

Signály a systémy projekt 2022

Michal Laš xlasmi00

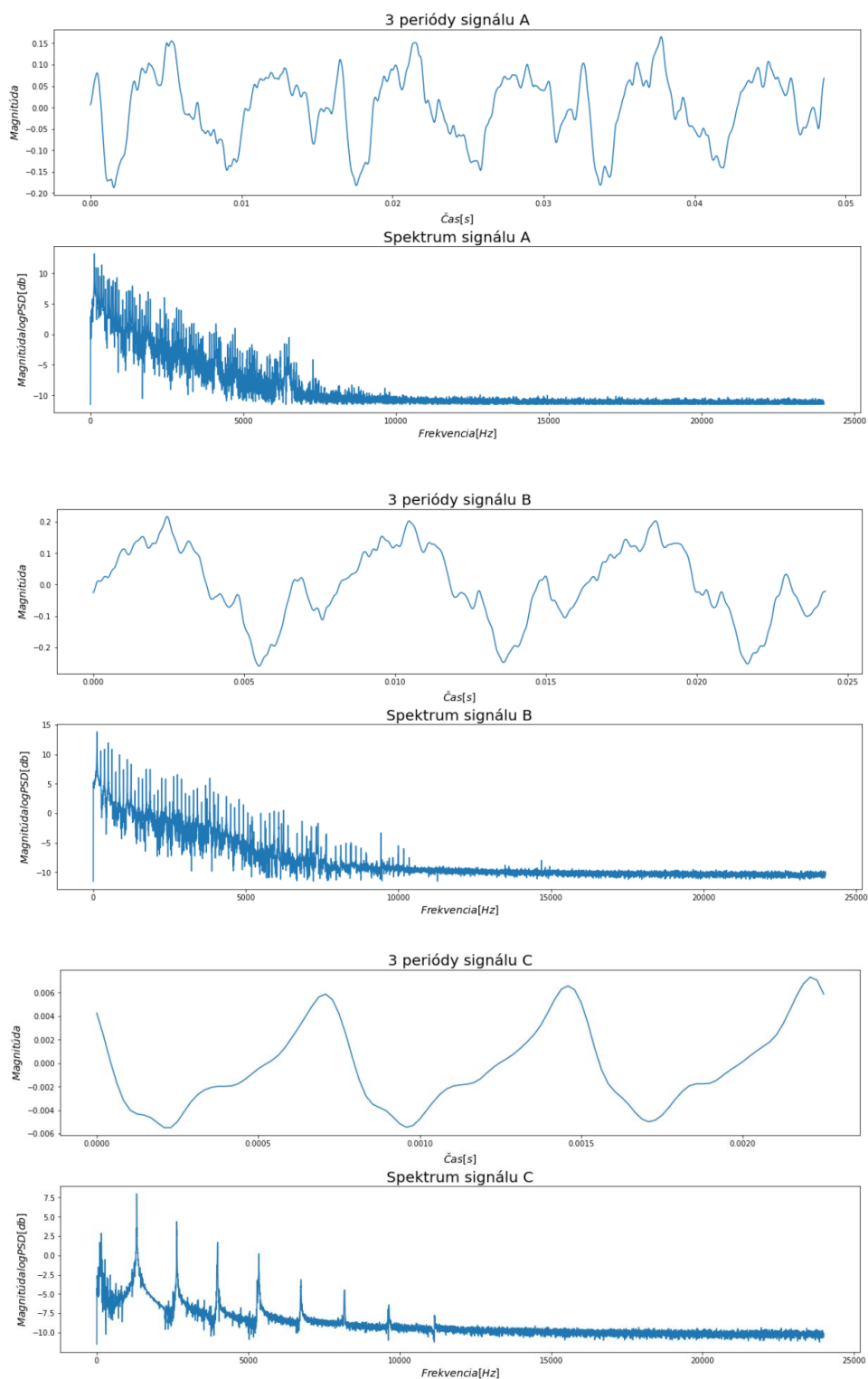
Obsah:

| | |
|---|---|
| Úloha 1..... | 1 |
| Úloha 2..... | 2 |
| Riešenie pomocou DFT | 2 |
| Výsledky určovania frekvenciu pomocou DFT | 2 |
| Riešenie pomocou autokorelácie | 3 |
| Výsledky určovanie frekvencie pomocou autokorelácie | 3 |
| Autokorelácia a výsledky pre moje tóny | 4 |
| Úloha 3..... | 5 |
| Vypočítané hodnoty | 6 |
| Úloha 4..... | 7 |
| Výsledky pre moje tóny: | 8 |

Úloha 1.

Moje 3 MIDI tóny:

- A: MIDI 35
- B: MIDI 47
- C: MIDI 88



- Tóny som načítal pomocou kódu zo zadania
- Vyrátal som koľko vzorkou je potrebné na zobrazenie troch periód jednotlivých signálov podľa vzťahu: F_s (vzorkovacie frekvencia) $\times 3$ (periódy) $\times T$, kde T je $\frac{1}{f}$, f som zobral ako hodnotu frekvencie pre príslušné MIDI z *midi.txt*.
- Spektrum som určil pomocou DFT, použil som funkciu *numpy.fft.fft()*. Následne som urobil modul. Keďže výsledok DFT je symetrický podľa stredu, tak ďalej pracujem len s prvou polovicou.
- Keďže pracujeme so signálom dlhým 0,5 sekundy os x som upravil podľa vzťahu $F_k = \frac{F_s}{N} \times k$, kde N je $0,5 \times F_s$ a k je koeficient x -ovej osi.

Úloha 2.

Riešenie pomocou DFT:

- Pre každý signál som urobil DFT, modul a pomocou funkcie *scipy.signal.find_peaks()* som hľadal najväčší „peak“. Teda miesto vo frekvenčnom spektre, kde má daný tón najväčšiu hlasitosť.
- Ako zadanie napovedalo DFT malo tendenciu zlyhávať pri nižších frekvenciách.
- Zlepšenie by sa dalo dosiahnuť lepším vyhľadávaním „peakov“, teda lepším nastavením parametrov funkcie *find_peaks()*.
- Určovanie frekvencie pomocou DFT som však použil hlavne pre vysoké tóny. Používam hlavne autokoreláciu.

Výsledky určovania frekvenciu pomocou DFT

| | | | |
|--------------|--------------|--------------|---------------|
| MIDI 24: 32 | MIDI 43: 98 | MIDI 62: 294 | MIDI 81: 882 |
| MIDI 25: 52 | MIDI 44: 104 | MIDI 63: 312 | MIDI 82: 932 |
| MIDI 26: 36 | MIDI 45: 110 | MIDI 64: 330 | MIDI 83: 988 |
| MIDI 27: 78 | MIDI 46: 234 | MIDI 65: 350 | MIDI 84: 1046 |
| MIDI 28: 124 | MIDI 47: 60 | MIDI 66: 370 | MIDI 85: 1112 |
| MIDI 29: 44 | MIDI 48: 130 | MIDI 67: 392 | MIDI 86: 1178 |
| MIDI 30: 70 | MIDI 49: 138 | MIDI 68: 416 | MIDI 87: 1248 |
| MIDI 31: 98 | MIDI 50: 294 | MIDI 69: 440 | MIDI 88: 1322 |
| MIDI 32: 78 | MIDI 51: 156 | MIDI 70: 466 | MIDI 89: 1396 |
| MIDI 33: 110 | MIDI 52: 330 | MIDI 71: 494 | MIDI 90: 1478 |
| MIDI 34: 204 | MIDI 53: 174 | MIDI 72: 524 | MIDI 91: 1566 |
| MIDI 35: 62 | MIDI 54: 184 | MIDI 73: 554 | MIDI 92: 1664 |
| MIDI 36: 196 | MIDI 55: 196 | MIDI 74: 588 | MIDI 93: 1758 |
| MIDI 37: 208 | MIDI 56: 208 | MIDI 75: 622 | MIDI 94: 1868 |
| MIDI 38: 220 | MIDI 57: 220 | MIDI 76: 660 | MIDI 95: 1976 |
| MIDI 39: 78 | MIDI 58: 234 | MIDI 77: 698 | MIDI 96: 2094 |
| MIDI 40: 124 | MIDI 59: 248 | MIDI 78: 740 | MIDI 97: 2218 |
| MIDI 41: 438 | MIDI 60: 262 | MIDI 79: 784 | MIDI 98: 2350 |
| MIDI 42: 92 | MIDI 61: 278 | MIDI 80: 830 | MIDI 99: 2490 |

| | | |
|---------------|---------------|---------------|
| MIDI 100:2638 | MIDI 103:3138 | MIDI 106:3732 |
| MIDI 101:2796 | MIDI 104:3324 | MIDI 107:3954 |
| MIDI 102:2962 | MIDI 105:3522 | MIDI 108:4188 |

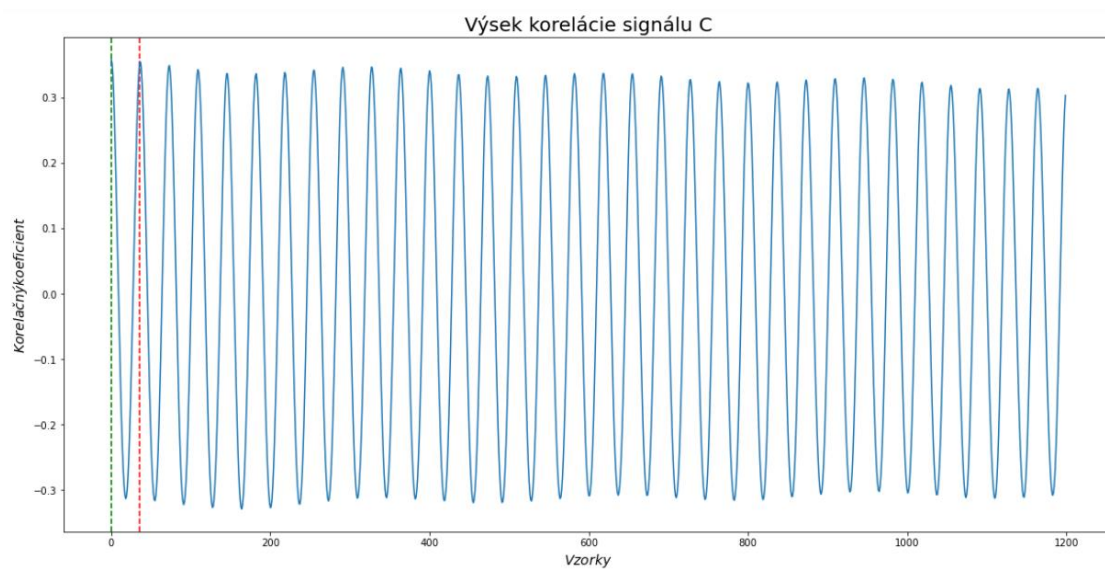
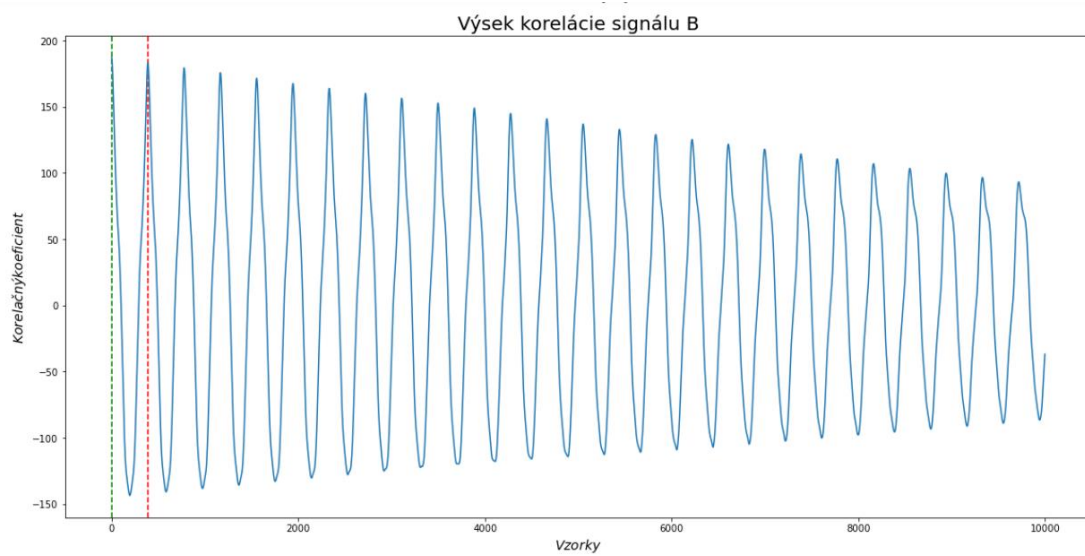
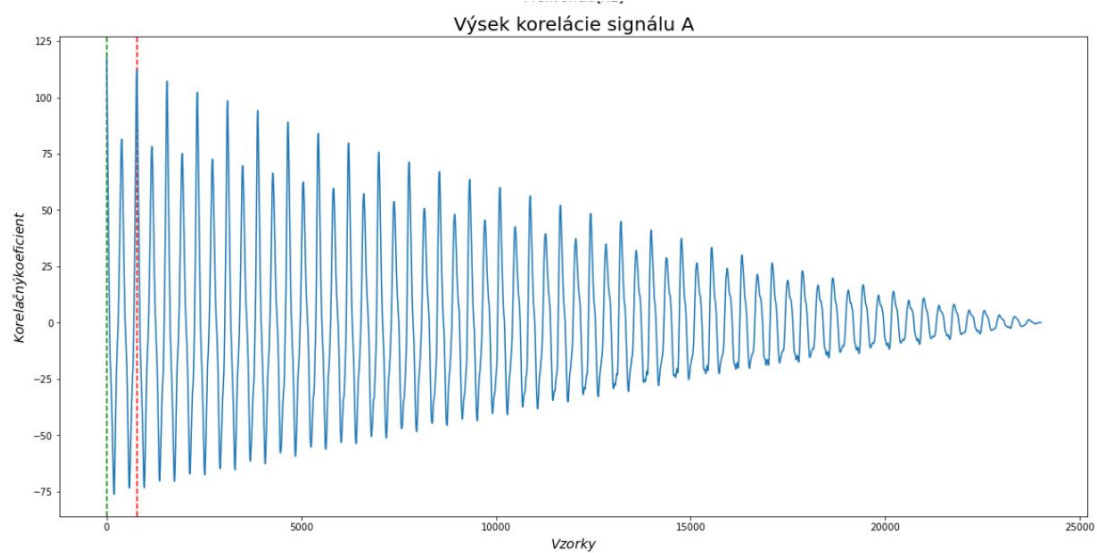
Riešenie pomocou autokorelácie:

- Pre každý tón som pomocou funkcie *numpy.correlate()* vytvoril koreláciu tónu so sebou samým.
- Následne som zobral len ľavú časť korelácie od stredu. Keďže korelujeme signál so sebou samým najväčšia hodnota bude práve v strede.
- Pomocou funkcie *find_peaks()* som našiel 2. najväčší „peak“. Teda druhú najväčšiu hodnotu v korelácii po prostrednej hodnote. Hodnotu vzorku kde som našiel tento „peak“ označím ako k .
- f_0 som vypočítal ako $\frac{1}{k} \times Fs$

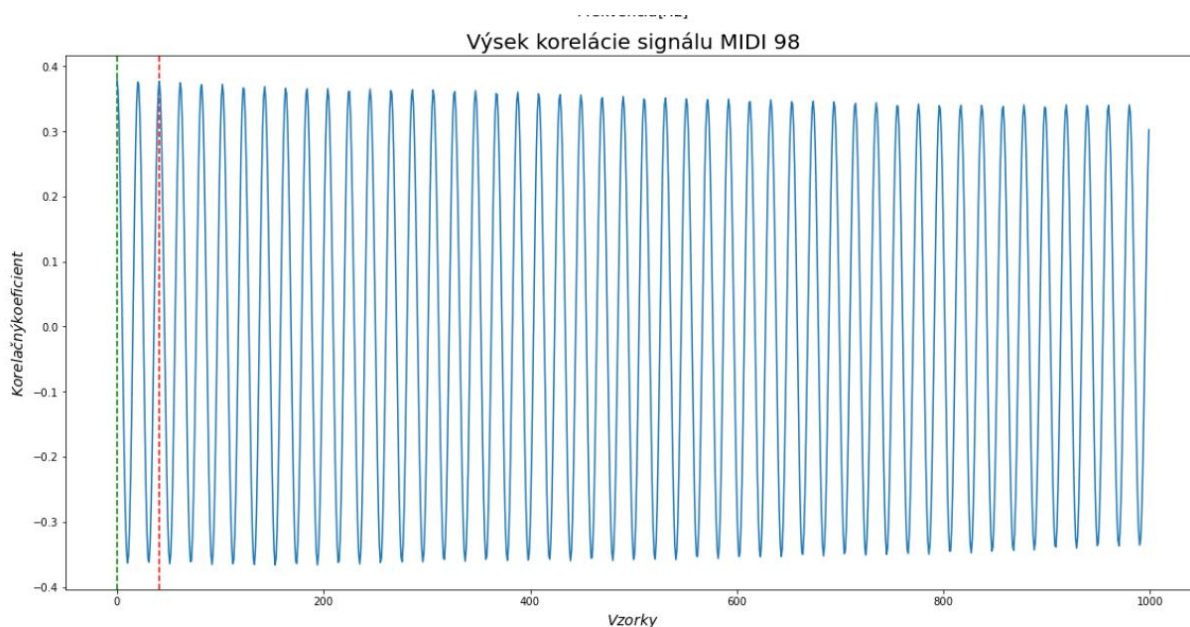
Výsledky určovanie frekvencie pomocou autokorelácie:

| | | |
|-----------------|-----------------|-------------------|
| MIDI 24: 32.81 | MIDI 53: 175.18 | MIDI 82: 941.18 |
| MIDI 25: 34.76 | MIDI 54: 185.33 | MIDI 83: 1000.0 |
| MIDI 26: 36.84 | MIDI 55: 196.72 | MIDI 84: 1043.48 |
| MIDI 27: 39.02 | MIDI 56: 207.79 | MIDI 85: 1116.28 |
| MIDI 28: 41.34 | MIDI 57: 220.18 | MIDI 86: 1170.73 |
| MIDI 29: 43.8 | MIDI 58: 234.15 | MIDI 87: 1230.77 |
| MIDI 30: 46.42 | MIDI 59: 247.42 | MIDI 88: 1333.33 |
| MIDI 31: 49.18 | MIDI 60: 262.3 | MIDI 89: 1411.76 |
| MIDI 32: 52.12 | MIDI 61: 277.46 | MIDI 90: 1500.0 |
| MIDI 33: 55.17 | MIDI 62: 294.48 | MIDI 91: 1548.39 |
| MIDI 34: 58.47 | MIDI 63: 311.69 | MIDI 92: 1655.17 |
| MIDI 35: 61.94 | MIDI 64: 328.77 | MIDI 93: 1777.78 |
| MIDI 36: 65.57 | MIDI 65: 350.36 | MIDI 94: 1846.15 |
| MIDI 37: 69.46 | MIDI 66: 369.23 | MIDI 95: 2000.0 |
| MIDI 38: 73.62 | MIDI 67: 393.44 | MIDI 96: 2086.96 |
| MIDI 39: 77.92 | MIDI 68: 417.39 | MIDI 97: 2181.82 |
| MIDI 40: 82.62 | MIDI 69: 440.37 | MIDI 98: 1170.73 |
| MIDI 41: 87.75 | MIDI 70: 466.02 | MIDI 99: 2526.32 |
| MIDI 42: 92.84 | MIDI 71: 494.85 | MIDI 100: 2666.67 |
| MIDI 43: 98.36 | MIDI 72: 521.74 | MIDI 101: 2823.53 |
| MIDI 44: 104.35 | MIDI 73: 551.72 | MIDI 102: 3000.0 |
| MIDI 45: 110.6 | MIDI 74: 585.37 | MIDI 103: 1043.48 |
| MIDI 46: 117.07 | MIDI 75: 623.38 | MIDI 104: 1655.17 |
| MIDI 47: 123.71 | MIDI 76: 657.53 | MIDI 105: 1170.73 |
| MIDI 48: 131.15 | MIDI 77: 695.65 | MIDI 106: 3692.31 |
| MIDI 49: 138.73 | MIDI 78: 738.46 | MIDI 107: 4000.0 |
| MIDI 50: 147.24 | MIDI 79: 786.89 | MIDI 108: 2086.96 |
| MIDI 51: 155.84 | MIDI 80: 827.59 | |
| MIDI 52: 164.95 | MIDI 81: 888.89 | |

Autokorelácia a výsledky pre moje tóny:



- Ako bolo spomenuté v zadaní, autokorelácia môže zlyhávať pre tóny s vyššou frekvenciou
- Tu uvádzam jeden príklad kedy mi autokorelácia zlyhala
- Riešením by mohlo byť znova nastaviť lepšie parametre funkciu *find_peaks()* alebo v tomto prípade porovnávať hodnotu vždy s jednou predchádzajúcou a pokiaľ je hodnota menšia, tak vynásobiť frekvenciu dvomi (keďže tóny idú za sebou a každý má vyššiu frekvenciu ako predchádzajúci).



- Ako je na prvý pohľad zjavné moja funkcia minula jeden „peak“ teda frekvencia bude o polovicu nižšia
- Rozdiely odhadnutých frekvencií a skutočných frekvencií (zo súboru *midi.txt*) môžu byť spôsobené vibráciami tónov alebo rozladením piana

Úloha 3.

- Výsledky odhadnutých frekvencií pomocou DFT a autokorelácie som skombinoval nasledovne. Zbral som prvých 74 frekvencií (MIDI 24 - 73) určených podľa autokorelácie a zvyšných 34 hodnôt určených pomocou DFT (MIDI 74 - 108)
- Pri DTFT dynamicky určujem rozsah podľa výšky tónu. Rozsah 100 centov okolo najbližšej MIDI frekvencie mi pri nízkych tónoch nedával presné výsledky. Preto rozsah určujem ako $\frac{\text{odhadnutá frekvencia}}{FREQCONST} \times 2^{\frac{1}{1200}}$, kde *FREQCONST* sa vypočítava

ako $2 + \frac{2}{85} \times (MIDI - 24)$. Skúšal som rôzne spôsoby, ale tento z nich vyšiel ako najlepší.

- Pre nízke tóny som sa rozhodol ich odhadnutú frekvenciu vynásobiť dvomi a okolo tejto frekvencie urobiť DTFT. Následný výsledok som predelil späť dvomi. Urobil som to, pretože nízke tóny majú výraznejšiu hlasitosť až na dvojnásobku odhadnutej frekvencie.
- DFT implementujem pomocou cyklu *for* a matico-vektorového násobenia. Do matice som si nadefinoval bázy podľa vzorca: $X(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j\omega n}$ a túto maticu násobím so signálmi.

Vypočítané hodnoty (zaokrúhlené na stotiny)

| | | | | | |
|---------|---------------|--------------|---------|---------------|---------------|
| MIDI 24 | Odhad: 32.81 | DTFT: 32.66 | MIDI 62 | Odhad: 294.48 | DTFT: 293.56 |
| MIDI 25 | Odhad: 34.76 | DTFT: 34.64 | MIDI 63 | Odhad: 311.69 | DTFT: 311.15 |
| MIDI 26 | Odhad: 36.84 | DTFT: 36.68 | MIDI 64 | Odhad: 328.77 | DTFT: 329.55 |
| MIDI 27 | Odhad: 39.02 | DTFT: 38.85 | MIDI 65 | Odhad: 350.36 | DTFT: 349.06 |
| MIDI 28 | Odhad: 41.34 | DTFT: 41.17 | MIDI 66 | Odhad: 369.23 | DTFT: 369.85 |
| MIDI 29 | Odhad: 43.8 | DTFT: 43.61 | MIDI 67 | Odhad: 393.44 | DTFT: 392.0 |
| MIDI 30 | Odhad: 46.42 | DTFT: 46.23 | MIDI 68 | Odhad: 417.39 | DTFT: 415.33 |
| MIDI 31 | Odhad: 49.18 | DTFT: 48.98 | MIDI 69 | Odhad: 440.37 | DTFT: 440.22 |
| MIDI 32 | Odhad: 52.12 | DTFT: 51.85 | MIDI 70 | Odhad: 466.02 | DTFT: 466.17 |
| MIDI 33 | Odhad: 55.17 | DTFT: 54.95 | MIDI 71 | Odhad: 494.85 | DTFT: 493.73 |
| MIDI 34 | Odhad: 58.47 | DTFT: 58.23 | MIDI 72 | Odhad: 521.74 | DTFT: 523.24 |
| MIDI 35 | Odhad: 61.94 | DTFT: 61.63 | MIDI 73 | Odhad: 551.72 | DTFT: 554.35 |
| MIDI 36 | Odhad: 65.57 | DTFT: 65.31 | MIDI 74 | Odhad: 588 | DTFT: 587.07 |
| MIDI 37 | Odhad: 69.46 | DTFT: 69.19 | MIDI 75 | Odhad: 622 | DTFT: 622.19 |
| MIDI 38 | Odhad: 73.62 | DTFT: 72.95 | MIDI 76 | Odhad: 660 | DTFT: 658.97 |
| MIDI 39 | Odhad: 77.92 | DTFT: 77.29 | MIDI 77 | Odhad: 698 | DTFT: 697.35 |
| MIDI 40 | Odhad: 82.62 | DTFT: 81.95 | MIDI 78 | Odhad: 740 | DTFT: 738.87 |
| MIDI 41 | Odhad: 87.75 | DTFT: 87.71 | MIDI 79 | Odhad: 784 | DTFT: 783.28 |
| MIDI 42 | Odhad: 92.84 | DTFT: 92.96 | MIDI 80 | Odhad: 830 | DTFT: 829.75 |
| MIDI 43 | Odhad: 98.36 | DTFT: 98.48 | MIDI 81 | Odhad: 882 | DTFT: 879.09 |
| MIDI 44 | Odhad: 104.35 | DTFT: 104.31 | MIDI 82 | Odhad: 932 | DTFT: 931.17 |
| MIDI 45 | Odhad: 110.6 | DTFT: 110.47 | MIDI 83 | Odhad: 988 | DTFT: 987.71 |
| MIDI 46 | Odhad: 117.07 | DTFT: 117.03 | MIDI 84 | Odhad: 1046 | DTFT: 1046.31 |
| MIDI 47 | Odhad: 123.71 | DTFT: 123.17 | MIDI 85 | Odhad: 1112 | DTFT: 1108.43 |
| MIDI 48 | Odhad: 131.15 | DTFT: 130.48 | MIDI 86 | Odhad: 1178 | DTFT: 1174.25 |
| MIDI 49 | Odhad: 138.73 | DTFT: 138.25 | MIDI 87 | Odhad: 1248 | DTFT: 1244.05 |
| MIDI 50 | Odhad: 147.24 | DTFT: 146.73 | MIDI 88 | Odhad: 1322 | DTFT: 1317.85 |
| MIDI 51 | Odhad: 155.84 | DTFT: 155.43 | MIDI 89 | Odhad: 1396 | DTFT: 1395.6 |
| MIDI 52 | Odhad: 164.95 | DTFT: 164.64 | MIDI 90 | Odhad: 1478 | DTFT: 1479.25 |
| MIDI 53 | Odhad: 175.18 | DTFT: 174.46 | MIDI 91 | Odhad: 1566 | DTFT: 1567.32 |
| MIDI 54 | Odhad: 185.33 | DTFT: 184.85 | MIDI 92 | Odhad: 1664 | DTFT: 1659.83 |
| MIDI 55 | Odhad: 196.72 | DTFT: 195.93 | MIDI 93 | Odhad: 1758 | DTFT: 1758.49 |
| MIDI 56 | Odhad: 207.79 | DTFT: 207.87 | MIDI 94 | Odhad: 1868 | DTFT: 1863.38 |
| MIDI 57 | Odhad: 220.18 | DTFT: 220.1 | MIDI 95 | Odhad: 1976 | DTFT: 1976.54 |
| MIDI 58 | Odhad: 234.15 | DTFT: 233.23 | MIDI 96 | Odhad: 2094 | DTFT: 2093.43 |
| MIDI 59 | Odhad: 247.42 | DTFT: 247.16 | MIDI 97 | Odhad: 2218 | DTFT: 2218.6 |
| MIDI 60 | Odhad: 262.3 | DTFT: 261.83 | MIDI 98 | Odhad: 2350 | DTFT: 2350.63 |
| MIDI 61 | Odhad: 277.46 | DTFT: 277.36 | MIDI 99 | Odhad: 2490 | DTFT: 2490.66 |

| | | | | | |
|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|
| MIDI 100 | Odhad: 2638 | DTFT: 2638.7 | MIDI 105 | Odhad: 3522 | DTFT: 3521.1 |
| MIDI 101 | Odhad: 2796 | DTFT: 2795.27 | MIDI 106 | Odhad: 3732 | DTFT: 3731.05 |
| MIDI 102 | Odhad: 2962 | DTFT: 2961.23 | MIDI 107 | Odhad: 3954 | DTFT: 3953.0 |
| MIDI 103 | Odhad: 3138 | DTFT: 3137.19 | MIDI 108 | Odhad: 4188 | DTFT: 4189.05 |
| MIDI 104 | Odhad: 3324 | DTFT: 3324.86 | | | |

Úloha 4.

- Pre každý tón spočítam koeficienty na piatich násobkoch základnej frekvencie.
- Následne pre každý z týchto 5 násobkov základnej frekvencie (f_0) urobím DTFT rovnako ako v úlohe 3.
- Vypočítam moduly pomocou *numpy.abs()* a fázy pomocou *numpy.angle()*.
- Výsledkom sú teda pre každý tón 2 polia jedno obsahujúce 5 modulov a druhé obsahujúce 5 fáz. (napr. moduly: $[1059.60, 549.08, 375.65, 48.84, 215.21]$ a fáze: $[-0.080, 0.113, 0.291, 0.299, -0.038]$).

Výsledky pre moje tóny:

