

ELŐSZÓ

Az életünk szerves részét képező műszaki eszközök fejlődése rohamosan zajlik napról napra. Ha csak az elmúlt húsz év változásait tekintjük, minden egyre gyorsabb, kisebb, okosabb lett. Ennek a fejlődésnek egy nagyon fontos eleme volt, számos rendkívüli mérnöki megoldás megalkotása. Ezek a mérnöki megoldások teszik könnyebbé mindennapi életünket. A Földön fellelhető kapacitáskorlátok végeessége miatt vált fontossá, hogy a fejlődés ne csak rohamléptekkel történjen, hanem fenntartható is legyen. Ennek a fenntarthatóságnak a kérdése a tudomány minden ágát, így a korszerű anyagokkal foglalkozó szegmensét is érinti. A nagy teherbírású, kis fajlagos súlyú szálerősített polimerkompozitok a fenntartható fejlődés fontos részét képezik, gondoljunk csak arra, hogy egy repülőgép károsanyagkibocsátása mennyivel növekedne tömegéből adódóan, ha nem alkalmaznának benne kompozit anyagokat. Azonban ezen anyagok gyártástechnológiája jelenleg nem túl környezetbarát eljárás. A napjainkban leginkább alkalmazott kompozitanyagoknak már léteznek fenntarthatóbb, természetes eredetű anyagokat tartalmazó alternatívái, azonban gyakorlati felhasználhatóságuk még egy nem túl frekvencián kutatott téma...

* * *

Kutatásom során számos embertől kaptam segítséget, így most nekik szeretném köszönetet mondani. Első sorban szeretném megköszönni Dr. Geier Norbert adjunktus Úr, témavezetőm támogatását és segítségét, illetve a kompozitanyagok forgácsolásának tudományterületébe való bevezetést. Szeretném megköszönni Pereszlai Csongor és Poór Dániel doktoranduszoknak a teljes kutatási folyamat során nyújtott aktív és rendkívül segítőkész közreműködésüket. Köszönetemet fejezem ki, Dr. Tamás-Bényei Péter adjunktus Úrnak a kompozitanyagok gyártásában nyújtott segítségét. Szeretném megköszönni Papp Bertalan technikusként a kompozitanyagok gyártása és előkészítése során nyújtott segítségét és tanácsait. Köszönöm Károly Dóra tanársegédnek a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok során nyújtott közreműködését. Szeretném megköszönni a kísérletek során nyújtott közreműködését Hodosán Zsolt tanszéki mérnöknek, Gödri András MSc és Hauschild Péter BSc hallgatóknak. Továbbá szeretném megköszönni a BME Gyártástudomány és -technológia Tanszéknek, a BME Polimertechnika Tanszéknek és a BME Anyagtudomány és -technológia Tanszéknek, hogy tárgyi és humán erőforrásaikkal támogatták a kutatás megvalósulását.

Budapest, 2021. november 7.

Magyar Gergely

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és *angol* nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
A_{free}	furat sorjamentes területe	mm ²
A_{nom}	furat névleges területe	mm ²
A_{sorja}	sorja területe	mm ²
C_{hf}	a határfrekvencia meghatározásához használt konstans	-
C_{nom}	furat kontúrjának névleges hossza	mm
C_{sorja}	sorjával rendelkező furat kontúrjának hossza	mm
d_c	szerszám átmérője	mm
f	előtolás	mm/ford
f	az adott axiális erő adatsort jellemző frekvencia	Hz
F_b	sorjafaktor	%
F_{bc}	kontúr sorjafaktor	%
f_h	szűrés határfrekvenciája	Hz
f_m	választott mintavételezési frekvencia	Hz
$f_{m,min}$	minimális mintavételezési frekvencia	Hz
$f_{sz,max}$	maximális szerszámfordulat frekvenciája	Hz
F_t	axiális erő	N
$F_{t,avg}$	az adott axiális erő adatsor átlaga	N
$F_{t,be}$	az adott axiális erő adatsor szűrendő kimeneti értékei	N
$F_{t,i}$	az adott axiális erő adatsor i-edik eleme	N
$F_{t,ki}$	az adott axiális erő adatsor szűrt kimeneti értékei	N
$F_{t,max}$	axiális erőjel maximális értéke	N
$F_{t,std}$	axiális erőjel szórása	N

N	az adott axiális erő adatsor elemeinek száma	-
$n_{sz,max}$	szerszám maximális fordulata	ford/min
R_a	átlagos felületi érdesség	μm
$R_{a,avg}$	átlagos felületi érdesség értékek átlaga	μm
R_z	egyenetlenség-magasság	μm
t	idő	s
v_c	forgácsolási sebesség	m/min
$v_{c,max}$	maximális forgácsolási sebesség	m/min

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$\Delta\varphi$	szerszám szögelfordulása	°
ε	megnyúlás	%
θ	szálvágási szög	°
σ	húzófeszültség	MPa

Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
avg	átlag értékekre vonatkozó index
be	bemeneti értékekre vonatkozó index
i	általános futó index (egész szám)
ki	kimeneti értékekre vonatkozó index
max	maximális értékekre vonatkozó index
min	minimális értékekre vonatkozó index
nom	névleges értékekre vonatkozó index
$sorja$	sorjára vonatkozó értékekhez tartozó index
std	szórás értékekre vonatkozó index

Rövidítések, betűszavak

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
<i>ANOVA</i>	varianciaanalízis
<i>BF</i>	bazaltszál
<i>BFRP</i>	bazaltszállal erősített polimer
<i>C-AFRP</i>	szén- és aramidszállal erősített hibrid polimerkompozit
<i>CF</i>	szénszál
<i>CFRP</i>	szénszállal erősített polimer
<i>CNC</i>	számítógépes számjegyvezérlés (computer numerical control)
<i>GF</i>	üvegszál
<i>GFRP</i>	üvegszállal erősített polimer
<i>HF</i>	kenderszál
<i>KF</i>	kevlárszál
<i>PAN</i>	poliakrilonitril

7. MELLÉKLET

7-1. táblázat. ANOVA táblázat: $F_{t,avg}$ vs. előtolás, anyag, forgácsolási sebesség

Source	<i>df</i>	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Előtolás	1	7151,5	7151,5	563,71	0,000
Forgácsolási sebesség	1	26,3	26,3	2,08	0,168
Anyag	1	64533,5	64533,5	5086,80	0,000
Előtolás*előtolás	1	127,8	127,8	10,07	0,006
Forgácsolási sebesség*forgácsolási sebesség	1	2,2	2,2	0,18	0,681
Előtolás* forgácsolási sebesség	1	10,9	10,9	0,86	0,368
Előtolás*anyag	1	726,6	726,6	57,27	0,000
Forgácsolási sebesség*anyag	1	56,7	56,7	4,47	0,050
Error	17	215,7	12,7		
Lack-of-Fit	7	135,8	19,4	2,43	0,099
Pure Error	10	79,9	8,0		
Total	25	75961,3			

7-2. táblázat. ANOVA táblázat: F_b vs. előtolás, anyag, forgácsolási sebesség

Source	<i>df</i>	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Előtolás	1	3,117	3,117	0,34	0,566
Forgácsolási sebesség	1	0,217	0,217	0,02	0,879
Anyag	1	186,520	186,520	20,54	0,000
Előtolás*előtolás	1	22,943	22,943	2,53	0,130
Forgácsolási sebesség*forgácsolási sebesség	1	1,959	1,959	0,22	0,648
Előtolás* forgácsolási sebesség	1	0,171	0,171	0,02	0,893
Előtolás*anyag	1	112,686	112,686	12,41	0,003
Forgácsolási sebesség*anyag	1	6,296	6,296	0,69	0,417
Error	17	154,388	9,082		
Lack-of-Fit	7	104,651	14,950	3,01	0,056
Pure Error	10	49,737	4,974		
Total	25	512,572			

7-3. táblázat. ANOVA táblázat: $R_{a,avg}$ vs. előtolás, anyag, forgácsolási sebesség

Source	<i>df</i>	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Előtolás	1	7,403	7,403	2,20	0,156
Forgácsolási sebesség	1	73,747	73,747	21,93	0,000
Anyag	1	153,756	153,756	45,72	0,000
Előtolás*előtolás	1	4,335	4,335	1,29	0,272
Forgácsolási sebesség*forgácsolási sebesség	1	10,803	10,803	3,21	0,091
Előtolás* forgácsolási sebesség	1	11,629	11,629	3,46	0,080
Előtolás*anyag	1	0,389	0,389	0,12	0,738
Forgácsolási sebesség*anyag	1	0,122	0,122	0,04	0,851
Error	17	57,176	3,363		
Lack-of-Fit	7	35,133	5,019	2,28	0,115
Pure Error	10	22,043	2,204		
Total	25	316,312			

A következő oldalakon látható az adatok feldolgozása során használt általam fejlesztett program Python nyelvben írt forráskódja, Jupyter Notebook programozási felületen. A Python környezet előnye, hogy nagy mennyiségű adatot tudunk gyorsan feldolgozni és kiértékelni. Ez a program későbbi kísérletek kiértékelés során is felhasználható mindösszesen néhány bemeneti paraméter módosításával. A jelen kutatás során végzett 26 kifejezetten hosszú (kb. 130000 elemből álló) adatsorainak beolvasását és kiértékelését a program nagyjából 30 másodperc alatt elvégzi. Beleértve az adatok szűrését, vágását, képek készítését, adatsorokat jellemző paraméterek generálását és Excel fájlba történő kiírását.

Adatok beolvasása

```
In [ ]: 1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import pandas as pd
4 import time as ti
5 from scipy.signal import butter, filtfilt
6 from matplotlib.pyplot import figure
7 import matplotlib.font_manager as font_manager
8
9 counter=0
10 i=0
11
12 sampling_freq=6000.0
13 nyq=0.5*sampling_freq
14 order=2
15
16 # Collecting data from .txt to lists
17 for f in range(26):
18     #Define file name
19     filename=r'C:\cmg\bfrp_kiserletek\Magyar_21_09_24\FM_'+str(f+1)
20     #Define variables
21     globals()['time_%s' % (f+1)]=[]
22     globals()['fx_%s' % (f+1)]=[]
23     globals()['fy_%s' % (f+1)]=[]
24     globals()['fz_%s' % (f+1)]=[]
25     globals()['mz_%s' % (f+1)]=[]
26     globals()['Fsum_%s' % (f+1)]=[]
27     #Make further syntax readable
28     time=globals()['time_%s' % (f+1)]
29     fx=globals()['fx_%s' % (f+1)]
30     fy=globals()['fy_%s' % (f+1)]
31     fz=globals()['fz_%s' % (f+1)]
32     mz=globals()['mz_%s' % (f+1)]
33     Fsum=globals()['Fsum_%s' % (f+1)]
34     #Read file --> Put data to variables
35     with open(filename) as infile:
36         for line in infile:
37             line=line.split()
38             for rec in line:
39                 counter=counter+1
40                 if counter==1:
41                     time.append(float(line[i]))
42                     i=i+1
43                 elif counter==2:
44                     fx.append(float(line[i]))
45                     i=i+1
46                 elif counter==3:
47                     fy.append(float(line[i]))
48                     i=i+1
49                 elif counter==4:
50                     fz.append(float(line[i]))
51                     i=i+1
52                 else:
53                     mz.append(float(line[i]))
54                     counter=0
```

```

55         i=0
56         #Calculate resultant force
57         for a in range(len(fx)):
58             Fsum.append(((fx[a])**2+fy[a]**2+fz[a]**2)**(1/2))
59
60

```

Lowpass filter definiálása

```

In [ ]: 1 #Define Butterworth lowpass filter function
2 def butter_lowpass_filter(data, cutoff, fs, order):
3     normal_cutoff = cutoff / nyq
4     # Get the filter coefficients
5     b, a = butter(order, normal_cutoff, btype='low', analog=False)
6     y = filtfilt(b, a, data)
7     return y
8

```

BFRP elővizsgálata

```

In [ ]: 1 rpm_1=1512 # [1/min]
2 fc_1=rpm_1/60 # [Hz]
3 cutoff_1=fc_1*7.5
4
5 plt.plot(time_1,fz_1, label='Eredeti',linewidth=4)
6
7 front_cutpos_1=0
8 back_cutpos_1=0
9 front_cutttime_1=6
10 back_cutttime_1=12
11
12 for c in range(len(time_1)):
13     if time_1[c]==front_cutttime_1:
14         front_cutpos_1=c
15     if time_1[c]==back_cutttime_1:
16         back_cutpos_1=c
17 time_1_cut=time_1[front_cutpos_1:back_cutpos_1]
18
19 #fz_1=Fsum_1
20
21 fz_1_cut=fz_1[front_cutpos_1:back_cutpos_1]
22
23
24 filt_fz_1=butter_lowpass_filter(fz_1_cut,cutoff_1,sampling_freq,order)
25
26 plt.plot(time_1_cut,filt_fz_1, label='Vágott és szűrt', color='r',linewidth=4)
27 plt.axis([9.0095, 9.1, 30, 100])
28
29 font = {'fontname': 'Times New Roman',
30         'color': 'black',
31         'weight': 'bold',
32         'size': 32,
33         }
34
35 fontprop = font_manager.FontProperties(family='Times New Roman',
36                                     weight='bold',
37                                     style='normal', size=32)

```

```

38
39 plt.xlabel('Idő (s)', fontdict=font)
40 plt.ylabel('Ft (N)', fontdict=font)
41 plt.grid(color='k', linestyle='--', linewidth=1)
42 plt.legend(prop=fontprop)
43 plt.xticks(fontsize= 32)
44 plt.yticks(fontsize= 32)
45 plt.show()
46

```

CFRP elővizsgálata

```

In [ ]: 1 rpm_14=1512 # [1/min]
2 fc_14=rpm_14/60 # [Hz]
3 cutoff_14=fc_14*7.5
4
5 plt.plot(time_14,fz_14, label='Eredeti',linewidth=4)
6
7 front_cutpos_1=0
8 back_cutpos_1=0
9 front_cuttime_1=8.5
10 back_cuttime_1=11
11
12 for c in range(len(time_1)):
13     if time_1[c]==front_cuttime_1:
14         front_cutpos_1=c
15     if time_1[c]==back_cuttime_1:
16         back_cutpos_1=c
17 time_14_cut=time_14[front_cutpos_1:back_cutpos_1]
18
19 #fz_1=Fsum_1
20
21 fz_14_cut=fz_14[front_cutpos_1:back_cutpos_1]
22
23
24 filt_fz_14=butter_lowpass_filter(fz_14_cut,cutoff_14,sampling_freq,
25
26 #plt.plot(time_1_cut,fz_1_cut, label='Noisy')
27 plt.plot(time_14_cut,filt_fz_14, label='Vágott és szűrt', color='r'
28 plt.axis([10.0095, 10.1, 60, 300])
29
30
31 plt.xlabel('Idő (s)', fontdict=font)
32 plt.ylabel('Ft (N)', fontdict=font)
33 plt.grid(color='k', linestyle='--', linewidth=1)
34 plt.legend(prop=fontprop)
35 plt.xticks(fontsize= 32)
36 plt.yticks(fontsize= 32)
37 plt.show()
38

```

Szűrő értékek vizsgálata -- függvény létrehozása különböző határfrekvenciákhoz tartozó maximális értékekkel

```

In [ ]: 1 def filter_investigation(min_multi,max_multi,rate):
2         step=(max_multi-min_multi)/rate
3         maxes=[]
4         multies=[]
5         for i in range(rate):
6             act_multi=min_multi+(i*step)
7             globals()['inv_filt_fz_%s' % (i)]=butter_lowpass_filter(fz_
8             maxes.append(max(globals()['inv_filt_fz_%s' % (i)]))
9             multies.append(act_multi)
10        return multies,maxes
11
12 multies=filter_investigation(1,15,500)[0]
13 maxes=filter_investigation(1,15,500)[1]
14
15 plt.plot(multies,maxes,linewidth=4)
16
17 plt.xlabel("Vágási frekvenciához tartozó szorzóérték [-]",fontdict=
18 plt.ylabel("Max Ft [N]",fontdict=font)
19 plt.grid(color='k', linestyle='--', linewidth=1)
20 plt.xticks(fontsize= 32)
21 plt.yticks(fontsize= 32)
22
23 plt.show()
24

```

```

In [ ]: 1 avg_grad=np.mean(np.gradient(maxes,1))
2 avg_grad_list=[]
3 avg_grad_list_half=[]
4 for i in range(len(multies)):
5     avg_grad_list.append(avg_grad)
6     avg_grad_list_half.append(avg_grad/2)
7 plt.plot(multies,np.gradient(maxes,1),linewidth=4)
8 #plt.plot(multies,avg_grad_list)
9 plt.plot(multies,avg_grad_list_half,linewidth=4)
10
11 plt.xlabel("Vágási frekvenciához tartozó szorzóérték [-]",fontdict=
12 plt.ylabel("Max Ft derivált értékek[N]",fontdict=font)
13 plt.grid(color='k', linestyle='--', linewidth=1)
14 plt.xticks(fontsize= 32)
15 plt.yticks(fontsize= 32)
16 plt.show()
17
18 possible_multies=[]
19 for i in range(len(multies)):
20     if round(np.gradient(maxes,1)[i],3)==round(avg_grad/2,3):
21         possible_multies.append(multies[i])
22 print('Lehetséges szorzó értékek:',possible_multies,"(itt metszi a
23 print('Lehetséges szorzó értékek átlaga:',np.mean(possible_multies)
24

```

Cut off frequency szorzó választása

```

In [ ]: 1 multi=7.5
2

```

FFT analízis

```
In [ ]: 1 dt=1/sampling_freq
2
3 m=len(fz_1_cut)
4 fhat=np.fft.fft(fz_1_cut,m) # Compute FFT
5 PSD=fhat*np.conj(fhat)/m # Power spectrum
6 freq=(1/(dt*m)) * np.arange(m) # Create X-axis of frequency
7 L=np.arange(1,np.floor(m),dtype='int') # Only plot first half
8
9 # Plot FFT
10
11 plt.plot(freq[L],PSD[L], color='c', label='Eredeti intenzitások')
12 #plt.xlim(freq[L[0]],freq[L[-1]])
13 #plt.legend(prop=fontprop)
14 plt.grid(color='k', linestyle='--', linewidth=1)
15 plt.xticks(fontsize= 32)
16 plt.yticks(fontsize= 32)
17 plt.axis([0, 3000, 0, 25000])
18 plt.show()
19
```

```
In [ ]: 1 m_1=len(filt_fz_1)
2 fhat_1=np.fft.fft(filt_fz_1,m_1) # Compute FFT
3 PSD_1=fhat_1*np.conj(fhat_1)/m_1 # Power spectrum
4 freq_1=(1/(dt*m_1)) * np.arange(m_1) # Create X-axis of frequency
5 L_1=np.arange(1,np.floor(m_1),dtype='int') # Only plot first half
6
7 # Plot FFT
8
9 plt.plot(freq_1[L_1],PSD_1[L_1], color='r', label='Szűrt intenzitások')
10 #plt.xlim(freq_1[L_1[0]],freq_1[L_1[-1]])
11 #plt.legend(prop=fontprop)
12 plt.grid(color='k', linestyle='--', linewidth=1)
13 plt.xticks(fontsize= 32)
14 plt.yticks(fontsize= 32)
15 plt.axis([0, 3000, 0, 25000])
16 plt.show()
17
```

Adatsorok vizsgálata

```
In [ ]: 1 rpm=[1592,3183,1592,3183,3183,3183,4775,4775,1592,3183,4775,3183,3183]
```

```
In [ ]: 1 def inspect_data_start(noe):
2     globals()['rpm_%s' %noe]=rpm[noe-1] # [1/min]
3     rpm_act=globals()['rpm_%s' %noe]
4     globals()['fc_%s' %noe]=rpm_act/60 # [Hz]
5     fc_act=globals()['fc_%s' %noe]
6     globals()['cutoff_%s' %noe]=fc_act*multi
7     cutoff_act=globals()['cutoff_%s' %noe]
8
9     time_act=globals()['time_%s' %noe]
10    fz_act=globals()['fz_%s' %noe]
11    plt.plot(time_act,fz_act)
```

```

12
13 def inspect_data(noe, front_cutttime_1, back_cutttime_1):
14     globals()['rpm_%s' %noe]=rpm[noe-1] # [1/min]
15     rpm_act=globals()['rpm_%s' %noe]
16     globals()['fc_%s' %noe]=rpm_act/60 # [Hz]
17     fc_act=globals()['fc_%s' %noe]
18     globals()['cutoff_%s' %noe]=fc_act*multi
19     cutoff_act=globals()['cutoff_%s' %noe]
20
21     time_act=globals()['time_%s' %noe]
22     fz_act=globals()['fz_%s' %noe]
23     plt.plot(time_act, fz_act, label='Eredeti')
24     front_cutpos_act=0
25     back_cutpos_act=0
26     for c in range(len(time_act)):
27         if time_act[c]==front_cutttime_1:
28             front_cutpos_act=c
29         if time_act[c]==back_cutttime_1:
30             back_cutpos_act=c
31
32
33     time_act_cut=time_act[front_cutpos_act:back_cutpos_act]
34     fz_act_cut=fz_act[front_cutpos_act:back_cutpos_act]
35
36
37     filt_fz_act=butter_lowpass_filter(fz_act_cut, cutoff_act, samplin
38
39     font = {'fontname': 'Times New Roman',
40            'color': 'black',
41            'weight': 'bold',
42            'size': 32,
43            }
44     fontprop = font_manager.FontProperties(family= 'Times New Roman',
45                                           weight='bold',
46                                           style='normal', size=32)
47
48     plt.plot(time_act_cut, filt_fz_act, label='Vágott és szűrt', col
49     #plt.axis([9.0095, 9.05, 30, 100])
50     plt.xlabel('Idő (s)', fontdict=font)
51     plt.ylabel('Ft (N)', fontdict=font)
52     plt.xlim(0, max(time_act))
53     plt.ylim(-10, max(filt_fz_act)*1.1)
54     plt.xticks(fontsize= 32)
55     plt.yticks(fontsize= 32)
56     plt.grid(color='k', linestyle='--', linewidth=1)
57     plt.legend(prop=fontprop)
58
59     plt.rcParams["figure.figsize"] = (24,18)
60     #plt.savefig('fz_1.png')
61     plt.show()
62
63
64     globals()['fz_max_%s' %noe]=np.max(filt_fz_act)
65     fz_max_act=globals()['fz_max_%s' %noe]
66     globals()['fz_mean_%s' %noe]=np.mean(filt_fz_act)
67     fz_mean_act=globals()['fz_mean_%s' %noe]
68     globals()['fz_std_%s' %noe]=np.std(filt_fz_act)
69     fz_std_act=globals()['fz_std_%s' %noe]
70     print("Fz max:", fz_max_act, "Fz átlag:", fz_mean_act, "Fz szórás",
71

```

```
In [ ]: 1 import matplotlib.pyplot as pyplot
        2 #inspect_data_start(1)
        3
        4 inspect_data(1,6,12.5)
        5
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(2,2.2,3.0)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(3,3.15,5.2)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(4,3,4.2)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(5,3,4.2)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(6,3.2,4.8)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(7,3.2,4.1)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(8,3.5,4.2)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(9,3.85,6.8)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(10,4.8,7.6)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(11,3.9,6)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(12,3.4,5)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(13,2.9,4.5)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(14,8.5,11)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(15,3.3,3.7)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(16,3.2,4.1)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(17,3.35,4)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(18,3.2,3.8)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(19,3.2,3.8)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(20,2.4,2.8)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(21,2.9,3.2)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(22,3.6,4.8)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(23,3.6,4.9)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(24,3.1,4)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(25,3.2,3.8)
        2
```

```
In [ ]: 1 inspect_data(26,3.8,4.4)
        2
```

Adatsorok jellemzőinek összegyűjtése, kiírása

```
In [ ]: 1 fz_maxes=[]
        2 fz_means=[]
        3 fz_stds=[]
        4 nmbr=[]
        5 for f in range(26):
        6     nmbr.append(f+1)
        7     fz_maxes.append(globals()['fz_max_%s' % (f+1)])
        8     fz_means.append(globals()['fz_mean_%s' % (f+1)])
        9     fz_stds.append(globals()['fz_std_%s' % (f+1)])
       10
       11 data_to_excel={'NOE':nmbr,'Fz max values':fz_maxes,'Fz mean values'
       12 df=pd.DataFrame(data_to_excel)
       13
       14 df
       15
```

```
In [ ]: 1 df.to_excel('Fz_values.xlsx','Fz_max_mean_std')
        2
```

```
In [ ]:
```

Kísérleti jegyzőkönyv

1. Kutatás célja

BFRP kompozitok forgácsolhatóságának CFRP-vel történő összehasonlítása fúrási kísérletekkel.

2. Kísérleti környezet

2.1. Felhasznált gépek, szerszámok, műszerek és eszközök

- Nilfisk GB733 ipari porszívó
- Kondia B640 háromtengelyes CNC marógép
- Tivoly POLARIS 150 Xtreme D10 (82415011000)
- KISTLER 9257B erőmérő
- KISTLER 5070 töltéserősítő
- 2db NI USB-4431 adatgyűjtő
- Dino-Lite AM413ZT típusú digitális mikroszkóp

2.2. Rögzített paraméterek és körülmények

- száraz megmunkálás
- mintavételezési frekvencia $f_m=6000$ Hz ; méréstartomány 500 N; (erősítés 50 N/V)
- rögzítés nyomatéka $M_f=3$ Nm

2.3. Faktorok

Kutatási alapadatok

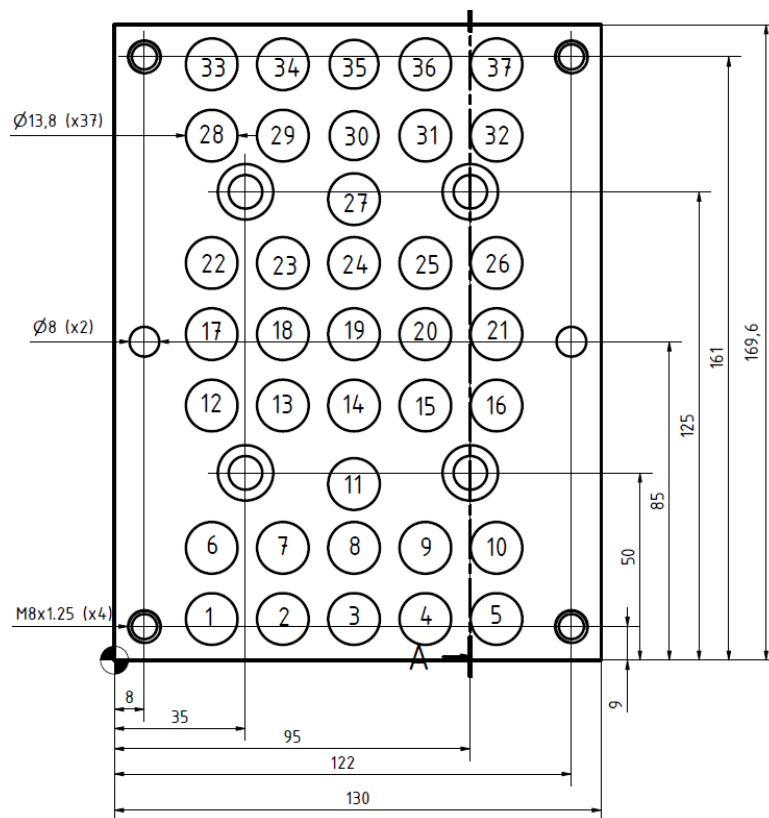
Környezet	
Dátum:	2021. 09. 24.
Helyszín:	BME „G” épület
Hőmérséklet:	
Nyomás:	
Személyzet	
Kísérletvezető:	Magyar Gergely (jegyzőkönyv)
Laboráns 1:	Gödri András (erőmérő)
Laboráns 2:	Hauschild Péter (porszívó)
Laboráns 3:	Hodosán Zsolt (szerszámgép)
Laboráns 4:	Poór Dániel (szerszámkopás dokumentálása)
Laboráns 5:	Dr. Geier Norbert (munkadarabcsere+tanácsadás)
Laboráns 6:	Pereszlai Csongor (előkészítés)

Megnevezés	Jelölés	Mértékegység	Értelmezési tartomány		Szintek száma	Vizsgált szintek
			Legalsó szint	Legfelső szint		
Előtolás	f	mm/rot	0,05	0,15	3	0,05, 0,1, 0,15
Anyag	$anyag$	-			2	BFRP, CFRP
Forgácsolási sebesség	v_c	m/min	50	150	3	50, 100, 150

3. Kísérlettervezési mátrix

Ssz.	Próbatest azonosító	Faktorok			Optimalizációs paraméterek						Megjegyzés	
					Ft (N)				Fénykép (-)			
		<i>f</i> (mm/rot)	<i>v_c</i> (m/min)	<i>anyag</i> (-)	Fájlnév			PR E	OK	Fájlnév		OK
1	BFRP_1	0,05	50	BFRP	FM_1	xy_1	z_1	ok	ok			feltekeredett forgács
2	BFRP_1	0,15	100	BFRP	FM_2	xy_2	z_2	ok	ok			
3	BFRP_1	0,15	50	BFRP	FM_3	xy_3	z_3	ok	ok			
4	BFRP_1	0,10	100	BFRP	FM_4	xy_4	z_4	ok	ok			
5	BFRP_1	0,10	100	BFRP	FM_5	xy_5	z_5	ok	ok			
6	BFRP_1	0,10	100	BFRP	FM_6	xy_6	z_6	ok	ok			
7	BFRP_1	0,10	150	BFRP	FM_7	xy_7	z_7	ok	ok			
8	BFRP_1	0,15	150	BFRP	FM_8	xy_8	z_8	ok	ok			
9	BFRP_1	0,10	50	BFRP	FM_9	xy_9	z_9	ok	ok			porszívó csöve lehet , hogy hozzá ért
10	BFRP_1	0,05	100	BFRP	FM_10	xy_10	z_10	ok	ok			feltekeredett forgács
11	BFRP_1	0,05	150	BFRP	FM_11	xy_11	z_11	ok	ok			
12	BFRP_1	0,10	100	BFRP	FM_12	xy_12	z_12	ok	ok			kevés feltekeredés
13	BFRP_1	0,10	100	BFRP	FM_13	xy_13	z_13	ok	ok			
1	CFRP_1	0,05	50	CFRP	FM_14	xy_14	z_14	ok	ok			
2	CFRP_1	0,15	100	CFRP	FM_15	xy_15	z_15	ok	ok			
3	CFRP_1	0,15	50	CFRP	FM_16	xy_16	z_16	ok	ok			
4	CFRP_1	0,10	100	CFRP	FM_17	xy_17	z_17	ok	ok			
5	CFRP_1	0,10	100	CFRP	FM_18	xy_18	z_18	ok	ok			
6	CFRP_1	0,10	100	CFRP	FM_19	xy_19	z_19	ok	ok			
7	CFRP_1	0,10	150	CFRP	FM_20	xy_20	z_20	ok	ok			
8	CFRP_1	0,15	150	CFRP	FM_21	xy_21	z_21	ok	ok			
9	CFRP_1	0,10	50	CFRP	FM_22	xy_22	z_22	ok	ok			
10	CFRP_1	0,05	100	CFRP	FM_23	xy_23	z_23	ok	ok			
11	CFRP_1	0,05	150	CFRP	FM_24	xy_24	z_24	ok	ok			
12	CFRP_1	0,10	100	CFRP	FM_25	xy_25	z_25	ok	ok			
13	CFRP_1	0,10	100	CFRP	FM_26	xy_26	z_26	ok	ok			

Alkatrészrajz:



Tervezett fúrások #12-től #25ig (tartalék #25, #26)

További megjegyzések:

Nyomaték méréshez távolságok LabView-ban: (mindig mérni)

X (vagyis B) 94,866

Y (vagyis A) 147,274

hogy 5fokként legyen a mintavételezés (legnagyobb fordulat miatt)

Időterv:

1. Befogás, gép bekapcsolása, program feltöltése, nullpont felvétel, erőmérő előkészítése, szerszám bemérés, szerszám fotózása, kb 45 perc- 1 óra
 2. Forgácsolás, adatok lementése furatonként 2-3 perc, összesen kb 30-45 perc
 3. Munkadarab csere előző folyamat megismétlése kb 30-45 perc
 4. Rend rakás takarítás kb 30 perc
- Összesen: 2 óra 15 perc – 3 óra időszükséglet

4. Záradék

Kísérletek vége: 2021. 09. 24. 18:00

A kísérleti adatok lementve és a mérési környezet eredeti állapotba visszarendezve. Amortizálódott eszközök lejelentve.

A kísérleti adatokat és a kísérleti jegyzőkönyv szkennelt változatát eljuttatom Dr. Geier Norbert-nek (geier@manuf.bme.hu).

.....

Kísérletvezető