływ tarcia w przypadku połączeń śrubowych zwykłych (nie sprężanych) w otworach rozwierconych;
- zakładowy typ połączenia z otworami rozwierconymi;
- brak możliwości oceny podatności styku np. metodą składnikową wg obowiązującej normy PN-EN 1993-1-8;
- brak możliwości analitycznej oceny stabilności połączenia (cienkościenne blachy z perforacją).

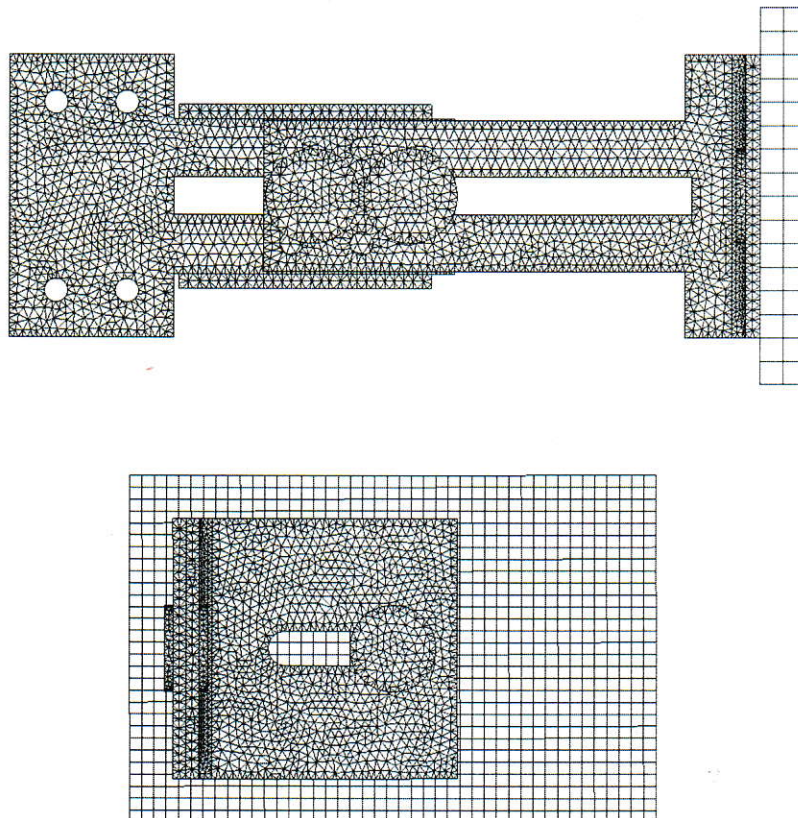
Do rozwiązania powyższych problemów istnieją metody specjalne. Wymagają jednak one dostatecznej wiedzy specjalistycznej oraz odpowiedniej znajomości źródeł naukowych, które nie mogą być w niektórych przypadkach porównywalne z normami. Stąd zasadne jest przeprowadzenie badań laboratoryjnych. Niniejsze opracowanie stanowi wstęp do badań, wykonany na podstawie obliczeń modelowych i symulacji komputerowych.

W związku z powyższymi założeniami i warunkami brzegowymi w obliczeniach zgodne są z wymaganiami ETAG-034-2 Annex E: RESISTANCE OF BRACKET.

3. WYNIKI OBLICZEŃ

3.1. Model obliczeniowy konsoli

Wykonano przestrzenne, bryłowe modele obliczeniowe konsol bazujące na rzeczywistej geometrii z uproszczeniami nie wpływającymi w stopniu znaczącym na wyniki.



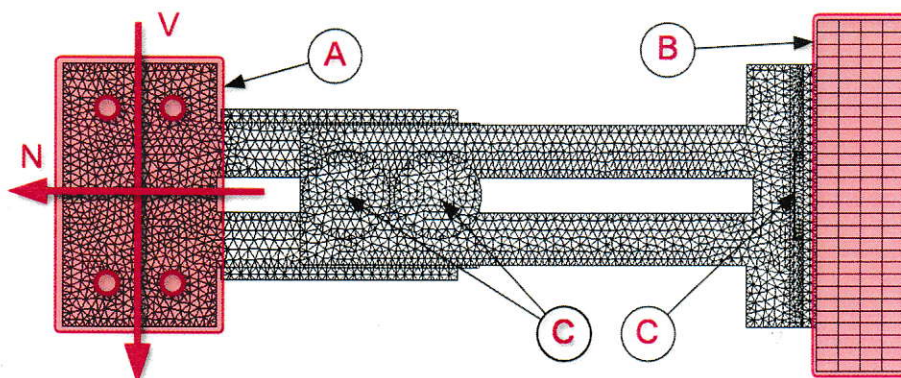
Rys. 7. Model obliczeniowy konsol z wykonanym siatkowaniem.

Model materiału nieliniowy o następujących parametrach:

- granica plastyczności: 235 MPa;
- moduł sprężystości: 210 000 N/mm²;
- moduł Kirchhoffa: 81 000 N/mm²;
- współczynnik Poissona: 0,3;
- gęstość materiału: 7850 kg/m³.

Obciążenie realizowano poprzez przyłożenie siły ścinającej „V” oraz podłużnej „N”, rozłożonych na powierzchni otworów łącznika. W przypadku siły pionowej zablokowane zostały kierunki prostopadłe do działania siły, zrealizowane na obu powierzchniach blachy w strefie „A” (przesunięcia poziome). W przypadku działania siły „N” zablokowano przesunięcia pionowe i poziome prostopadłe do powierzchni blachy. Bryła w strefie „B” stanowi podporę dla modelu właściwego i została wykonana w celu uwzględnienia tarcia o jej powierzchnię. Współczynnik tarcia blacha-blacha przyjęto na poziomie 0,2, zaś blacha-podpora „B” 0,45 (w odniesieniu do powierzchni betonowych).

Połączenia śrubowe „C” wykonano w sposób uproszczony z uwzględnieniem rzeczywistych wymiarów śrub zamkowych. Celem uwzględnienia siły dokręcenia wywołano siłę w trzpieniu o wartości około 5000N w relacji do typowych momentów dokręcenia śrub. Ma to szczególnie istotne znaczenie z uwagi na otwory podłużne oraz mocowanie na jeden łącznik do podpory. Założono, że istotą symulacji jest ocena nośności złożeń z blach stalowych z wyłączeniem analizy i optymalizacji mechanizmu pracy.



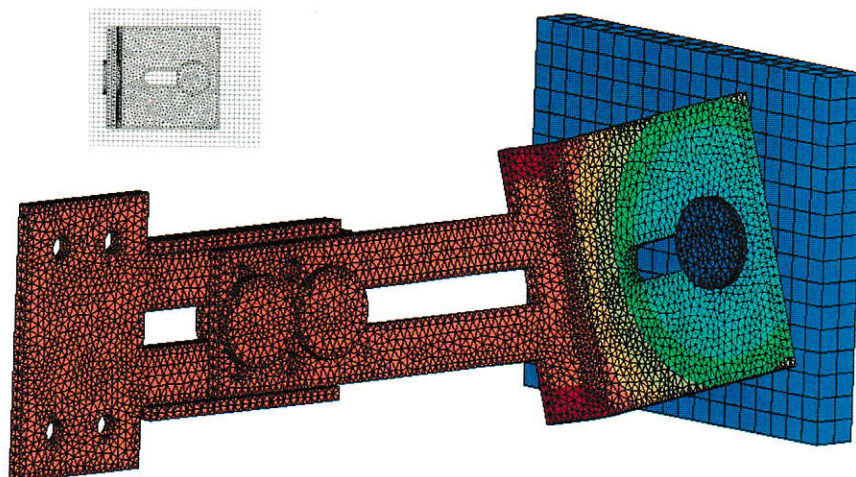
Rys. 8. Warunki brzegowe – schemat ogólny (opis w tekście).

3.2. Wyniki obliczeń

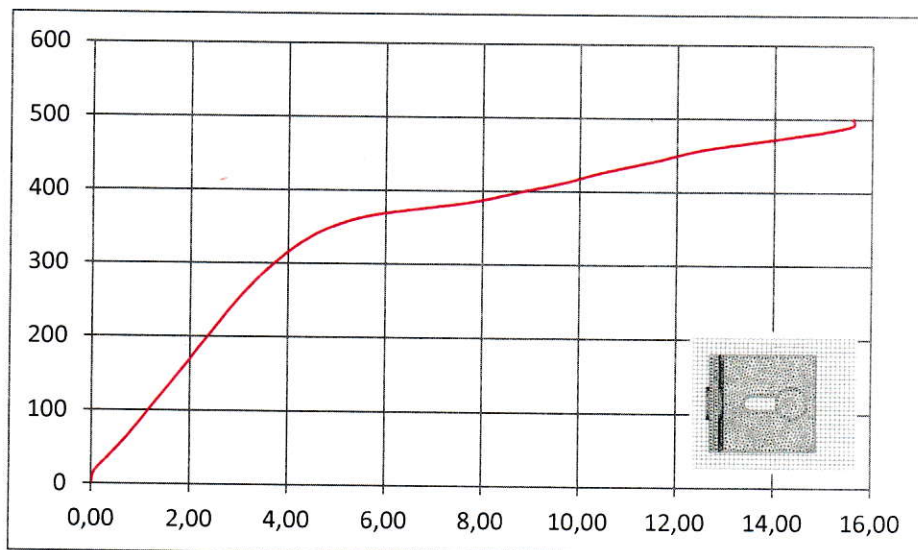
SIŁA PIONOWA

MODEL B01 - Pozycja łącznika podpory: skrajna (przypadek normowy)

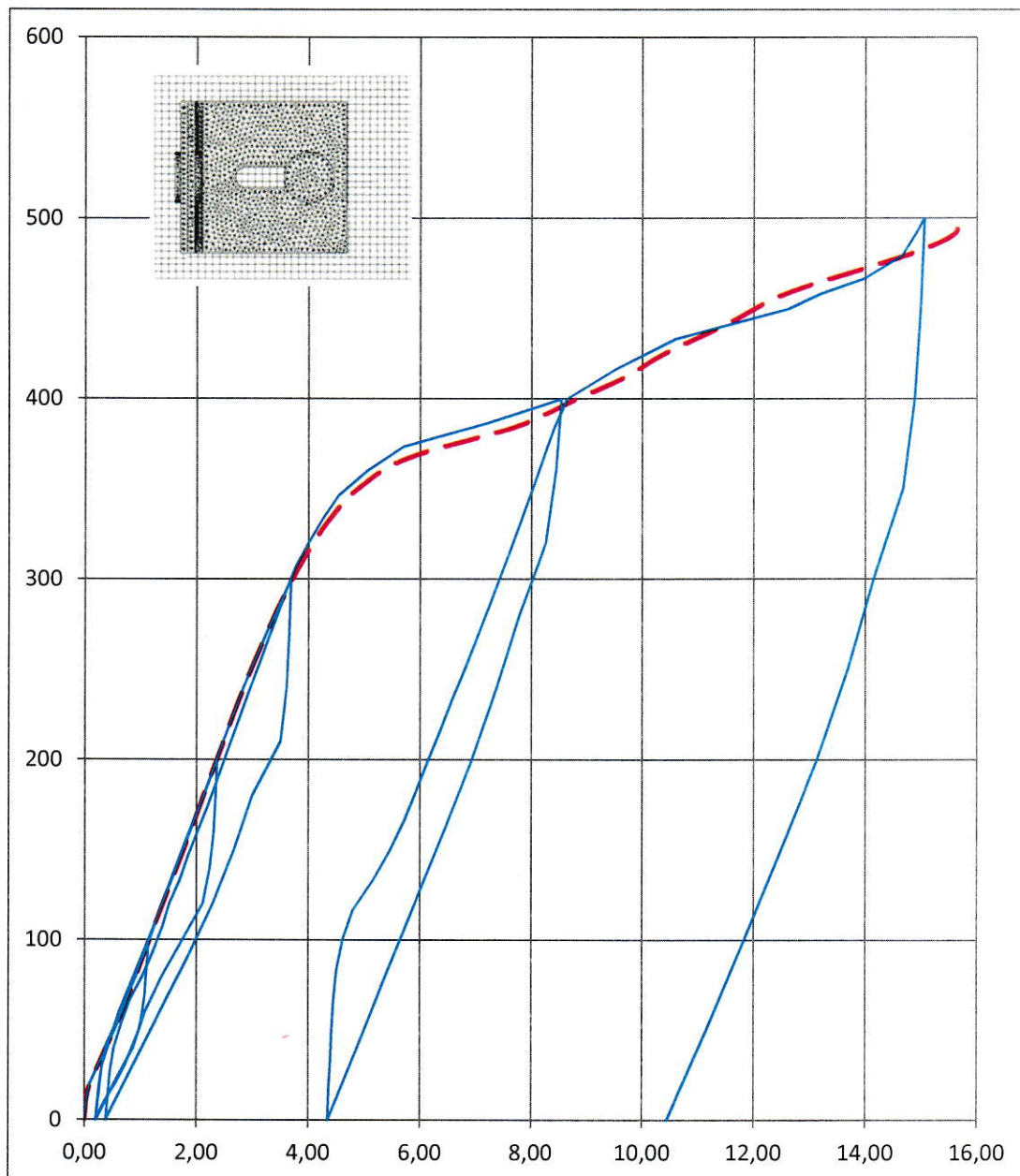
Deformacja przy maksymalnej sile:



Wykres siła [N] (oś pionowa) przemieszczenie [mm] (oś pozioma) – jeden cykl:

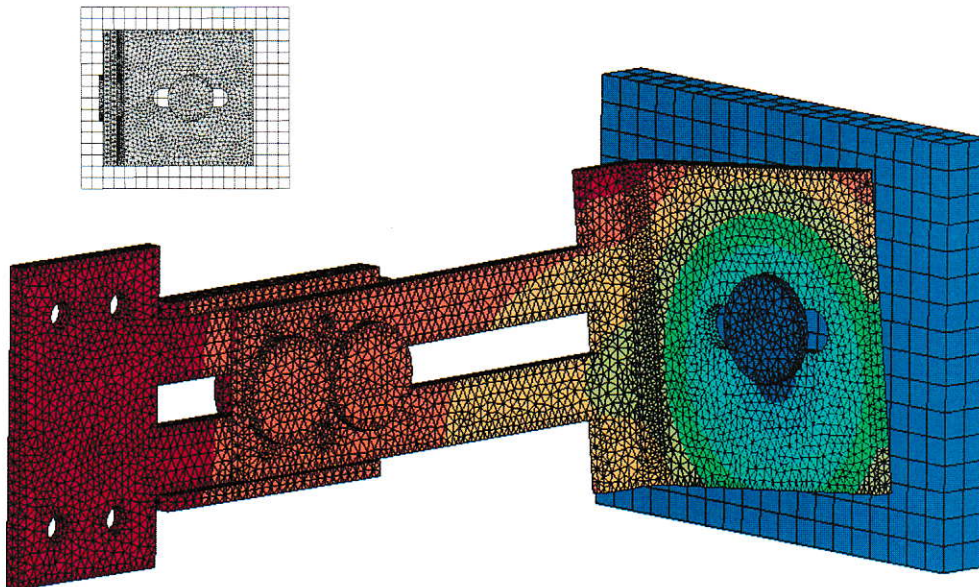


Wykres siła [N] (oś pionowa) przemieszczenie [mm] (oś pozioma) – seria cykli:

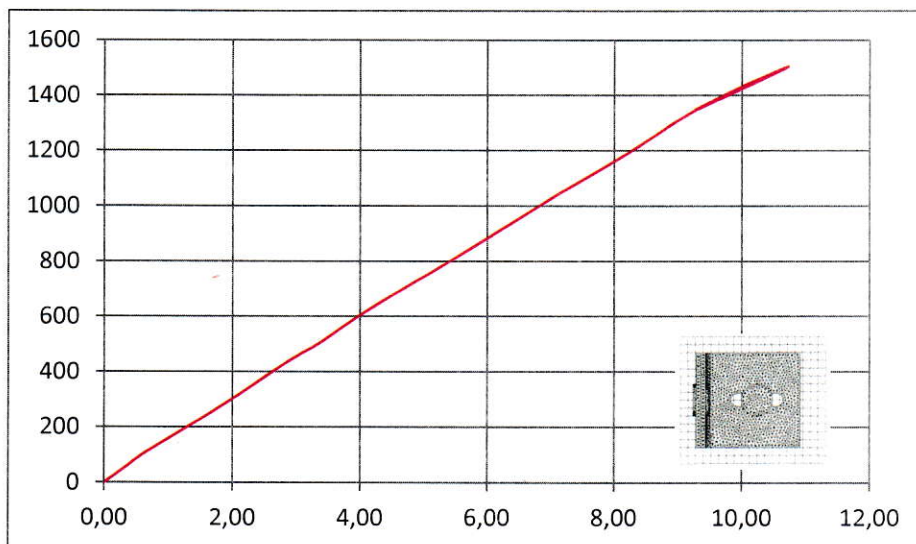


MODEL B02 - Pozycja łącznika podpory: środkowa (przypadek pomocniczy)

Deformacja przy maksymalnej sile:

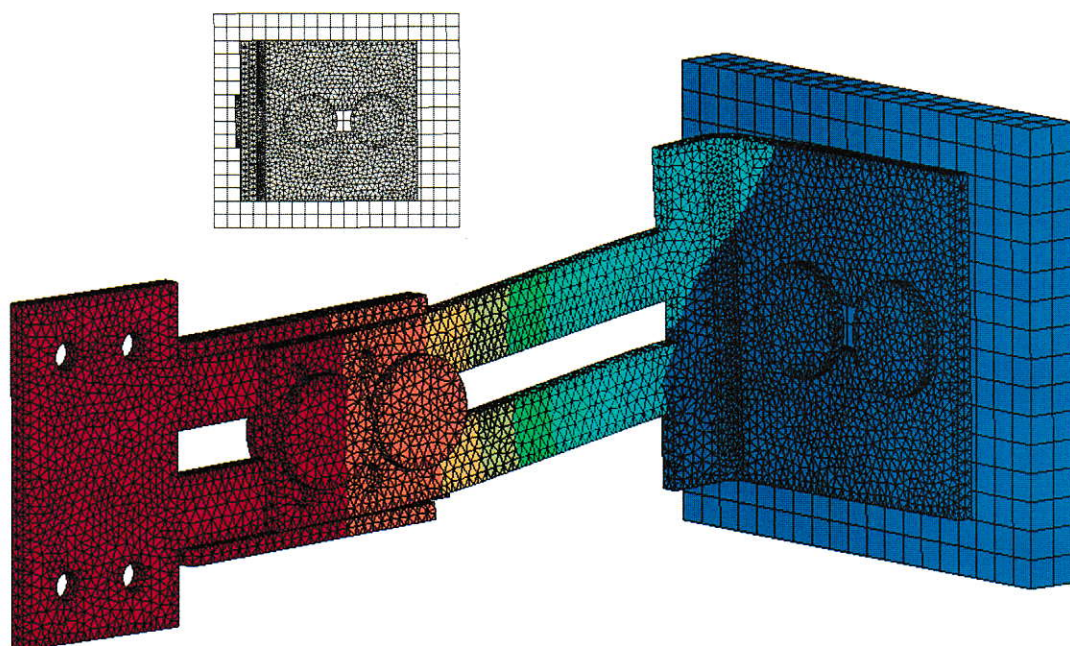


Wykres siła [N] (oś pionowa) przemieszczenie [mm] (oś pozioma) – jeden cykl:

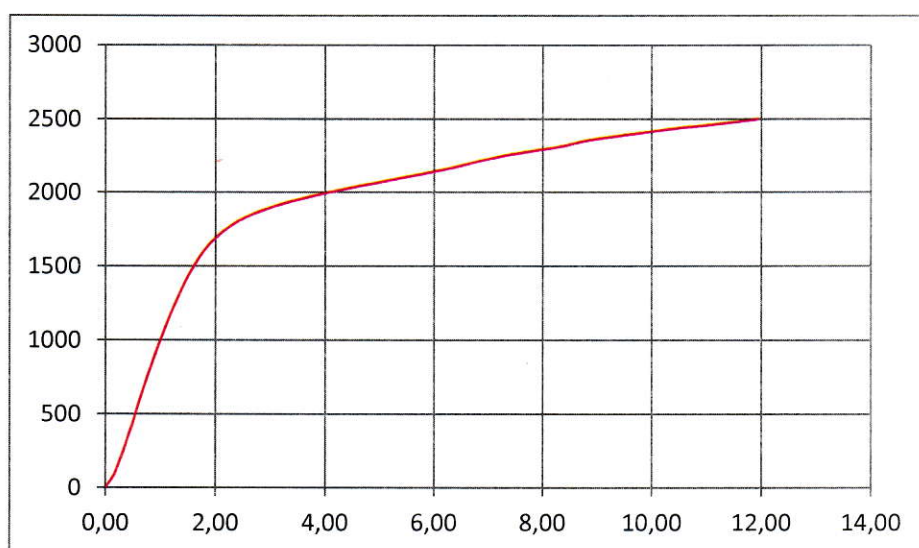


MODEL B03 - Pozycja łącznika podpory: podwójny (przypadek pomocniczy)

Deformacja przy maksymalnej sile:

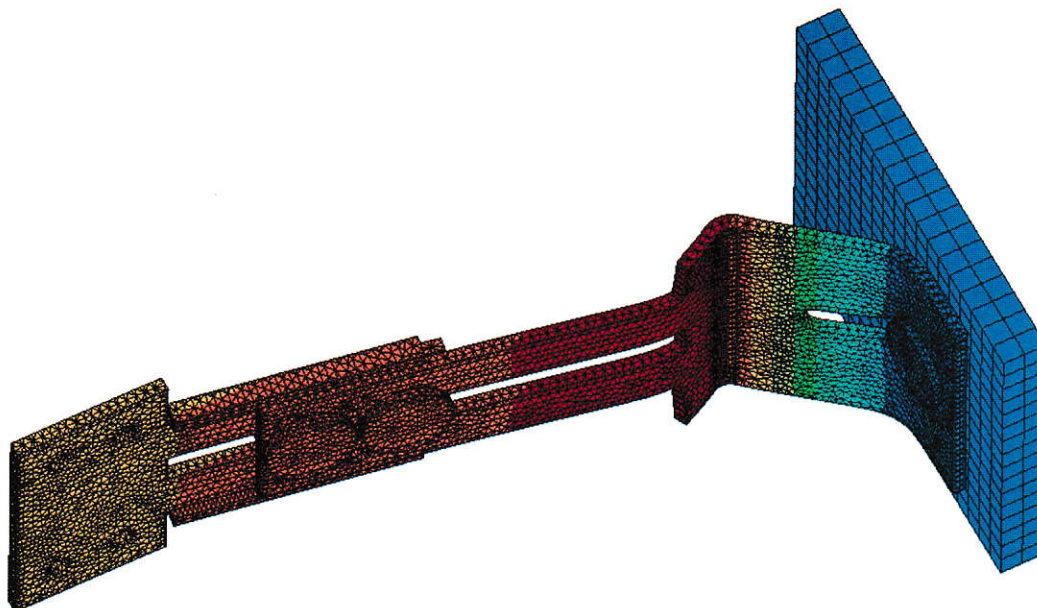


Wykres siła [N] (oś pionowa) przemieszczenie [mm] (oś pozioma):

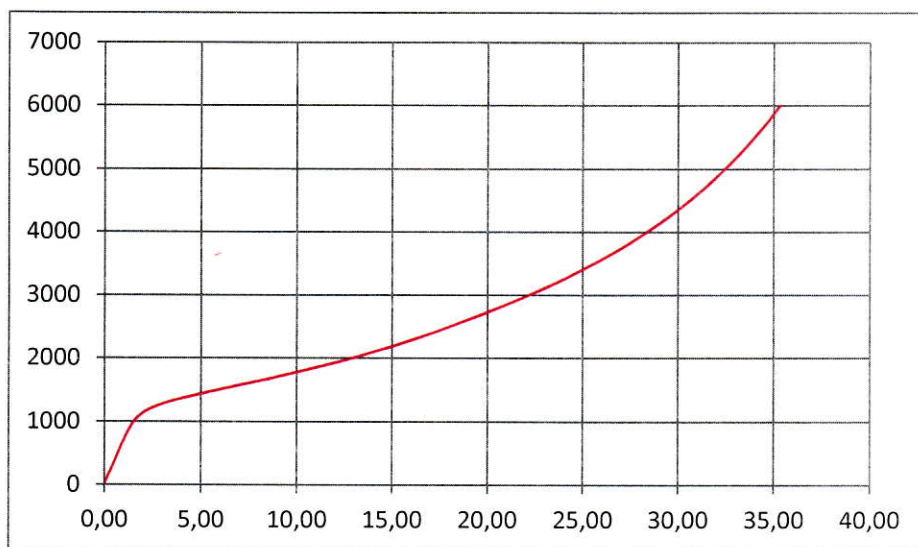


SIŁA POZIOMA

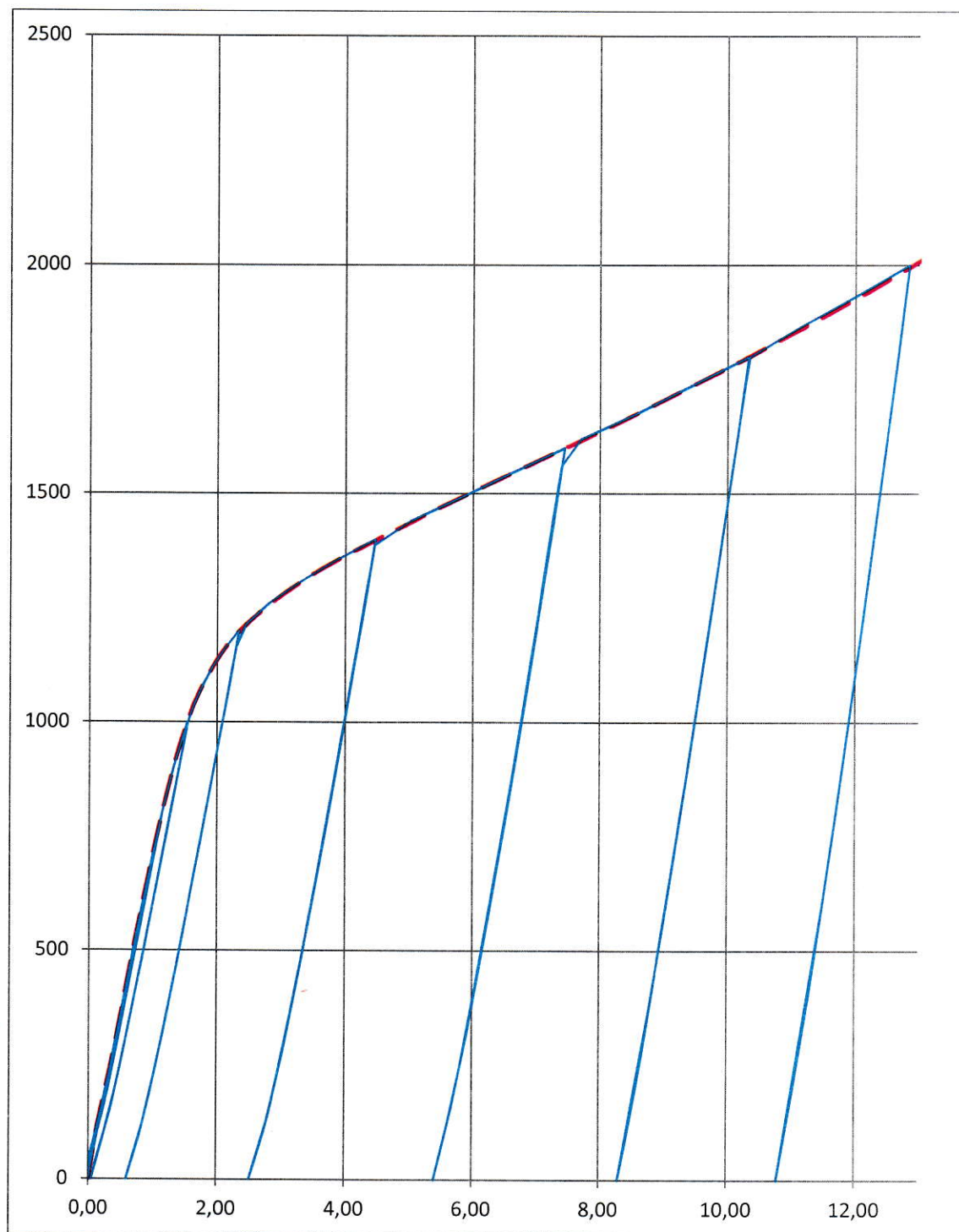
MODEL B04 - Pozycja łącznika podpory: skrajna (przypadek normowy)



Wykres siła [N] (oś pionowa) przemieszczenie [mm] (oś pozioma):

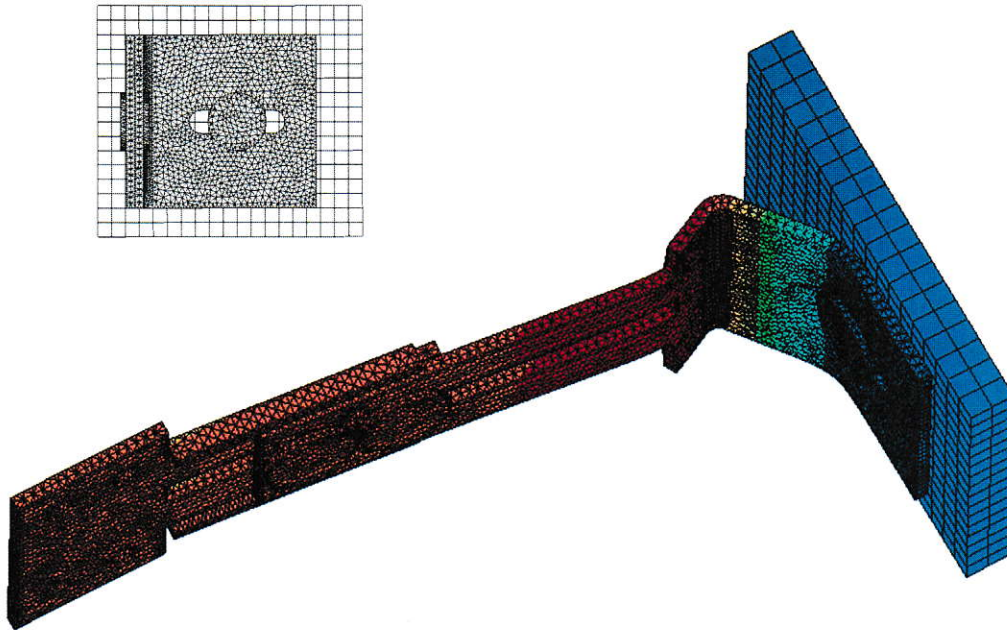


Wykres siła [N] (oś pionowa) przemieszczenie [mm] (oś pozioma) – seria cykli:

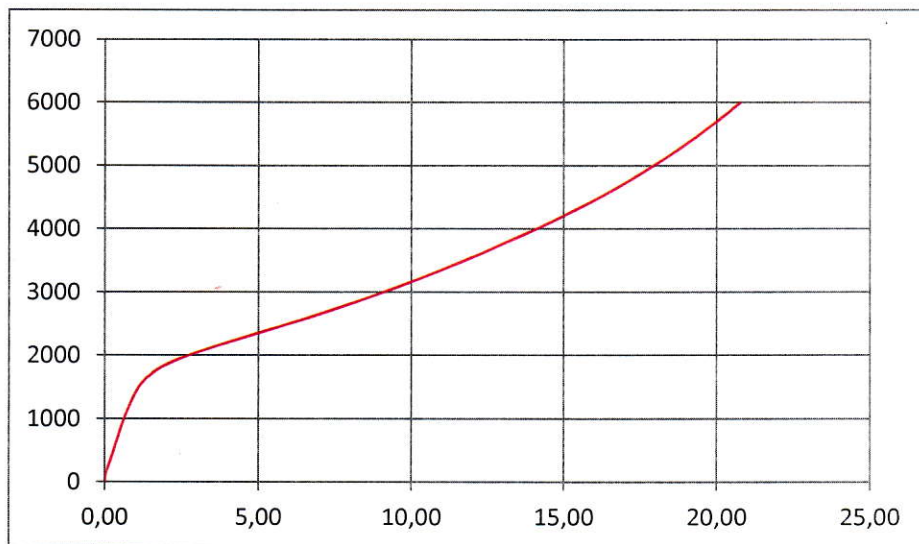


MODEL B05 - Pozycja łącznika podpory: środkowa (przypadek pomocniczy)

Deformacja przy maksymalnej sile:

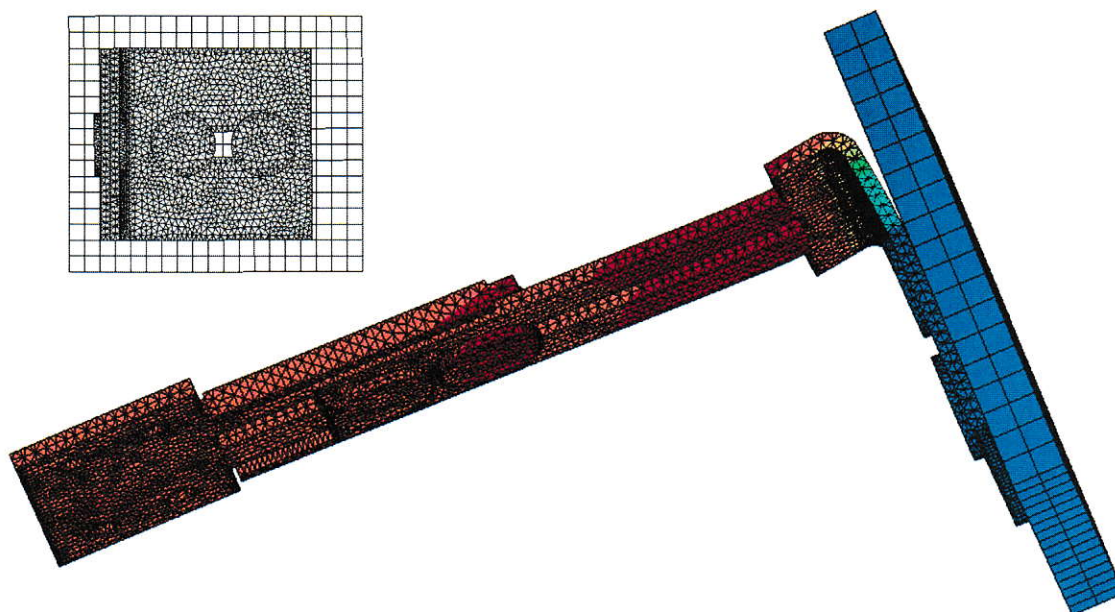


Wykres siła [N] (oś pionowa) przemieszczenie [mm] (oś pozioma):

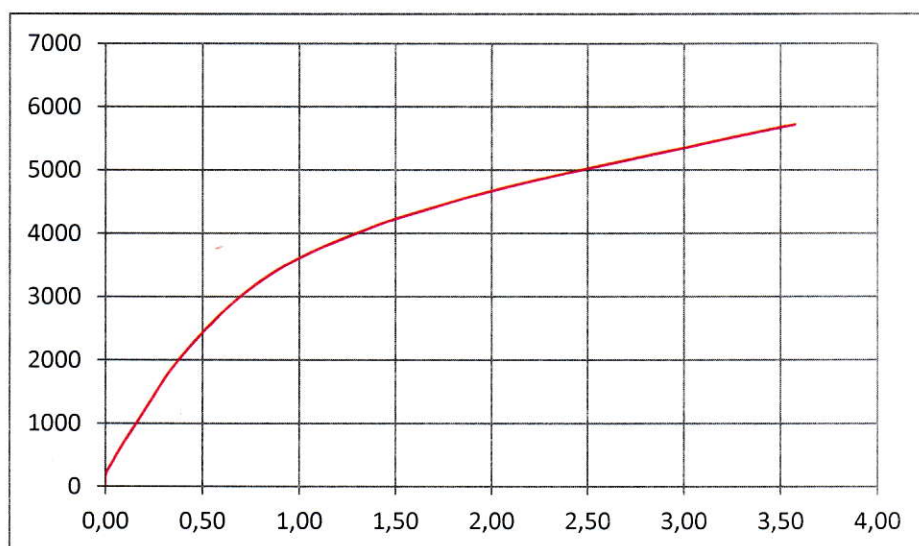


MODEL B06 - Pozycja łącznika podpory: podwójny (przypadek pomocniczy)

Deformacja przy maksymalnej sile:

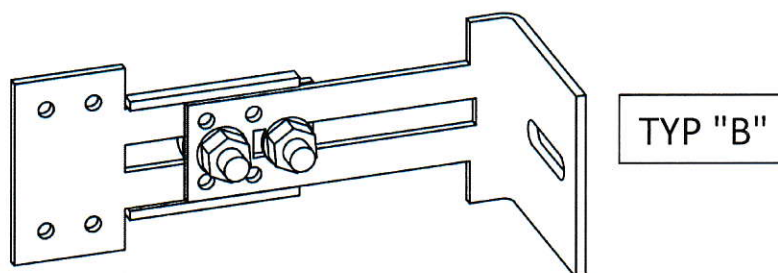


Wykres siła [N] (oś pionowa) przemieszczenie [mm] (oś pozioma):

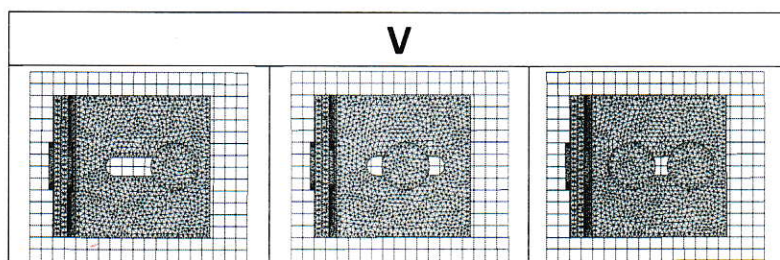


3.3. Analiza wyników

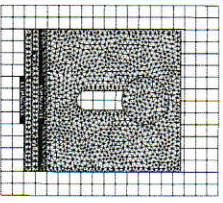
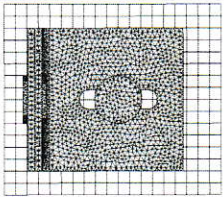
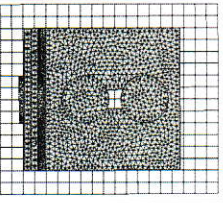
- F_1 - siła przy przemieszczeniu 1 mm
- F_3 - siła przy przemieszczeniu 3 mm
- F_r - siła przy odkształceniu trwałym 0,2% L (siła pionowa)
- F_m - siła przy odkształceniu trwałym 1 mm (siła pozioma)
- $F_{0,01L}$ - siła przy przemieszczeniu L/100
- $F_{0,2\%}$ - siła przy przemieszczeniu 0,2%L
- $F_{pl,5\%}$ - siła przy całkowitym odkształceniu plastycznym 5%
- $L_{pl,5\%}$ - przemieszczenie przy całkowitym odkształceniu plastycznym 5%
- L - całkowita długość konsoli

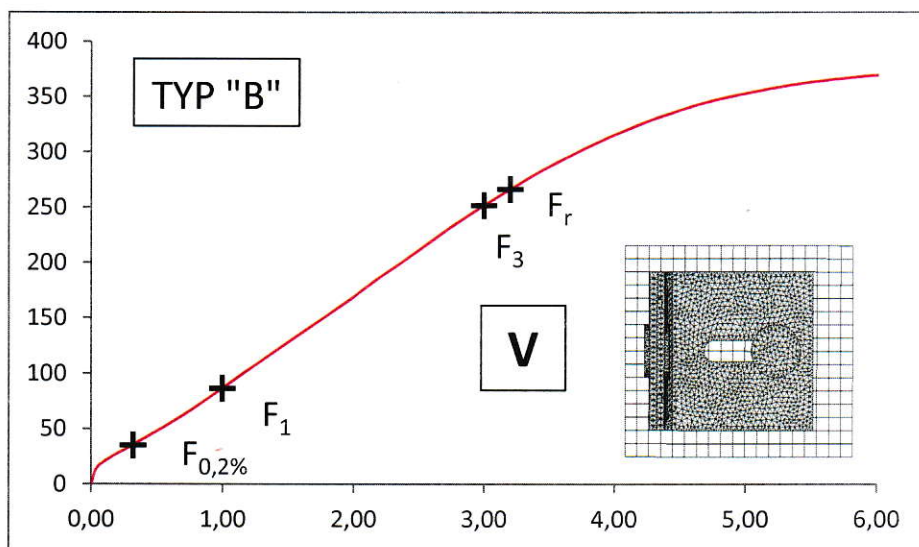


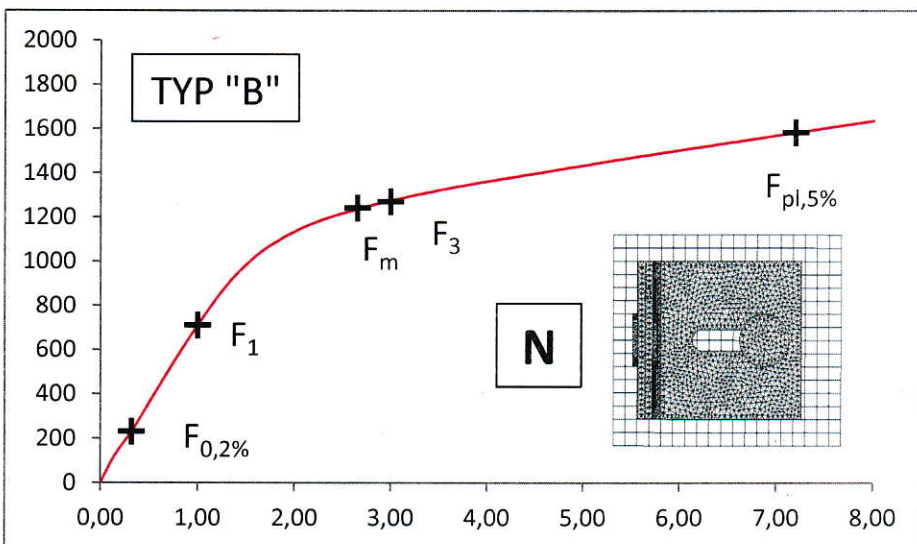
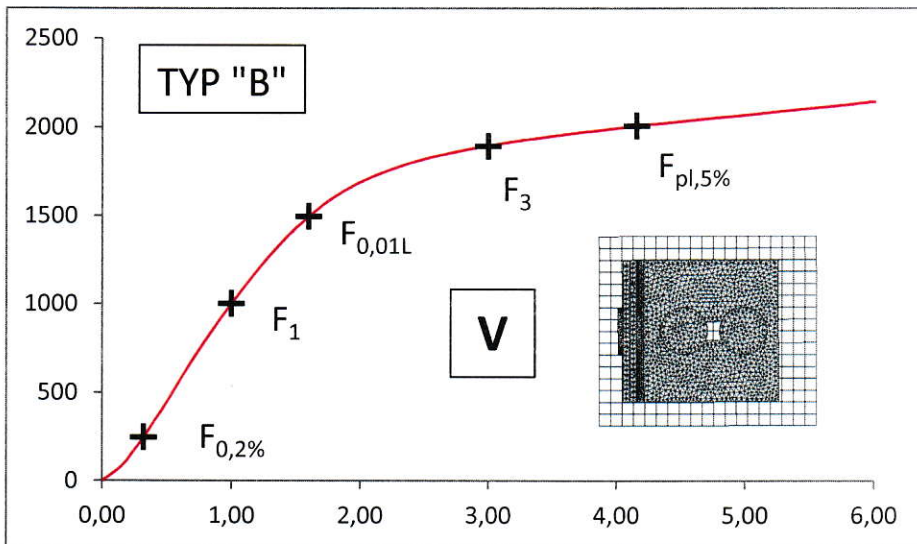
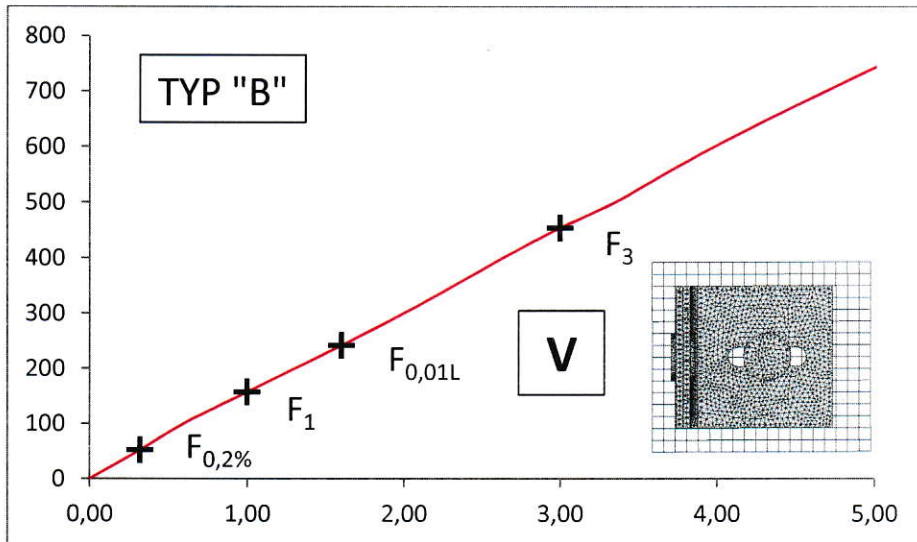
$L =$ 240 mm
 $0,2\% L =$ 0,48 mm
 $L/100 =$ 2,4 mm

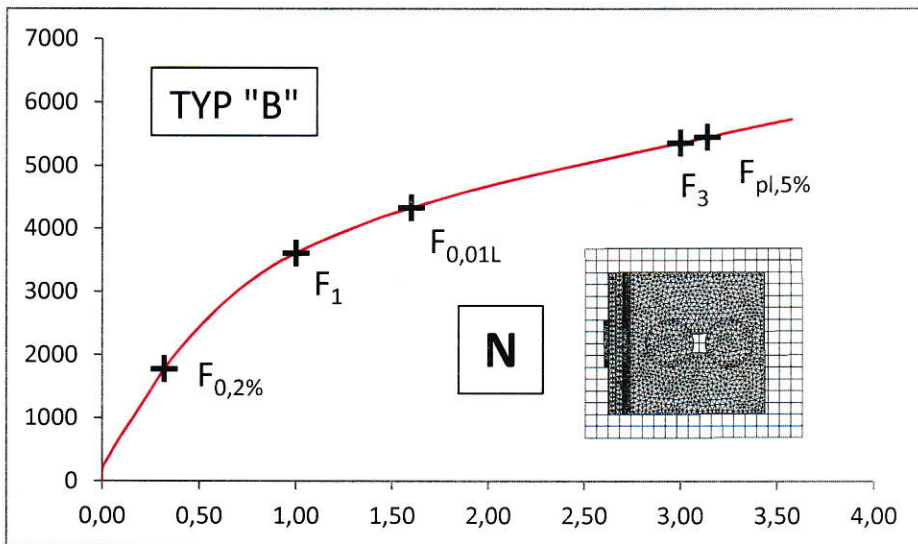
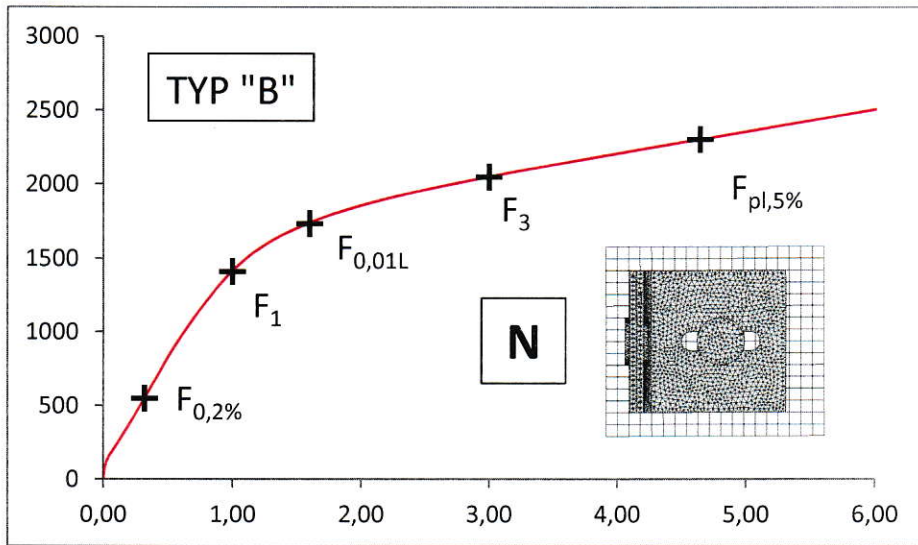


$F_1 =$	87	157	1000	N
$F_3 =$	252	454	1893	N
$F_r =$	267	-	-	N
$F_m =$	x	x	x	N
$F_{0,01L} =$	137	242	1495	N
$F_{0,2\%} =$	35	52	246	N
$F_{pl,5\%} =$	-	-	2006	N
$L_{pl,5\%} =$	-	-	4,16	mm

N				
				
$F_1 =$	711	1410	3609	N
$F_3 =$	1270	2050	5355	N
$F_r =$	x	x	x	N
$F_m =$	1243	-	-	N
$F_{0,01L} =$	1017	1734	4325	N
$F_{0,2\%} =$	232	549	1775	N
$F_{pl,5\%} =$	1584	2303	5445	N
$L_{pl,5\%} =$	7,21	4,65	3,14	mm





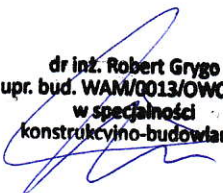


4. WNIOSKI KOŃCOWE

- A. Wykonano symulacje dla dwóch najbardziej niekorzystnych konfiguracji złożenia (MODEL B01 oraz B04). Dodatkowe modele służą celom porównawczym (MODELE B02, B03, B05, B05).
- B. Predykcja nośności zbieżna z warunkami ETAG jest efektywna dla konfiguracji z łącznikiem w pozycji skrajnej w otworze (MODEL B01 oraz B04). Dla pozostałych przypadków wyniki są jedynie referencyjne (MODELE B02, B03, B05, B05).
- C. Istotny wpływ na przemieszczenia ma pozycja łącznika w otworze wydłużonym, mocującego konsolę do podpory. Z uwagi na zastosowanie pojedynczego łącznika należy zwrócić szczególną uwagę również na moment dokręcenia śruby i tarcie blacha – podpora (w szczególności dla obciążenia pionowego).
- D. Siła w otworach rozwierconych przenoszona jest przez tarcie (w szczególności dla obciążenia poziomego). W obliczeniach przyjęto minimalne wartości poślizgów na łącznikach. Podczas badań należy zwrócić uwagę na moment dokręcenia śrub.
- E. Rezultaty obliczeń należy zweryfikować eksperymentalnie. Wyniki badań laboratoryjnych są wiodące.

5. KLAUZULE

- 1. Publikacja tylko za zgodą autora.
- 2. Autor nie zgadza się na publikacje wybiórczą.
- 3. Wszelkie niejasności powinny być wyjaśnione w terminie 1 miesiąca od wykonania niniejszego opracowania.


dr inż. Robert Grygo
upr. bud. WAM/0013/OWOW/09
w specjalności
konstrukcyjno-budowlanej