Politechnika Warszawska

Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

Obliczenia inżynierskie w chmurze

Program liczący zmęczeniowy współczynnik bezpieczeństwa - sprawozdanie

Szymon Kramarczyk

313636

Warszawa

25.01.2025r.

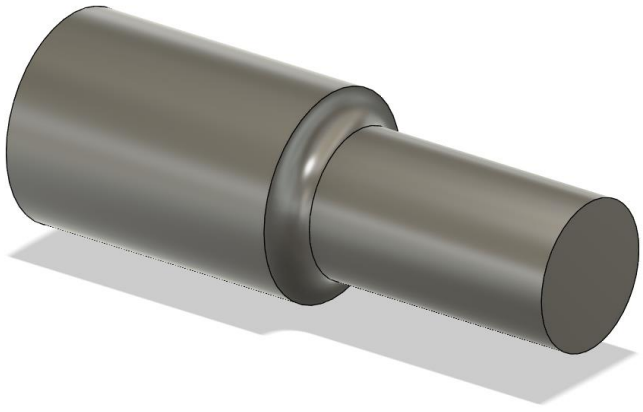
1. Opis projektu

Celem projektu było opracowanie narzędzia umożliwiającego aproksymację współczynników mechanicznych na podstawie danych tabelarycznych za pomocą metod interpolacji numerycznej. W projekcie wykorzystano dwuwymiarową interpolację regularną do oszacowania wartości współczynników potrzebnych do policzenia zmęczeniowego współczynnika bezpieczeństwa.

Projekt zakładał także integrację danych wczytywanych z plików tekstowych oraz uwzględnienie analizy danych pochodzących z pliku .json, z możliwością łatwej modyfikacji i rozszerzenia ich zawartości. Realizacja projektu wymagała zastosowania biblioteki scipy, w celu użycia zawartej w niej metody interpolacji RegularGridInterpolator.

2. Działanie programu

Program umożliwia aproksymację zmęczeniowego współczynnika bezpieczeństwa geometrii sworznia z osadzeniem o pewnym promieniu, wykonanym ze stali, na podstawie wartości wejściowych dostarczanych przez użytkownika. Przykładowa geometria, dla której przeprowadzone zostały obliczenia przedstawiona została poniżej:



Wartościami potrzebnymi do obliczeń, opisującymi powyższa część są:

- d - Mniejsza średnica sworznia
- D - Większa śrenica sworznia
- r - Promień zaokrąglenia karbu
- R_e i R_m - Granica plastyczności i wytrzymałości doraźnej stali z której wykonany jest sworzeń

- Rodzaj naprężeń w sworzniu – jednostronnie odzerowo tętniące lub obustronnie symetryczne
- σ_{max} - Maksymalne obciążenia (Von Misesa) zaobserwowane w analizie MES obiektu, po obciążeniu zadaną siłą
- Typ obróbki powierzchni materiału – toczenie zgrubne, szlifowanie etc.
- Stan materiału – ulepszony, surowy lub wyżarzony

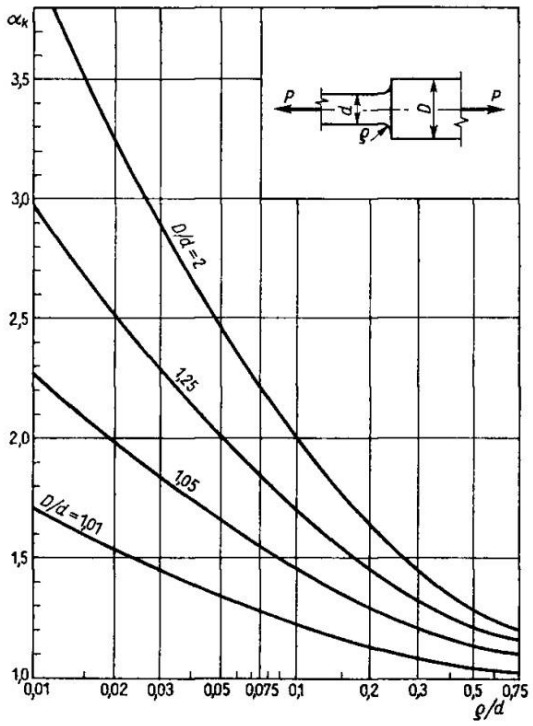
Do przykładowej analizy przyjęto następujące wartości (geometria sworznia mocującego siłownik hydrauliczny do otwierania stalowego włazu bunkra magazynowego):

- d – 40mm
- D – 56mm
- r – 8mm
- R_e – 235MPa
- R_m –360MPa
- Obciążenia jednostronnie odzerowo tętniące o wartości maksymalnej σ_{max}=76MPa
- Obróbka zwykłym toczeniem
- Surowa stal konstrukcyjna

Dane te pozwoliły na policzenie współczynników i innych danych potrzebnych do dalszych obliczeń:

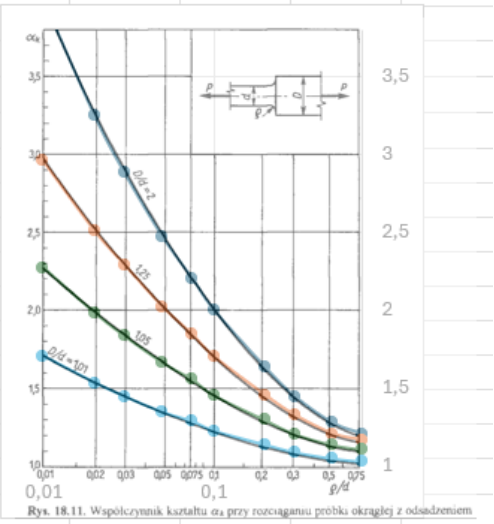
- Współczynnik kształtu α_k
- Materiałowy współczynnik wrażliwości na działanie karbu η
- Współczynnik wrażliwości na działanie karbu β_k
- Współczynnik stanu powierzchni β_p lub β_{ps}
- Współczynnik wielkości przedmiotu γ

Każda z tych wartości musi być odczytana z odpowiednich wykresów, ich wartości zmieniają się wraz z najmniejszymi zmianami w modelu oraz w założeniach, przez co ręczne liczenie zmęczeniowego współczynnika bezpieczeństwa potrafi być bardzo uciążliwe i podatne na błędy odczytów „na oko”.



Pierwszym krokiem pisania programu było stworzenie siatki punktów odpowiadającej każdemu z wykresów w programie Excel i eksportowanie danych do plików .txt

Rozciąganie próbki okrągłej z osadzeniem					
alpha k		D/d			
		2	1,25	1,05	1,01
ro/d	0,01	4	2,96	2,27	1,7
	0,02	3,25	2,51	1,98	1,53
	0,03	2,88	2,29	1,83	1,44
	0,05	2,47	2,02	1,66	1,34
	0,075	2,2	1,84	1,55	1,28
	0,1	2	1,7	1,45	1,22
	0,2	1,63	1,45	1,29	1,13
	0,3	1,44	1,32	1,2	1,08
	0,5	1,27	1,2	1,13	1,04
	0,75	1,2	1,16	1,1	1,02



Dane tabelaryczne następnie są wczytywane z plików tekstowych, które zawierają zarówno wartości zmiennych niezależnych, jak i odpowiadające im wartości współczynników z użyciem poniższej funkcji:

```python
def load_table(file_path):
    with open(file_path, 'r') as f:
        lines = f.readlines()
    header_1 = list(map(float, lines[0].split()))  # Pierwsza linia
    header_2 = list(map(float, lines[1].split()))  # Druga linia
    table = np.array([list(map(float, line.split())) for line in lines[2:]])  # Tabela
    return header_1, header_2, table
```

Program wykorzystuje funkcję RegularGridInterpolator do przeprowadzenia dwuwymiarowej interpolacji, co pozwala na uzyskanie precyzyjnych wyników w przypadku wartości spoza dostępnych danych tabelarycznych.

```python
# Wczytywanie danych z plików
Zgo,stan_stali,eta_table = load_table('./notch.txt')

# Tworzenie interpolatorów
eta_interpolator = RegularGridInterpolator((Zgo,stan_stali), eta_table, bounds_error=False, fill_value=None)

# Funkcja obliczająca Współczynnik podatności na działanie karbu
def Notch_sens_factor(Zgo,stan_stali, eta_interpolator):
    point = np.array([Zgo,stan_stali])
    return eta_interpolator(point).item()
```

W dalszej części kodu wczytywane są dane początkowe na których podstawie liczone są wartości potrzebne do wykonania odczytów z wykresów:

```python
#Wczytanie danych liczbowych z pliku json i obliczenie potrzebnych wartości
config = load_config("./config.json")
ro = config["ro"]
d = config["d"]
D = config["D"]
Re = config["Re"]
Rm = config["Rm"]
sigma_max = config["sigma_max"]
x = config["x"]
load_type = config["load_type"]
load_alternation_type = config["load_alternation_type"]
typ_obrobki = config["typ_obrobki"]
stan_stali = config["stan_stali"]
```

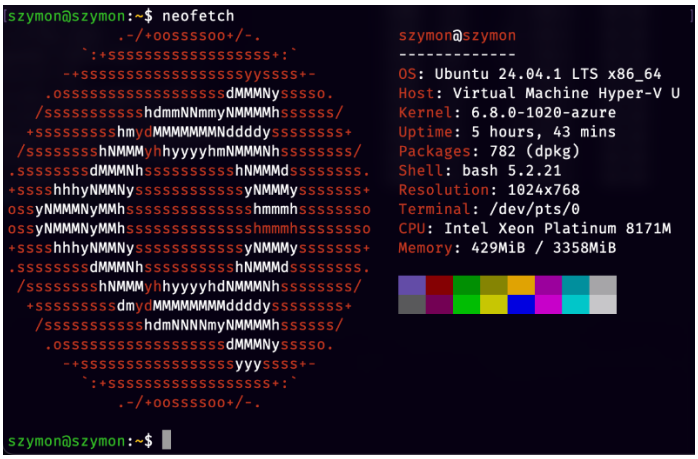
```python
ro_d = ro/d
D_d = D/d
if load_type == 1:
    Zo = 0.5*Rm*0.7
    Zj = 0.5*Rm*1.3
elif load_type == 2:
    Zo = 0.5*Rm
    Zj = 0.5*Rm*1.7
elif load_type == 3:
    Zo = 0.5*Rm*0.6
    Zj = 0.5*Rm*1.2

if load_alternation_type == 1:
    sigma_a=sigma_max/2
    sigma_m=sigma_max/2
elif load_alternation_type == 2:
    sigma_a=sigma_max
    sigma_m=0
```

Ostatnim krokiem jest wywołanie funkcji aproksymujących wartości współczynników i podstawienie ich do wzoru na zmęczeniowy współczynnik bezpieczeństwa:

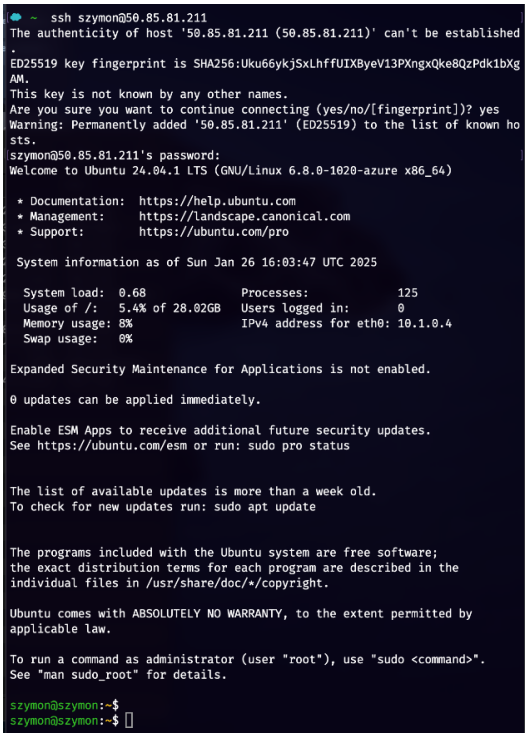
```python
alpha_k = Shape_factor(ro_d, D_d,alpha_values_load(load_type))
eta = Notch_sens_factor(Zo,stan_stali,eta_interpolator)
beta_k = 1+eta*(alpha_k-1)
beta_p = Surface_finish_factor(Rm,typ_obrobki,beta_p_values_load(load_type))
beta = beta_k*beta_p
gamma= Size_factor(Zo, alpha_k, d)

safety_coeff = Zo/((beta*gamma*sigma_a)+sigma_m*((2*Zo/Zj)-1))
```

3. Platforma Azure

Ostatnim krokiem projektu było stworzenie wirtualnej maszyny na platformie Azure, na której skompilowany będzie projekt. Jako że siatka punktów wykresów jest dosyć rzadka, (dane te są ekperymentalne i przez to mało dostępne) program w obecnej formie nie jest zbyt skomplikowany obliczeniowo. Z tego powodu zdecydowano się na użycie najtańszej wirtualnej maszyny, z systemem Ubuntu 24.04. Parametry komputera zostały przedstawione poniżej:



Następnie połączono się z maszyną wirtualną za pomocą protokołu SSH wykorzystując terminal maszyny macierzystej:

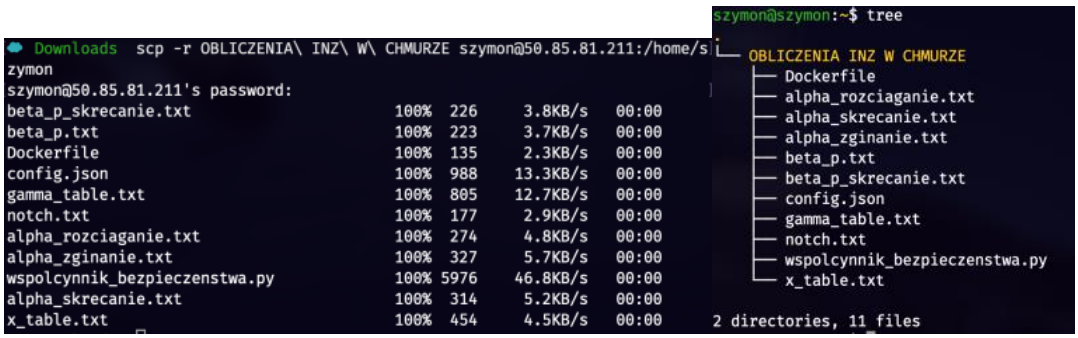


Kolejnym krokiem było zaktualizowanie repozytoriów oraz zainstalowanie Dockera poprzez komendy:

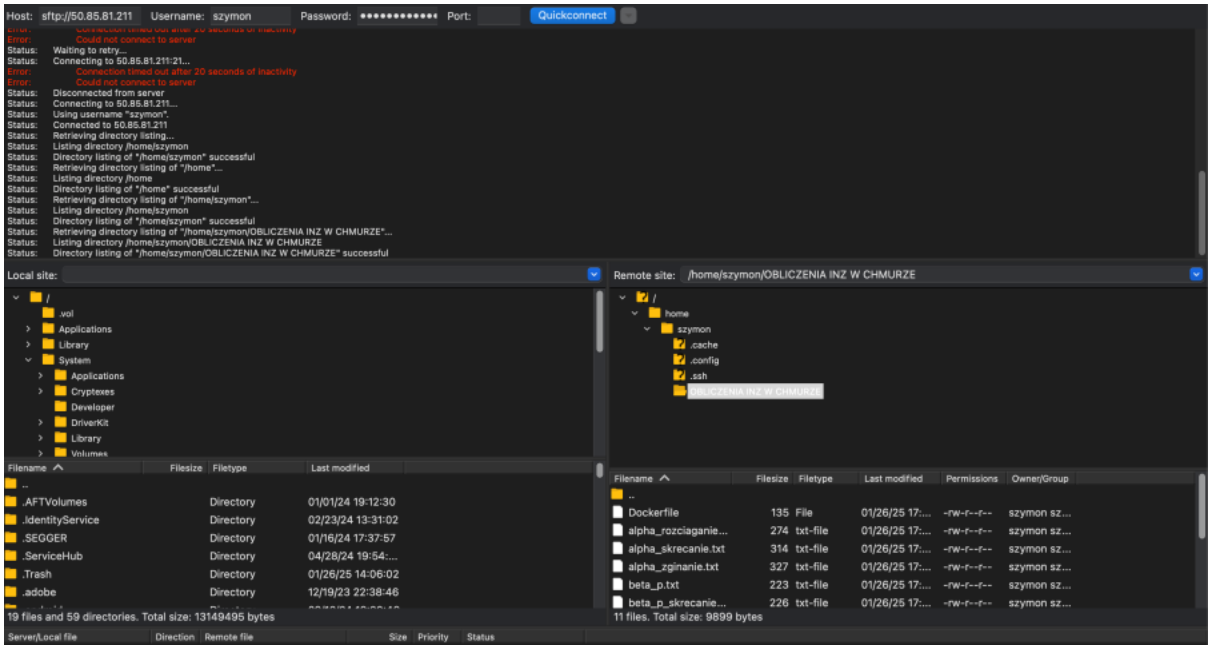
```
szymon@szymon:~$ sudo apt update
```

```
szymon@szymon:~$ sudo apt install docker.io
```

Po tym kroku można użyć programu Filezilla do wgrania plików programu na maszynę wirtualną. W tym kroku z początku napotkano pewne problemy z programem Filezilla, dlatego najpierw wgrano pliki z użyciem innego podejścia, używając komendy pokazanej poniżej:



W kolejnych krokach rozwiązano jednak problem i uzyskano połączenie w przewidywany na zajęciach sposób:



Ostatnimi krokami były odpowiednio zbudowanie obrazu na podstawie napisanego dockerfile oraz jego wykonanie przez komendę dockera:

```
szymon@szymon:~/OBLICZENIA INZ W CHMURZE$ sudo docker build -t python .
```

```
szymon@szymon:~/OBLICZENIA INZ W CHMURZE$ sudo docker run --name python -it
 python
Aproksymowany współczynnik kształtu:                1.41
Aproksymowany współczynnik jakości powierzchni:     1.10
Aproksymowany współczynnik wrażliwości na karb:     0.67
Aproksymowany współczynnik wielkości przedmiotu:    1.24

Obliczony zmęczeniowy współczynnik bezpieczeństwa:  2.47

szymon@szymon:~/OBLICZENIA INZ W CHMURZE$
```

4. Podsumowanie

Otrzymane wyniki zgadzają się z wynikami odczytywanymi „ręcznie”, a nawet pomogły znaleźć błąd w obliczeniach wspominanego wcześniej sworznia mocującego siłownik. Poprawne ręczne obliczenia przedstawiono w tabeli poniżej:

	Re	Rm
S235JR	235	360
S355JR	355	470

Pin smaller diameter	d	40,00
Pin larger diameter	D	56,00
Fillet radius	ρ	8,00
	D/d	1,40
	ρ/d	0,20
Max stress	σmax	76,00
Stress amplitude	σa	38
Mean stress	σm	38
Safety factor	x	2,00

		Formula	FOR S235JR	FOR S355JR
Shape factor	αk	plot 18.12	1,40	1,40
Material notch sensitivity factor	η	plot 18.9	0,68	0,73
Notch sensitivity factor	βk	1+ η(αk-1)	1,27	1,29
Surface finish factor	βp	plot 18.6	1,10	1,08
Fatigue stress concentration factor	β	βk*βp	1,40	1,40
Size factor	Y	plot 18.1	1,25	1,25
Fatigue strength under alternating bending	Zgo	0,5*Rm	180	235
Fatigue strength under unidirectional bending	Zgj	0,85*Rm	306	399,5
Bending yield strength	Qz	1,2*Re	282	426
fatigue safety coefficient	xz	$x_z = \frac{Z_{go}}{\beta\gamma\sigma_a + \sigma_m\left(\frac{2Z_{go}}{Z_j} - 1\right)} \geq x_{zw}$	2,46	3,22
		$x_z = \frac{Q_r}{\beta\gamma\sigma_a + \sigma_m} \geq x_{zw}$	2,70	4,09

Aproksymacja jest wystarczająco dokładna na potrzeby tych obliczeń oraz upraszcza i co najważniejsze znacznie skraca proces obliczeń wytrzymałościowych analizowanego obiektu. Uniwersalna metoda wprowadzania danych pozwala również na przyszłe modyfikacje i dostosowanie programu do pomocy przy obliczeniach innych geometrii oraz materiałów a także do przyjęcia dokładniejszych danych do aproksymacji współczynników.