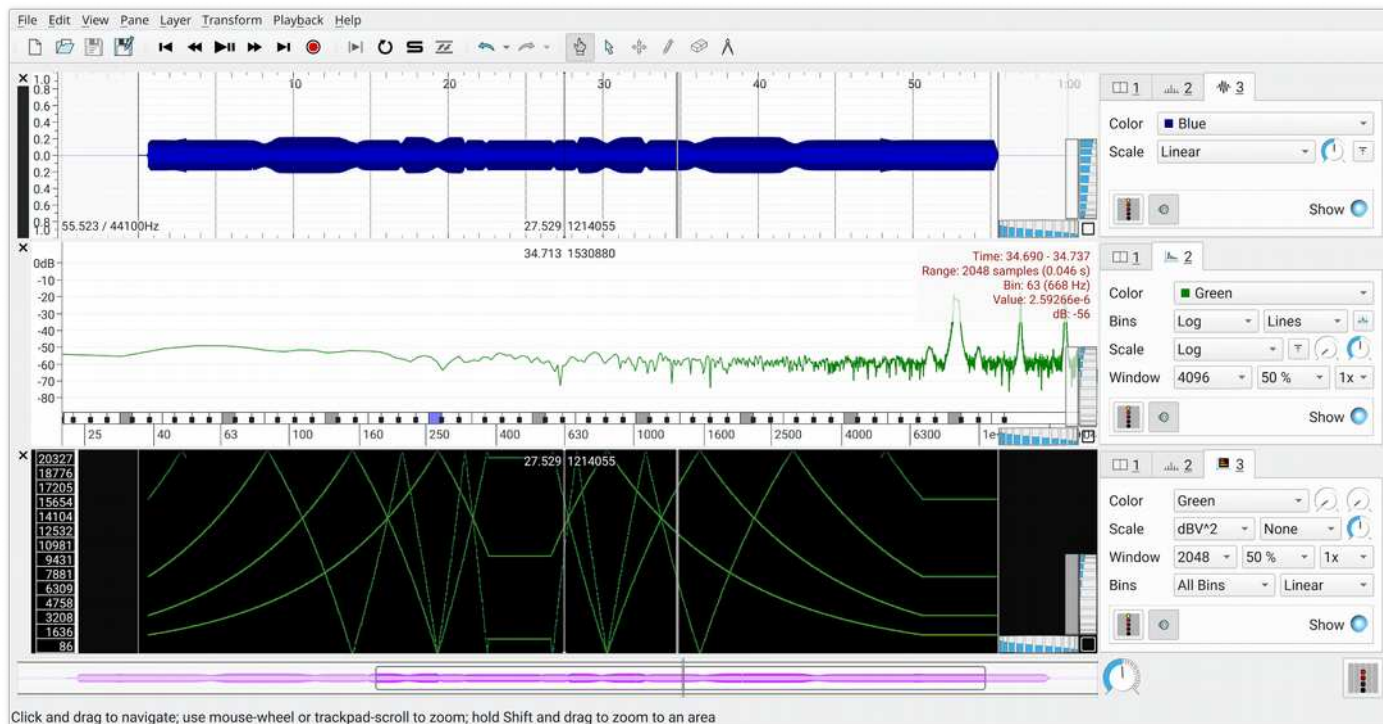


## Zadanie 1. Próbkowanie

### Plik [Oscillator\\_2\\_4\\_8\\_16kHz\\_PitchUp\\_and\\_PitchDown\\_Fs44100Hz.wav](#)

W powyższym pliku można zauważyć efekt aliasingu zaczynając od momentu, kiedy częstotliwość pierwszego sygnału przekracza połowę częstotliwości próbkowania 44,1KHz. Efekt ten zaczyna być wyraźnie słyszalny, gdy kilka sygnałów przekraczają połowę częstotliwości próbkowania, i zaczynają się nakładać na siebie nieprawidłowo. Od momentu ~11s pojawia się wyraźny spadek częstotliwości w jednej ze składowych sygnału, która później przekształca się na zakłócenia w sygnale i jego nierównomierny ton.



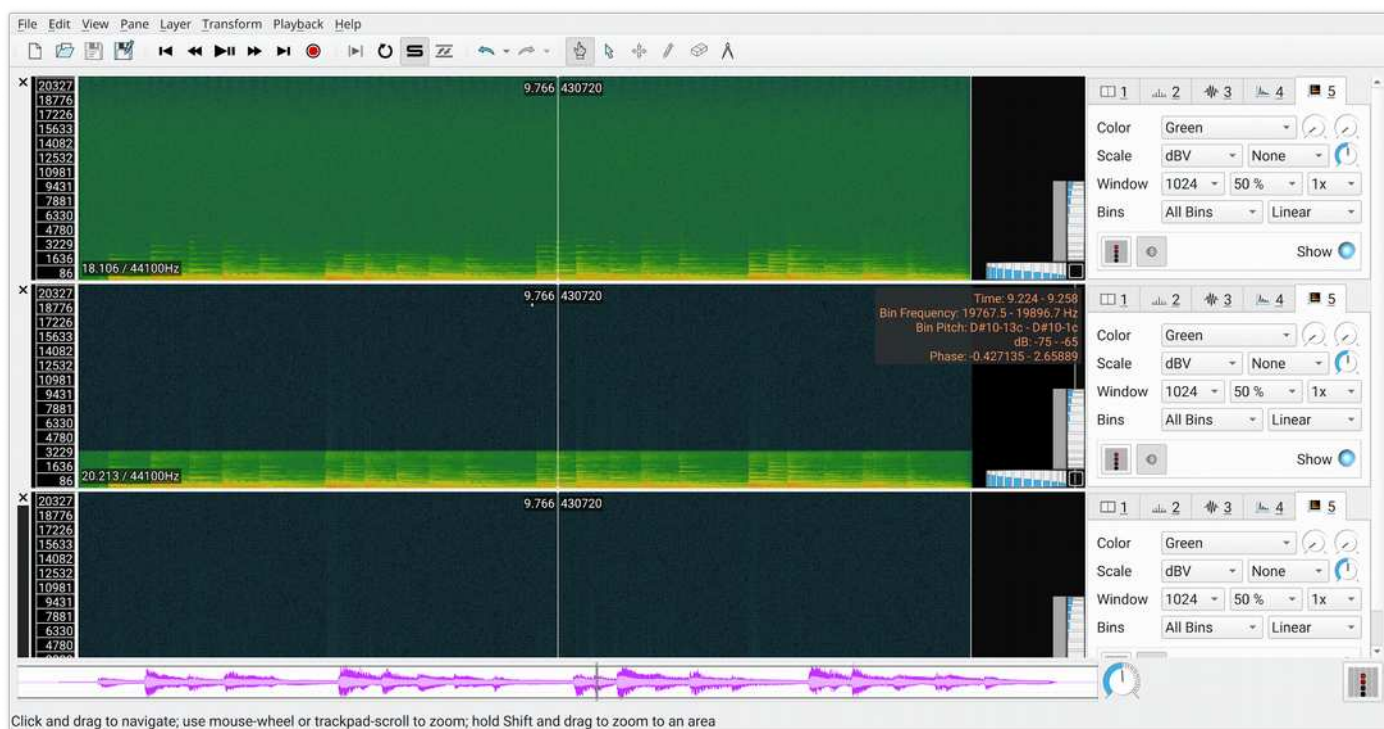
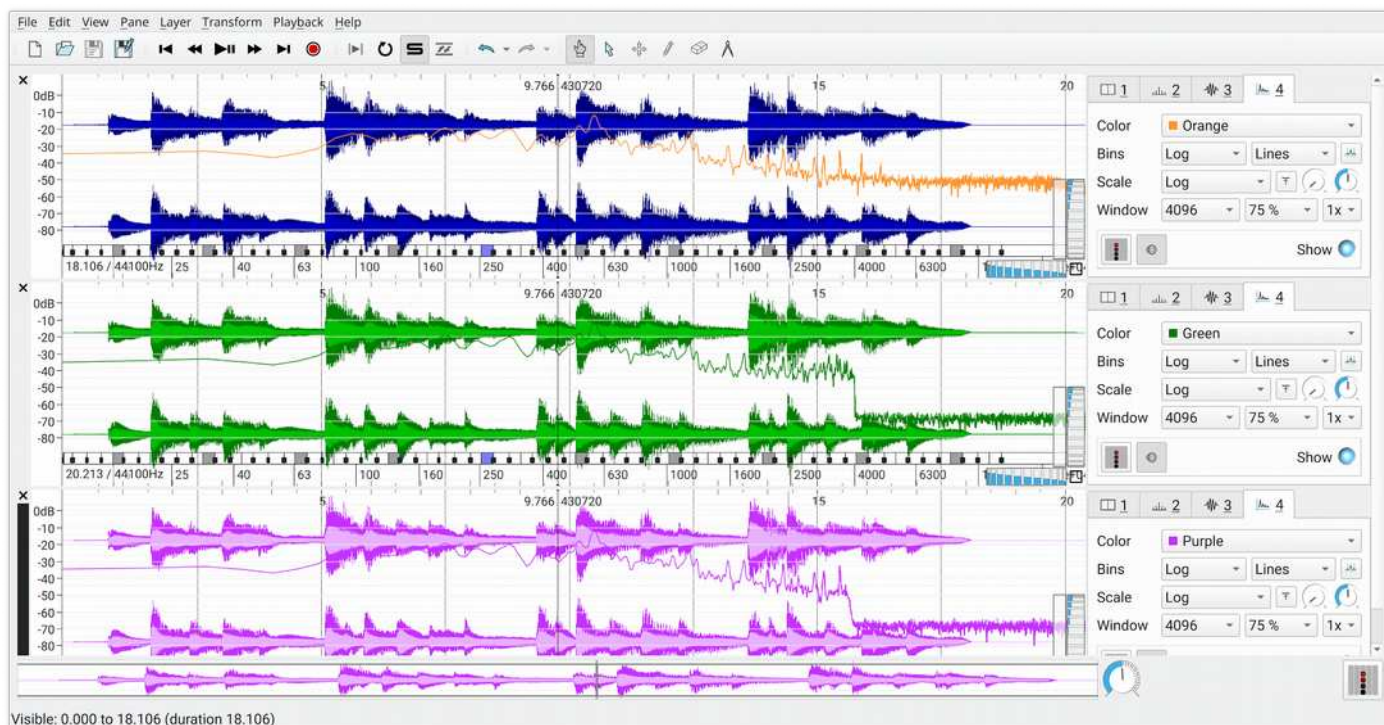
### Plik [Original\\_piano\\_sampled\\_at8kHz\\_sample1.wav](#)

Melodia w tym pliku posiada szumy, a jego spektrum wskazuje, że zostały odcięte wszystkie częstotliwości powyżej 4KHz, czyli powyżej połowy częstotliwości próbkowania sygnału. Z tego można zrobić wniosek, że ten plik zawiera melodię, która została spróbkowana z użyciem filtra antialiasingowego.

### Plik [Original\\_piano\\_sampled\\_at8kHz\\_sample2.wav](#)

Melodia w tym pliku nie ma szumów, jak w poprzednim, ale ma również odcięte częstotliwości powyżej 4KHz. Z tego można zrobić wniosek, że ten plik zawiera melodię, która po próbkowaniu z filtrem antialiasingowym została poddana filtracji antilustrzanej, która stłumiła słyszalne zniekształcenia sygnału.

Poniżej są pokazane spektra i spektrogramy wszystkich trzech plików muzycznych:

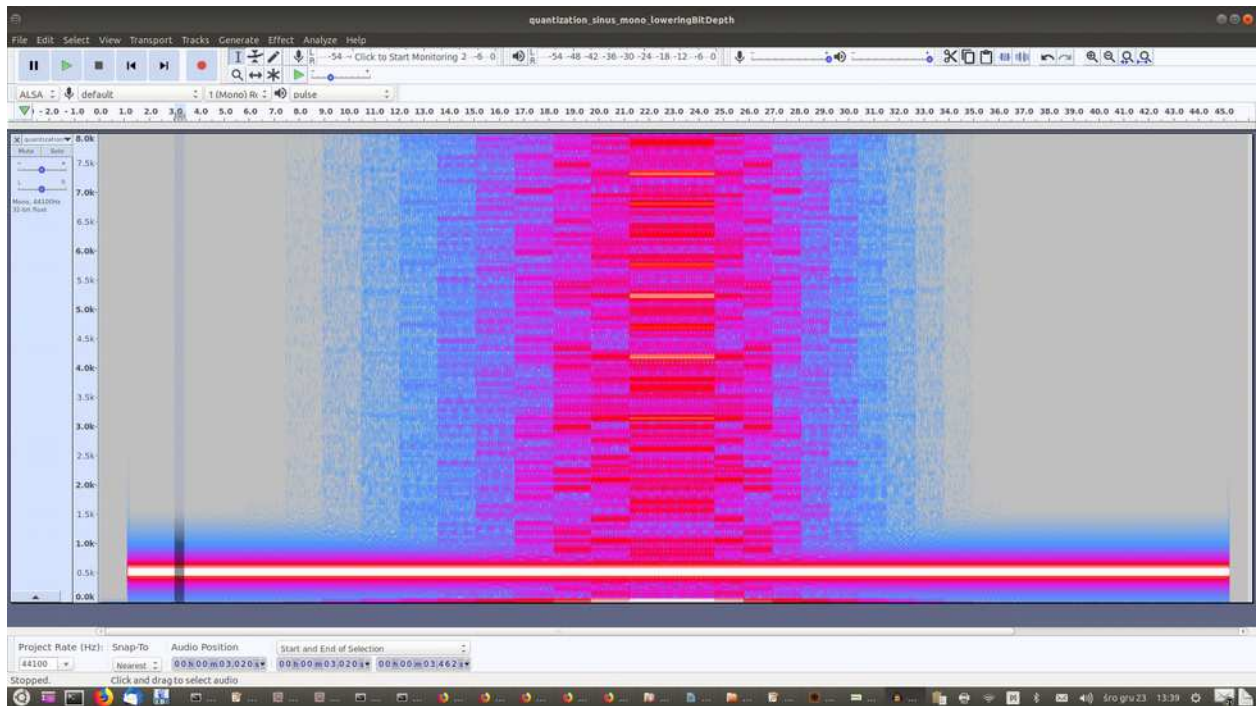
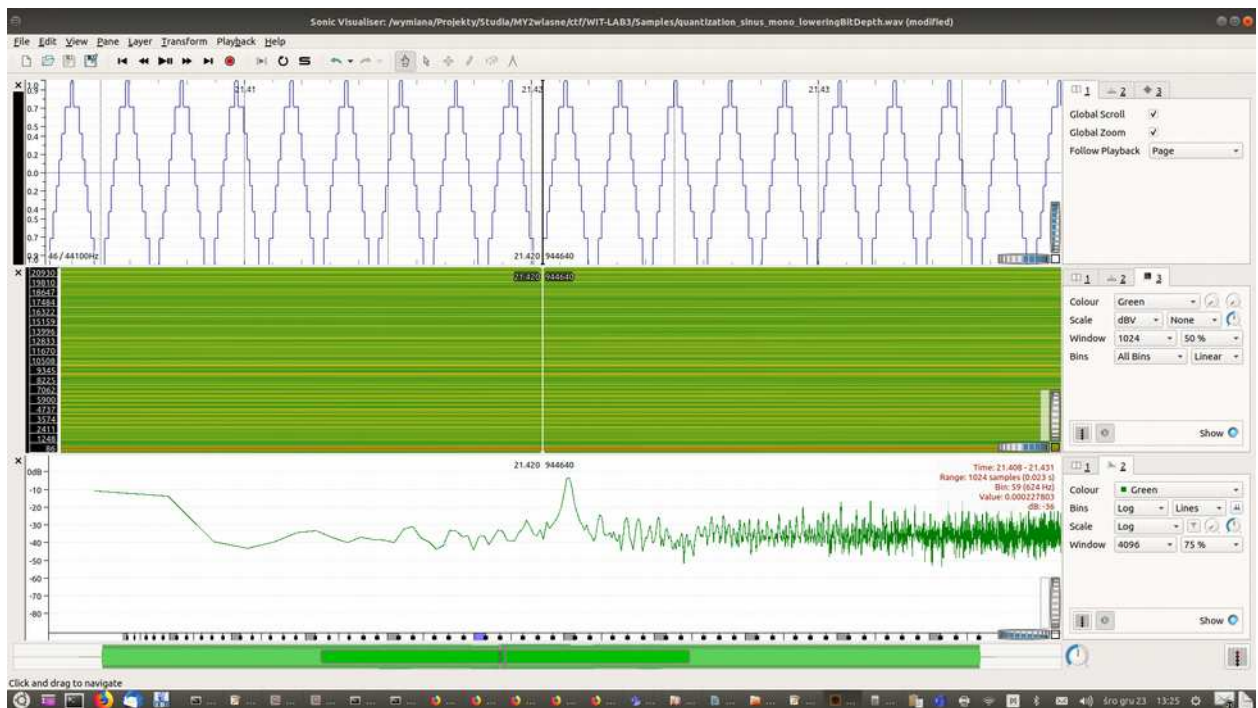


## Zadanie 2. Kwantyzacja

### Plik quantization\_sinus\_mono\_loweringBitDepth.wav

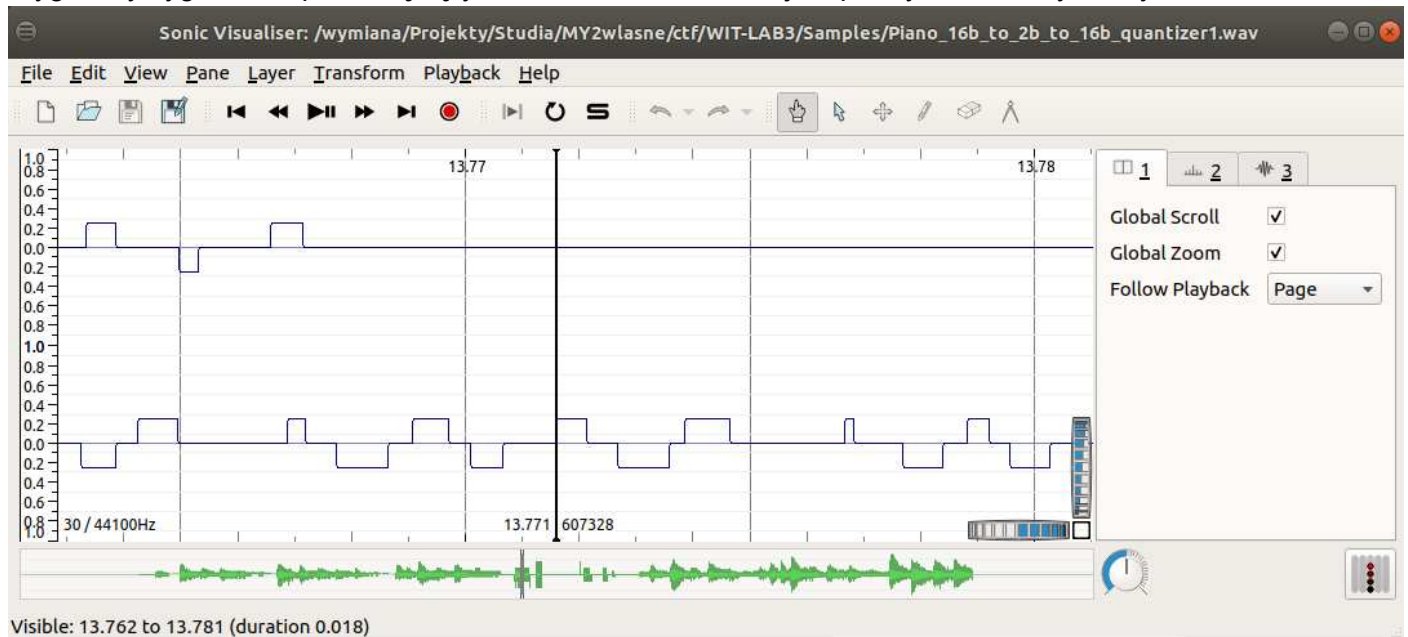
Na podstawie wykresu amplitudy można stwierdzić, że kwantyzacja 3-bitowa występuje ok. 21 do ok. 24 sekundy. Przy takiej rozdzielczości kwantyzatora możliwe jest cyfrowe zakodowanie 8 poziomów amplitudy ( $2^3 = 8$ ), co na wykresie widać w postaci ośmiu “schodków”. Przy odsłuchu wyraźny jest charakterystyczny metaliczny szelest, co świadczy o obecności wysokich częstotliwości w sygnale. Dobrze widać to na spektrogramie w programie Audacity (Sonic Visualizer jakoś nie chciał się tak ładnie dać ustawić). Także w wycinkach widma pobranych z powyższego zakresu czasowego widać istotnie wyższe poziomy szumu w wysokich częstotliwościach niż np. na początku pliku gdzie rozdzielczość jest wyższa.





### Plik Piano\_16b\_to\_2b\_to\_16b\_quantizer1.wav

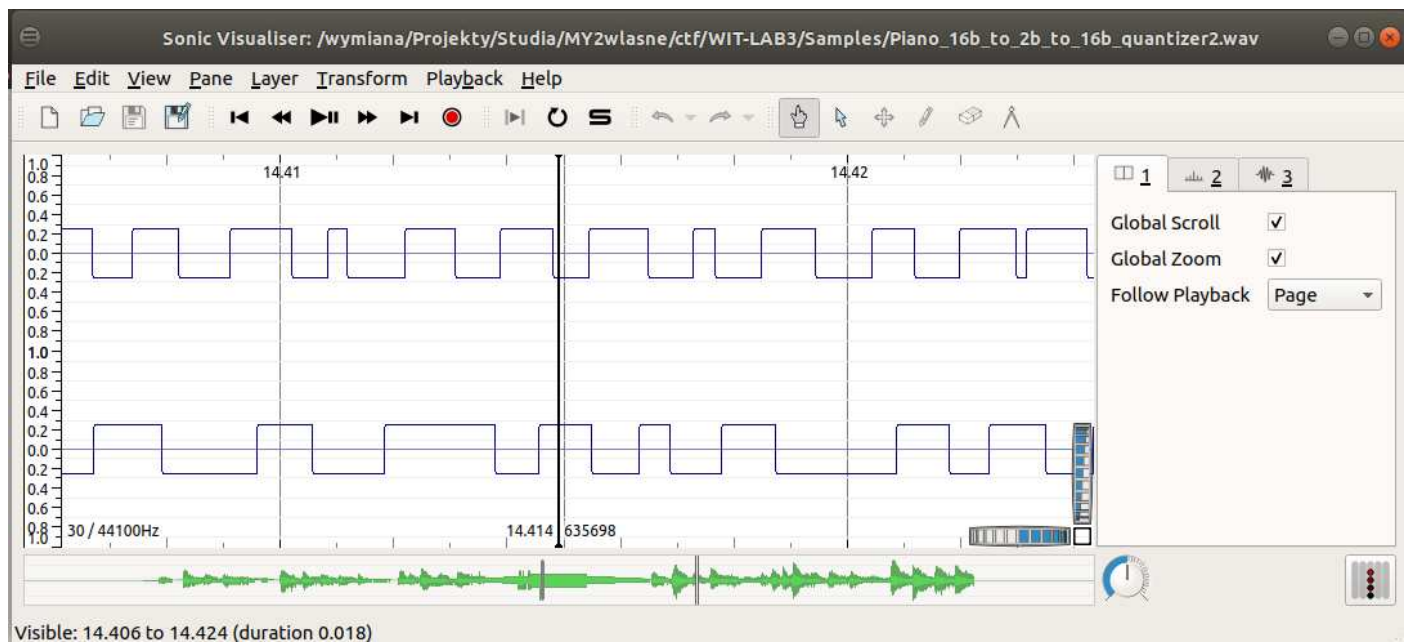
Dwubitowa rozdzielczość kwantyzatora widoczna jest w okolicach np. 16 sekundy nagrania. Charakterystyka dźwięku spróbkowanego z niską rozdzielczością jest podobna jak poprzednio (intensywne szумы na wysokich częstotliwościach), dodatkowo tutaj przy 2 bitach kwantyzator bez adaptacji powoduje, że oryginalny sygnał fortepianu będący złożeniem wielu tonów jest praktycznie niesłyszalny.



Z wykresu amplitudy można wnioskować, że wykorzystano kwantyzator typu mid-tread, ponieważ istnieje “schodek” (tj. poziom kwantyzacji) odpowiadający wartości 0.

### Plik Piano\_16b\_to\_2b\_to\_16b\_quantizer2.wav

W tym pliku zastosowano kwantyzator typu mid-rise, na co wskazują “schodki” wokół poziomu 0, lecz nie na nim:



## Zadanie 3. Dithering i kształtowanie szumu rekwantyzacji

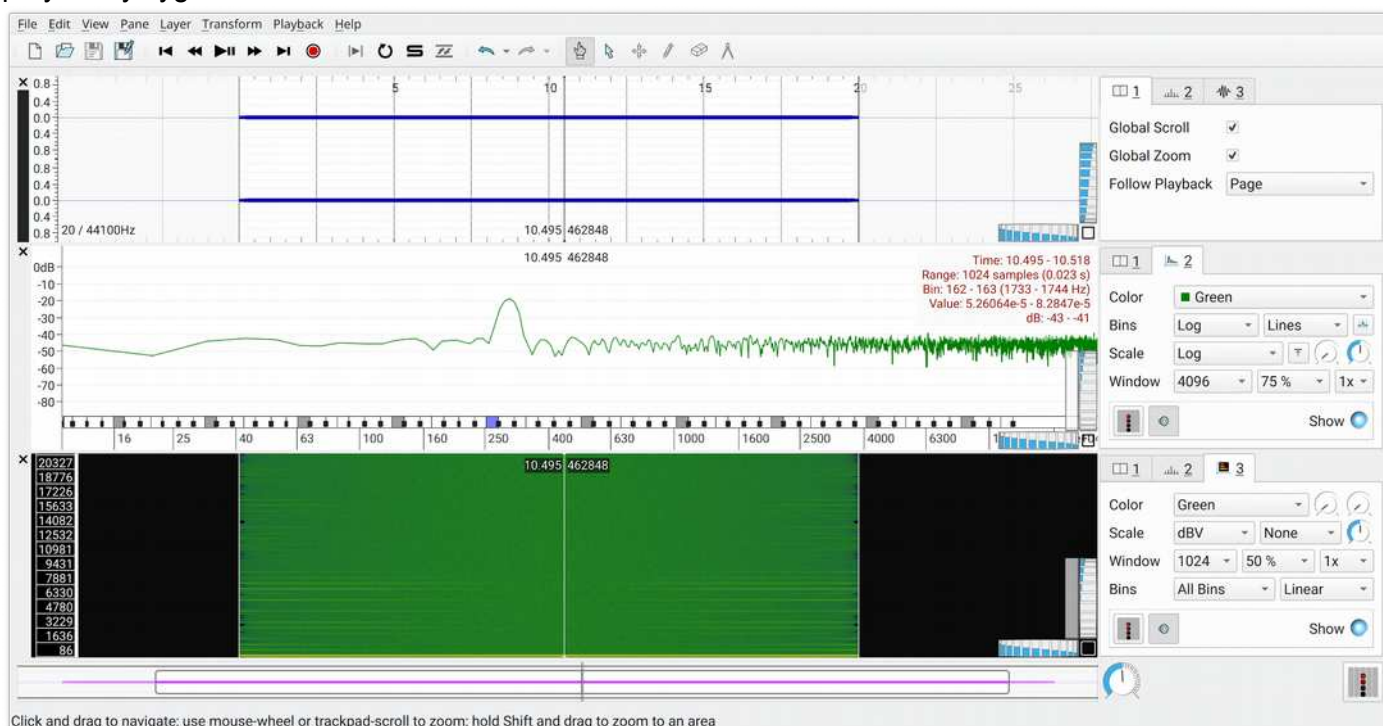
Plik [quantization\\_sinus\\_dth\\_noiseShaping\\_mono.wav](#)

Dalej dla pierwszego rodzaju dithera przy łagodnym kształtowaniu błędu kwantyzacji znów pojawia się biały szum, następnie szum zaczyna być mniej słyszalny, ponieważ jego spektrum zostaje skupiony bardziej na wysokich częstotliwościach powyżej 14KHz, następnie szum skupia się w częstotliwościach ~19KHz, przez co jest jeszcze mniej przeszkadzający. Ostatnia część nagrania pokazuje, że przy włączonym ditherze przy zwiększeniu mocy sygnału wejściowego, moc szumu się zmniejsza i szum zostaje mocno zredukowany przy maksymalnej mocy sygnału 500Hz.

Plik [sinus 8bit 9LSBp-p RPDF 0 to 1LSB to 0.wav](#)

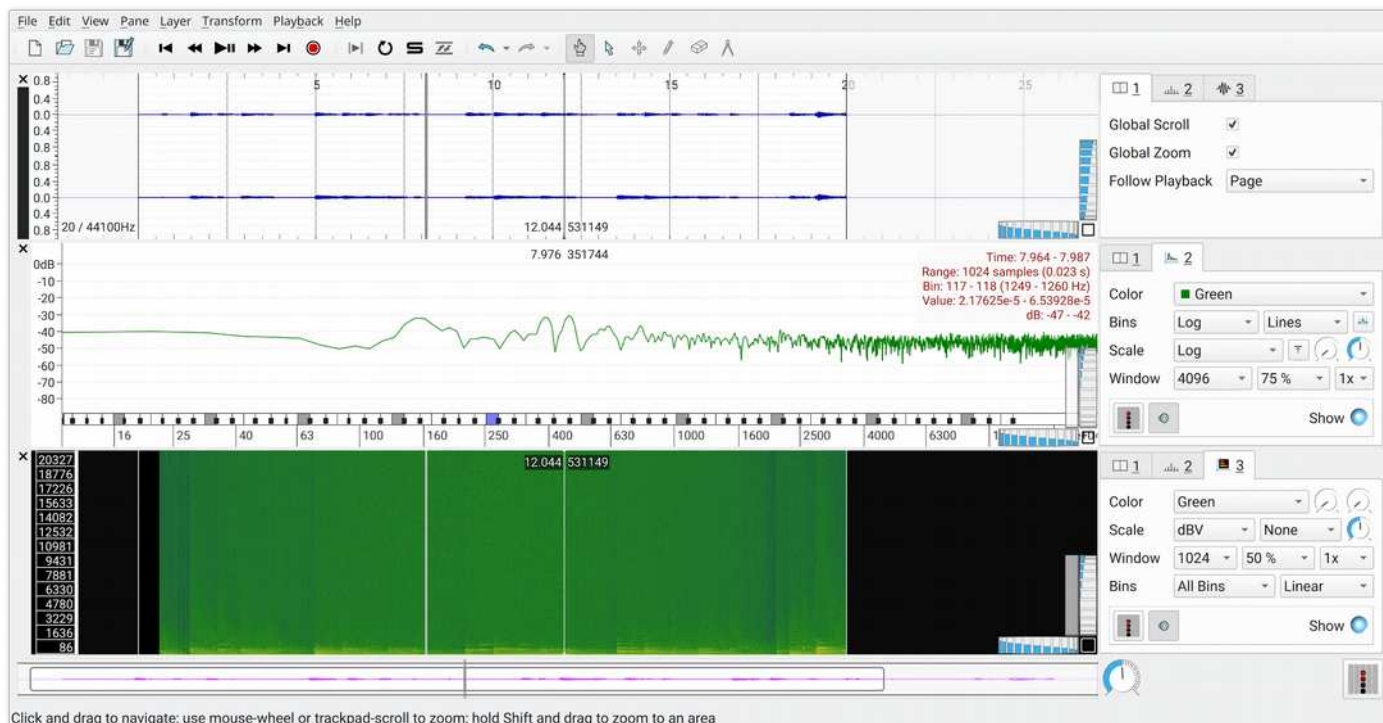


W tym pliku można zaobserwować ten sam efekt, co i wyżej: przy zwiększeniu mocy sygnału dithera składowe błędy kwantyzacji znikają. W podanym pliku zniekształcenia harmoniczne zostają wyeliminowane przy mocy sygnału dithera  $\sim -45\text{dB}$ .



Plik [piano\\_8bit\\_9LSBp-p\\_RPDF\\_0\\_to\\_1LSB\\_to\\_0.wav](#)

W tym pliku szum ditheringu przestaje korelować z sygnałem przy amplitudzie  $\sim 0.8$  LSB:



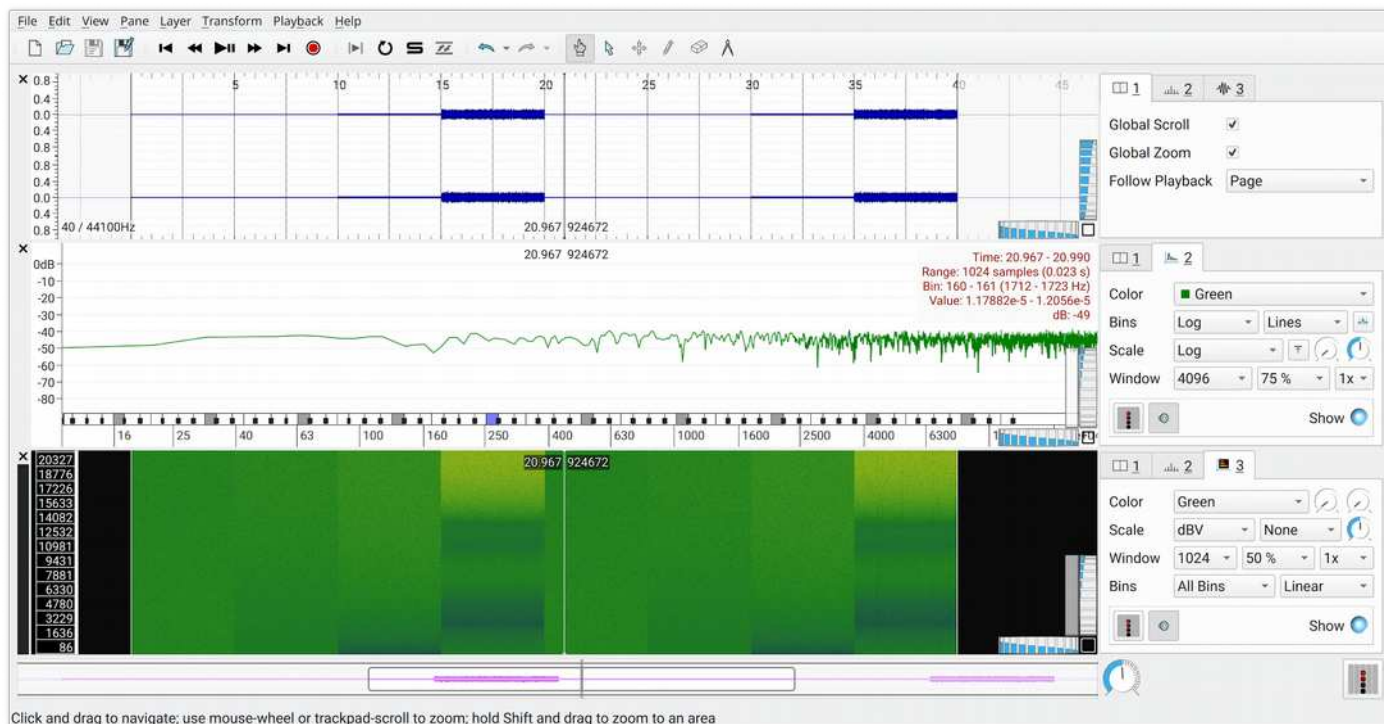
Dla mniejszej amplitudy słychać, jak szum zmienia się zgodnie z melodią.

Plik [piano\\_faded\\_8bit\\_TPDF1LSB\\_rampDCoffset\\_changing.wav](#) został usunięty z github (error 404).

Plik [noise\\_shaping\\_floor.wav](#)

Najmniej przeszkadzający szum jest w ditherze Nr.4, który jest kształtowany funkcją 9-tego rzędu ważoną charakterystykami odwrotnymi do krzywych izofonicznych, ponieważ jego szumy są skupione na wysokich

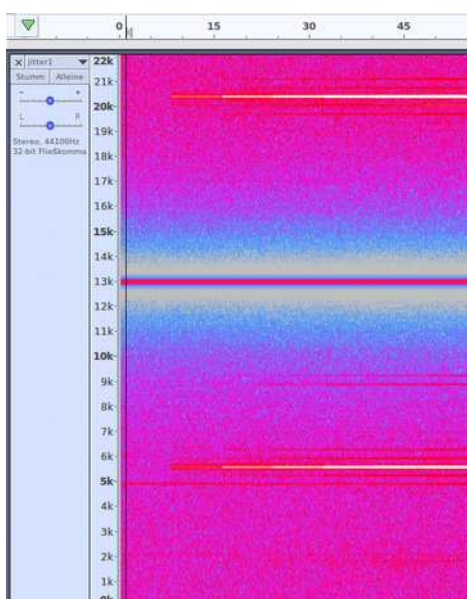
częstotliwościach. Pierwszy dither ma szumy, równomiernie rozłożone w spectrze, drugi jest bardzo podobny do pierwszego, trzeci ma wzrost wzmocnienia szumu wraz ze wzrostem częstotliwości.



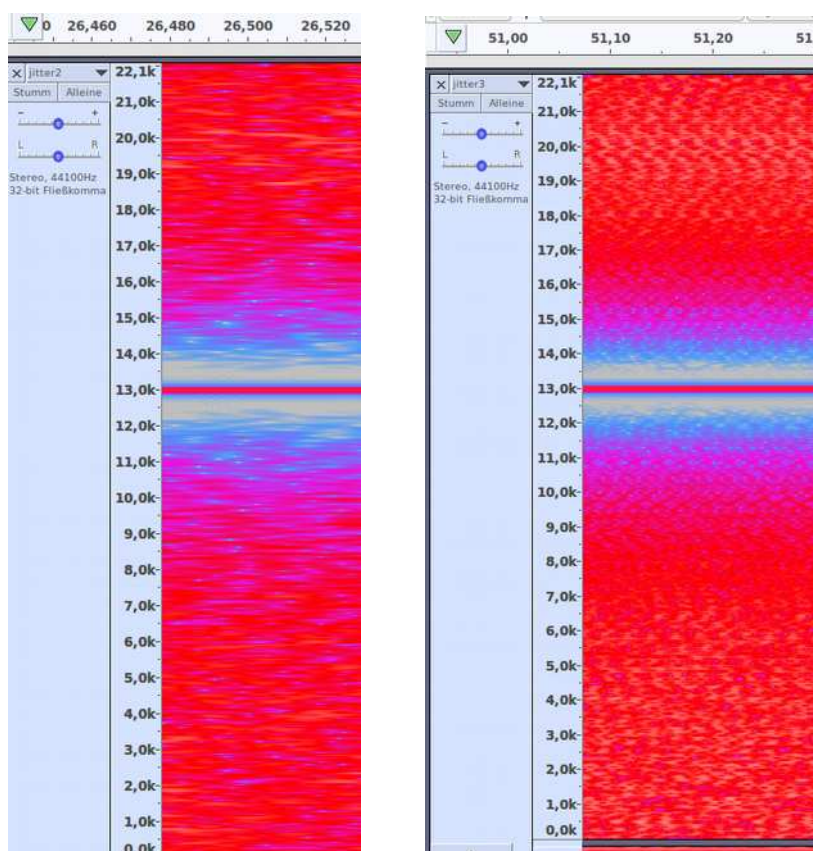
## Zadanie 4. Jitter.

(spektrogramy znów z Audacity, bo wyglądają na czytelniejsze)

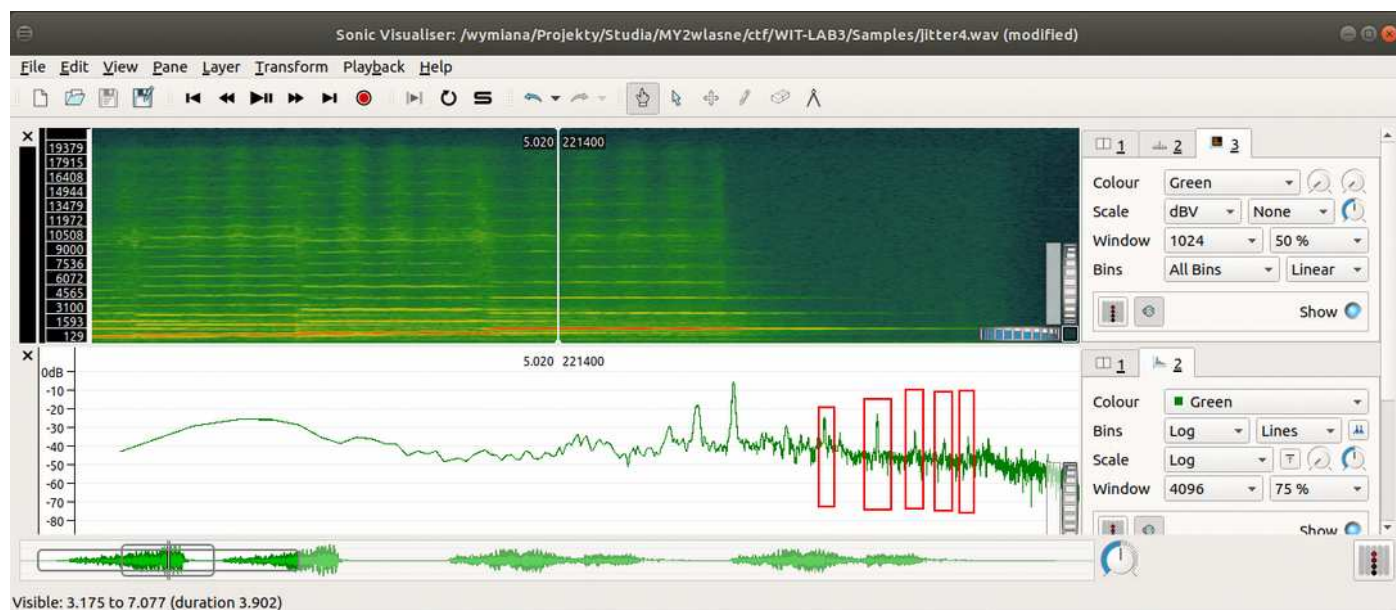
Plik jitter1.wav został przygotowany przy obecności jittera o charakterze okresowym, o czym świadczą wyraźnie zaznaczone harmoniczne sygnału bazowego w obrazie spektrogramu. Harmoniczne te są dobrze słyszalne (oczywiście te poniżej ~10 kHz), natomiast po zastosowaniu filtrów dolno i górnoprzepustowych tak, by “wyciąć” wszystkie częstotliwości pod i nad ~13 kHz sygnał jest praktycznie niesłyszalny (choć mój popsuty słuch ma problem z zarejestrowaniem nawet czystego sinusa 13 kHz).



W pliku jitter2.wav zwiększające się poziomy szumu świadczą o tym, że jitter ma charakter losowy. Ze spektrogramu w zasadzie nie da się powiedzieć czy mieliśmy do czynienia z tonem czy też sygnał składa się w całości z przypadkowego szumu - dopiero odsłuchanie dłuższego fragmentu sugeruje jakąś okresowość. Trochę więcej "widać" w widmie pliku jitter3.wav - szum jest wciąż bardzo istotny, jednak regularności w wysokich częstotliwościach obserwowane na spektrogramie dowodzą okresowego charakteru jittera.

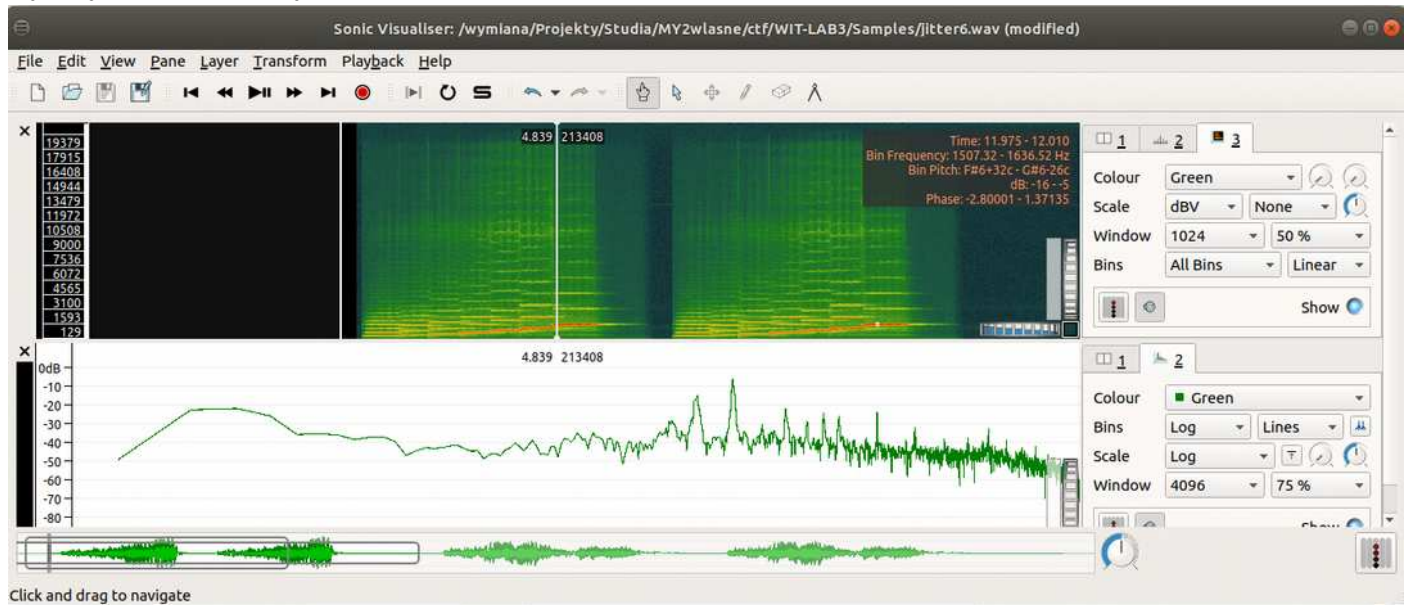


Pliki jitter4.wav, jitter5.wav oraz jitter6.wav zawierają nagranie dźwięku fletu. W pliku jitter4.wav na wykresie spektrum widoczne są regularne "wierzchołki" w wysokich częstotliwościach odzwierciedlające kolejne składowe tonu podstawowego. Ich obecność można traktować jako wskazówkę, że przy próbkowaniu zachowane zostały nawet bardziej subtelne szczegóły.





Dodanie jittera “podbija” szum na wysokich częstotliwościach, co czasami powoduje do zatarcia się wyższych harmonicznych:



Wreszcie, w plikach sync1.wav (sin 19 kHz) oraz sync2.wav (sin 13 kHz) obecne są artefakty jittera w postaci “kliknięć” spowodowanych prawdopodobnie utratą próbki podczas konwersji sygnału. Zakłócenia te są intensywniejsze w przypadku pierwszej sinusoidy, ponieważ wyższe częstotliwości sygnału powodują większe błędy jittera. Bardzo ładnie widać tę różnicę na poziomie pojedynczych próbek - zakłócenia w sygnale 13 kHz są stosunkowo nieliczne (choć wciąż słyszalne) w stosunku do zakłóceń w sygnale 19 kHz:

