

Tytuł projektu: "Przeprowadzenie prac B+R przez firmę PPHU SOMET celem opracowania innowacji produktowej."

Numer umowy o dofinansowanie: RPDS.01.02.02-02-0004/19 z dnia 23.04.2020

RAPORT PRAC B+R

1. DANE OGÓLNE

1.1. Przedmiot opracowania

Przedmiotem niniejszego opracowania jest raport podsumowujący prace badawczo-rozwojowe.

W ramach realizacji projektu polegającego na opracowaniu innowacji procesowej i produktowej wytworzenia formy do kształtowania płaskowników miedzianych generatorów mocy Zespół B+R PPHU SOMET w oparciu o przyjęte założenia przeprowadził w procesie trzy etapowym cykl badań i analiz, którego rezultatem było wytworzenie nowego produktu. Głównym założeniem przeprowadzenia procesu badawczo-rozwojowego było wykorzystanie własnego zaplecza technicznego oraz zasobów ludzkich, w tym wieloletniego doświadczenia kadry.

Zespół B+R założył wprowadzenie udoskonalenia obecnego procesu wytwarzania form poprzez skrócenie czasu produkcji oraz eliminację wybranych etapów w procesie, które pierwotnie obejmowały prace wykończeniowe i złożeniowe. Wytworzenie formy z uwzględnieniem ww. założeń przyczyniło się do poprawy właściwości wytrzymałościowych produktu. Przeanalizowano kilka materiałów kluczowych, w tym najbardziej popularnego gatunku stali 235JR.

Dzięki przeprowadzonym pracom badawczo-rozwojowym nad różnymi metodami optymalizacji procesu technologicznego, począwszy od aspektu organizacyjnego, poprzez parametry obróbkowe, konstrukcje i materiały narzędziowe, konstrukcje maszyn technologicznych, strategię obróbki, jakościowe aspekty technologii udało się znacząco zwiększyć efektywność procesową. W przypadku stanowisk obróbkowych istotnym czynnikiem jest dobór i optymalizacja parametrów obróbkowych, w tym również narzędzi. Właściwy dobór narzędzi, parametrów obróbkowych, strategii obróbkowej oraz ich optymalizacja miały korzystny wpływ na skrócenie czasu głównego obróbki aż o 30%. Prace dotyczące technologicznego przygotowania produkcji oraz samego procesu obróbkowego obejmowało zastosowanie metod szeregowych oraz metody analitycznej modelowania.

W zakresie najważniejszego produktu firmy, jakim jest wytworzenie formy Zespół B+R opracował projekt procesu technologicznego umożliwiający frezowanie detalu z jednego zamocowania. Dzięki

innowacyjnemu podejściu do techniki frezowania zoptymalizowano posuw roboczy przy frezowaniu czołowym, przyjmując, iż posuw roboczy ma szczególny wpływ na chropowatość powierzchni przedmiotu obrabianego. W ramach przeprowadzonych prac przeanalizowano wpływ błędów ustalenia płytek skrawających w oprawce narzędziowej oraz zmienności posuwu roboczego na dokładność geometryczną i właściwości warstwy wierzchniej (chropowatość). Opracowany został model przewidujący na podstawie błędów ustalenia płytek skrawających oraz parametrów obróbkowych chropowatość powierzchni obrabianej po zakończeniu operacji technologicznej. Dopasowano wartości posuwu roboczego w zależności od zmniejszania lub podwyższania warunków skrawania. Wyeliminowano błędy obróbki wynikające z nieoptymalnego przebiegu ścieżki narzędzia i niedokładnej interpolacji ruchu narzędzia. Po przeprowadzonej obróbce, która była krótsza niż przy zastosowaniu programu NC nieoptymalizowanego, sprawdzono dokładność geometryczną, która również okazała się lepsza. Optymalizację posuwu zastosowano w obróbce dużych elementów formy. Zaprojektowany nowy proces produkcyjny powinien skrócić czas obróbki formy o około 70-75% przy zwiększeniu tolerancji wykonania do 0.02 mm.

Projekt ma charakter pro-środowiskowy. Opracowanie nowego procesu produkcyjnego form pozwoli na wykonywanie ich w czasie krótszym o około 70-75% z jednego elementu. Pozwoli to na ograniczenie ilości procesów obróbkowych i zaangażowanych maszyn a co za tym idzie ilości powstających odpadów. Redukcja procesów obróbkowych pociąga za sobą zmniejszenie np. ilości chłodziw co wiąże się ze zwiększeniem oszczędności wody. Projekt zakłada znaczne ograniczenie powstawania odpadów i ścieków powstających podczas obróbki. Stosowanie obróbek mechanicznych obliguje stosowanie chłodziw które w wyniku działania wysokich temperatur parują do atmosfery i mogą wywierać bardzo negatywny wpływ na płuca jak i cały organizm ludzki. Ograniczenie czasu obróbki o 70-75% oraz stosowanie najnowszych maszyn wpłynie na znaczną redukcję czynników szkodliwych dla otoczenia i atmosfery. Dodatkowo redukcja procesów spawania i szlifowania dodatkowo przyczyni się do poprawy aspektów ekologicznych poprzez ograniczenie szkodliwych pyłów. Jednocześnie wpłynie to również na ograniczenie poziomu hałasu emitowanych w tych procesach. Nowa forma cechować się będzie zwiększeniem sztywności minimum o 15% co zagwarantuje wydłużenie jej cyklu życia i możliwości stosowania. Prace projektowe uwzględnią również problem wielokrotnego jej wygrzewania w piecu co pozwoli na eliminację pęknięć zmęczeniowych. Udoskonalone parametry formy i nowy proces produkcyjny wpłynie zarówno na środowisko jak również najbliższe otoczenie. Ograniczy się zużycie energii i mediów (a tym samym również paliw kopalnych) co pośrednio też ma związek z poprawą ekologii i ograniczeniem m.in. smogu.

1.2. Zakres opracowania_ Etap 1 (02.2020-06.2020)_prace przemysłowe:

Zwiększanie dynamiki obróbki i optymalizacja czasu pracy na podstawie wykonanej analizy wiąże się z wprowadzaniem obróbki z dużymi prędkościami przy jednoczesnym zmniejszeniu masy podzespołów ruchomych. W związku z tym klasyczne podejście do projektowania polegające na wykorzystaniu sprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych form należy zmienić na konstruowanie z wykorzystaniem symulacji MES. Etapem poprzedzającym proces optymalizacji jest analiza MES korpusu zaproponowanego przez konstruktora. Określono sztywność statyczną w oparciu o wyniki analizy przemieszczeń na trzech kierunkach. Pierwszym etapem optymalizacji parametrycznej była optymalizacja korpusu o postaci geometrycznej zaproponowanej przez konstruktora. Korpus w wyniku oddziaływania podczas obróbki powinien zapewnić stabilność i sztywność obrabianego materiału. W związku z tym należało założyć redukcję masy, przy zachowaniu sztywności statycznej. Do optymalizacji korpusu zastosowano metodę MOGA (Multi-Objective Genetic Algorithm). Model obciążono w miejscu mocowania narzędzia niezależnie na kierunku X, Y i Z. Na powierzchniach wózków prowadzących, które współpracują z prowadnicami, zapewniono możliwość ruchu tylko w kierunku wyznaczonym przez prowadnice. Natomiast możliwość ruchu w tym kierunku odebrano w miejscu mocowania nakrętki tocznej. Z uwagi na to, iż optymalizacja parametryczna postaci geometrycznej zaproponowanej przez konstruktora nie przyniosła oczekiwanych rezultatów postanowiono przeprowadzić próbę optymalizacji postaciowej i parametrycznej, bazując na możliwościach jakie daje oprogramowanie Ansys. Podczas analiz MES program poszukiwał optymalnej drogi przepływu energii i wygenerował w modelu prymitywu możliwe do usunięcia objętości. Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić, że najwyższe wartości funkcji oceny otrzymano dla korpusu wykonanego ze stopu aluminium i dla korpusu wykonanego ze stopu magnezu. Dla korpusu stalowego wartości funkcji oceny są niższe, jednak ze względu na koszty wykonania to rozwiązanie może być najbardziej korzystne. W odróżnieniu od kosztów korpusu ze stopu magnezu, które będą bardzo wysokie. Najmniej korzystne rozwiązanie dotyczy korpusu wykonanego z żeliwa, dla którego uzyskano zmniejszenie sztywności na kierunku X i Y. Mając na uwadze powyższe najkorzystniejszym rozwiązaniem będzie zastosowanie korpusu stalowego, stąd wybór centrum obróbczego pod „jedno zamocowanie” powinno być wykonane z takiego materiału. Projektowanie wariantowe przyjęte przez Zespół B+R miało na celu wyeliminowanie zagrożeń i zwiększenie powodzenia wytworzenia formy w procesie technologicznym uwzględniając wszystkie zasady projektowania inżynierskiego. Projekt koncepcyjny należy wykonać w oparciu o założenia teorii projektowania technicznego. Zgodnie z teorią projektowania w procesie produkcyjnym powinny być maszyny zdolne do samodzielnego wykonywania pracy w określonym zakresie, tym samym wytypowano:

- CENTRUM FREZARSKIE CNC INDUA
- DECKEL MAHO DMC 63 V CNC
- CENTRUM

- TOKARKA MAS
- MASTURN 820 CNC - CENTRUM TOKARSKIE
- PRZYRZĄD USTAWCZY ZOLLER

W myśl założenia hierarchiczny schemat obróbki detalu obejmuje następujące składowe:

1. System maszynowy – linia obróbkowa,
2. Maszyna – urządzenie do wykonywania pracy,
3. Zespół – elementy składowe maszyny wykonujące część funkcji głównej maszyny lub funkcje pomocnicze, zazwyczaj będące modułami posiadającymi własny korpus,
4. Podzespoły – części funkcjonalne zespołów,
5. Elementy konstrukcyjne – części składowe podzespołów wykonane z jednej bryły materiału,
6. Prefabrykaty – części składowe elementów o niezakończonym procesie obróbkowym,
7. Powierzchnie funkcjonalne – powierzchnie elementów konstrukcyjnych współpracujące z powierzchniami funkcjonalnymi innych elementów konstrukcyjnych, podlegające procesowi projektowania (tolerancje wykonania, gładkość powierzchni, twardość).
8. Powierzchnie swobodne – pozostałe powierzchnie elementów konstrukcyjnych, których cechy zazwyczaj nie podlegają procesowi projektowania.

1.3. Podstawa opracowania:

Podstawowe zasady konstruowania maszyny przyjęte przez Zespół B+R:

Konstrukcja powinna spełniać wszystkie podstawowe warunki konstrukcyjne wynikające ze szczególnych zasad w stopniu równym lub wyższym od założonego.

Szczególne zasady konstrukcji:

1. Funkcjonalność – poprawne spełnianie funkcji formy.
2. niezawodność i trwałość – uzyskanie pożądanego prawdopodobieństwa niezawodności.
3. Sprawność – uzyskanie założonej i uwarunkowanej ekonomicznie sprawności.
4. Lekkość – uzyskanie odpowiedniego ciężaru (masy).
5. Dostępność materiałów.
6. Właściwy układ przenoszenia obciążeń – odpowiedni dobór schematu.
7. Technologiczność – umożliwienie najkorzystniejszych warunków wykonania.
9. Ergonomiczność – dostosowanie konstrukcji do wymogów bezpieczeństwa.
10. Zgodność z normami i przepisami – wykorzystanie norm technicznych.
11. Inne np.: oddziaływanie na środowisko, estetyka, odporność na warunki zewnętrzne itp.

2. Prace B+R_ etap 1

Przyjęte zasady konstruowania

Zasady konstruowania powinny być stosowane w procesie projektowania technicznego, ponieważ wraz z optymalną koncepcją rozwiązania problemu projektowego decydują o jego jakości i konkurencyjności. Pozwalają na systemowe podejście do uszczegółowiania. Pewnym ograniczeniem w ich stosowaniu jest konieczność spełnienia wymogów normalizacji, w tym:

- podstawowych parametrów operacyjnych i postaci narzędzi,
- podstawowych cech i postaci konstrukcyjnych elementów maszyn,
- systemu oznaczeń.

Zasada optymalnego stanu obciążenia

Zasada obejmuje konieczność poszukiwania korzystnych ze względu na założone kryteria optymalizacyjne stanów obciążenia. Najczęściej stosowane sposoby optymalizacji to:

- dobieranie postaci konstrukcji ze względu na wykorzystanie działania obciążeń roboczych,
- zmniejszenie nierównomierności działania obciążeń,
- powiększenie liczby dróg przenoszenia obciążeń,
- zastępowanie układu o złożonym stanie naprężeń, układem, w którego elementach występują elementarne stany naprężeń,
- zmniejszenie niejednostajności obciążenia,
- zmniejszenie oporów ruchu i strat energii.

Zasada optymalnego tworzywa

- Zasada obejmuje wybór takich materiałów na elementy konstrukcyjne, aby zostały w optymalny sposób spełnione cechy konstrukcji. Kryteriami podstawowymi przy wyborze materiałów to masa, objętość i koszt.

Wiele właściwości materiałów staje się równocześnie kryteriami doboru, takimi jak:

- dostępność,
- struktura materiału,
- wrażliwość na oddziaływanie czynników zewnętrznych: korozja, właściwości fizyczne: gęstość właściwa, rozszerzalność cieplna,
- właściwości uzyskiwanych powierzchni: tarcie, kohezja, adhezja,
- właściwości wytrzymałościowe: granice wytrzymałościowe, udarność, itp.
- właściwości technologiczne: obrabialność skrawaniem, obrabialność cieplna.

Do wykonania projektu wykorzystano istniejące oprogramowanie AUTODESK Inwertor oraz ESPRIT (rys. 1).

Nr zamówienia Autodesk 7058947285

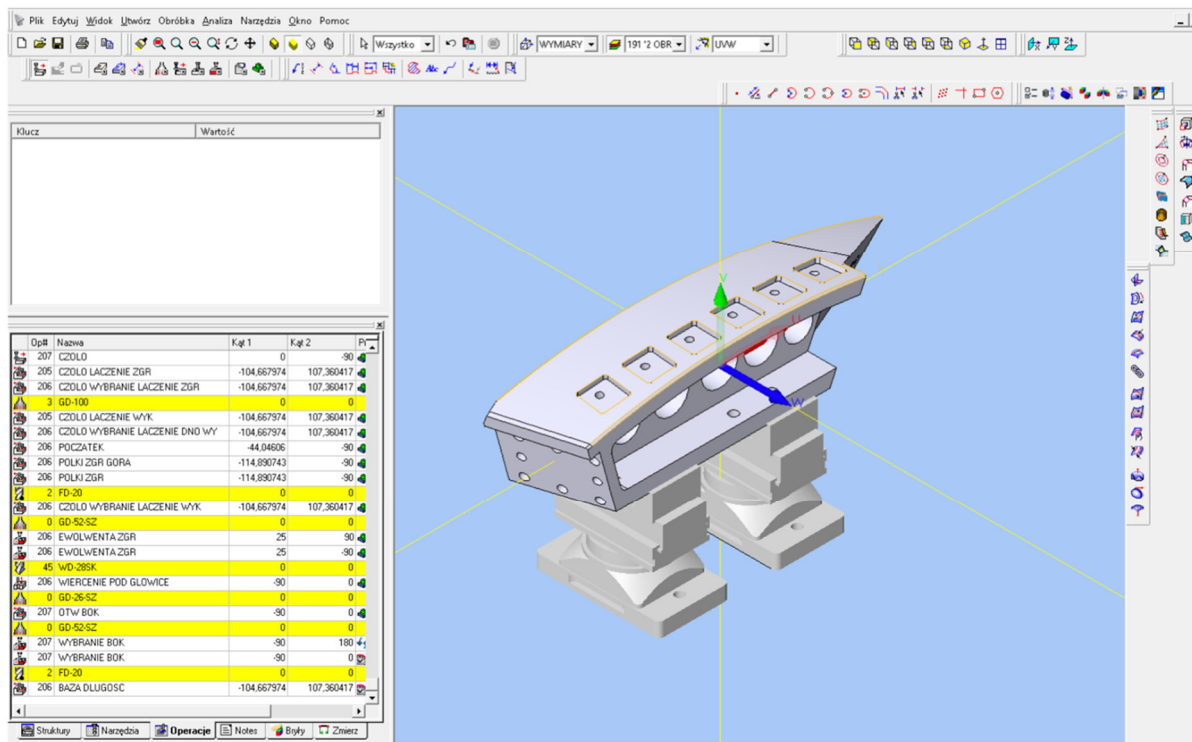
Nr umowy , 110002099019, data zakończenia: March 14, 2020

Nr zlecenia zakupu: SOMET 2 A-7440950 30979132

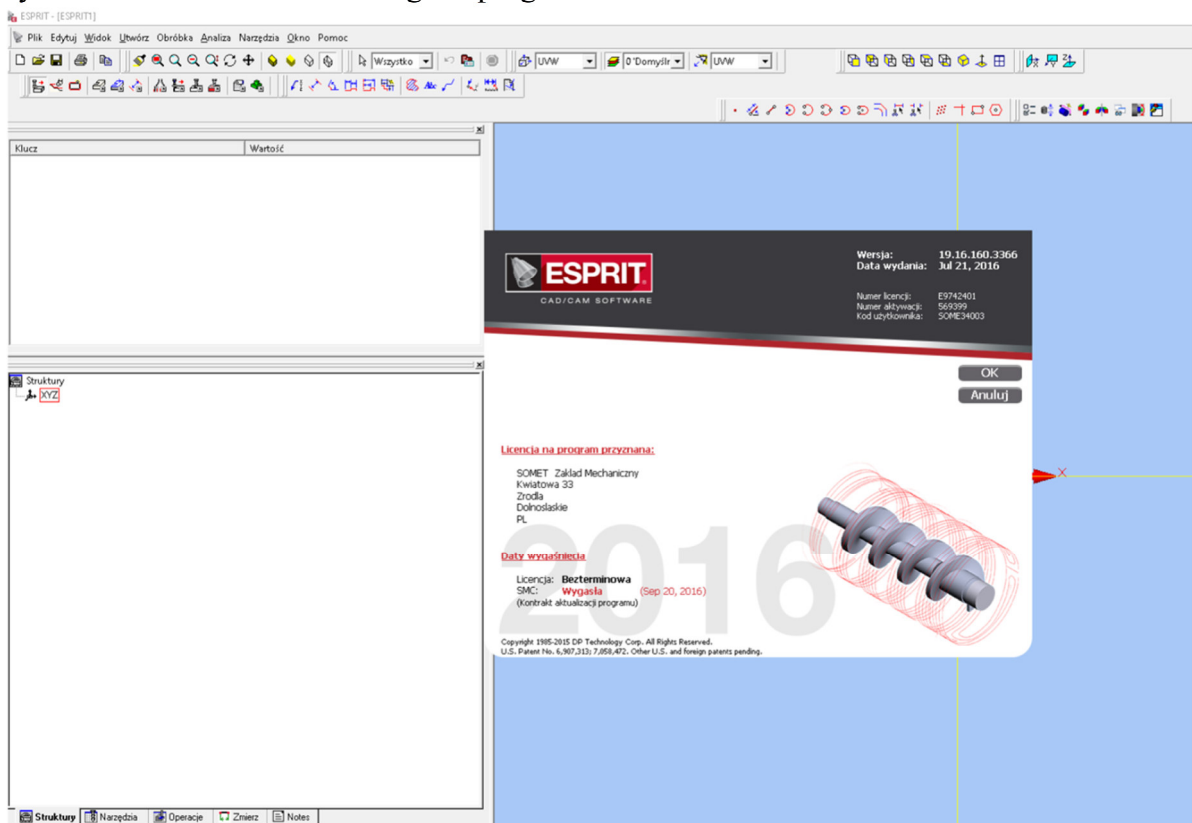
Nazwa firmy: PPHU Somet Jarosław Sochocki

Sprzedawca: Procad S.A.

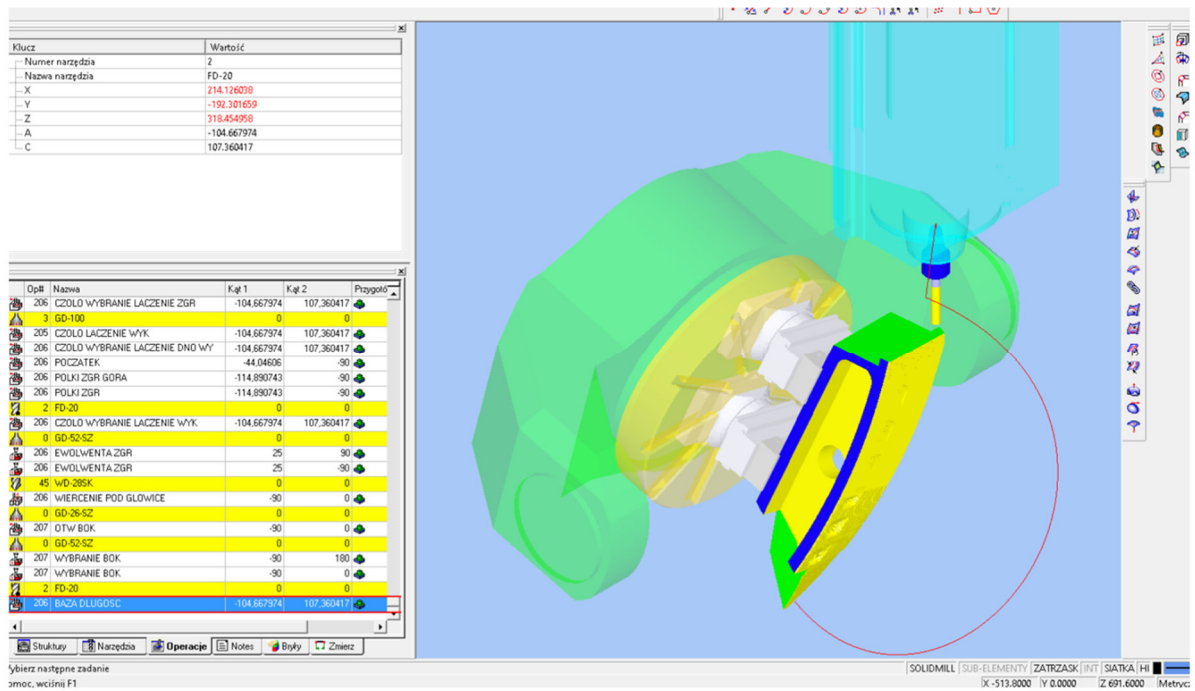
Rys.1 Informacje dotyczące licencji oprogramowania



Rys. 2 Rzut elementu obrabianego w programie ESPRIT

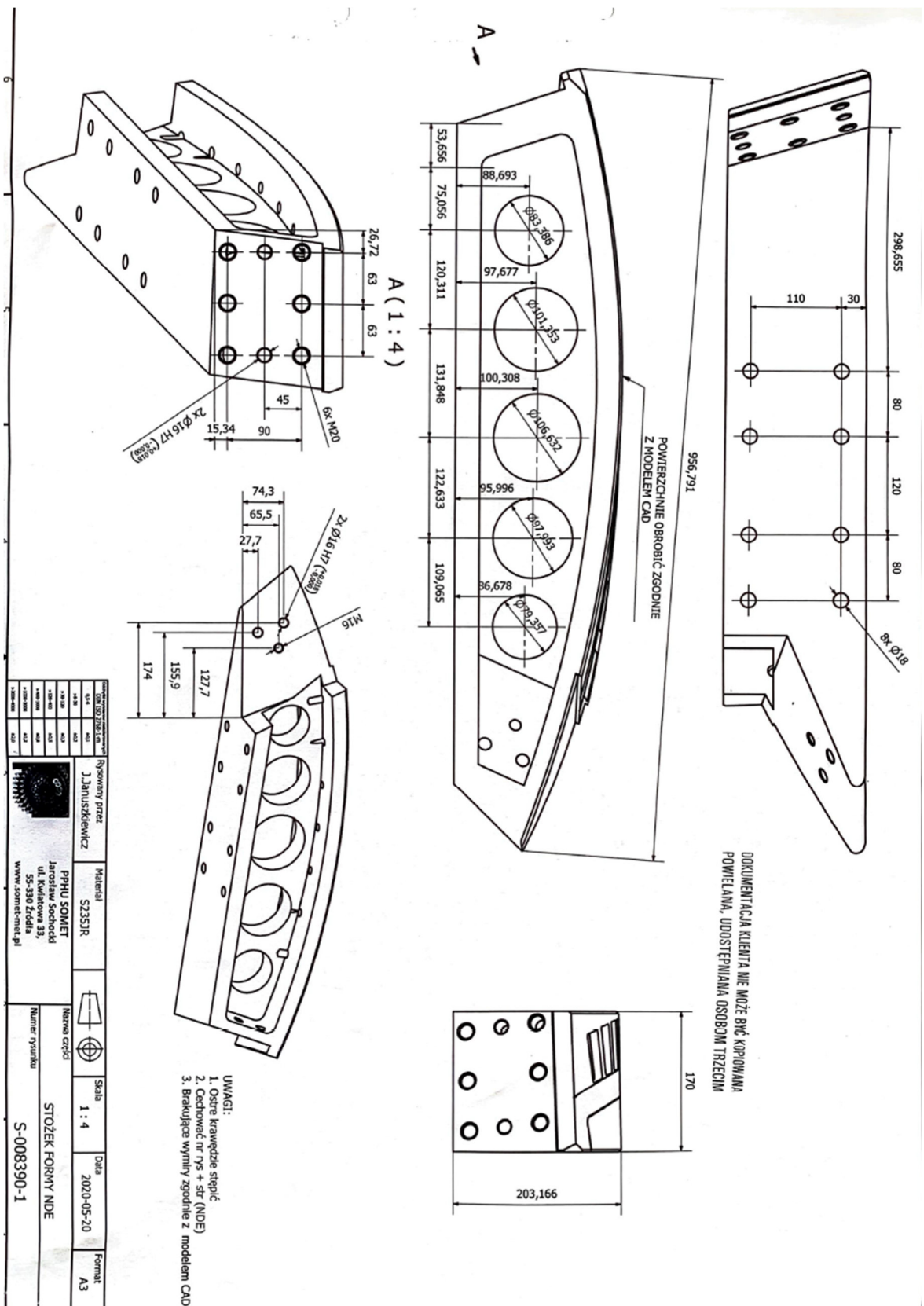


Rys. 3 Rzut elementu obrabianego w programie ESPRIT




Rys. 4 Rzut elementu obrabianego w programie ESPRIT

ESPRIT jest wysoko wydajnym, pełnozakresowym systemem CAD/CAM dla wielu rodzajów obróbki. ESPRIT steruje obrabiarkami, co daje możliwość obsługi najbardziej zaawansowanych prac.



Rys. 5 Rysunek techniczny 2D stożka

		Klient:	Zlecenie produkcyjne nr z dnia Projekt..... Termin wykonania:.....	Zamówienie nr Pozycja	G2-P1-F1 (05) 1 z 1
Detal / Usługa <u>S-008390-1 Stożek formy NDE</u>		Materiał <u>S235JR</u>		szt. <u>1</u>	
Kolejność Operacji (od 1 do..)	II OBRÓBKA	III Pracownik Kontrola wykonania pierwszej sztuki (wpisz wymiar)	IV Pracownik / Kontroler jakości Kontrola końcowa wyrobów/ usługi Pomiar zgodny z wymiarem w kolumnie III(podpis) Dla wymiarów tolerowanych, wpisz wymiar, podpis	WYRÓB NIEZGODNY	
T	Cięcie	Pomiar <u>FORMATKA : 180x210x1000</u> Podpis	Pomiar <u>WYMIAR ZGODNY Z RYSUNKIEM</u> Podpis	Dotyczy operacji:	
T	Toczenie	Pomiar	Pomiar	Szt:	
T	Wiercenie, rozwiercanie	Pomiar <u>Ø 33,086 Ø 33,087 Ø 18</u> <u>Ø 101,833 Ø 116,871</u> <u>Ø 106,832</u> <u>Ø 99,833</u> <u>Zgodnie z rysunkiem</u> Podpis	Pomiar <u>WYMIAR ZGODNY Z RYSUNKIEM</u> Podpis	1. Krótki opis niezgodności:	
T	Frezowanie	Pomiar <u>Zgodnie z rysunkiem</u> Podpis	Pomiar <u>WYMIAR ZGODNY Z RYSUNKIEM</u> Podpis	2. Decyzja Właściciela : <input type="checkbox"/> Naprawa <input type="checkbox"/> Poprawa <input type="checkbox"/> Złom Kontrola po naprawie: Wyrób zgodny	
T	Elektrodrażenie	Pomiar	Pomiar	Data, podpis	
T	Gwintowanie	Pomiar <u>6M20</u> <u>M16</u> Podpis	Pomiar <u>WYMIAR ZGODNY Z RYSUNKIEM</u> Podpis	Uwagi	
T	Szlifowanie	Pomiar	Pomiar		
T	Gratowanie	Pomiar <u>Zgodnie z rysunkiem</u> Podpis	Pomiar <u>WYMIAR ZGODNY Z RYSUNKIEM</u> Podpis		
T	Inne	Pomiar <u>cechoponie</u> Podpis	Pomiar <u>WYMIAR ZGODNY Z RYSUNKIEM</u> Podpis		
Przekazano do sprzedaży		KONTROLER JAKOŚCI Data wydruku			
		mgr inż. Piotr Rudnicki			

Rys. 6 Kolejność obróbki stożka

Maszyna do ciągłej 5-osiowej obróbki złożonych elementów. Dzięki swojemu układowi i właściwościom przeznaczona do kompleksowej obróbki elementów z pięciu stron.

- Zastosowanie technologiczne
- spójne frezowanie pięcioosiowe
- toczenie
- inne technologie (wiercenie, przewiercanie, rozwiercanie, cięcie gwintów)
 - Maksymalna wydajność
 - Dokładność
 - Materiały
- stale, żeliwa
- metale żelazne i nieżelazne
 - Szczytowa jakość
 - Diagnostyka maszyny
 - Monitoring produkcji
 - Automatyzacja i paletyzacja
 - Funkcje ekologiczne „zielona planeta“
- po ukończeniu programu obwody siłowe wyłączają się automatycznie
- optymalizacja mocy wrzeciona.



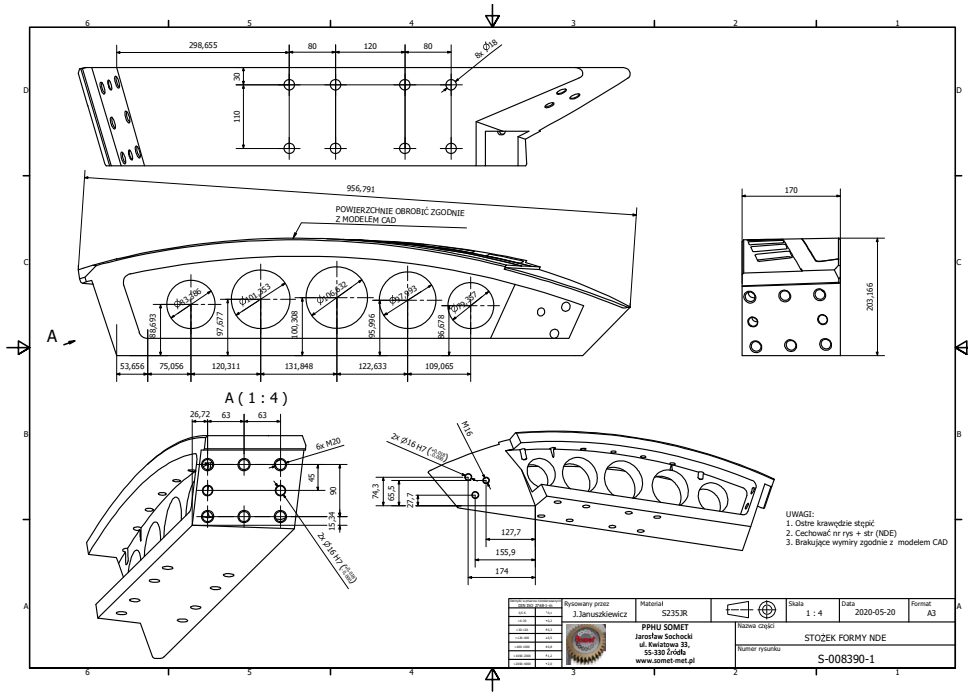
Rys.7 Obrabiarka MCU 700 VT-5X wytypowana do detalu S-008390-1



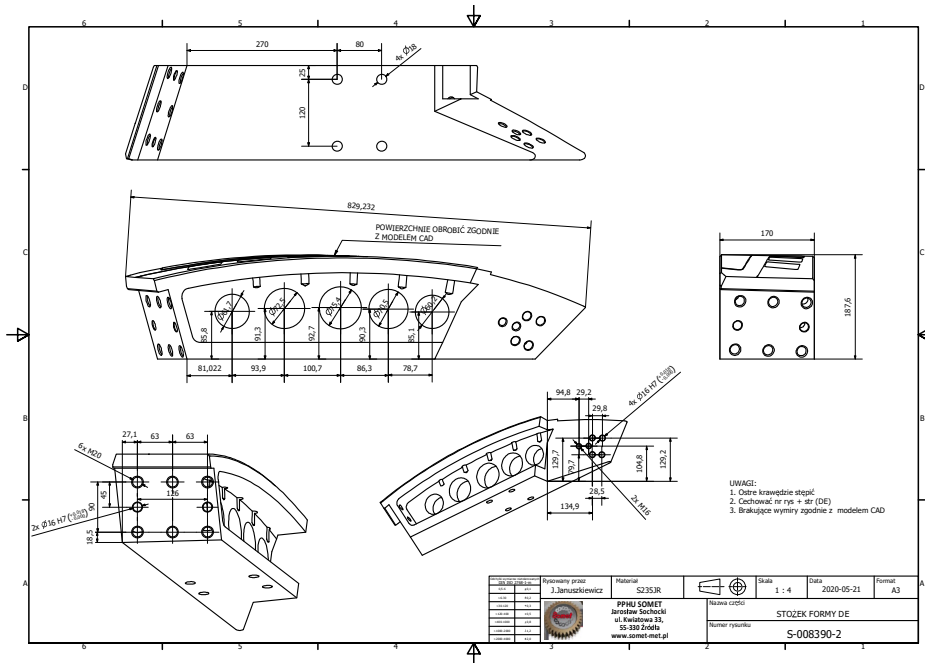
Rys. 8 System mocowania stożka_imadło precyzyjne WNT

Zespół B+R wytypował następujące modele do etapu laboratoryjnego:

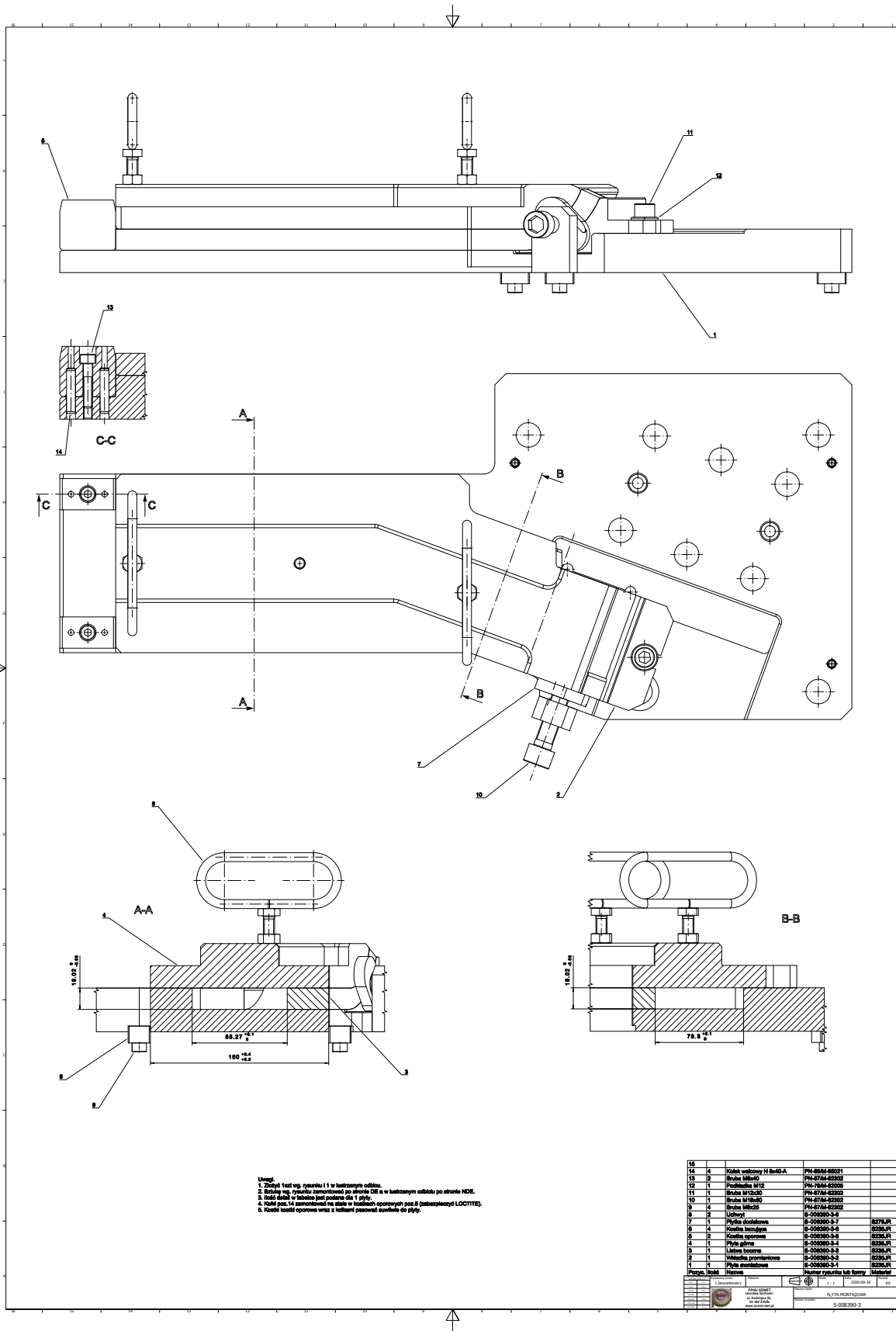
Model A



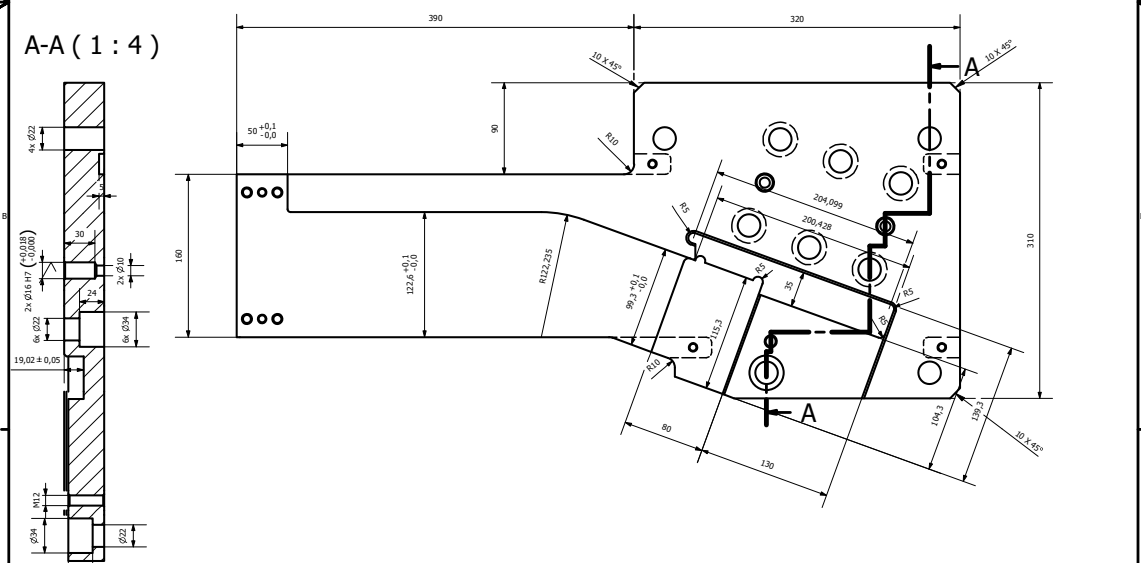
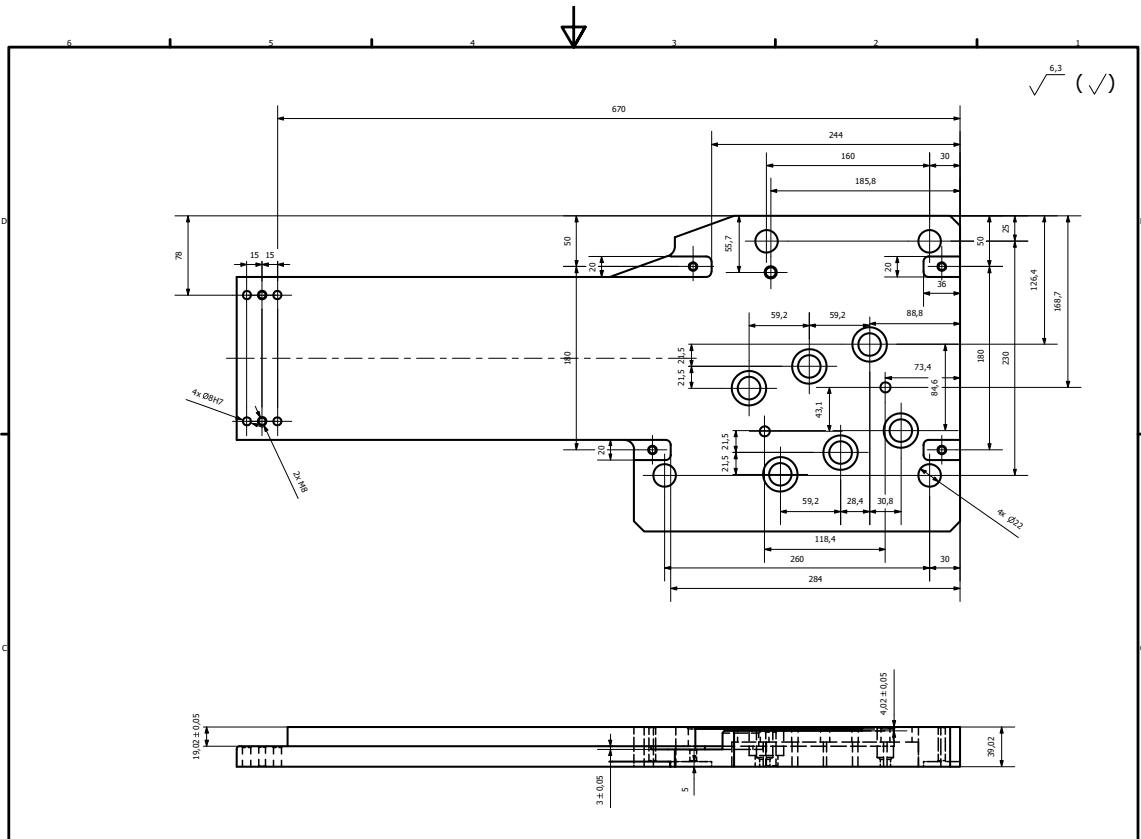
Model B



Model C



Model D



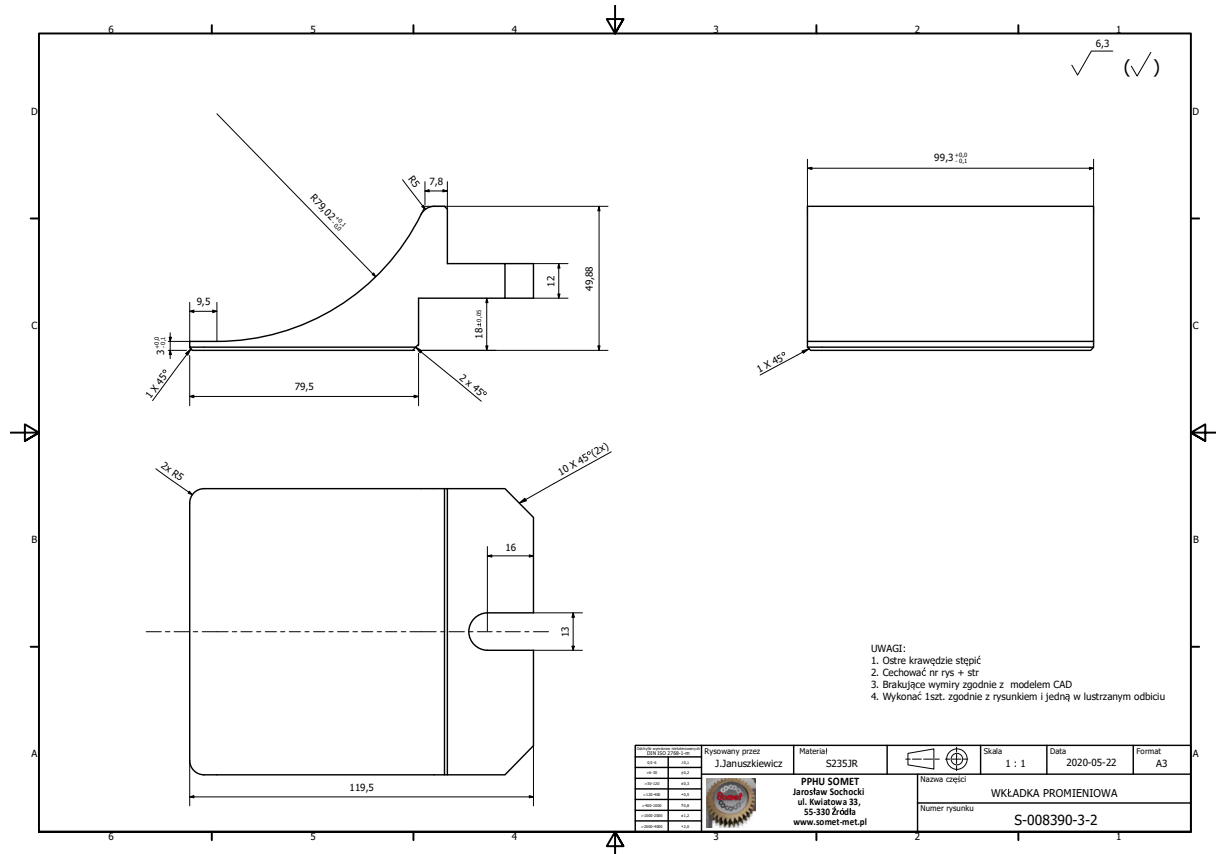
- UWAGI:**
1. Wykonać 1szt. zgodnie z rysunkiem i jedną w lustrzanym odbiciu
 2. Ostre krawędzie stępić
 3. Cechować nr rys + str
 4. Brakujące wymiary zgodnie z modelem CAD

<small>Skala</small> 1 : 4	<small>Data</small> 2020-05-21	<small>Format</small> A3	<small>Rysowany przez</small> J.Januszkiewicz	<small>Materiał</small> S235JR	
			<small>Nazwa części</small> PŁYTA MONTAŻOWA	<small>Numer rysunku</small> S-008390-3-1	



PPHU SOMET
 Jarosław Sochocki
 ul. Kwiatowa 33,
 55-330 Zródła
 www.somet-met.pl

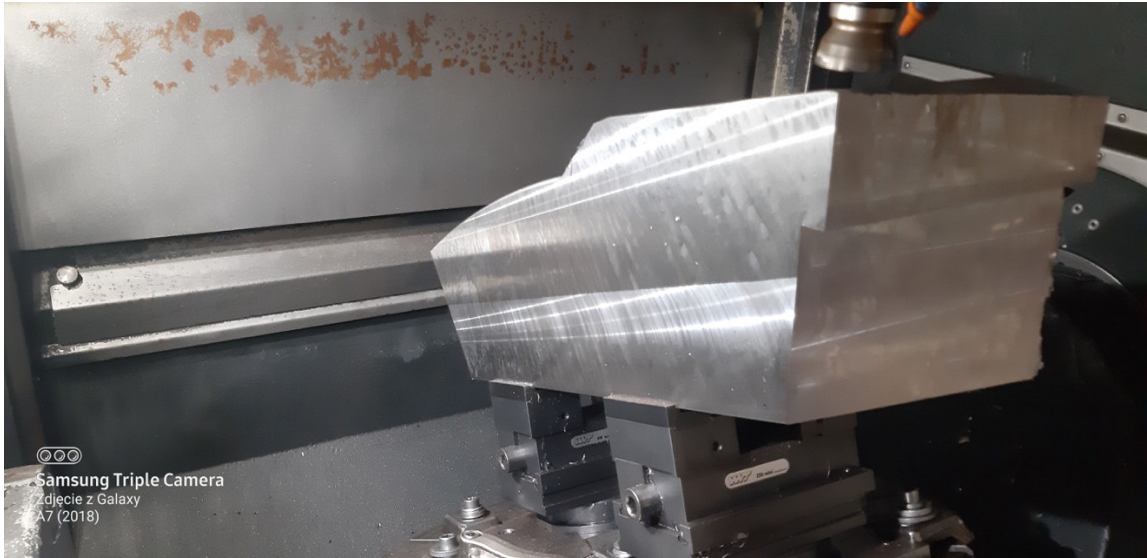
Model E



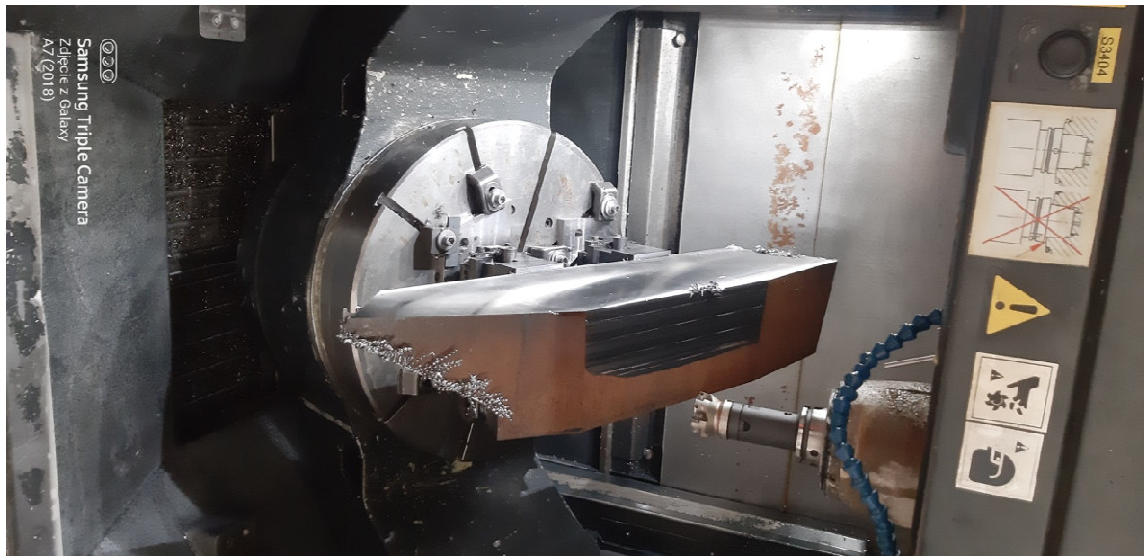
W dalszych pracach etapu pierwszego sprawdzono mocowanie i sposób podejścia narzędzi do najbardziej skomplikowanej obróbki modeli A i B.



Rys. 9 Mocowanie detalu



Rys. 10 Mocowanie detalu



Rys. 11 Podejście głowicy z płytkami WNT



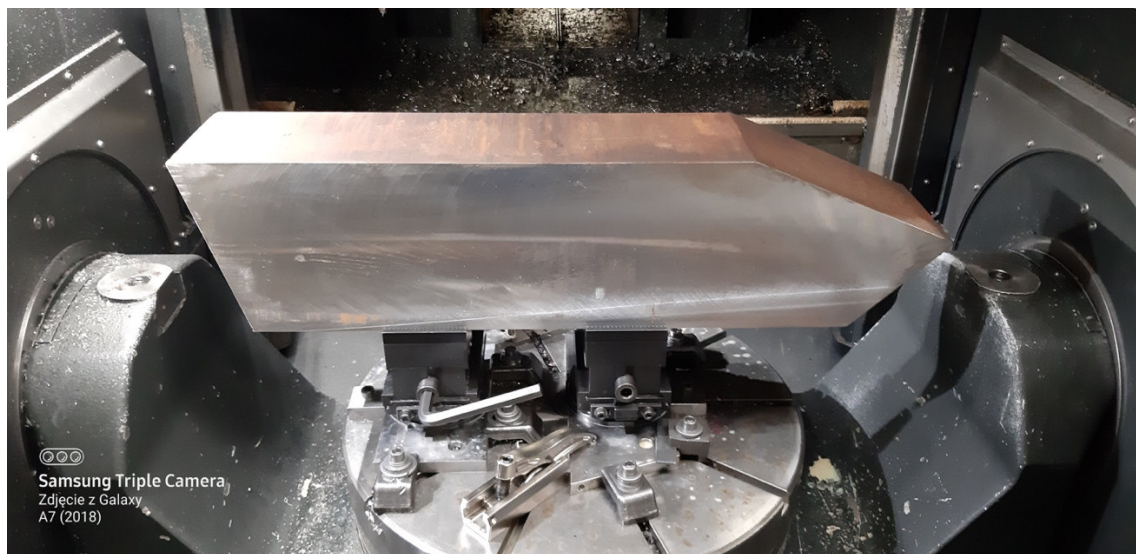
Rys. 12 Podejście głowicy z płytkami WNT_ obróbka gniazda



Rys. 13 Podejście oprawy z wiertłem przy chłodzeniu mgłą olejową



Rys. 14 Wybór modelu kształtu



Rys. 15 Próba optymalnego ustawienia detalu do obróbki



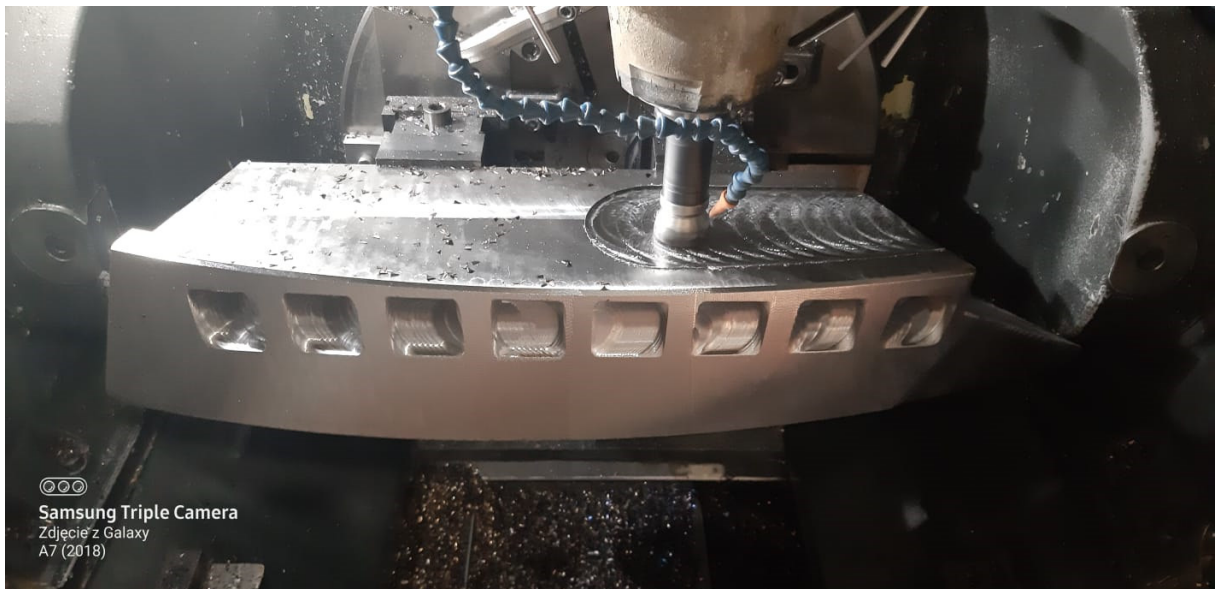
Rys. 16 Obróbka czołowa płytkami WNT w celu sprawdzenia drgań na detalu



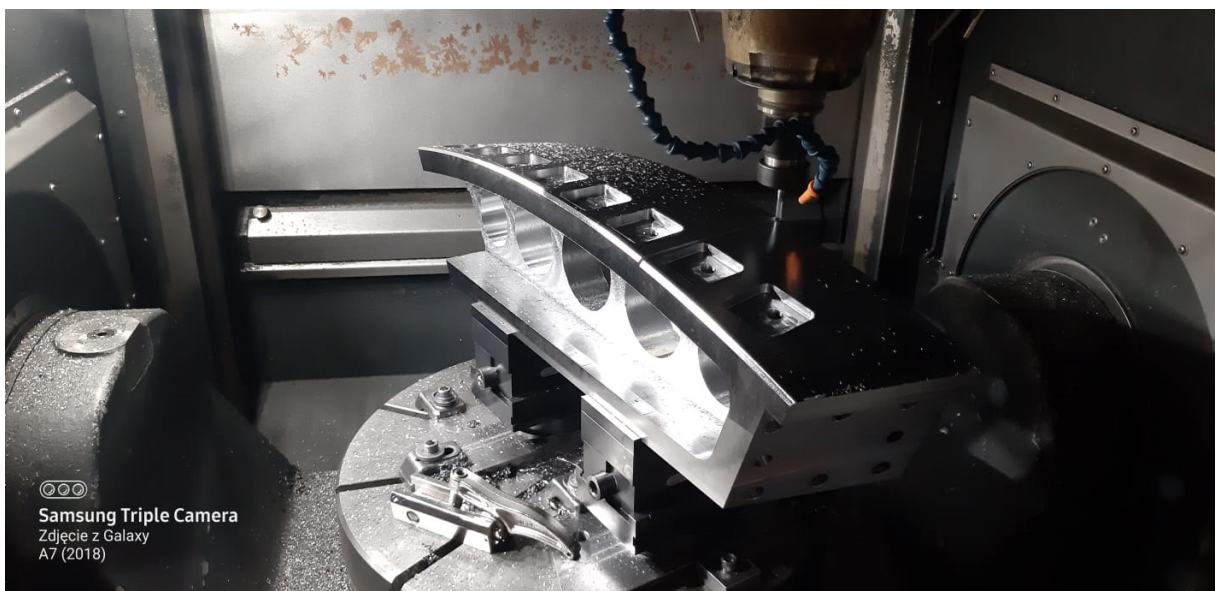
Rys. 17 Obróbka pod kątem w celu sprawdzenia drgań na detalu



Rys. 18 Zmiana narzędzia i pozycjonowanie wiertła



Rys. 19 Test parametrów skrawania głowicy w celu zmniejszenia oporów na płycie

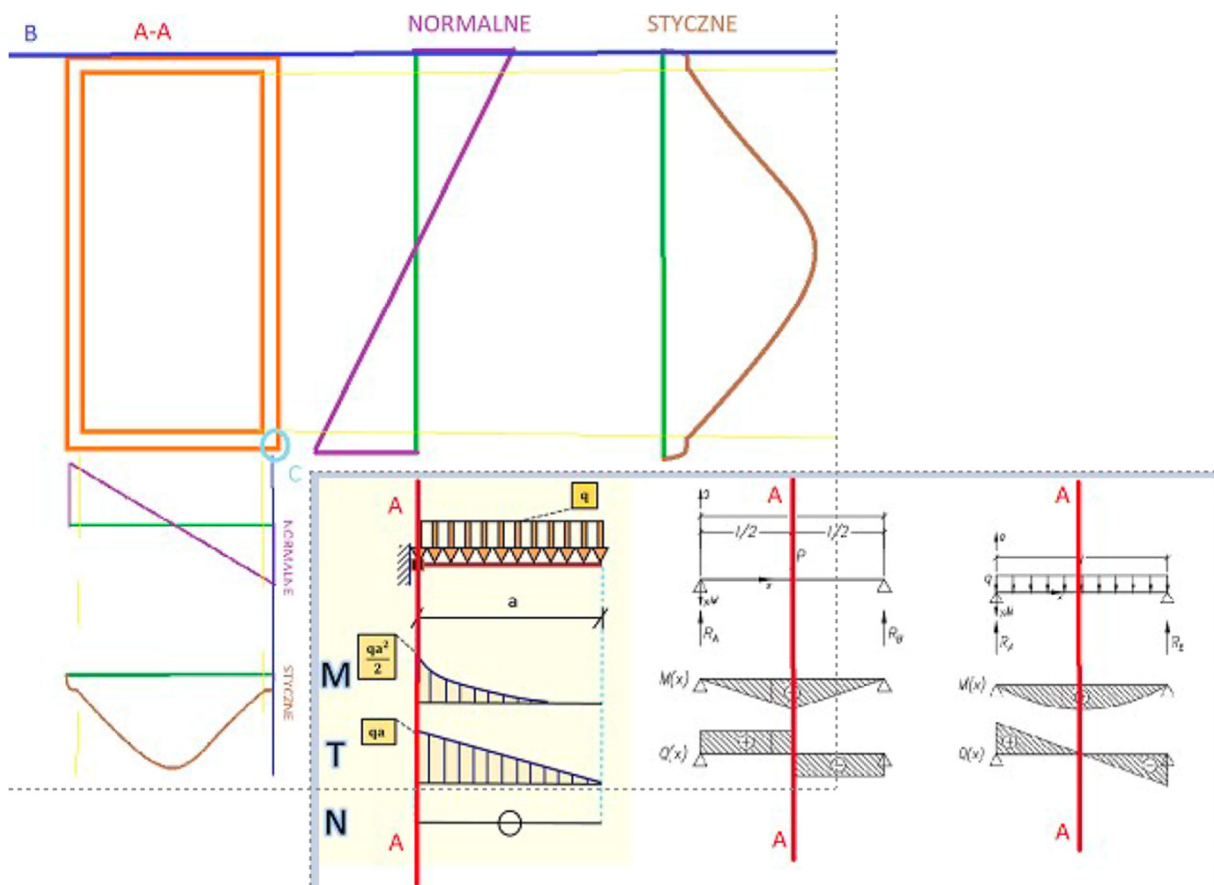


Rys. 20 Test parametrów pracy wiertła i wykonania otworu w jednym podejściu

Podsumowanie etapu pierwszego

- autorskie podejście do założeń obliczeń statycznych będących uniwersalnym narzędziem do projektowania i weryfikacji wprowadzanych zmian pod kątem wytrzymałości i optymalizacji kształtu,
- podstawą podejścia są opracowania, w tym normy budowlane oraz teoria konstrukcji,
- wszystkie założenia upraszczające obliczenia powodują najczęściej błąd po stronie bezpiecznej,
- w większości obliczeń pominięto ciężar własny,
- zrezygnowano z tworzenia kombinacji obciążeń - znikome prawdopodobieństwo współdziaływania rozpatrywanych obciążeń,
- pominięto takie zjawiska jak: utrata stateczności lokalnej (przekrój zamknięty) oraz zmęczenie materiału - elementy w normalnych warunkach pracują z małym wyężeniem. Wyboczenie dotyczy tylko smukłych elementów wypełnienia,
- wartość obliczeniowa oddziaływania = wartość charakterystyczna * współczynnik bezpieczeństwa > 1),
- wartość obliczeniowa nośności = wartość charakterystyczna / współczynnik bezpieczeństwa > 1).

Założenia ogólne dla schematów statycznych wybranego elementu modelu



Powyższe rysunki przedstawiają występujące w ramach obliczeń schematy statyczne wraz z wykresami sił wewnętrznych oraz rozkładem naprężeń dla wytypowanego profilu. Podstawowa wiedza z zakresu wytrzymałości materiałów pozwala przewidzieć i ocenić zachowanie się elementu pod wpływem danych obciążeń przy danej geometrii. Wpływ naprężeń normalnych i ich wartość w naszym przypadku będzie o rzędy wielkości większy niż wpływ naprężeń stycznych, dlatego też obliczenia wytrzymałościowe wystarczy przeprowadzać każdorazowo w miejscu występowania maksymalnych momentów zginających (A) a rozpatrując sam rozkład naprężeń dla przekroju w

miejszu występowania największej wartości naprężeń normalnych od zginania (B). Podsumowując: dla elementów pracujących jednokierunkowo niezależnie od ich schematu statycznego wystarczy sprawdzić jedynie ich zachowanie pod wpływem działania momentów zginających (siły tnące pominąć, ponieważ naprężenia styczne wyznaczone wzorem Żurawskiego z uwagi na zerową wartość momentu statycznego i tak będą mieć wartość 0). Użycie hipotez wytrzymałościowych (np. H-M-H) jest uzasadnione jedynie w przypadku obliczeń normowych dla spoin pachwinowych oraz ewentualnie elementów poddanych zginaniu dwukierunkowemu w przypadku, gdy wywołane jest ono przez dwie stałe działające siły (wykluczono możliwość zachodzenia kombinacji obciążeń zmiennych) i gdy zapas nośności nie jest na zadowalającym poziomie (punkt C - złożony stan naprężeń).

W kolejnym etapie przeprowadzone zostaną obliczenia i analizy dla wybranych stopów aluminium.

3. Prace B+R_ etap 2 (07.2020-09.2021)_ badania przemysłowe

Na podstawie opracowanych w etapie 1 dokumentacji wykonawczych wykonano obliczenia dla wybranego elementu konstrukcji formy z podziałem na materiał stalowy i materiały stopowe aluminium. Przeprowadzono także symulacje wpływu temperatury na obiekt.

I. Stałe konstrukcyjne_S235_ do obliczeń przyjęto:

- Stałe ($\gamma = 1,35$):
 - Ciężar własny konstrukcji
 - Zmienne ($\gamma = 1,50$):
 - Obciążenie liniowe $F1 = 1,0 \text{ kN/m}$
 - Dwa obciążenia skupione o wartości $F2 = 0,5 \text{ kN}$
 - Obciążenie skupione $F3 = 1,0 \text{ kN}$ przyłożone w środku, skierowane w dół
 - Obciążenie równomiernie rozłożone na powierzchni wypełnienia $F4 = 1,3 \text{ kN/m}^2$

Próbka 1

Materiał: S 235

Przekrój poprzeczny: 60X40X 3

Przypadek obciążenia: liniowa,(Auto) Decydująca

Wskaźnik dla sił sejsmicznych: 1,0

1. Siła normalna-Zginanie-Ścinanie

EN 1993-1-1: 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$N_{Ed1} = -0,16 \text{ kN} \quad V_{y,Ed1} = -0,74 \text{ kN} \quad V_{z,Ed1} = 0 \text{ kN} \quad M_{z,Ed1} = -95,55 \text{ kNcm} = -1,0 \text{ kNm} \quad M_{x,Ed1} = 0 \text{ kNcm} = 0 \text{ kNm}$$

$$\eta_{NMF_{Ed}} = \frac{N_{Ed1}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed1}}{W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed1}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{(-0,16)}{5,41 \cdot \frac{23,50}{1}} + \frac{0}{8,46 \cdot \frac{23,50}{1}} + \frac{(-95,55)}{6,72 \cdot \frac{23,50}{1}} = 60,6 \% \quad \text{spełniony}$$

2. Siła normalna-Zginanie-Wyboczenie giętkie

EN 1993-1-1: 6.3.3, Annex B: Method 2

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$C_{my} = - - -$$

$$C_{mz} = 1$$

$$f_{yy} = \min(0,6 \cdot \lambda_y^*; 0,6) = \min(0,6 \cdot 1,28; 0,6) = 0,6$$

$$f_{zz} = \min(0,6 \cdot \lambda_z^*; 0,6) = \min(0,6 \cdot 1,76; 0,6) = 0,6$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1,003 = 1,003$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + f_{zz} \cdot \frac{\left(\frac{N_{Ed1}}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}} \right)}{\gamma_{M1}} \right) = 1 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{(-0,16)}{0,24 \cdot 127,07} \right) = 1,003 \quad \text{Tabela Annex B.1}$$

$$\chi_y = \min \left(\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^{*2}}}, 1 \right) = 0,40 \quad (6.49)$$

$$\chi_z = \min \left(\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^*}}, 1 \right) = 0,24 \quad (6.49)$$

$$\eta_{NMBuchl_y} = \frac{\frac{N_{Ed,y}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed,y}}{W_{el,z} \cdot f_y}}{\gamma_{M1}} = \frac{1,003 \cdot \frac{(-0,16)}{0,40 \cdot 5,41 \cdot 23,50} + \frac{(-95,55)}{6,72 \cdot 23,50}}{1} = 61,0\% \quad (6.61)$$

$$\eta_{NMBuchl_z} = \frac{\frac{N_{Ed,z}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed,z}}{W_{el,z} \cdot f_y}}{\gamma_{M1}} = \frac{1,003 \cdot \frac{(-0,16)}{0,24 \cdot 5,41 \cdot 23,50} + \frac{(-95,55)}{6,72 \cdot 23,50}}{1} = 61,2\% \quad (6.62)$$

$$\eta_{NMBuchl} = 61,2\% \quad \text{spełniony}$$

3. Siła normalna-Zginanie-Zwichrzenie

EN 1993-1-1: 6.3.3, Annex B: Method 2

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$C_{my} = \text{---}$$

$$C_{mz} = 1$$

$$C_{mLT} = \text{---}$$

$$f_{yy} = \min(0,6 \cdot \lambda_y^*; 0,6) = \min(0,6 \cdot 1,28; 0,6) = 0,6$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1,003 = 1,003$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + f_{zz} \cdot \frac{\frac{N_{Ed,z}}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}}}{\gamma_{M1}} \right) = 1 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{\frac{(-0,16)}{0,24 \cdot 127,07}}{1} \right) = 1,003 \quad \text{Tabela Annex B.1, B.2}$$

$$\chi_y = \min \left(\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^*}}, 1 \right) = 0,40 \quad (6.49)$$

$$\chi_z = \min \left(\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^*}}, 1 \right) = 0,24 \quad (6.49)$$

$$\chi_{LT} = 1 \quad (6.56)$$

$$\eta_{NMLTBuchl_y} = \frac{\frac{N_{Ed,y}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed,y}}{W_{el,z} \cdot f_y}}{\gamma_{M1}} = \frac{1,003 \cdot \frac{(-0,16)}{0,40 \cdot 5,41 \cdot 23,50} + \frac{(-95,55)}{6,72 \cdot 23,50}}{1} = 61,0\% \quad (6.61)$$

$$\eta_{NMLTBuckl} = \frac{\frac{N_{Ed,y}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y}}{\gamma_{M1}} + k \cdot \frac{\frac{M_{Ed,y}}{W_{el,z} \cdot f_y}}{\gamma_{M1}} = \frac{[-0,16]}{0,24 \cdot 5,41 \cdot 23,50} + 1,003 \cdot \frac{[-95,55]}{6,72 \cdot 23,50} = 61,2\% \quad (6.62)$$

$$\eta_{NMLTBuckl} = 61,2\% \quad \text{spełniony}$$

4. Nośność przekroju przy ścinaniu (y):

EN 1993-1-1: 6.2.6, 6.2.7

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F4}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$V_{el,Rd,y} = \frac{\frac{L \cdot t_f}{S} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{A_{V,el,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$A_{V,el,y} = \frac{I_z \cdot 2 \cdot t_f}{\left(t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot \frac{b - 2 \cdot b_2}{2} \right) + \left(2 \cdot t_f \cdot \frac{b^2}{8} \right)} = 1,92 \text{ cm}^2$$

$$V_{el,Rd,y} = \frac{A_{V,el,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,92 \cdot 23,50}{\sqrt{3} \cdot 1} = 26,06 \text{ kN}$$

$$\eta_{V_y} = \frac{\frac{V_y \cdot E_{d,y}}{V_{el,Rd,y}}}{26,06} = \frac{[-1,01]}{26,06} = 3,9\% \quad \text{spełniony}$$

5. Nośność środnika przy ścinaniu (niestateczność):

EN 1993-1-5: 5.1, 5.2, 5.3, 5.5, Annex A: A.3

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$a_{max} = 1,3$$

$$\eta_w = 1,2 \quad 5.2 \text{ (2) NOTE 2}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 6,00 - 2 \cdot 0,30 = 5,40 \text{ cm}$$

Bez usztywnienia $\rightarrow k_\tau = 5,34 \quad (\text{A.5})$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}}{\eta_w} \rightarrow V_{b,Rd} = V_{el,Rd,z} = 36,83 = 36,83 \text{ kN} \quad (5.1 \text{ (2)})$$

$$\eta_{V_w} = \frac{\frac{V_z \cdot E_{d,z}}{V_{z,Rd}}}{36,83} = \frac{[0]}{36,83} = 0\% \quad (5.10) \quad \text{spełniony}$$

6. Ścinanie środnika-Zginanie-Siła normalna

EN 1993-1-1: 6.2.9; EN 1993-1-5: 7.1

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$M_{f,Rd} = (b + 2 \cdot b_2) \cdot t_f \cdot f_y \cdot (h - t_f) = (4,00 + 2 \cdot 0) \cdot 0,30 \cdot 23,50 \cdot (6,00 - 0,30) = 160,74 \text{ kNm} = 1,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} \leq M_{f,Rd} \rightarrow \eta_{M_y} = \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} = \frac{0}{247,42} = 0\% \quad (7.1) \quad \text{spełniony}$$

7. SGU (Stan graniczny użytkowości)

EN 1993-1-1: 7., EN 1990: 3.4, A1.4.

Decydująca kombinacja: **[ST1] {F1}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 1,00 \cdot L = 1,00 \cdot 130,00 = 130,00$ cm

$$w_x = 0 \text{ cm} \rightarrow \eta_{w_x} = 0\%$$

$$w_y = |w_{y,d} - w_{y,0}| = |(-1,27) - 0| = 1,27 \text{ cm}$$

$$w_{y,Limit} = \frac{H_{SLS}}{50,0} = \frac{130,00}{50,0} = 2,60 \text{ cm}$$

$$\eta_{w_y} = \frac{w_y}{w_{y,Limit}} = \frac{1,27}{2,60} = 48,9\%$$

$$\eta_{SLS} = \max(\eta_{w_x}, \eta_{w_y}) = \max(0; 48,9) = 48,9\% \quad \text{spełniony}$$

Wyniki cząstkowe

8. Nośność przekroju przy sile normalnej:

EN 1993-1-1: 6.2.4

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_t}{\gamma_{M0}} = \frac{5,41 \cdot 23,50}{1} = 127,07 \text{ kN} \quad (6.10)$$

$$\eta_N = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{(-0,91)}{127,07} = 0,7\% \quad (6.9) \quad \text{spełniony}$$

9. Nośność przekroju przy zginaniu (yy):

EN 1993-1-1: 6.2.5

Decydująca kombinacja: $[1,35 \cdot 0,85 \cdot \text{ST1}] \{1,5 \cdot \text{F3}\}$

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$M_{el,Rd,y} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,46 \cdot 23,50}{1} = 198,73 \text{ kNm} = 2,0 \text{ kNm} \quad (6.14)$$

$$\eta_{M_{z,Ed}} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rd,y}} = \frac{0}{198,73} = 0 \% \quad (6.12) \quad \text{spełniony}$$

10. Nośność przekroju przy zginaniu (zz):

EN 1993-1-1: 6.2.5

Decydująca kombinacja: $[1,35 \cdot 0,85 \cdot \text{ST1}] \{1,5 \cdot \text{F1}\}$

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$M_{el,Rd,z} = \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,72 \cdot 23,50}{1} = 157,87 \text{ kNm} = 1,6 \text{ kNm} \quad (6.13)$$

$$\eta_{M_{z,Ed}} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rd,z}} = \frac{(-95,55)}{157,87} = 60,5 \% \quad (6.12) \quad \text{spełniony}$$

11. Nośność przekroju przy ścinaniu (z):

EN 1993-1-1: 6.2.6

Decydująca kombinacja: $[1,35 \cdot 0,85 \cdot \text{ST1}] \{1,5 \cdot \text{F3}\}$

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$V_{el,Rd,z} = \frac{\frac{I_t}{S} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{A_{v,el,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$A_{v,el,z} = \frac{I_y \cdot 2 \cdot t_w}{b \cdot t_f + \frac{h - t_f}{2} \cdot \left[(h - 2 \cdot t_f)^2 \cdot \frac{t_w}{4} \right]} = 2,71 \text{ cm}^2$$

$$V_{el,Rd,z} = \frac{A_{v,el,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,71 \cdot 23,50}{\sqrt{3} \cdot 1} = 36,83 \text{ kN}$$

$$\eta_{V_{z,Ed}} = \frac{V_{z,Ed}}{V_{el,Rd,z}} = \frac{0}{36,83} = 0 \% \quad \text{spełniony}$$

13. Sprawdzenie interakcji zginania z siłą normalną

EN 1993-1-1: 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-V (nośność): $[1,35 \cdot 0,85 \cdot \text{ST1}] \{1,5 \cdot \text{F1}\}$

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$\eta_{MN} = \frac{N_{Ed1}}{f_y} \cdot \frac{M_{y,Ed1}}{f_y} \cdot \frac{M_{z,Ed1}}{f_y} \cdot \frac{(-0,16)}{5,41} \cdot \frac{0}{23,50} \cdot \frac{|(-95,55)|}{6,72} = 60,6\% \quad \text{spełniony}$$

14. Nośność na wyboczenie:

EN 1993-1-1: 6.3.1

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-Wyboczenie: $[1,35 \cdot 0,85 \cdot \text{ST1}] \{1,5 \cdot \text{F1}\}$

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$K_y = 2$$

$$K_z = 2$$

$$L_{cr,y} = K_y \cdot L = 2 \cdot 130,00 = 260,00 \text{ cm}$$

$$L_{cr,z} = K_z \cdot L = 2 \cdot 130,00 = 260,00 \text{ cm}$$

Krzywa wyboczenia wokół osi y: c Tabela 6.2

$$\rightarrow \alpha_y = 0,49 \quad \text{Tabela 6.1}$$

Krzywa wyboczenia wokół osi z: c Tabela 6.2

$$\rightarrow \alpha_z = 0,49 \quad \text{Tabela 6.1}$$

$$\lambda_y^* = \sqrt{\frac{A \cdot f_{y,t}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,41 \cdot 23,50}{77,78}} = 1,28 \quad (6.50)$$

$$\lambda_z^* = \sqrt{\frac{A \cdot f_{z,t}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5,41 \cdot 23,50}{41,19}} = 1,76 \quad (6.50)$$

$$\phi_y = \frac{1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y^* - 0,2) + \lambda_y^{*2}}{2} = \frac{1 + 0,49 \cdot (1,28 - 0,2) + 1,28^2}{2} = 1,5809$$

$$\phi_z = \frac{1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z^* - 0,2) + \lambda_z^{*2}}{2} = \frac{1 + 0,49 \cdot (1,76 - 0,2) + 1,76^2}{2} = 2,4236$$

$$\chi_y = \min \left(\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^{*2}}}, 1 \right) = \min \left(\frac{1}{1,5809 + \sqrt{1,5809^2 - 1,28^2}}, 1 \right) = 0,40 \quad (6.49)$$

$$\chi_z = \min \left(\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^{*2}}}, 1 \right) = \min \left(\frac{1}{2,4236 + \sqrt{2,4236^2 - 1,76^2}}, 1 \right) = 0,24 \quad (6.49)$$

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,40; 0,24) = 0,24 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{t}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,24 \cdot 5,41 \cdot 23,50}{1} = 31,04 \text{ kN} \quad (6.47)$$

$$\eta_{N_{Ed1}} = \frac{N_{Ed1}}{N_{b,Rd}} = \frac{|(-0,16)|}{31,04} = 0,5\% \quad (6.46) \quad \text{spełniony}$$

15. Nośność na zwichrzenie:

EN 1993-1-1: 6.3.2

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-Zwichrzenie: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

M_{cr} , Metoda analizy: AutoMcr

Zwichrzenie nie jest decydujące. $M_y = 0$ kNcm $\rightarrow \chi_{LT} = 1$ (6.57)

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 8,46 \cdot 23,50}{1} = 198,73 \text{ kNcm} = 2,0 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\eta_{M_y} = \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{0}{198,73} = 0 \% \quad (6.54) \quad \text{spelniony}$$

Próbka 2

WYMIAROWANIE ELEMENTU STALOWEGO

Wymiarowany element: 2

Węzły: 1-2

Norma: Eurokod-PL

Materiał: S 235

Przekrój poprzeczny: 60X40X 3

Przypadek obciążenia: liniowa,(Auto) Decydująca

Wskaźnik dla sił sejsmicznych: 1,0

1. Siła normalna-Zginanie-Ścinanie

EN 1993-1-1: 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$N_{Ed1} = -0,16$ kN $V_{y,Ed1} = -0,74$ kN $V_{z,Ed1} = 0$ kN $M_{z,Ed1} = -95,55$ kNm $M_{x,Ed1} = 0$ kNm $M_{y,Ed1} = 0$ kNm

$$\eta_{NMV_{el}} = \frac{N_{Ed1}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed1}}{W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed1}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{(-0,16)}{5,41 \cdot \frac{23,50}{1}} + \frac{0}{8,46 \cdot \frac{23,50}{1}} + \frac{(-95,55)}{6,72 \cdot \frac{23,50}{1}} = 60,6 \% \quad \text{spełniony}$$

2. Siła normalna-Zginanie-Wyboczenie gięte

EN 1993-1-1: 6.3.3, Annex B: Method 2

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$C_{my} = - - -$

$C_{mz} = 1$

$f_{yy} = \min(0,6 \cdot \lambda_y^*; 0,6) = \min(0,6 \cdot 1,28; 0,6) = 0,6$

$f_{zz} = \min(0,6 \cdot \lambda_z^*; 0,6) = \min(0,6 \cdot 1,76; 0,6) = 0,6$

$k_{yz} = k_{zz} = 1,003 = 1,003$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + f_{zz} \cdot \frac{\left| \frac{N_{Ed1}}{\chi_{pl,Rd}} \right|}{\gamma_{M1}} \right) = 1 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{|(-0,16)|}{0,24 \cdot 127,07} \right) = 1,003 \quad \text{Tabela Annex B.1}$$

$$\chi_y = \min \left(\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^{*2}}}; 1 \right) = 0,40 \quad (6.49)$$

$$\chi_z = \min \left(\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} ; 1 \right) = 0,24 \quad (6.49)$$

$$\eta_{NMBuckl_1} = \frac{N_{Ed_1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} \pm k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed_1}}{W_{el,z} \cdot f_y} = \frac{(-0,16)}{0,40 \cdot 5,41 \cdot 23,50} \pm 1,003 \cdot \frac{(-95,55)}{6,72 \cdot 23,50} = 61,0\% \quad (6.61)$$

$$\eta_{NMBuckl_2} = \frac{N_{Ed_1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} \pm k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed_1}}{W_{el,z} \cdot f_y} = \frac{(-0,16)}{0,24 \cdot 5,41 \cdot 23,50} \pm 1,003 \cdot \frac{(-95,55)}{6,72 \cdot 23,50} = 61,2\% \quad (6.62)$$

$$\eta_{NMBuckl} = 61,2\% \quad \text{spełniony}$$

3. Siła normalna-Zginanie-Zwicherungie

EN 1993-1-1: 6.3.3, Annex B: Method 2

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$C_{my} = - - -$$

$$C_{mz} = 1$$

$$C_{mLT} = - - -$$

$$f_{yy} = \min(0,6 \cdot \lambda_y^* ; 0,6) = \min(0,6 \cdot 1,28 ; 0,6) = 0,6$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1,003 = 1,003$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + f_{zz} \cdot \frac{|N_{Ed_1}|}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}} \right) = 1 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{|(-0,16)|}{0,24 \cdot 127,07} \right) = 1,003 \quad \text{Tabela Annex B.1, B.2}$$

$$\chi_y = \min \left(\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} ; 1 \right) = 0,40 \quad (6.49)$$

$$\chi_z = \min \left(\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} ; 1 \right) = 0,24 \quad (6.49)$$

$$\chi_{LT} = 1 \quad (6.56)$$

$$\eta = \frac{|N_{Ed}|}{1} + k_{yz} \cdot \frac{|M_{z,Ed}|}{1} = \frac{|(-0,16)|}{1} + 1,003 \cdot \frac{|(-95,55)|}{1} = 61,0\% \quad (6.61)$$

$$\eta_{NMLTBuckl_1} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \pm k_{yz} \cdot \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,40 \cdot 5,41 \cdot 23,50}{1} \pm \frac{6,72 \cdot 23,50}{1}$$

$$\eta = \frac{|N_{Ed}|}{1} + k \cdot \frac{|M_{zEd}|}{1} = \frac{|(-0,16)|}{1} + 1,003 \cdot \frac{|(-95,55)|}{1} = 61,2\% \quad (6.62)$$

$$\overset{NMLTBuckl_2}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} \quad \overset{z}{=} \quad \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \frac{0,24 \cdot 5,41 \cdot 23,50}{1} \quad \frac{6,72 \cdot 23,50}{1}$$

$$\eta_{NMLTBuckl} = 61,2\% \quad \text{spełniony}$$

4. Nośność przekroju przy ścinaniu (y):

EN 1993-1-1: 6.2.6, 6.2.7

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F4}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$V_{el,Rd,y} = \frac{I \cdot t}{S \cdot f_y} = \frac{A_{V,el,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$A_{V,el,y} = \frac{I_z \cdot 2 \cdot t_f}{\left(t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot \frac{b - 2 \cdot b_2}{2} \right) + \left(2 \cdot t_f \cdot \frac{b^2}{8} \right)} = 1,92 \text{ cm}^2$$

$$V_{el,Rd,y} = \frac{A_{V,el,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,92 \cdot 23,50}{\sqrt{3} \cdot 1} = 26,06 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{|V_y|}{|V_{y,Ed}|} = \frac{|(-1,01)|}{26,06} = 3,9\% \quad \text{spełniony}$$

$$V_y = V_{el,Rd,y} = 26,06$$

5. Nośność środnika przy ścinaniu (niestateczność):

EN 1993-1-5: 5.1, 5.2, 5.3, 5.5, Annex A: A.3

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$a_{max} = 1,3$$

$$\eta_w = 1,2 \quad 5.2(2) \text{ NOTE 2}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 6,00 - 2 \cdot 0,30 = 5,40 \text{ cm}$$

$$\text{Bez usztywnienia} \rightarrow k_\tau = 5,34 \quad (A.5)$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}}{\eta_w} \rightarrow V_{b,Rd} = V_{el,Rd,z} = 36,83 = 36,83 \text{ kN} \quad (5.1(2))$$

$$\eta_{V_w} = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{z,Rd}} = \frac{|0|}{36,83} = 0\% \quad (5.10) \quad \text{spełniony}$$

6. Ścinanie środknika-Zginanie-Siła normalna

EN 1993-1-1: 6.2.9; EN 1993-1-5: 7.1

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$M_{f,Rd} = (b + 2 \cdot b_2) \cdot t_f \cdot f_y \cdot (h - t_f) = (4,00 + 2 \cdot 0) \cdot 0,30 \cdot 23,50 \cdot (6,00 - 0,30) = 160,74$ kNcm = 1,6 kNm

$$\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{f,Rd}} \leq \eta \quad \eta_{w,MN} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{pl,Rd,y}} = \frac{|0|}{247,42} = 0\% \quad (7.1) \quad \text{spełniony}$$

7. SGU (Stan graniczny użyteczności)

EN 1993-1-1: 7., EN 1990: 3.4, A1.4.

Decydująca kombinacja: **[ST1] {F1}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 1,00 \cdot L = 1,00 \cdot 130,00 = 130,00$ cm

$w_x = 0$ cm $\rightarrow \eta_{w_x} = 0\%$

$w_y = |w_{y,i} - w_{y,0}| = |(-1,27) - 0| = 1,27$ cm

$$w_{y,Limit} = \frac{H_{SLS}}{50,0} = \frac{130,00}{50,0} = 2,60$$
 cm

$$\eta_{w_y} = \frac{w_y}{w_{y,Limit}} = \frac{1,27}{2,60} = 48,9\%$$

$$\eta_{SLS} = \max(\eta_{w_x}; \eta_{w_y}) = \max(0; 48,9) = 48,9\% \quad \text{spełniony}$$

Wyniki cząstkowe

8. Nośność przekroju przy sile normalnej:

EN 1993-1-1: 6.2.4

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,41 \cdot 23,50}{1} = 127,07$$
 kN (6.10)

$$\eta = \frac{|N_{Ed}|}{N_{pl,Rd}} = \frac{|(-0,91)|}{127,07} = 0,7\% \quad (6.9) \quad \text{spełniony}$$

9. Nośność przekroju przy zginaniu (yy):

EN 1993-1-1: 6.2.5

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$M_{el,Rd,y} = \frac{W_{ely} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,46 \cdot 23,50}{1} = 198,73 \text{ kNm} = 2,0 \text{ kNm} \quad (6.14)$$

$$\eta = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{el,Rd,y}} = \frac{|0|}{198,73} = 0\% \quad (6.12) \quad \text{spełniony}$$

10. Nośność przekroju przy zginaniu (zz):

EN 1993-1-1: 6.2.5

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$M_{el,Rd,z} = \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,72 \cdot 23,50}{1} = 157,87 \text{ kNm} = 1,6 \text{ kNm} \quad (6.13)$$

$$\eta = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{el,Rd,z}} = \frac{|(-95,55)|}{157,87} = 60,5\% \quad (6.12) \quad \text{spełniony}$$

11. Nośność przekroju przy ścinaniu (z):

EN 1993-1-1: 6.2.6

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}

Klasa przekroju: 3 (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0$ cm

$$V_{el,Rd,z} = \frac{\frac{I \cdot t}{S} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{A_{V,el,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$A_{V,el,z} = \frac{I_y \cdot 2 \cdot t_w}{b \cdot t \cdot \frac{h-t_f}{2} + \left((h-2 \cdot t) \cdot \frac{t_w}{4} \right)} = 2,71 \text{ cm}^2$$

$$V_{el,Rd,z} = \frac{A_{V,el,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,71 \cdot 23,50}{\sqrt{3} \cdot 1} = 36,83 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{el,Rd,z}} = \frac{|0|}{36,83} = 0\% \quad \text{spełniony}$$

13. Sprawdzenie interakcji zginania z siłą normalną

EN 1993-1-1: 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-V (nośność): $[1,35 \cdot 0,85 \cdot \text{ST1}] \{1,5 \cdot \text{F1}\}$

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$\begin{array}{ccccccc} N_{Ed} & |M_{y,Ed}| & |M_{z,Ed}| & & & & \\ & & & (-0,16) & |0| & & |(-95,55)| \end{array}$$

$$\eta_{MN} = \frac{1}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{|M_{y,Ed}|}{W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{1}{5,41 \cdot \frac{23,50}{1}} + \frac{0}{8,46 \cdot \frac{23,50}{1}} + \frac{95,55}{6,72 \cdot \frac{23,50}{1}} = 60,6 \% \quad \text{spełniony}$$

14. Nośność na wyboczenie:

EN 1993-1-1: 6.3.1

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-Wyboczenie: $[1,35 \cdot 0,85 \cdot \text{ST1}] \{1,5 \cdot \text{F1}\}$

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

$$K_y = 2$$

$$K_z = 2$$

$$L_{cr,y} = K_y \cdot L = 2 \cdot 130,00 = 260,00 \text{ cm}$$

$$L_{cr,z} = K_z \cdot L = 2 \cdot 130,00 = 260,00 \text{ cm}$$

Krzywa wyboczenia wokół osi y: c [Tabela 6.2](#)

$$\rightarrow \alpha_y = 0,49 \quad \text{Tabela 6.1}$$

Krzywa wyboczenia wokół osi z: c [Tabela 6.2](#)

$$\rightarrow \alpha_z = 0,49 \quad \text{Tabela 6.1}$$

$$\lambda_{y,*} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,41 \cdot 23,50}{77,78}} = 1,28 \quad (6.50)$$

$$\lambda_{z,*} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5,41 \cdot 23,50}{41,19}} = 1,76 \quad (6.50)$$

$$\phi_y = \frac{1 + \alpha_y \cdot (\lambda_{y,*} - 0,2) + \lambda_{y,*}^2}{2} = \frac{1 + 0,49 \cdot (1,28 - 0,2) + 1,28^2}{2} = 1,5809$$

$$\phi_z = \frac{1 + \alpha_z \cdot (\lambda_{z,*} - 0,2) + \lambda_{z,*}^2}{2} = \frac{1 + 0,49 \cdot (1,76 - 0,2) + 1,76^2}{2} = 2,4236$$

$$\chi_y = \min \left(\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_{y,*}^2}} ; 1 \right) = \min \left(\frac{1}{1,5809 + \sqrt{1,5809^2 - 1,28^2}} ; 1 \right) = 0,40 \quad (6.49)$$

$$\chi_z = \min \left(\frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} ; 1 \right) = \min \left(\frac{1}{2,4236 + \sqrt{2,4236^2 - 1,76^2}} ; 1 \right) = 0,24 \quad (6.49)$$

$$\chi = \min (\chi_y ; \chi_z) = \min (0,40 ; 0,24) = 0,24 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,24 \cdot 5,41 \cdot 23,50}{1} = 31,04 \text{ kN} \quad (6.47)$$

$$\eta = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|(-0,16)|}{31,04} = 0,5\% \quad (6.46) \quad \text{spełniony}$$

$$N_b = N_{b,Rd} = 31,04$$

15. Nośność na zwichrzenie:

EN 1993-1-1: 6.3.2

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-Zwichrzenie: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}**

Klasa przekroju: **3** (Wymiarowanie w zakresie sprężystym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 130,00 = 0 \text{ cm}$

M_{cr} Metoda analizy: AutoMcr

Zwichrzenie nie jest decydujące. $M_y = 0 \text{ kNcm} \rightarrow \chi_{LT} = 1 \quad (6.57)$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 8,46 \cdot 23,50}{1} = 198,73 \text{ kNcm} = 2,0 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

Próbka 3

WYMIAROWANIE ELEMENTU STALOWEGO

Wymiarowany element: 6

Węzły: 19-22

Norma: Eurokod-PL

Materiał: S 235

Przekrój poprzeczny: 60X40X 3

Przypadek obciążenia: liniowa,(Auto) Decydująca

Wskaźnik dla sił sejsmicznych: 1,0

1. Siła normalna-Zginanie-Ścinanie

EN 1993-1-1: 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 1 (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99$ cm

$V_{y,Ed_6} = 0$ kN $V_{z,Ed_6} = 0$ kN $M_{y,Ed_6} = -2,86$ kNcm = 0 kNm $M_{z,Ed_6} = -36,48$ kNcm = $-0,4$ kNm $M_{x,Ed_6} = 0$ kNcm = 0 kNm

$$\eta_{NMV_{pl}} = \max(\eta_N; \eta_{M_{y,pl}}; \eta_{M_{z,pl}}; \eta_{V_z}; \eta_{V_y}) = \max(0; 1,2; 19,5; 0; 0) = 19,5 \% \quad \text{spełniony}$$

2. Siła normalna-Zginanie-Wyboczenie giętne

EN 1993-1-1: 6.3.3

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 1 (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99$ cm

$N_{Ed_6} = 0$ kN (Pret poddany rozciąganiu)

$$\eta_{NMBuckl} = \eta_{NMV} = 19,5 \% \quad \text{spełniony}$$

3. Siła normalna-Zginanie-Zwichrzenie

EN 1993-1-1: 6.3.3, Annex B: Method 2

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 1 (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99$ cm

$N_{Ed_6} = 0$ kN

$$\eta_{NMLTBuckl} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f} + \frac{M_{z,Ed_6}}{W_{pl,z} \cdot f} = \frac{(-2,86)}{10,53 \cdot 23,50} + \frac{(-36,48)}{7,94 \cdot 23,50} = 20,7 \% \quad \text{spełniony}$$
$$\frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M1}} \quad \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M1}} \quad 1 \quad 1$$

4. Nośność przekroju przy ścinaniu (y):

EN 1993-1-1: 6.2.6, 6.2.7

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 146,00 = 0 \text{ cm}$

$$A_{V,y} = \frac{A \cdot b}{b + h} = 2,16 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd,y} = \frac{A_{V,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,16 \cdot 23,50}{\sqrt{3} \cdot 1} = 29,35 \text{ kN} \quad (6.18)$$

$$M_{x,Ed_1} = 0 \text{ kNcm}$$

$$V_{pl,T,Rd,y} = \left| 1 - \frac{Ed}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \right| \cdot V_{y,Ed} = \left| 1 - \frac{23,50}{\sqrt{3} \cdot 1} \right| \cdot 29,35 = 29,35 \text{ kN} \quad (6.28)$$

$$\eta = \frac{|V_{y,Ed}|}{V_{pl,T,Rd,y}} = \frac{|1,10|}{29,35} = 3,7\% \quad (6.17) \quad \text{spełniony}$$

$$V_y = V_{pl,T,Rd,y} = 29,35$$

5. Nośność środnika przy ścinaniu (niestateczność):

EN 1993-1-5: 5.1, 5.2, 5.3, 5.5, Annex A: A.3

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 146,00 = 0 \text{ cm}$

$$a_{max} = 1,46$$

$$\eta_w = 1,2 \quad 5.2(2) \text{ NOTE 2}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 6,00 - 2 \cdot 0,30 = 5,40 \text{ cm}$$

$$\text{Bez usztywnienia} \rightarrow k_\tau = 5,34 \quad (A.5)$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}}{\eta_w} \rightarrow V_{b,Rd} = V_{pl,Rd,z} = 44,02 = 44,02 \text{ kN} \quad (5.1(2))$$

$$\eta = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{b,Rd}} = \frac{|(-0,90)|}{44,02} = 2,0\% \quad (5.10) \quad \text{spełniony}$$

$$V_w = V_{b,Rd} = 44,02$$

6. Ścinanie środnika-Zginanie-Siła normalna

EN 1993-1-1: 6.2.9; EN 1993-1-5: 7.1

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 73,00 \text{ cm}$

$$M_{f,Rd} = (b + 2 \cdot b_2) \cdot t_f \cdot f_y \cdot (h - t_f) = (4,00 + 2 \cdot 0) \cdot 0,30 \cdot 23,50 \cdot (6,00 - 0,30) = 160,74 \text{ kNcm} = 1,6 \text{ kNm}$$

$$\left| M_{y,Ed} \right| \leq M_{f,Rd} \rightarrow \eta = \frac{\left| M_{y,Ed} \right|}{M_{pl,Rd,y}} = \frac{\left| (-32,97) \right|}{247,42} = 13,3\% \quad (7.1) \quad \text{spełniony}$$

7. SGU (Stan graniczny użyteczności)

EN 1993-1-1: 7., EN 1990: 3.4, A1.4.

Decydująca kombinacja: **[ST1] {F3}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99 \text{ cm}$

$$e_z = |e_{z,i} + u_z| = |(-0,08) + 0| = 0,08 \text{ cm}$$

$$e_{z,Limit} = \frac{L}{150,0} = \frac{146,00}{150,0} = 0,97 \text{ cm}$$

$$\eta_{e_z} = \frac{e_z}{e_{z,Limit}} = \frac{0,08}{0,97} = 7,7\%$$

$$\eta_{SLS} = \max \left(\eta_e \right) = \max (7,7) = 7,7\% \quad \text{spełniony}$$

Wyniki cząstkowe

8. Nośność przekroju przy sile normalnej:

EN 1993-1-1: 6.2.4

Decydująca kombinacja: **[1,35*ST1]**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 146,00 = 0 \text{ cm}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,41 \cdot 23,50}{1} = 127,07 \text{ kN} \quad (6.10)$$

$$\eta = \frac{\left| N_{Ed} \right|}{N_{pl,Rd}} = \frac{|0|}{127,07} = 0\% \quad (6.9) \quad \text{spełniony}$$

$$N \quad N_{pl,Rd} \quad 127,07$$

9. Nośność przekroju przy zginaniu (yy):

EN 1993-1-1: 6.2.5

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,45 \cdot L = 0,45 \cdot 146,00 = 65,00 \text{ cm}$

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10,53 \cdot 23,50}{1} = 247,42 \text{ kNcm} = 2,5 \text{ kNm} \quad (6.13)$$

$$\left| \frac{M_{y,Ed}}{M_{f,Rd}} \right| \leq \eta \rightarrow \eta = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{pl,Rd,y}} = \frac{|(-32,97)|}{247,42} = 13,3\% \quad (7.1) \quad \text{spełniony}$$

7. SGU (Stan graniczny użyteczności)

EN 1993-1-1: 7., EN 1990: 3.4, A1.4.

Decydująca kombinacja: **[ST1] {F3}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99 \text{ cm}$

$$e_z = |e_{z,t} + u_z| = |(-0,08) + 0| = 0,08 \text{ cm}$$

$$e_{z,Limit} = \frac{L}{150,0} = \frac{146,00}{150,0} = 0,97 \text{ cm}$$

$$\eta_{e_z} = \frac{e_z}{e_{z,Limit}} = \frac{0,08}{0,97} = 7,7\%$$

$$\eta_{SLS} = \max \left(\eta_e \right) = \max (7,7) = 7,7\% \quad \text{spełniony}$$

Wyniki cząstkowe

8. Nośność przekroju przy sile normalnej:

EN 1993-1-1: 6.2.4

Decydująca kombinacja: **[1,35*ST1]**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 146,00 = 0 \text{ cm}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,41 \cdot 23,50}{1} = 127,07 \text{ kN} \quad (6.10)$$

$$\eta = \frac{|N_{Ed}|}{N_{pl,Rd}} = \frac{|0|}{127,07} = 0\% \quad (6.9) \quad \text{spełniony}$$

$$N \quad N_{pl,Rd} \quad 127,07$$

9. Nośność przekroju przy zginaniu (yy):

EN 1993-1-1: 6.2.5

Decydująca kombinacja: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,45 \cdot L = 0,45 \cdot 146,00 = 65,00 \text{ cm}$

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10,53 \cdot 23,50}{1} = 247,42 \text{ kNcm} = 2,5 \text{ kNm} \quad (6.13)$$

$$\eta = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{y,pl}} = \frac{|(-26,95)|}{247,42} = 10,9\% \quad (6.12) \quad \text{spełniony}$$

10. Nośność przekroju przy zginaniu (zz):

EN 1993-1-1: 6.2.5

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 1 (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,55 \cdot L = 0,55 \cdot 146,00 = 81,00$ cm

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,94 \cdot 23,50}{1} = 186,63 \text{ kNcm} = 1,9 \text{ kNm} \quad (6.13)$$

$$\eta = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{|(-36,24)|}{186,63} = 19,4\% \quad (6.12) \quad \text{spełniony}$$

11. Nośność przekroju przy ścinaniu (z):

EN 1993-1-1: 6.2.6

Decydująca kombinacja: [1,35*0,85*ST1] {1,5*F3}

Klasa przekroju: 1 (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,00 \cdot L = 0,00 \cdot 146,00 = 0$ cm

$$A_{V,z} = \frac{A \cdot h}{b + h} = 3,24 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{V,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,24 \cdot 23,50}{\sqrt{3} \cdot 1} = 44,02 \text{ kN} \quad (6.18)$$

$$\eta = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{|(-0,90)|}{44,02} = 2,0\% \quad (6.17) \quad \text{spełniony}$$

12. Sprawdzenie interakcji zginania ze ścinaniem

EN 1993-1-1: 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-V (nośność): [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: 1 (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99$ cm

$$V_{z,Ed_6} = 0 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z}/2 = 22,01 \text{ kN} \rightarrow \text{Wpływ siły tnącej na nośność przy zginaniu jest nieistotny.} \quad 6.2.8 (2)$$

$$V_{y,Ed_6} = 0 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,y}/2 = 14,67 \text{ kN} \rightarrow \text{Wpływ siły tnącej na nośność przy zginaniu jest nieistotny.} \quad 6.2.8 (2)$$

13. Sprawdzenie interakcji zginania z siłą normalną

EN 1993-1-1: 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-V (nośność): [1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99 \text{ cm}$

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{N_{pl,Rd}} = \frac{0}{127,07} = 0 \% \leq 25\%$$

$$|N_{Ed}| = 0 \text{ kN} \leq N_{Rd,w} / 2 = \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{2 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{5,40 \cdot 0,30 \cdot 23,50}{2 \cdot 1} = 19,04 \text{ kN}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{y,V,Rd} = 247,42 = 247,42 \text{ kNcm} = 2,5 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{z,V,Rd} = 186,63 = 186,63 \text{ kNcm} = 1,9 \text{ kNm}$$

$$\eta_{MN,1} = \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{(-2,86)}{247,42} = 1,2 \%$$

$$\eta_{MN,2} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} = \frac{(-36,48)}{186,63} = 19,5 \%$$

$$\alpha_{MN} = \max \left(\min \left(\frac{1,66}{2}; 6 \right); 1 \right) = \max \left(\min \left(\frac{1,66}{2}; 6 \right); 1 \right) = 1,7$$

$$\beta_{MN} = \alpha_{MN} = 1,7 = 1,7$$

$$\eta_{MN,3} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{N,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{N,z,Rd}} = \frac{|(-2,86)|}{247,42} + \frac{|(-36,48)|}{186,63} = 6,7 \% \quad (6.41)$$

$$\eta_{MN} = \max(\eta_{MN,1}; \eta_{MN,2}; \eta_{MN,3}; \eta_N) = \max(1,2; 19,5; 6,7; 0) = 19,5 \% \quad \text{spełniony}$$

14. Nośność na wyboczenie:

EN 1993-1-1: 6.3.1

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-Wyboczenie: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99 \text{ cm}$

Siła normalna na długości wymiarowanego elementu wynosi zero.

$$\rightarrow \chi_y = 1 \quad \chi_z = 1 \quad \chi_{TF} = 1 \rightarrow \chi = 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 5,41 \cdot 23,50}{1} = 127,07 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{|N_{Ed}|}{N_b} = \frac{|0|}{127,07} = 0 \% \quad (6.46) \quad \text{spełniony}$$

$$N_b = N_{b,Rd} = 127,07$$

15. Nośność na zwichrzenie:

EN 1993-1-1: 6.3.2

Decydująca kombinacja dla interakcji N-M-Zwichrzenie: **[1,35*0,85*ST1] {1,5*F1}**

Klasa przekroju: **1** (Wymiarowanie w zakresie plastycznym)

Położenie przekroju decydującego: $x = 0,50 \cdot L = 0,50 \cdot 146,00 = 72,99$ cm

M_{cr} Metoda analizy: AutoMcr

$$M_{cr} = 5992,42 \text{ kNcm} = 59,9 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{10,53 \cdot 23,50}{5992,42}} = 0,20$$

Krzywa wyboczenia: d **Tabela 6.4**

$\rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$ **Tabela 6.3**

$$1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT}^{-1} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2 = 1 + 0,76 \cdot (0,20 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,20^2$$

$$\phi_{LT} = \frac{1}{2} = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$\chi_{LT} = \min \left\{ \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} ; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{0,5 + \sqrt{0,5^2 - 0,75 \cdot 0,20^2}} ; 1 \right\} = 1,00 \quad (6.57)$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,00 \cdot 10,53 \cdot 23,50}{1} = 246,82 \text{ kNcm} = 2,5 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\eta = \frac{|M_{y,Ed}|}{6} = \frac{|(-2,86)|}{6} = 1,2 \% \quad (6.54) \quad \text{spełniony}$$

Próbka 4 ALUMINIUM

Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzone zostaną dla granicy plastyczności aluminium, ponieważ odkształcenie plastyczne elementu jest równoznaczne ze jego zniszczeniem a nastąpi ono przed przekroczeniem granicy wytrzymałości.

$$E_{AL} := 69\text{GPa}$$

$$P_k := 1.0\text{kN}$$

$$P := 1.2P_k = 1.2 \cdot \text{kN}$$

$$Q_k := 0.75\text{kPa}$$

$$Q := Q_k \cdot \frac{4}{3} = 1 \cdot \text{kPa}$$

- moduł Younga aluminium (zależy od rodzaju stopu)
- charakterystyczna siła skupiona przyłożona na środku w kierunku pionowym (oś Y)
- obliczeniowa siła skupiona przyłożona na środku w kierunku pionowym (oś Y) - obciążenie + efekty dynamiczne (współczynnik=1.2).

Badanie wytrzymałości aluminium w modelu przekrój A1 oraz A2:

A - pole przekroju | W - wskaźniki wytrzymałości na zgnięcie | I - momenty bezwładności

$$A_1 := h_1 \cdot b_1 - (h_1 - 2 \cdot t_2) \cdot (b_1 - 2 \cdot t_1) + (b_1 - 2 \cdot t_1) \cdot t_3 = 2.231 \cdot \text{cm}^2$$

$$I_{x1} := \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} - \frac{(b_1 - 2t_1) \cdot (h_1 - 2t_2)^3}{12} + \frac{(b_1 - 2t_1) \cdot t_3^3}{12} = 9.009 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{x1} := \frac{I_{x1}}{0.5h_1} = 3.003 \cdot \text{cm}^3$$

$$I_{y1} := \frac{h_1 \cdot b_1^3}{12} - 2 \cdot \frac{(0.5h_1 - t_2 - 0.5t_3) \cdot (b_1 - 2 \cdot t_1)^3}{12} = 2.378 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{y1} := \frac{I_{y1}}{0.5b_1} = 1.902 \cdot \text{cm}^3$$

$$A_2 := h_2 \cdot b_2 - (h_2 - 2 \cdot t_5) \cdot (b_2 - 2 \cdot t_4) = 2.063 \cdot \text{cm}^2$$

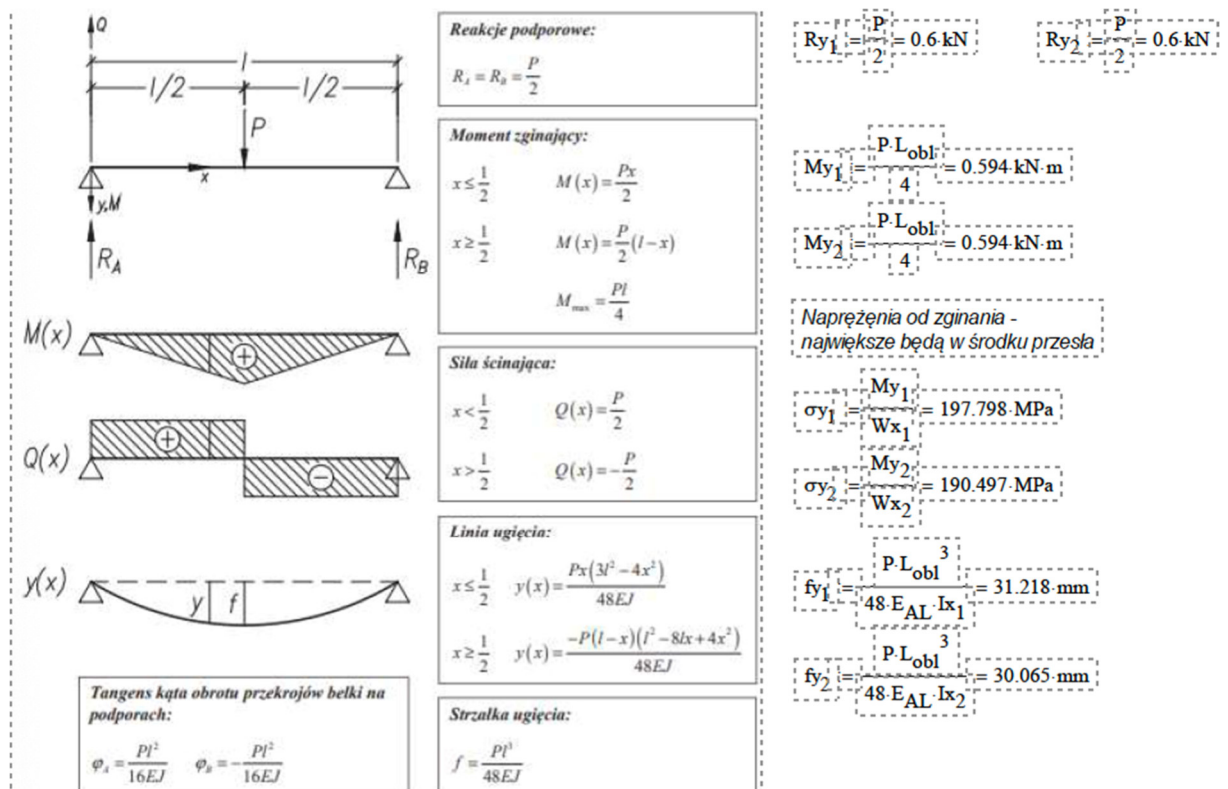
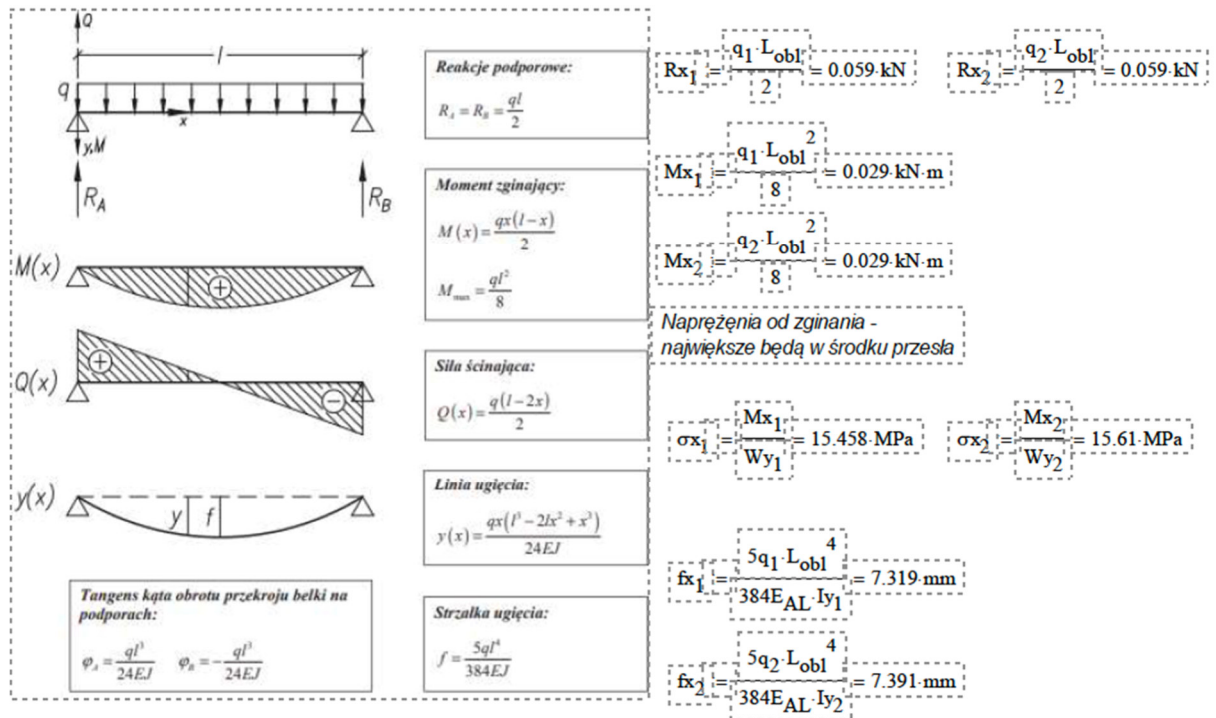
$$I_{x2} := \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} - \frac{(b_2 - 2t_4) \cdot (h_2 - 2t_5)^3}{12} = 9.354 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{x2} := \frac{I_{x2}}{0.5h_2} = 3.118 \cdot \text{cm}^3$$

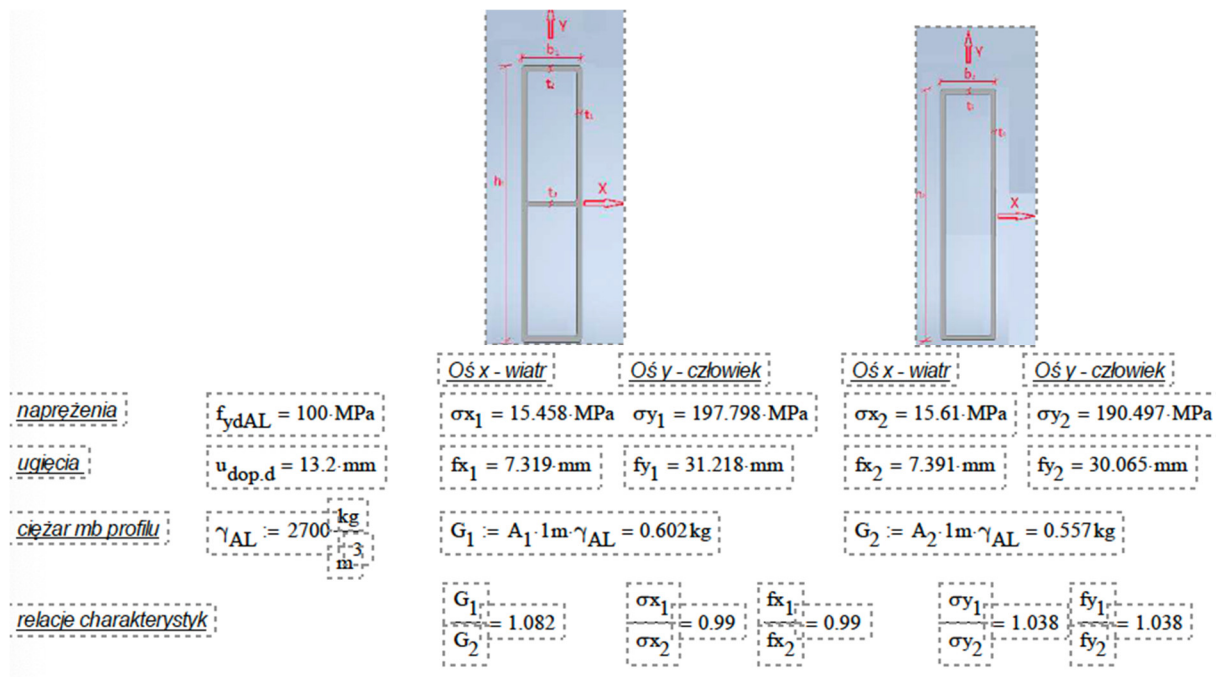
$$I_{y2} := \frac{h_2 \cdot b_2^3}{12} - \frac{(h_2 - 2t_5) \cdot (b_2 - 2t_4)^3}{12} = 2.354 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{y2} := \frac{I_{y2}}{0.5b_2} = 1.884 \cdot \text{cm}^3$$

Siły wewnętrzne, naprężenia i ugięcia – oś Y – belka swobodnie podparta obciążona punktowo



Sprawdzenie nośności i ugięć dla II próbek



Wnioski:

- naprężenia i ugięcia nie przekraczają wartości dopuszczalnych - zauważalna nieznaczna przewaga próbki 1 z dodatkową przegrodą (~1%)
- naprężenia i ugięcia pochodzące od ciężaru dla obydwu wariantów przekraczają wartości dopuszczalne -zauważalna przewaga próbki nr 2 bez dodatkowej przegrody (~4%). Fakt, że dopuszczalne wartości zostały przekroczone nie jest istotny, jednak nie zaleca się detalu o takim wypełnieniu.
- ciężar próbki w wariacie bez przegrody jest o ~8% niższy niż tego z przegrodą, co nie jest bez znaczenia przy produkcji masowej.

Podsumowując: korzystny wpływ dodatkowej przegrody na statykę elementu jest znacznie mniejszy niż niekorzystny wzrost masy, dlatego przegrody należy stosować jedynie ze względów technologicznych pomijając wpływ na wytrzymałość.

Etap 3 (10.2021-01.2022) – prace rozwojowe _opracowanie prototypu

Dzięki przeprowadzonym pracom badawczo-rozwojowym nad różnymi metodami optymalizacji procesu technologicznego, począwszy od aspektu organizacyjnego, poprzez parametry obróbkowe, konstrukcje i materiały narzędziowe, konstrukcje maszyn technologicznych, strategiczne aspekty technologii udało się znacząco zwiększyć efektywność procesową. W przypadku stanowisk obróbkowych istotnym czynnikiem jest dobór i optymalizacja parametrów obróbkowych, w tym również narzędzi.

Właściwy dobór narzędzi, parametrów obróbkowych, strategii obróbkowej oraz ich optymalizacja miały korzystny wpływ na skrócenie czasu głównego obróbki aż o 30%. Prace dotyczące technologicznego przygotowania produkcji oraz samego procesu obróbkowego obejmowało zastosowanie metod szeregowych oraz metody analitycznej modelowania. W próbach wykorzystano nowoczesne narzędzia skrawające, w tym płytki frezujące frezy z węgla spiekanego.

Płytki frezujące		ilość
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) 51016008		
ISO	09T308SR	60 szt
szerokość	9,52 mm	
otwór wewnętrzny	4,4 mm	
przekątna	9 mm	
faza	1,9 mm	
grubość	3,97mm	
kąt	15	

Płytki frezujące		ilość
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) 51017010		
ISO	120410SR	60 szt
szerokość	12,7mm	
otwór wewnętrzny	5,5 mm	
przekątna	12 mm	
faza	1,3 mm	
grubość	4,76 mm	
kąt	10	

Płytki frezująca		ilość
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) XNEX 08 06 08 - S22 / MP 2130 (P30C) Stal		
Średnica (mm)	12,50	80 szt
Długość powierzchni skrawającej (mm)	7,5	
Szerokość (mm)	6,56	
Promień (mm)	0,80	

Płytki frezująca		ilość
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) BNMU 06 03- R20 / MP 6225 (P25C) Stal		
Średnica (mm)	6,30	60 szt
Długość powierzchni skrawającej (mm)	9,0	
Szerokość (mm)	3,75	
Promień (mm)	3,2	

Frez pełnowęglkowy kulowy, 4- ostrzowy		ilość
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) JD 6442 080 BN HA		
Chwył (mm)	8,00	12 szt
Średnica (mm)	8,0	
Promień (mm)	4,00	
Długość całkowita (mm)	64	
Długość robocza (mm)	21	
Ilość zębów	4	

Frez pełnowęglkowy do rowków, 4- ostrzowy		ilość
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) JD 6444 060 GS HB		
Chwył (mm)	6	8 szt
Średnica (mm)	6	
Długość całkowita (mm)	102	
Długość robocza (mm)	38	
Ilość zębów	4	

Frez pełnowęglkowy do rowków, 4- ostrzowy		
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) JD 6444 080 GS HB		ilość
Chwył (mm)	8	8 szt
Średnica (mm)	8	
Długość całkowita (mm)	102	
Długość robocza (mm)	42	
Ilość zębów	4	

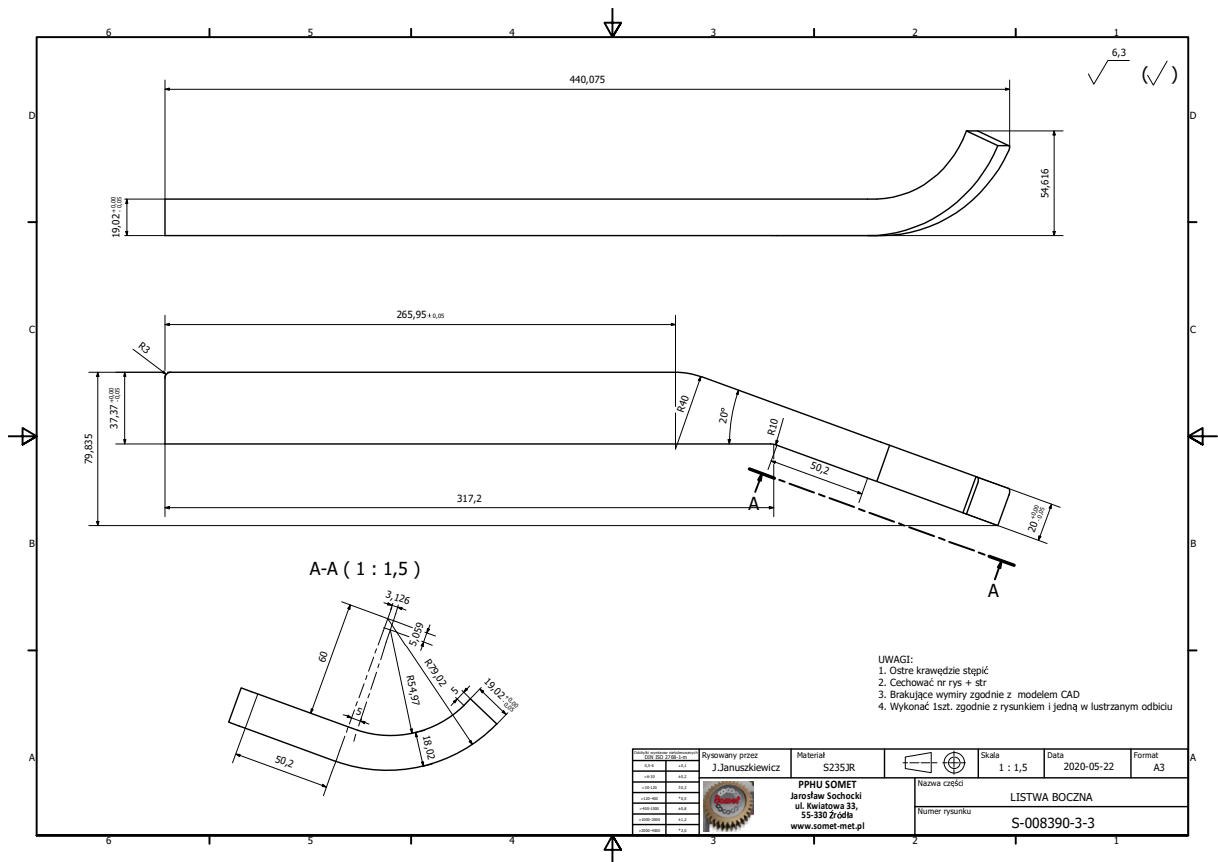
Frez pełnowęglkowy do rowków, 4- ostrzowy		
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) JD 6444 100 GS HB		ilość
Chwył (mm)	10	8 szt
Średnica (mm)	10	
Długość całkowita (mm)	102	
Długość robocza (mm)	45	
Ilość zębów	4	

Frez pełnowęglkowy do rowków, 4- ostrzowy		
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) JD 6444 120 GS HB		ilość
Chwył (mm)	12	8 szt
Średnica (mm)	12	
Długość całkowita (mm)	153	
Długość robocza (mm)	76	
Ilość zębów	4	

Płytko frezująca		
Nr katalogowy produktu wzorcowego *) TPKN 22 04 PDTR P05-P20, M10-M20		ilość
Grubość (mm)	22,00	400 szt
Średnica (mm)	12,70	
Długość (mm)	4,76	

Opracowany został model przewidujący na podstawie błędów ustalenia płytek skrawających oraz parametrów obróbkowych chropowatość powierzchni obrabianej po zakończeniu operacji technologicznej. Dopasowano wartości posuwu roboczego w zależności od zmniejszania lub podwyższania warunków skrawania. Wyeliminowano błędy obróbki wynikające z nieoptymalnego przebiegu ścieżki narzędzia i niedokładnej interpolacji ruchu narzędzia. Po przeprowadzonej obróbce, która była krótsza niż przy zastosowaniu programu NC nieoptymalizowanego, sprawdzono dokładność geometryczną, która również okazała się lepsza. Optymalizację posuwu zastosowano w obróbce dużych elementów formy. Badania przeprowadzono na centrum obróbkowym CNC i wybrano listwę końcową NDE S-008390-12. Ze względu na wykorzystanie wszystkich trzech osi obrabiarki w szerokim zakresie ruchów niezbędne było zastosowanie podstawy dystansującej przedmiot obrabiany od stołu obrabiarki. Pozycję mocowania listwy ustalono z dokładnością poniżej 0.02 mm. Dobór narzędzi oraz parametrów obróbki dokonano na podstawie katalogu firmy WNT dla stali stopowych przeznaczonych do obróbki cieplno-chemicznej. Do obróbki zgrubnej zastosowano frez walcowo-czołowy o średnicy $d=5$ mm. W obróbce kształtującej wykorzystano dwa frezy o różnej średnicy, w celu uzyskania równomiernego naddatku na obróbkę wykończeniową, który wynosił 0,1 mm dla boków oraz 0,2 mm dla powierzchni górnej i dolnej. Obróbkę wykończeniową również przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch frezów, jednym walcowo-

czołowym, drugim kulistym. Powierzchnie boczne frezowano frezem walcowo - czołowym $d = 5 \text{ mm}$. Do obróbki dna wrębu zastosowano frez kulisty $d = 5 \text{ mm}$, który odwzorował fazę. Aby uzyskać wysoką dokładność zarysu obróbkę wykończeniową powierzchni bocznych wykonano w 4 przejściach. Ostatnim etapem było wykonanie fazowania ostrych krawędzi frezem kulistym. W celu wykonania właściwej strategii pomiaru linii listwy, posłużono się modelem 3D-CAD opracowanym w oprogramowaniu SolidWorks, na podstawie geometrii pochodzącej z programu narzędzi WNT. Wyniki odchyłek kształtu dla zmierzonych krzywych są wynikiem uśrednienia trzech pomiarów zarysu, które przeprowadzono dla każdego badanego boku listwy. Dla listwy średnia wartość wyniosła $55 \mu\text{m}$.





Dzięki innowacyjnemu podejściu do techniki frezowania zoptymalizowano posuw roboczy przy frezowaniu czołowym, przyjmując, iż posuw roboczy ma szczególny wpływ na chropowatość powierzchni przedmiotu obrabianego. W ramach przeprowadzonych prac przeanalizowano wpływ błędów ustalenia płytek skrawających w oprawce narzędziowej oraz zmienności posuwu roboczego na dokładność geometryczną i właściwości warstwy wierzchniej (chropowatość). Opracowany został model przewidujący na podstawie błędów ustalenia płytek skrawających oraz parametrów obróbkowych chropowatość powierzchni obrabianej po zakończeniu operacji technologicznej. Dopasowano wartości posuwu roboczego w zależności od zmniejszania lub podwyższania warunków skrawania. Wyeliminowano błędy obróbki wynikające z nieoptymalnego przebiegu ścieżki narzędzia i niedokładnej interpolacji ruchu narzędzia. Po przeprowadzonej obróbce, która była krótsza niż przy zastosowaniu programu NC nieoptymalizowanego, sprawdzono dokładność geometryczną, która również okazała się lepsza. Optymalizację posuwu zastosowano w obróbce dużych elementów formy. Zaprojektowany nowy proces produkcyjny powinien skrócić czas obróbki formy o około 70-75% przy zwiększeniu tolerancji wykonania do 0.02 mm. Zalety:

- Eliminacja wielu podzespołów i możliwości popełnienia błędu,
- Większa dokładność wykonania – do 0,02 mm,
- Wykonanie całości na 1 maszynie – ograniczenie procesów produkcyjnych do 1 zabiegu,
- Ograniczenie pracy technologa do 1/3,
- Eliminacja długotrwałej i uciążliwej obróbki ręcznej i procesów typu spawanie, skręcanie,

- Jednoczesna kontrola jakości wykonywanego elementu – wykonywana bezpośrednio na maszynie wykonującej detal,
- Ograniczenie czasu stygnięcia po wyjęciu z pieca,
- Sztywność konstrukcji min 15% w zależności od wyniku rozprowadzenia otworów (kanałów) chłodniczych.

Zwiększanie dynamiki obróbki i optymalizacja czasu pracy na podstawie wykonanej analizy wiąże się z wprowadzaniem obróbki z dużymi prędkościami przy jednoczesnym zmniejszeniu masy podzespołów ruchomych. W związku z tym klasyczne podejście do projektowania polegające na wykorzystaniu sprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych form należy zmienić na konstruowanie z wykorzystaniem symulacji MES. Etapem poprzedzającym proces optymalizacji jest analiza MES korpusu zaproponowanego przez konstruktora. Określono sztywność statyczną w oparciu o wyniki analizy przemieszczeń na trzech kierunkach.

Źródła, 31-01-2022 r.



.....

Główny Badacz- Wojciech Ignalewski

WŁAŚCICIEL ZAKŁADU
Jarosław Sochocki



PPHU SOMET
Jarosław Sochocki
ul. Kwiatowa 33, 55-330 Źródła
NIP: 894-195-79-55