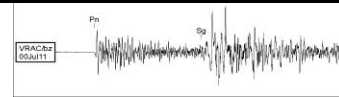


# Zpracování seismických dat

## část A: Seismický signál jako vlnová funkce

### IV. Digitalizace a filtrace

Josef Havíř  
havir@ipe.muni.cz

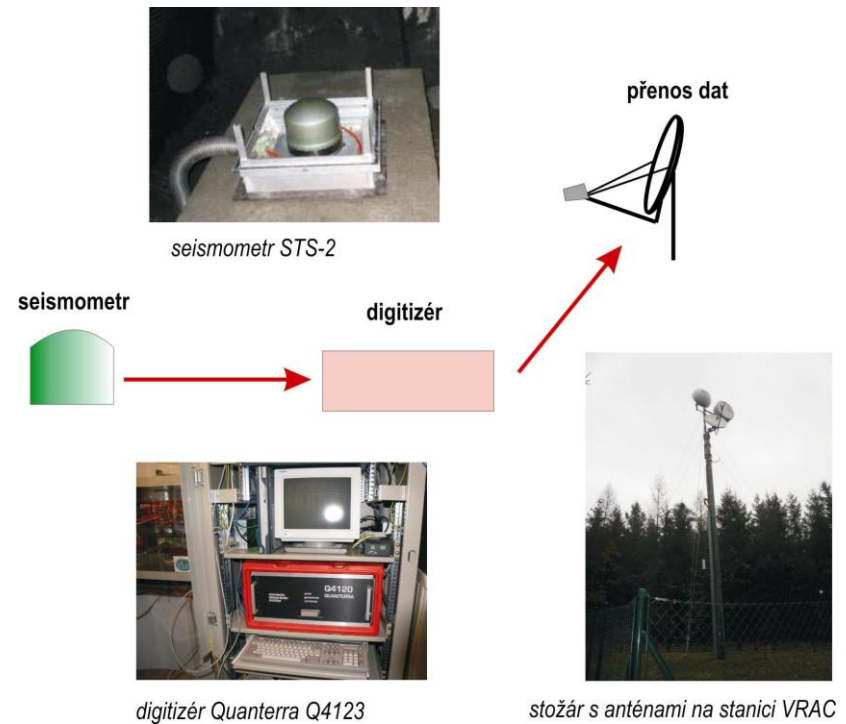
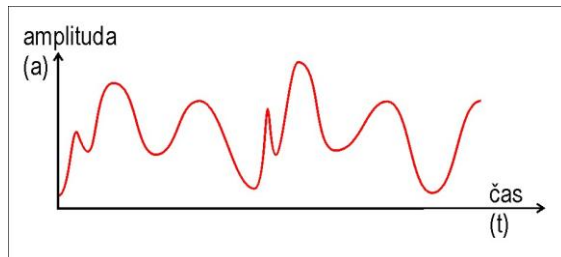


## a) Digitalizace signálu

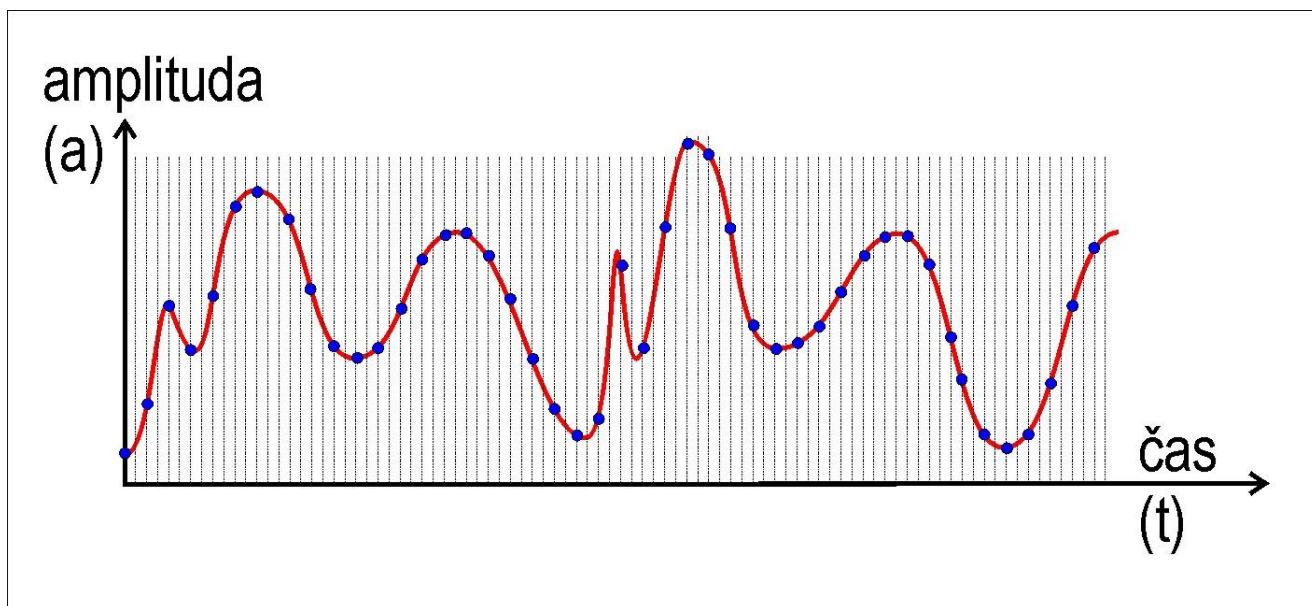
Seismometr registruje analogový signál, který je pro účely zpracování nutno digitalizovat.

Analogový signál je spojitý a úplně popisuje měřené pohyby půdy.

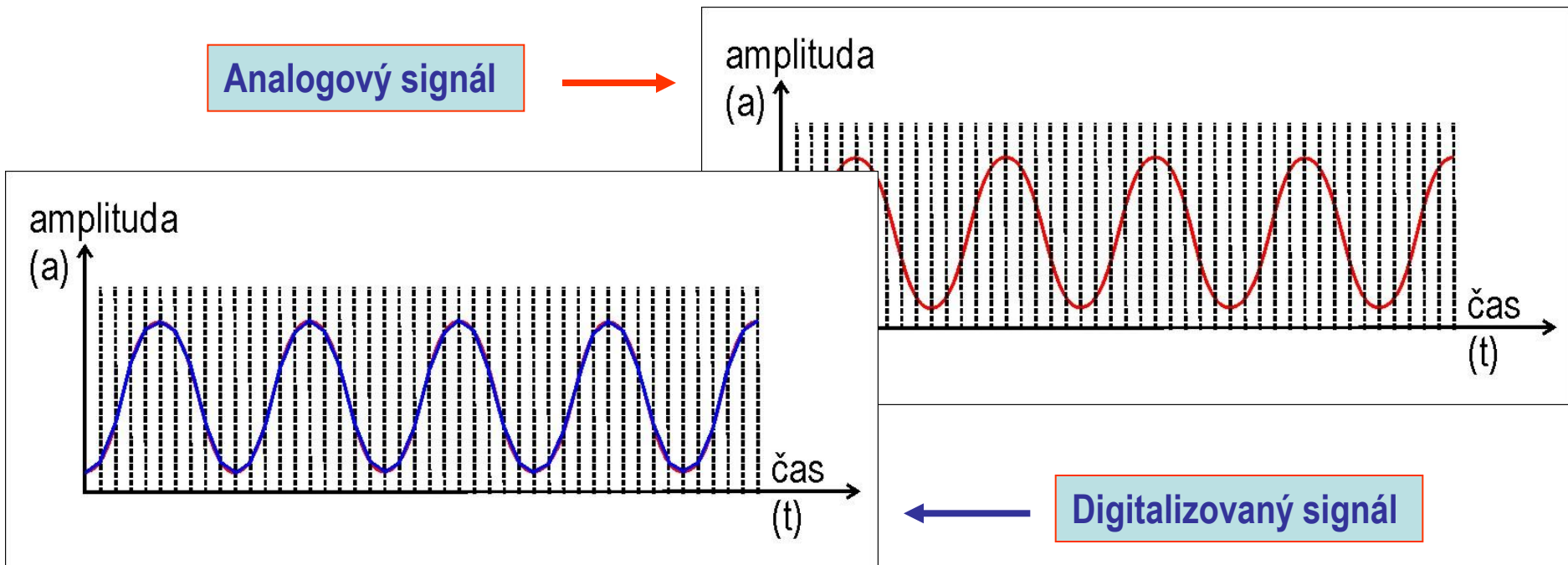
Lze jej přenášet rádiem, nelze jej ale ukládat na disky počítače a zpracovávat v programech vyžadujících digitální data.



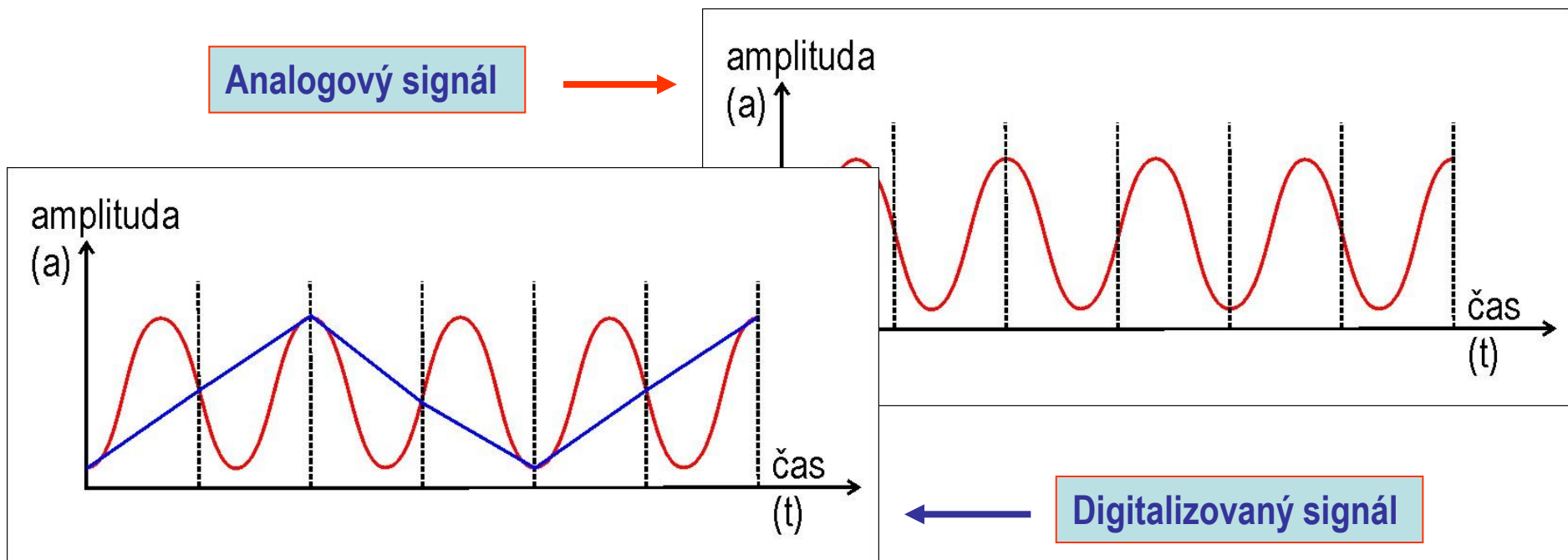
- Spojitý záznam je křivka, která má nekonečně mnoho bodů, do digitálního souboru lze ale zapsat jen konečný počet údajů
- Jsou-li zapisovanými údaji např. hodnota amplitudy v daném čase, lze tyto údaje zapsat pouze pro vybrané diskrétní body (tzv. **vzorek**).
- Digitální záznam je tím detailnější, čím hustěji volíme diskrétní body. Frekvence, s jakou volíme body (vzorky), nazýváme **vzorkovací frekvencí**.
- Digitalizovaný nespojitý záznam nese méně informací, než původní záznam spojitý. Ztráta informace je nevratná!



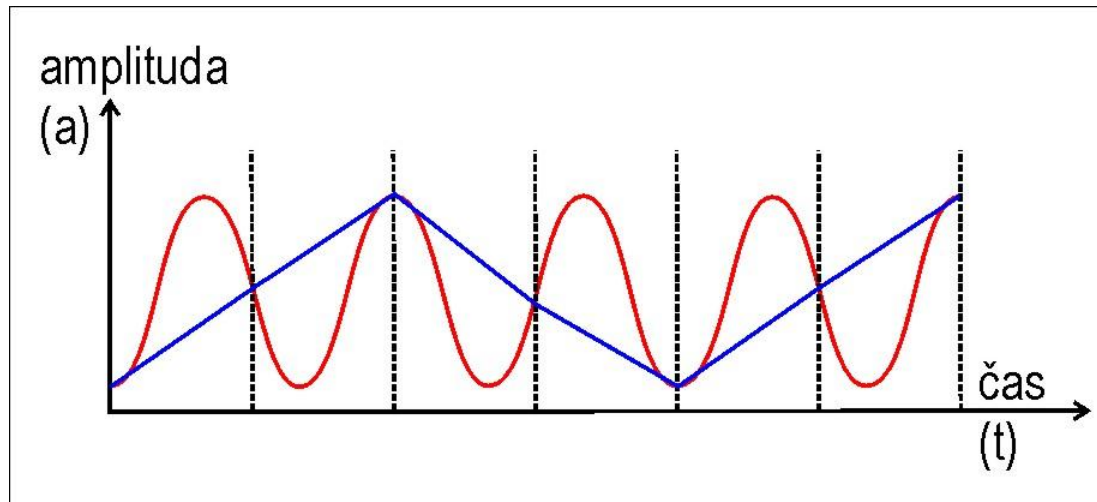
- Je-li vzorkovací frekvence mnohem větší, než frekvence zaznamenaného signálu, pak diskretní digitální záznam umožňuje zobrazit signál dostatečně věrně.
- Spojíme-li diskretní body lomenou čarou (modrá křivka), získáme tvar velmi podobný původnímu spojitému signálu.



- Je-li vzorkovací frekvence oproti zaznamenanému signálu příliš nízká, nelze z diskretních bodů věrně zrekonstruovat původní křivku.
- Spojíme-li diskretní body lomenou čarou (modrá křivka), získáme oproti původnímu signálu zcela odlišný tvar, se zcela jinou (podstatně vyšší) převládající frekvencí (tzv. **alias-efekt**).



- Protože proces digitalizace je nevratný, nelze potlačit vliv alias-efektu po digitalizaci.
- Uměle vzniklé frekvence (vlivem alias-efektu) nelze jednoduše a jednoznačně odlišit od přirozených nižších frekvencí, které byly součástí signálu již před digitalizací a které mají reálný původ.
- V roce 1924 zjistil H. Nyquist, že aby mohl být signál úspěšně digitalizován, musí být zvolená vzorkovací frekvence alespoň dvojnásobná oproti nejvyšší frekvenci obsažené v signálu (nejvyšší digitalizovatelná frekvence signálu = polovina vzorkovací frekvence = tzv. **Nyquistova frekvence**).



**Harry Nyquist**  
(1889-1976)

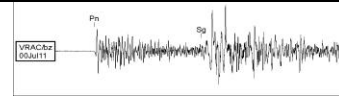
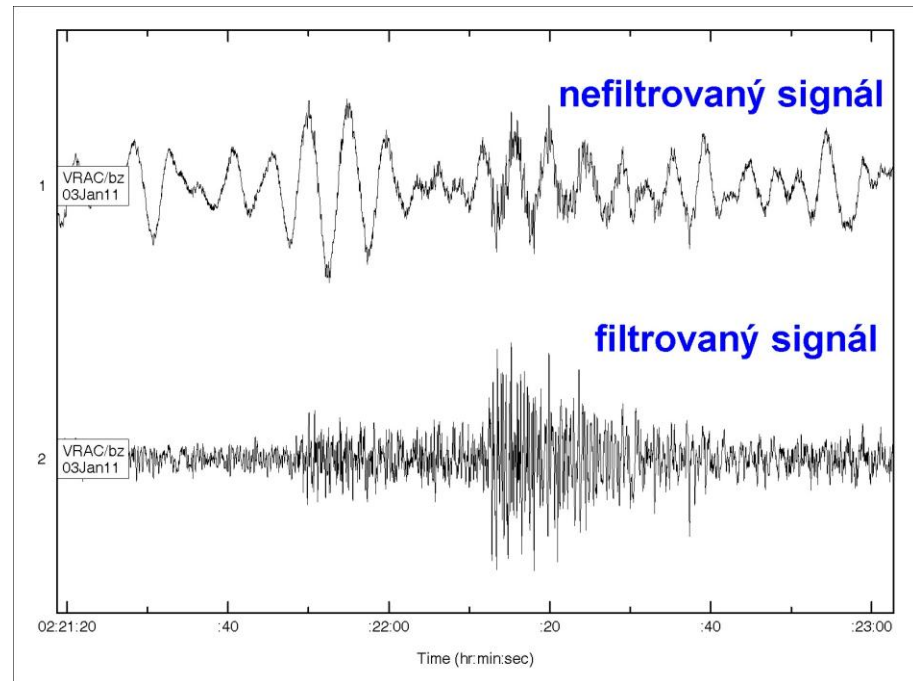
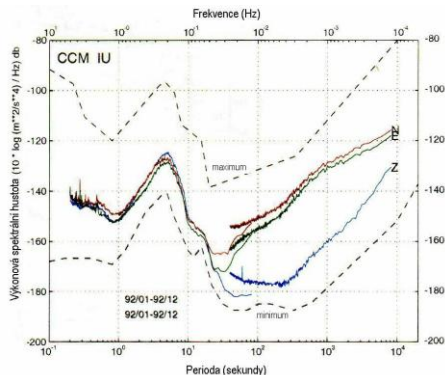
## b) Filtrace seismických dat

Záznam seismického signálu obsahuje složky, které jsou nežádoucí, např.:

- vysokofrekvenční složky způsobující alias-efekt při digitalizaci
- seismický šum zakrývající užitečný signál

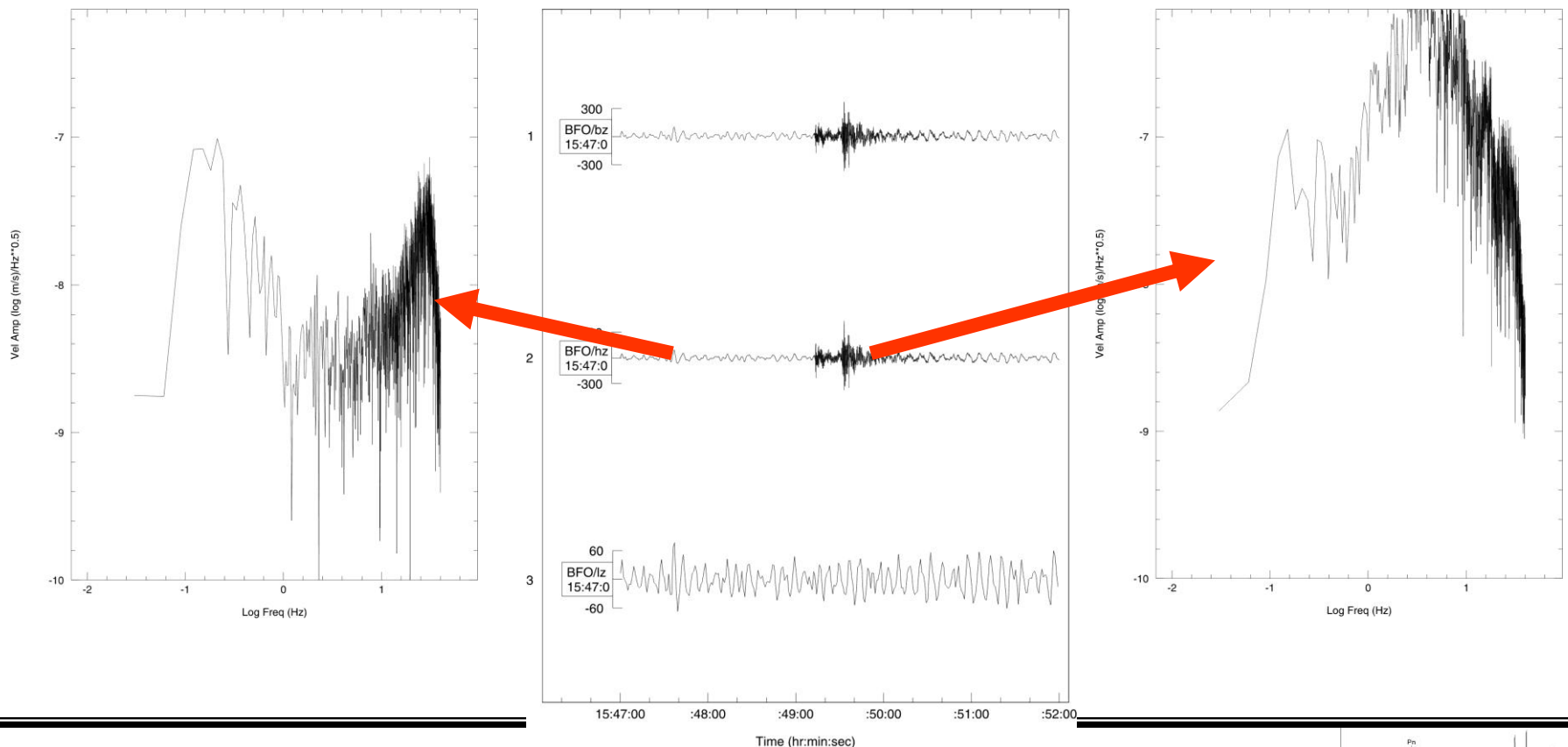
apod.

Tyto složky jsou frekvenčně závislé.



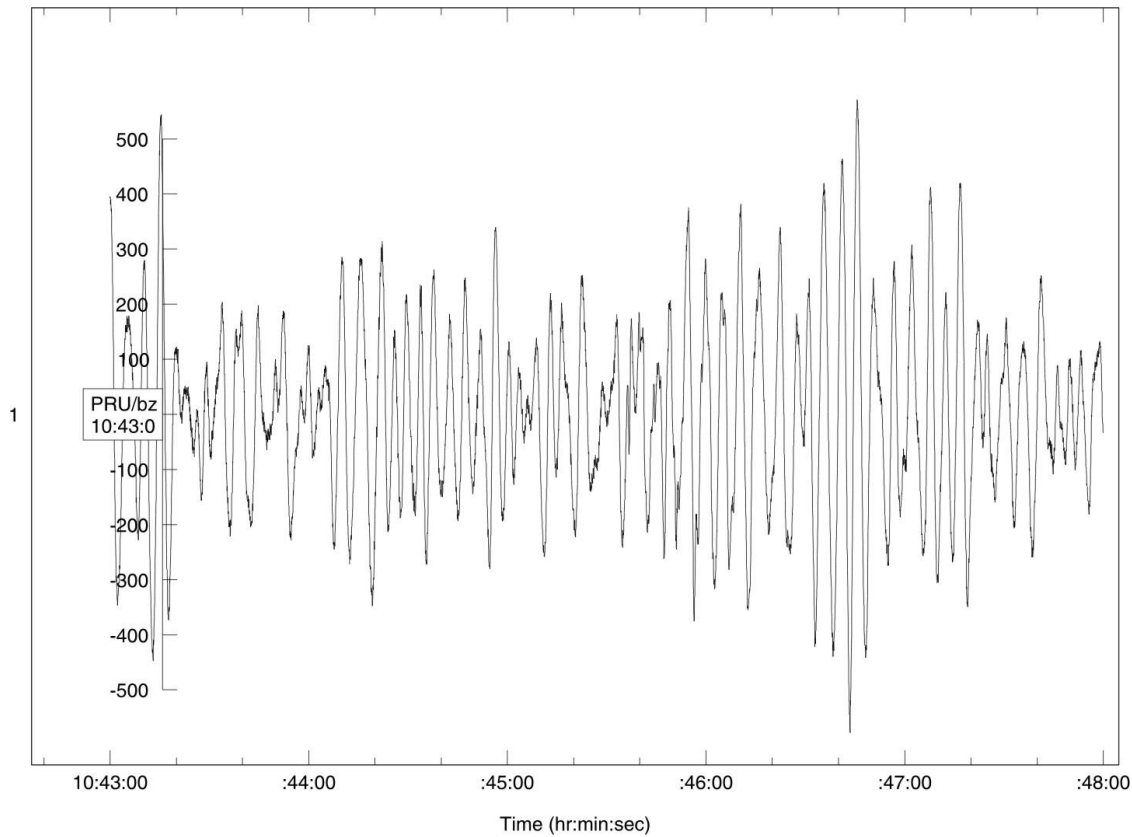
Užitečný signál tak může být současně v určitém rozmezí frekvencí amplitudově slabší ve srovnání s šumem, a v jiném rozmezí frekvencí amplitudově výraznější, než šum.

Kvalitu záznamu tak lze výrazně zvýšit odstraněním frekvencí, v nichž dominuje šum a zvýrazněním frekvencí, v nichž dominuje signál.

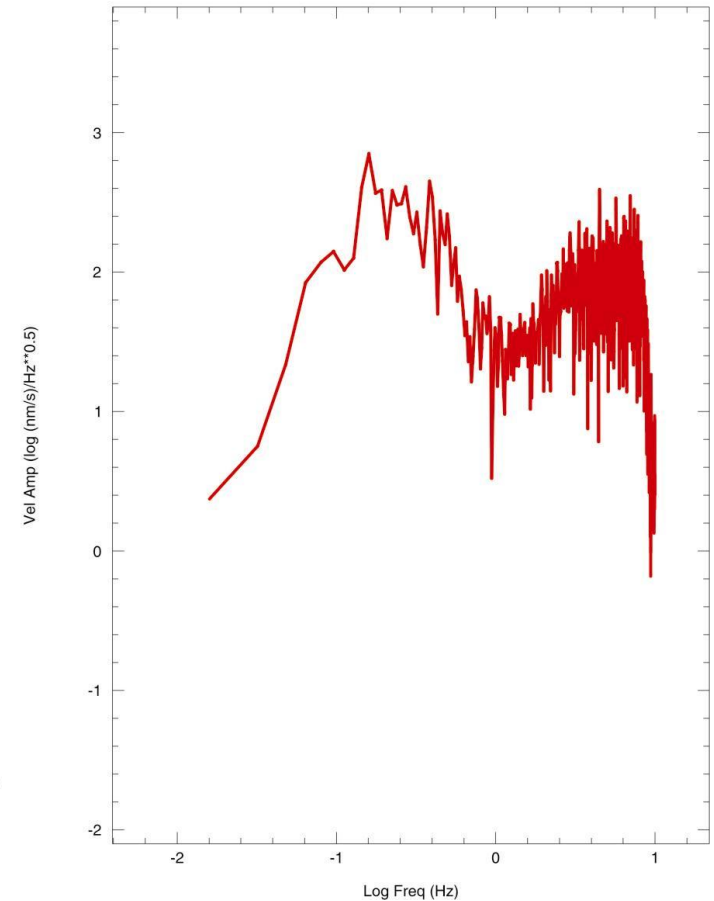
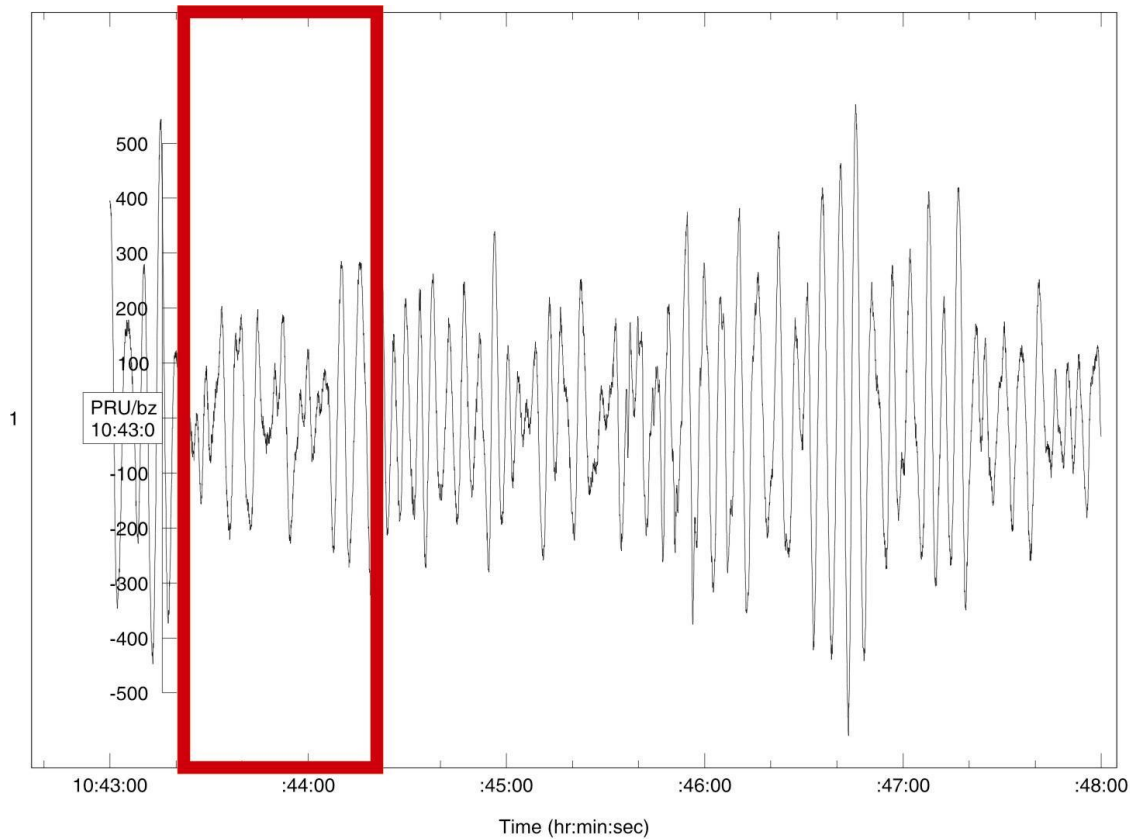




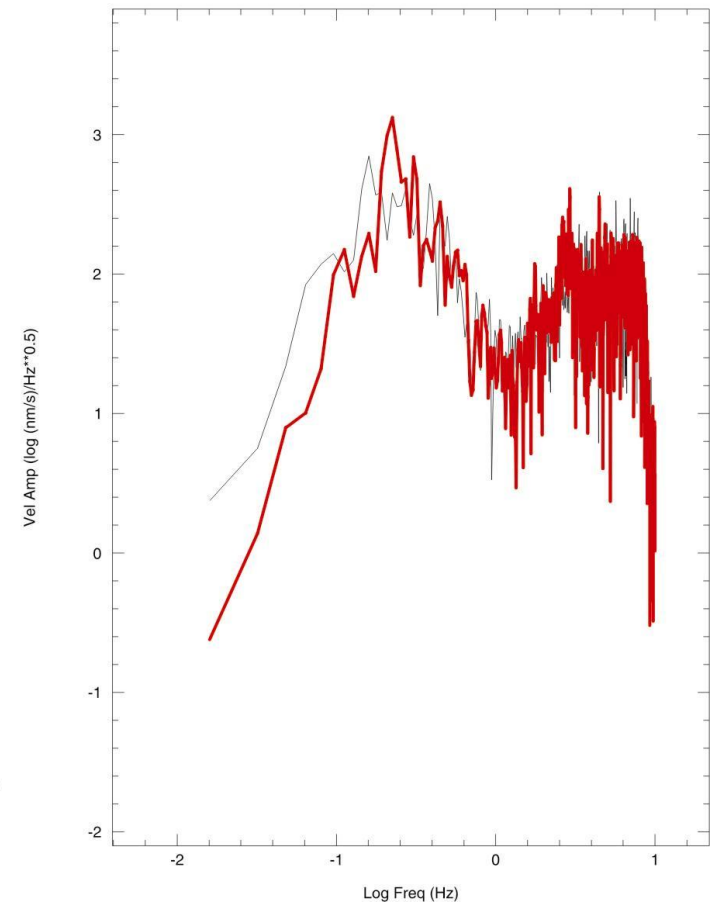
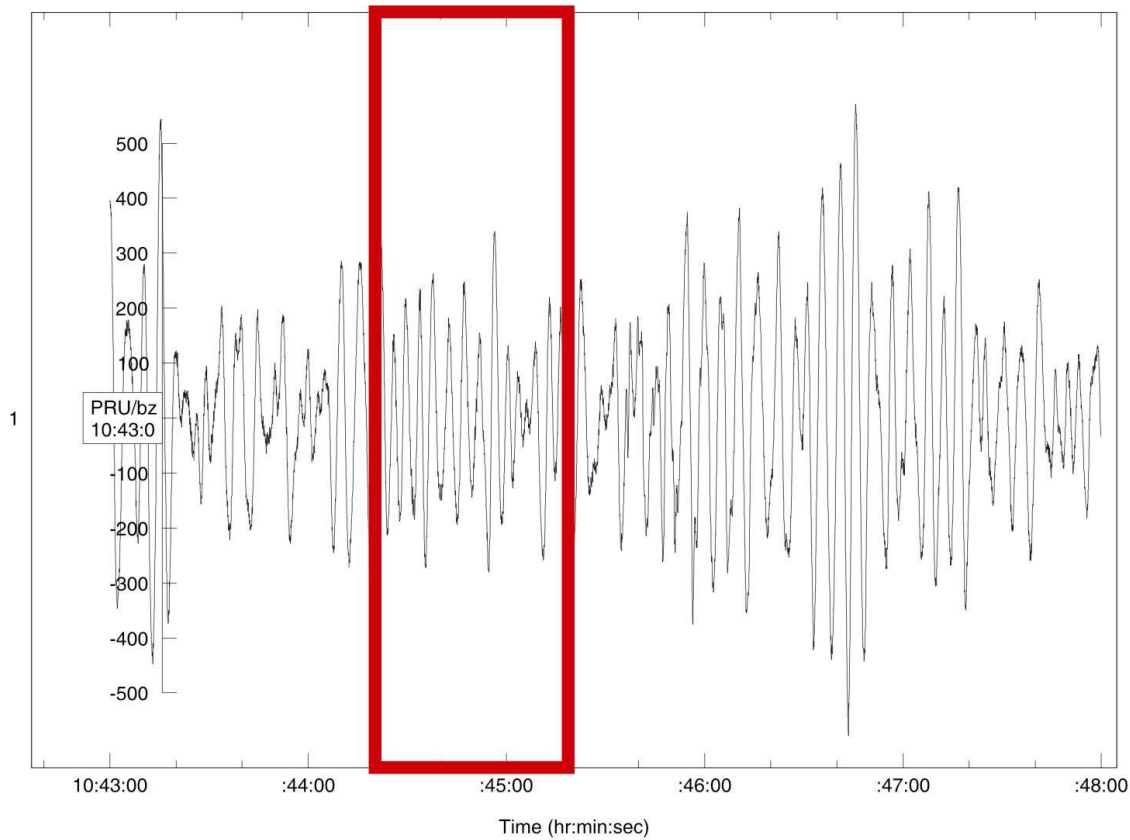
# Příklad 1: záznam vzdáleného (teleseismického) jevu.



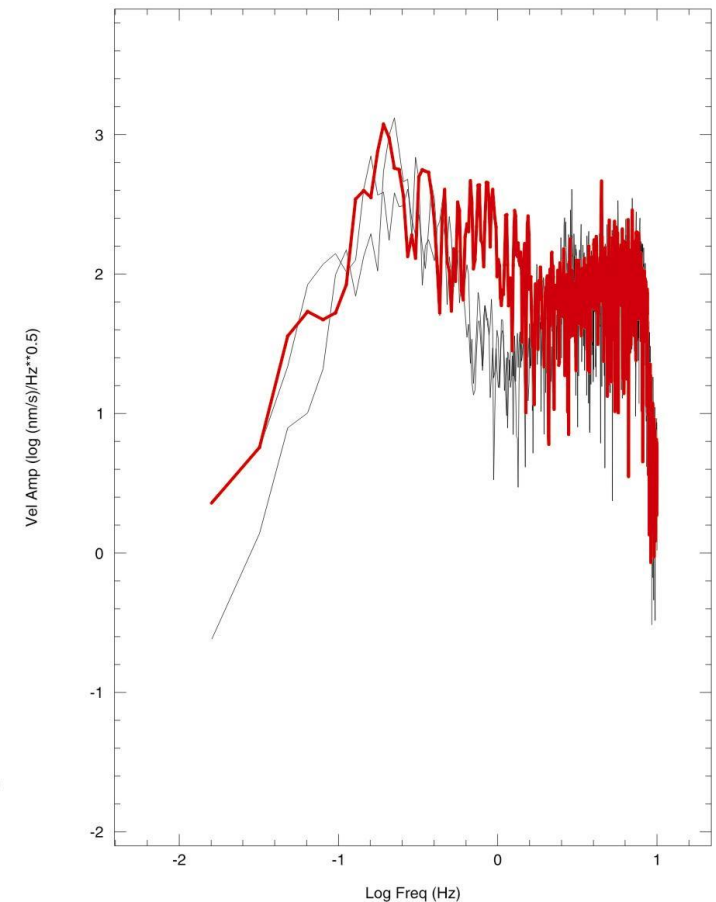
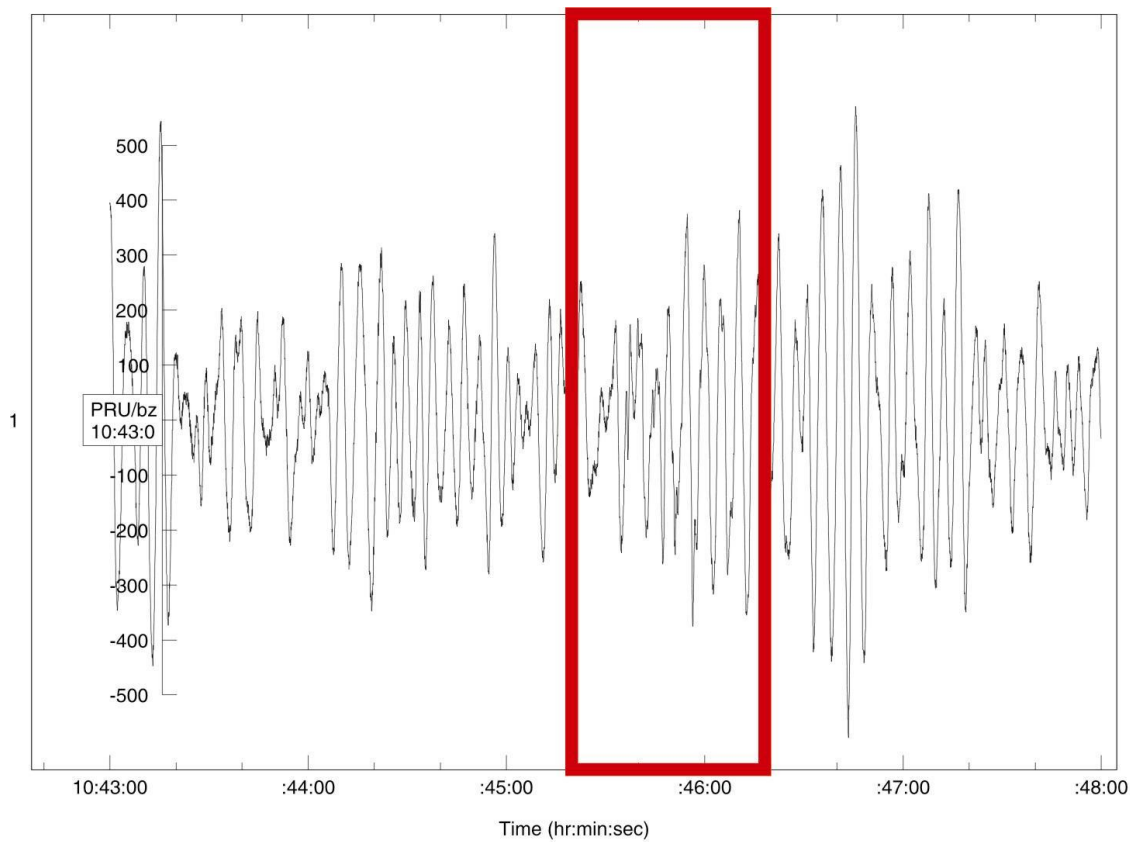
# Příklad 1: záznam vzdáleného (teleseismického) jevu.



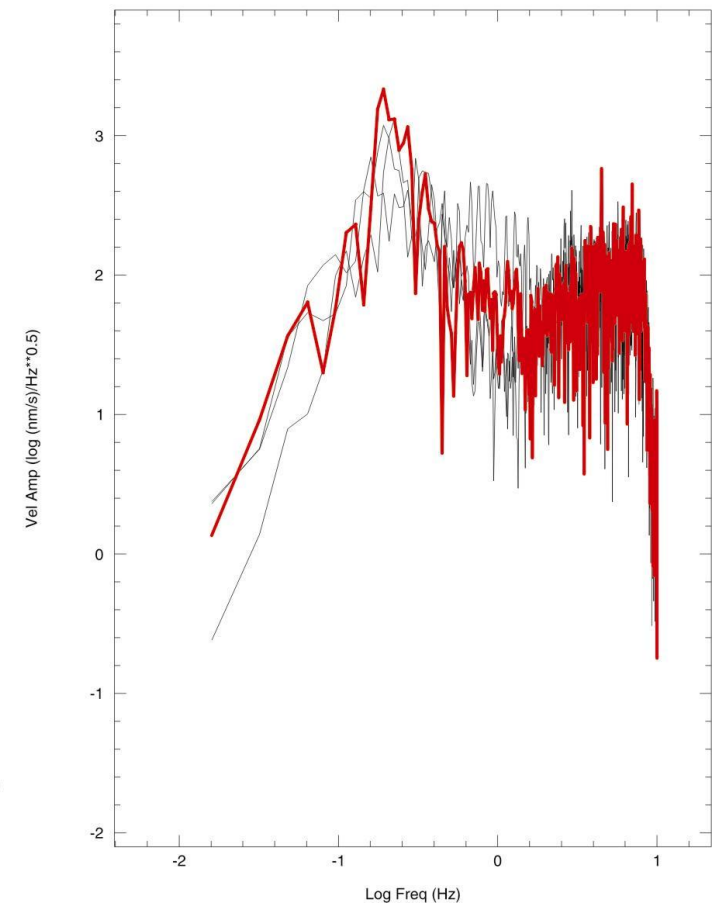
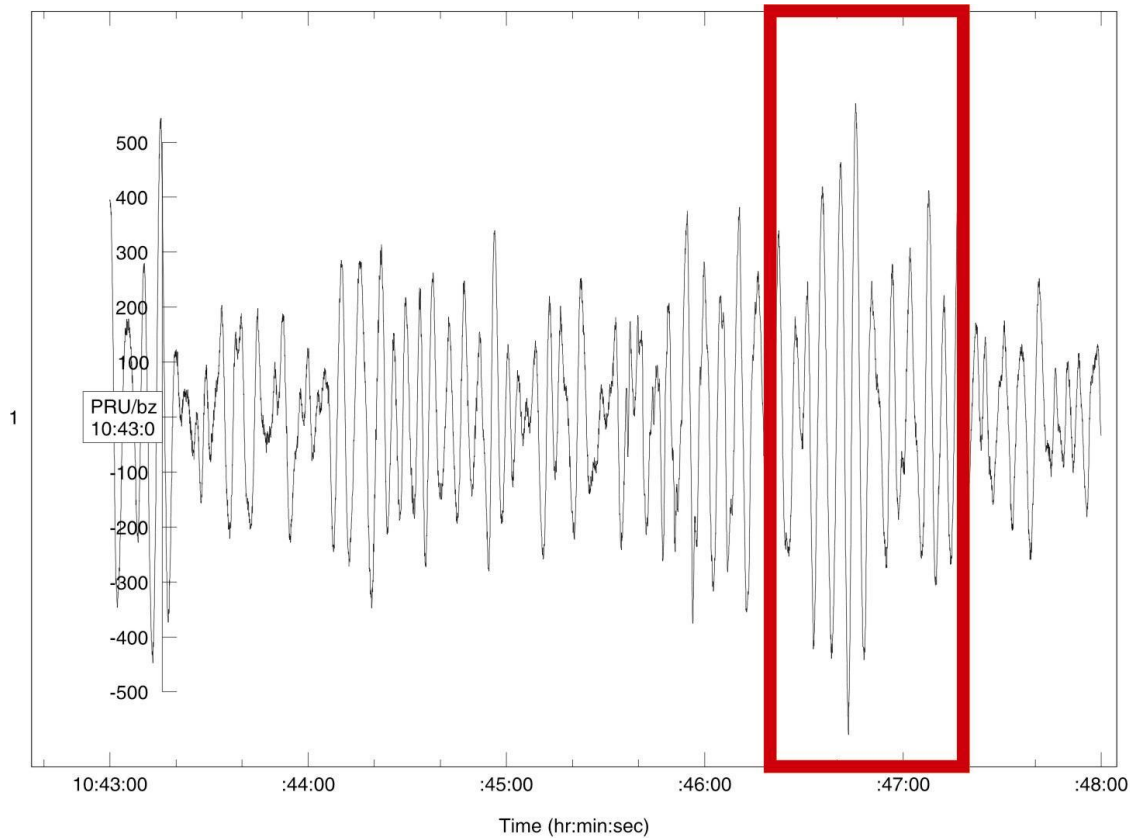
# Příklad 1: záznam vzdáleného (teleseismického) jevu.



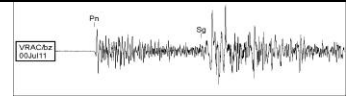
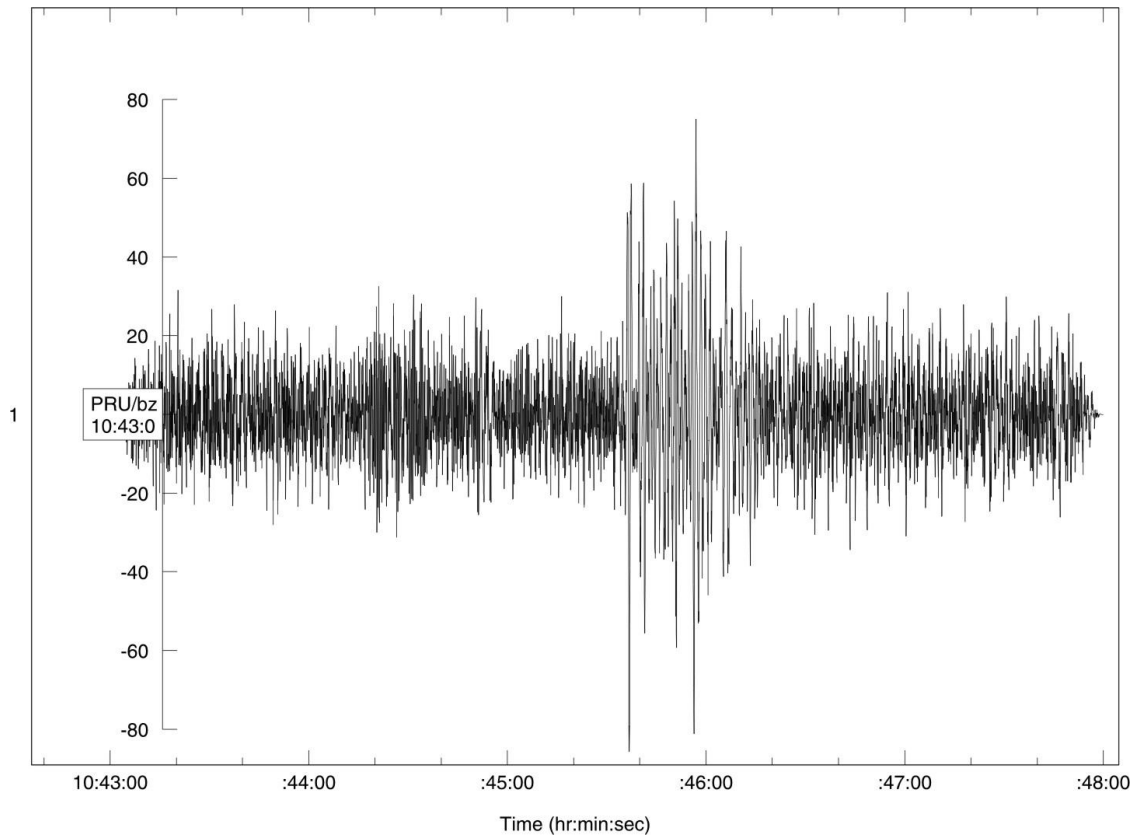
# Příklad 1: záznam vzdáleného (teleseismického) jevu.



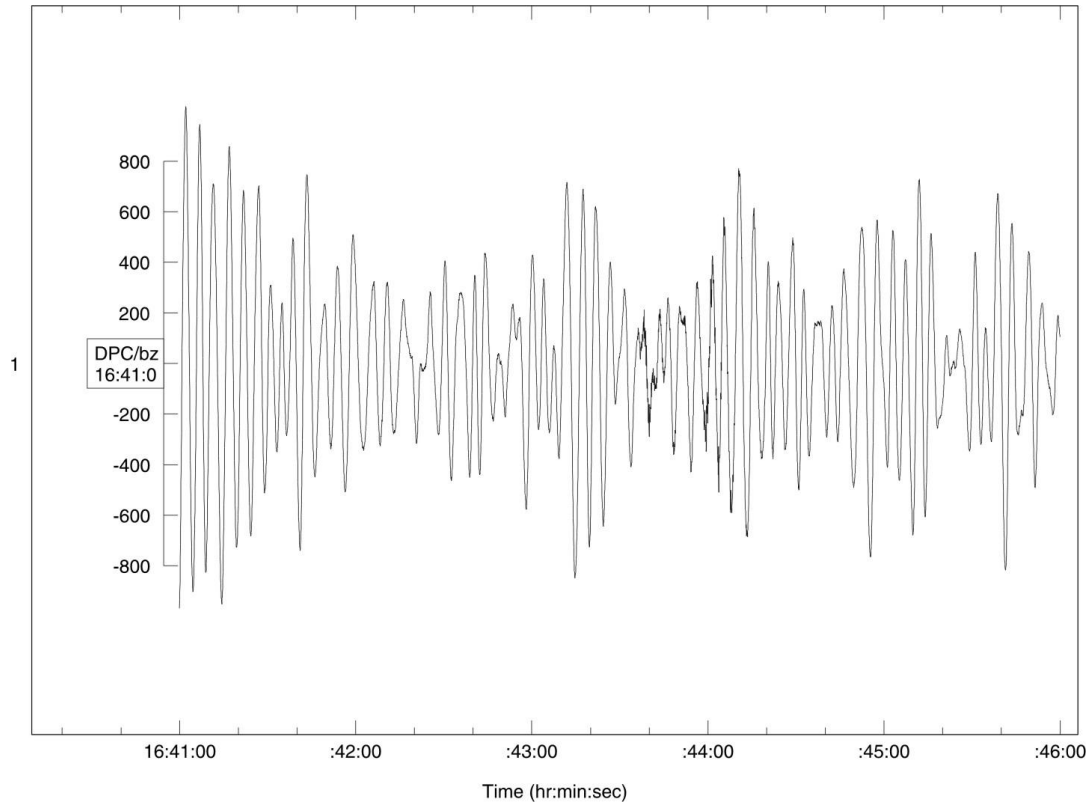
# Příklad 1: záznam vzdáleného (teleseismického) jevu.



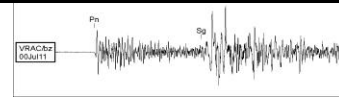
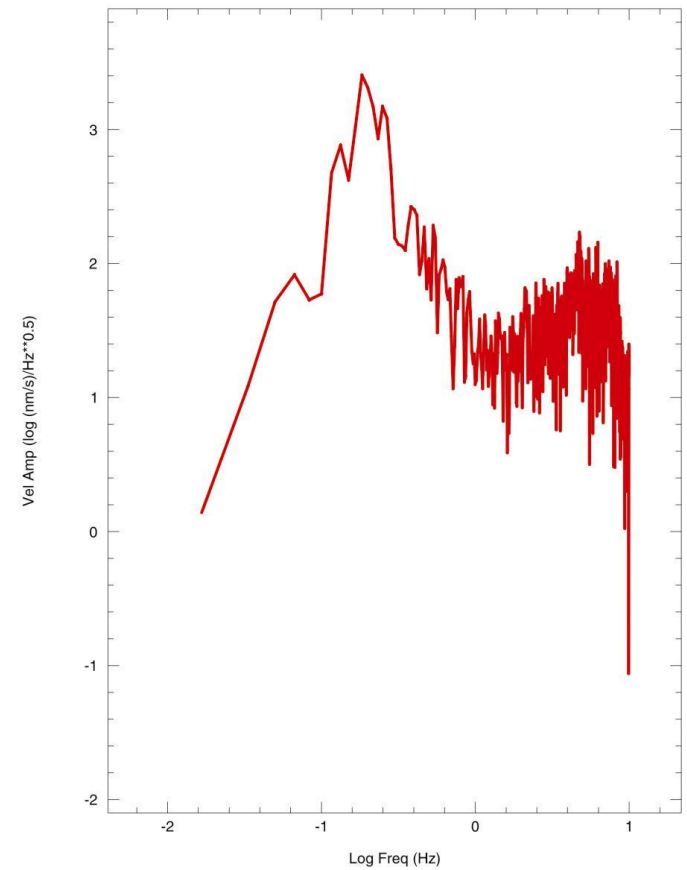
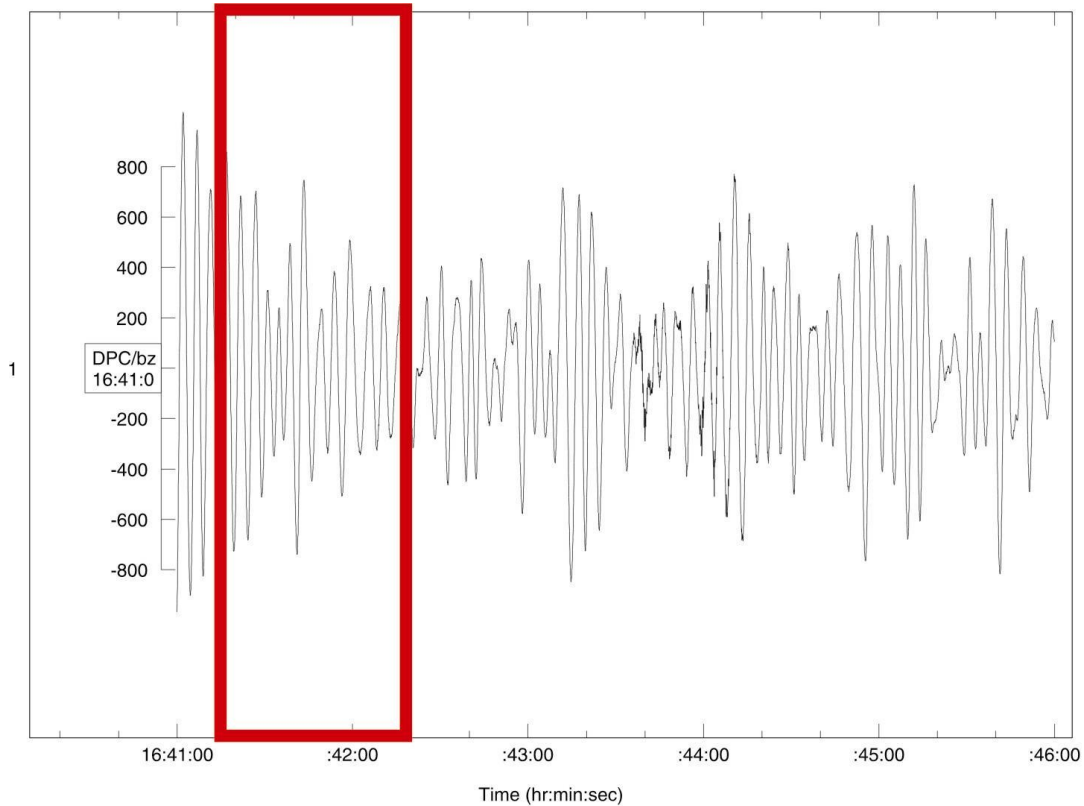
# Příklad 1: záznam vzdáleného (teleseismického) jevu.



## Příklad 2: záznam regionálního jevu.

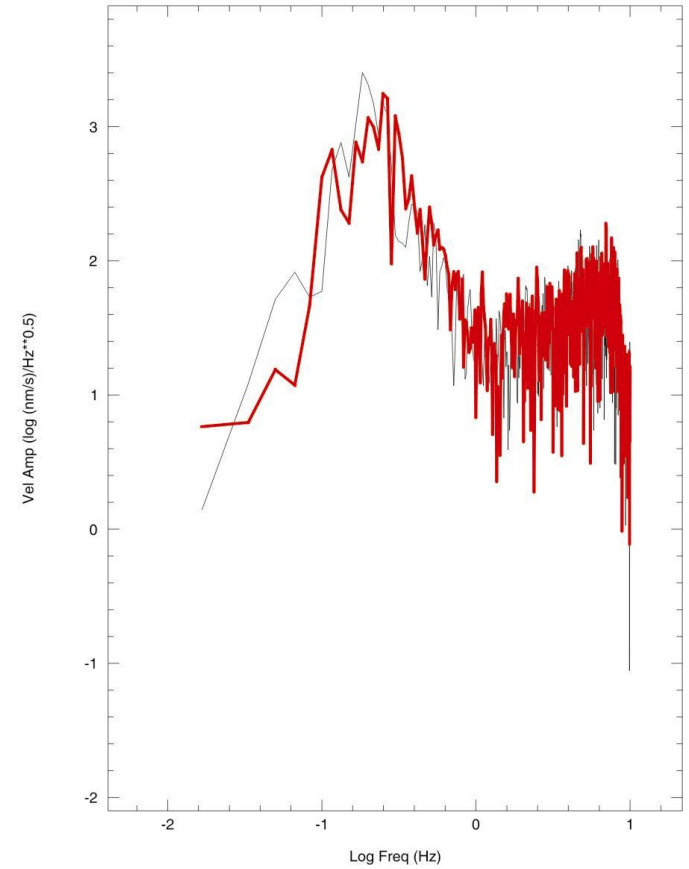
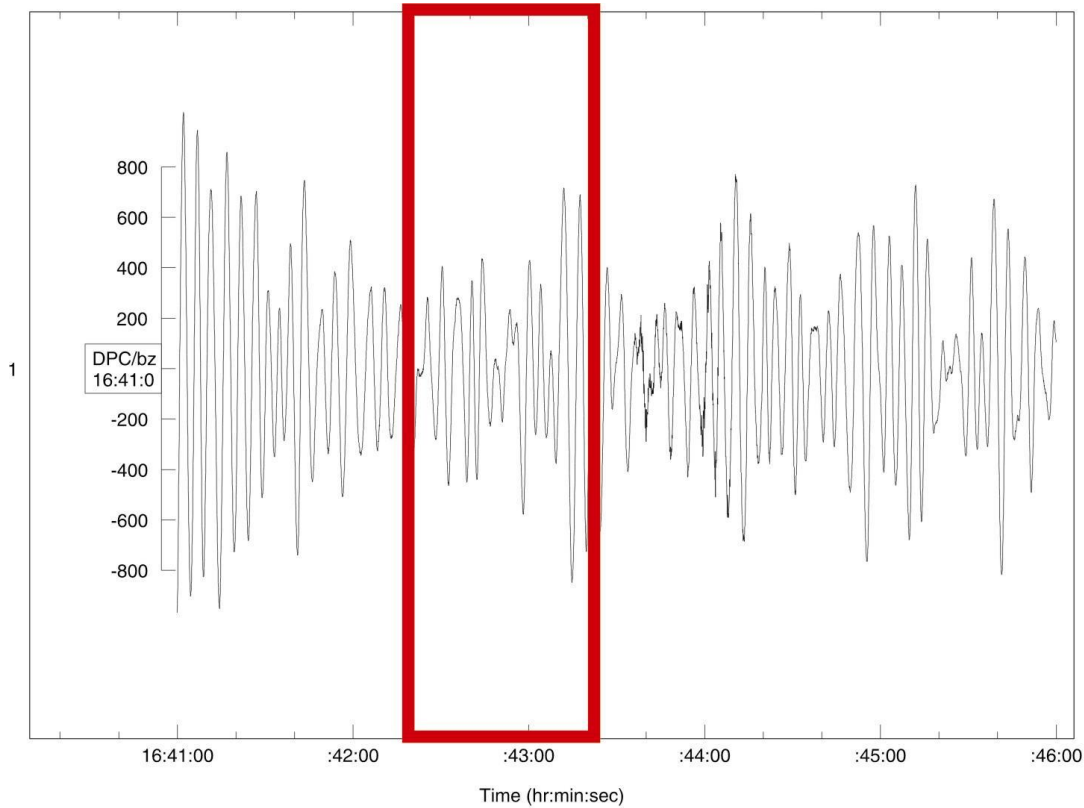


## Příklad 2: záznam regionálního jevu.

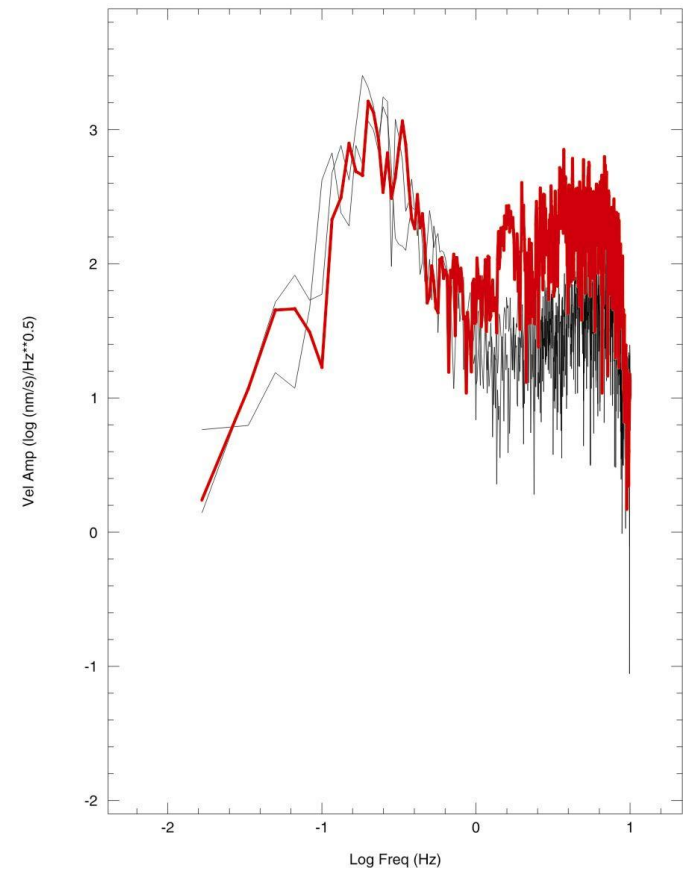
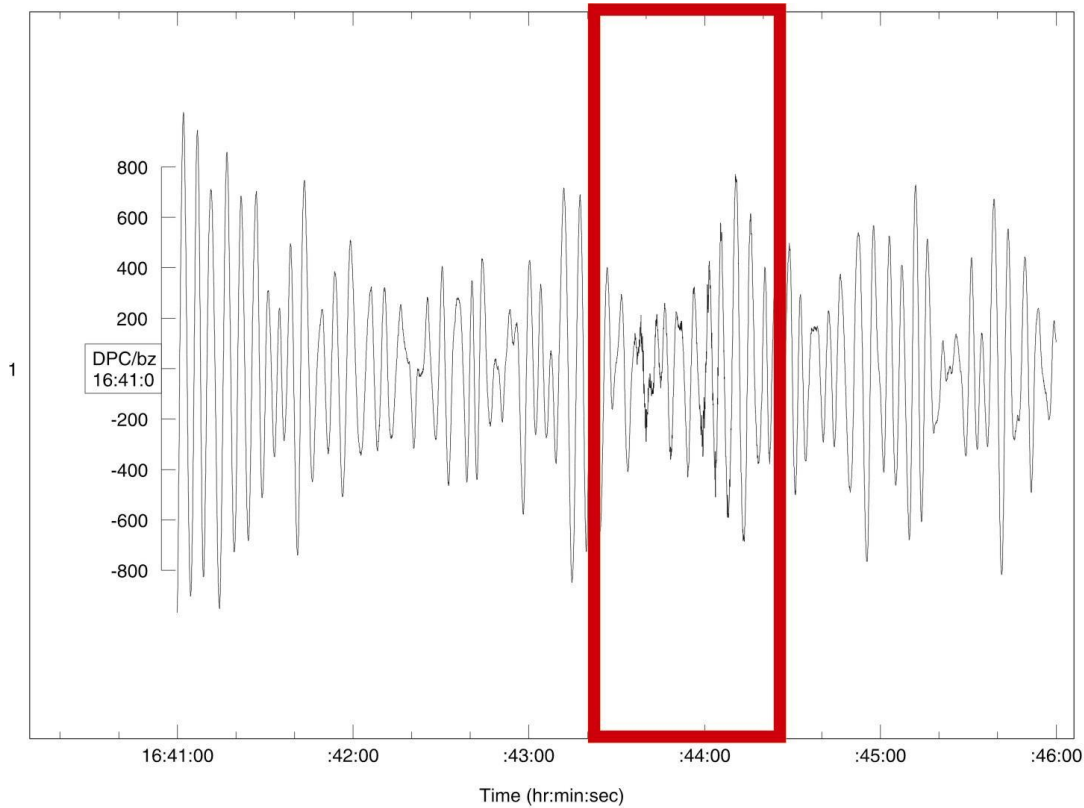




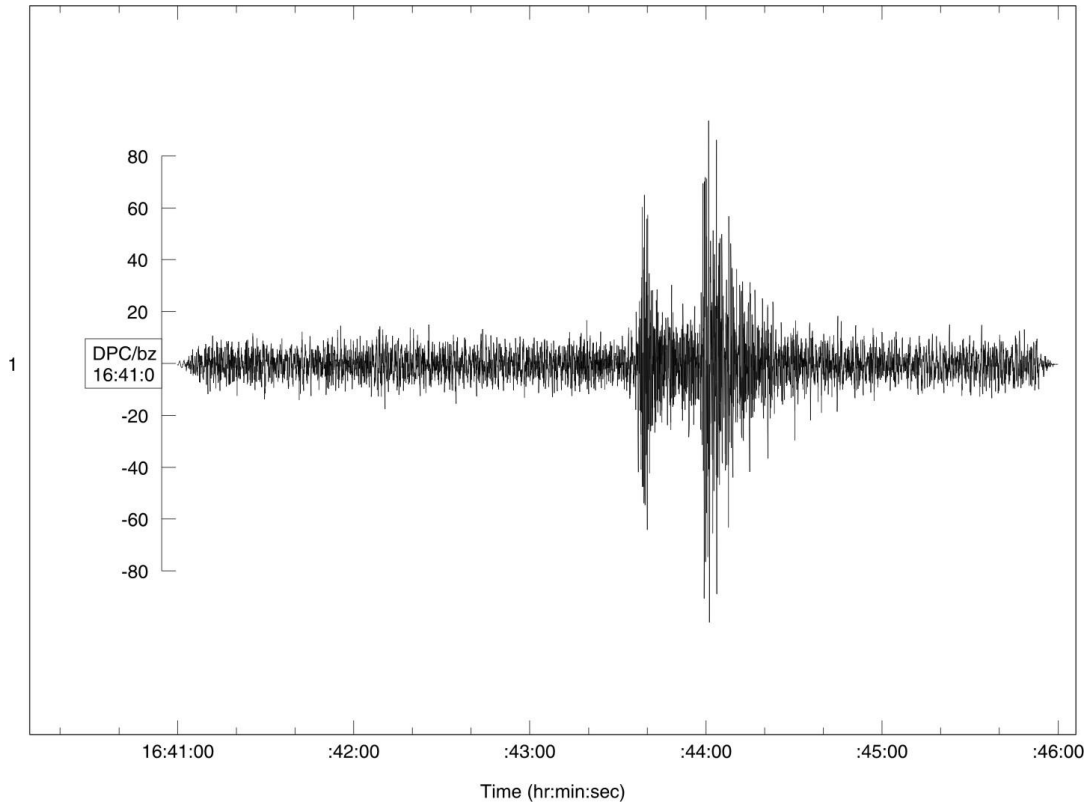
## Příklad 2: záznam regionálního jevu.



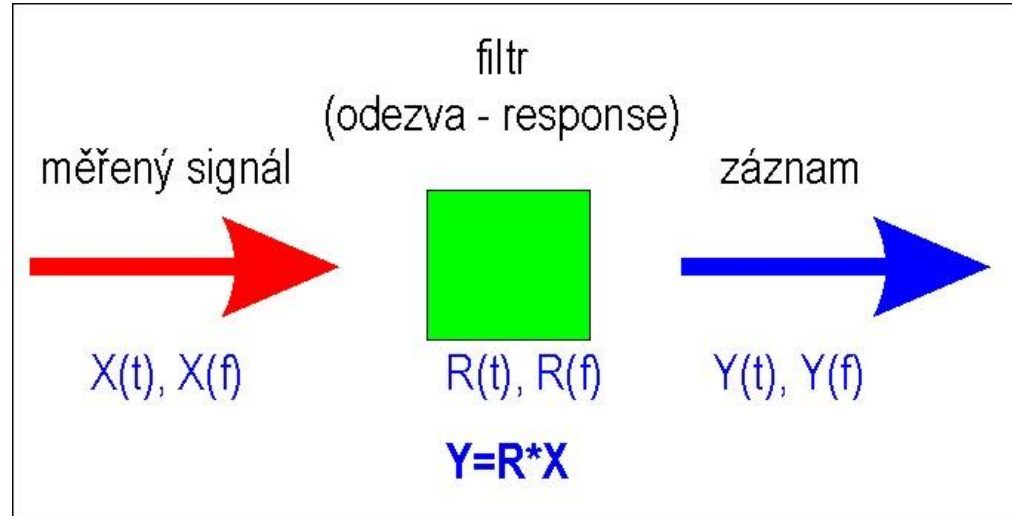
# Příklad 2: záznam regionálního jevu.



## Příklad 2: záznam regionálního jevu.



Vliv filtru si můžeme vyjádřit pomocí funkce **odezvy**, podobně jako vliv horninového prostředí nebo vliv seismometru.

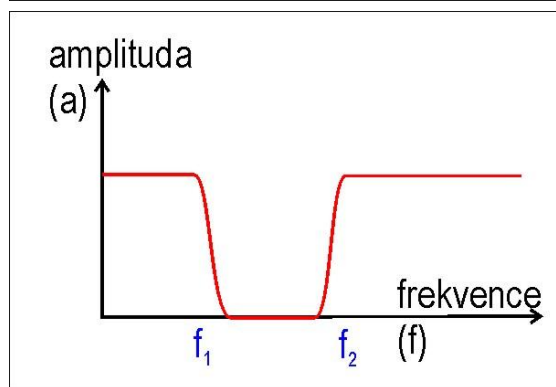
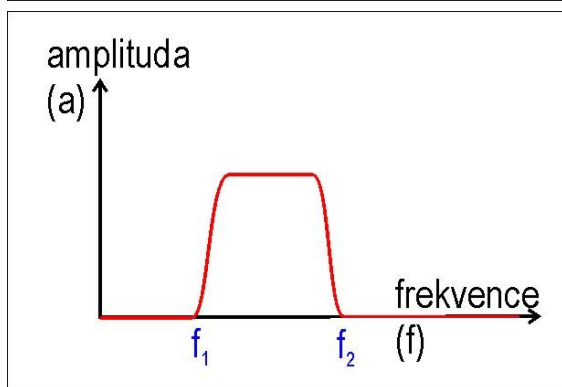
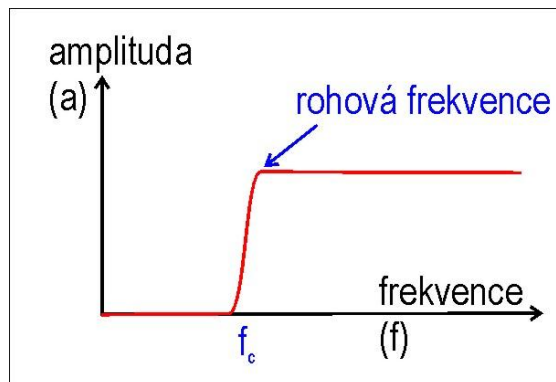
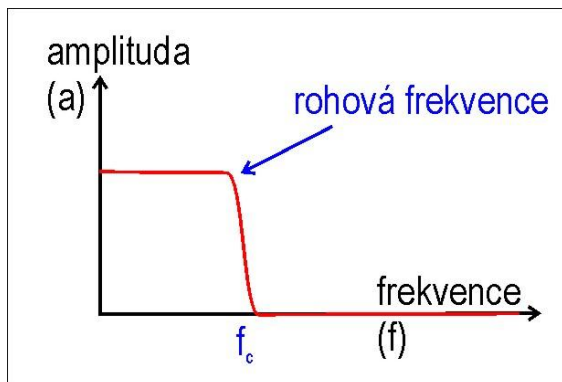


$$Y(t) = R(t) * X(t)$$



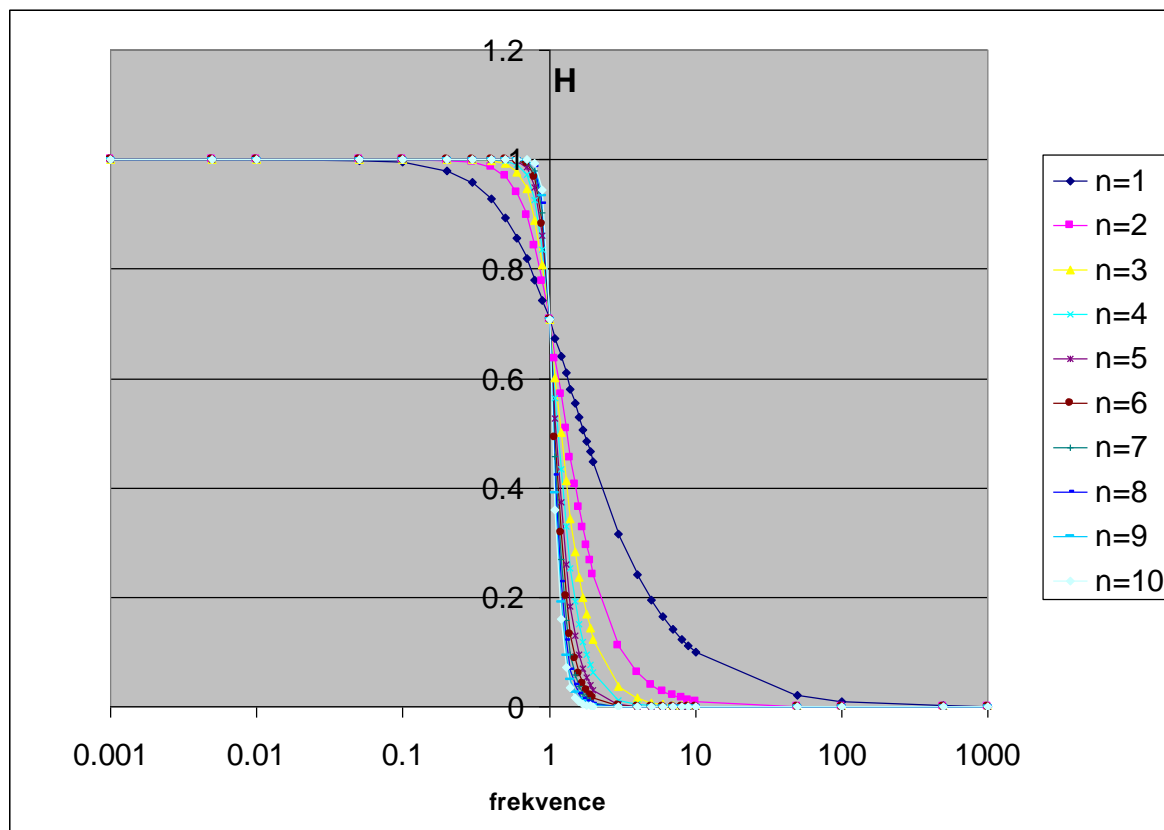
- Lze rozlišit čtyři základní typy filtru podle toho, jaký úsek frekvencí chceme odstranit a jaký chceme zachovat:

- a) dolní propust
- b) horní propust
- c) pásmová propust
- d) pásmová zadrž



V seismologii je široce používán Butterworthův typ filtru vyznačující se velkou plochostí frekvenční oblasti spektra, která je filtrem propouštěna.

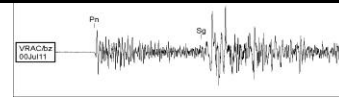
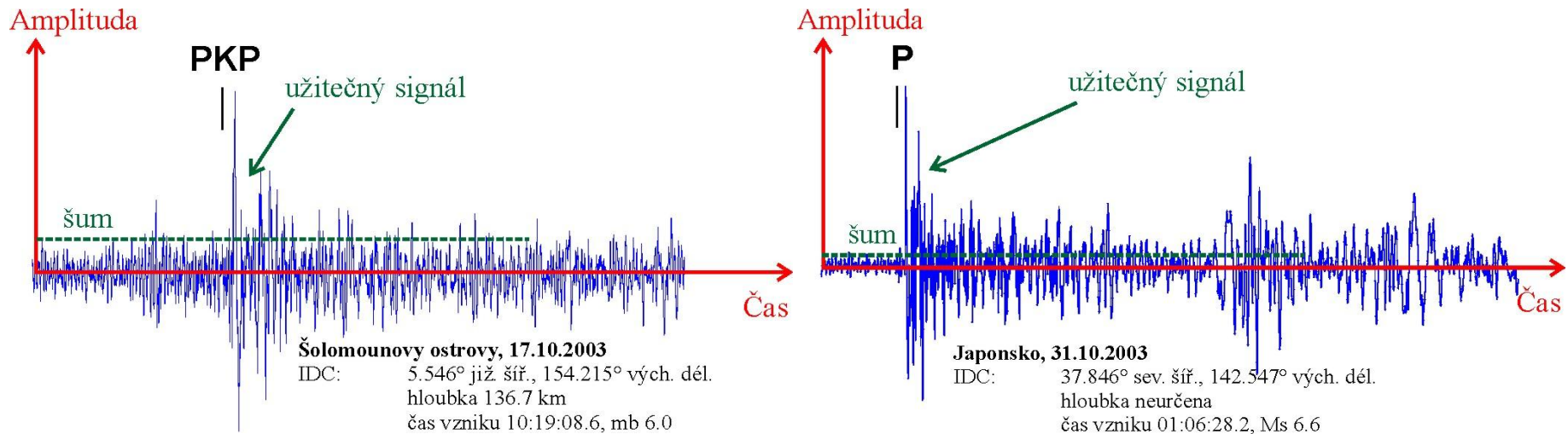
$$H(\omega) = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}}}$$



## c) Nasazení seismické fáze

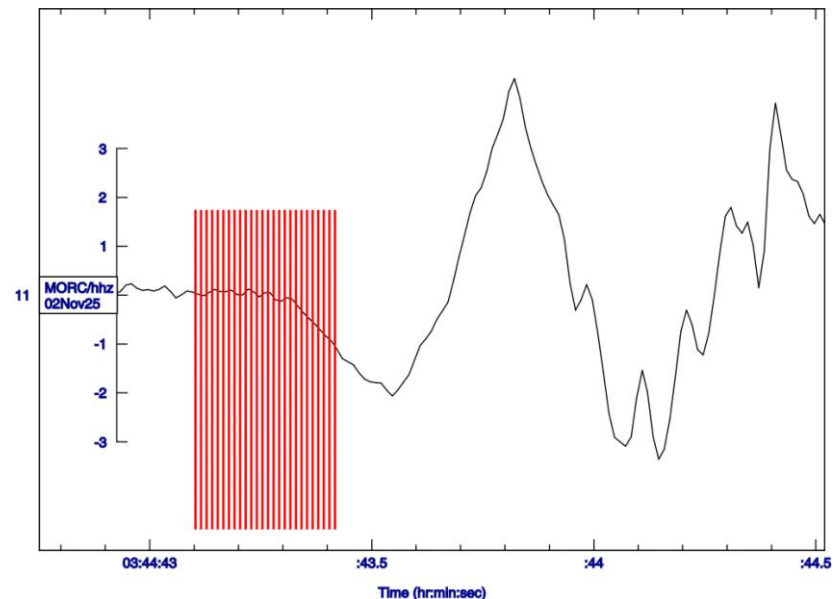
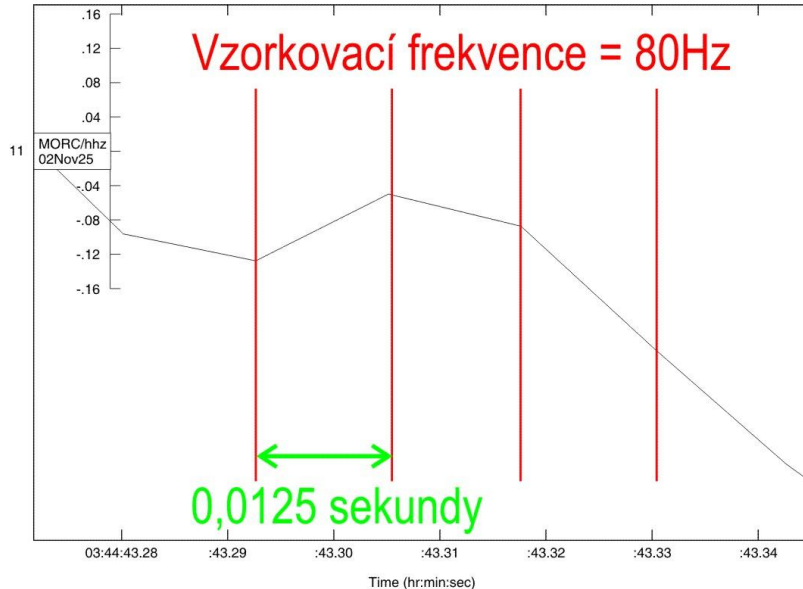
Jedním z hlavních cílů prvního zpracování seismického signálu je:

- rozlišit jednotlivé seismické fáze
- odečíst čas příchodu jednotlivých seismických fází na stanici (čas nasazení)



# Přesnost určení času nasazení – vzorkovací frekvence

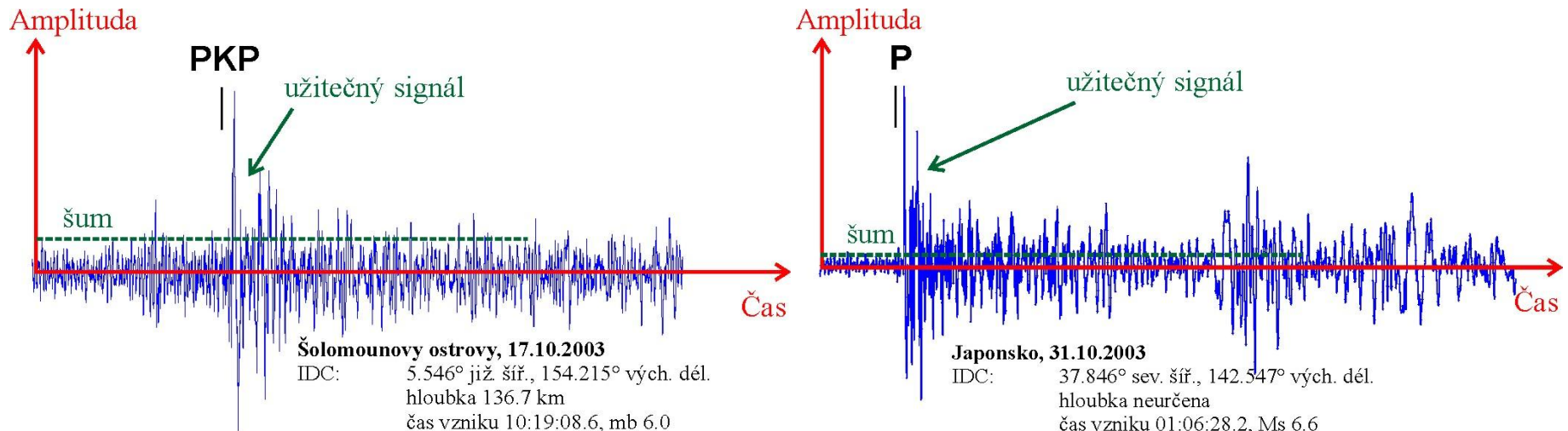
- U digitálního záznamu je dáno rozlišení signálu jeho vzorkovací frekvencí.
- Záznam je popsán po vzorcích, mezi jednotlivými vzorky záznam neznáme. Nelze proto postihnout změnu v záznamu s větší přesností, než je velikost vzorku.





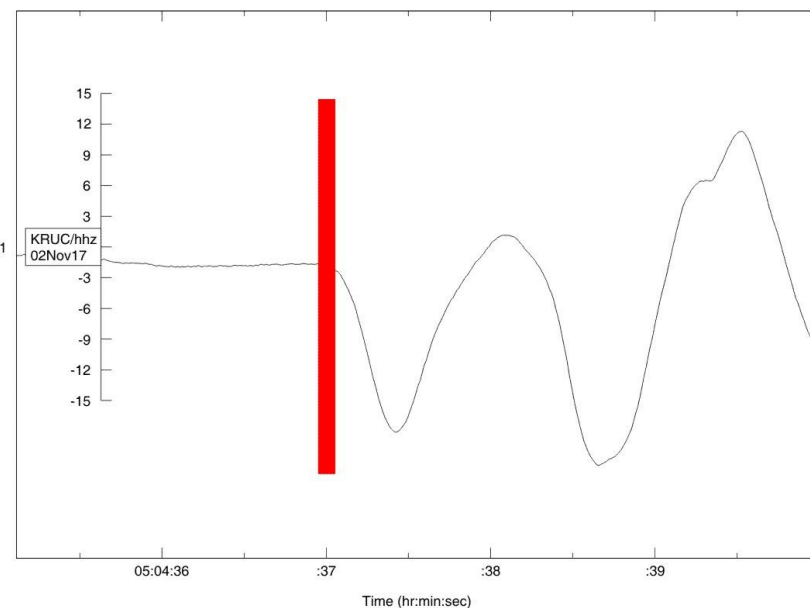
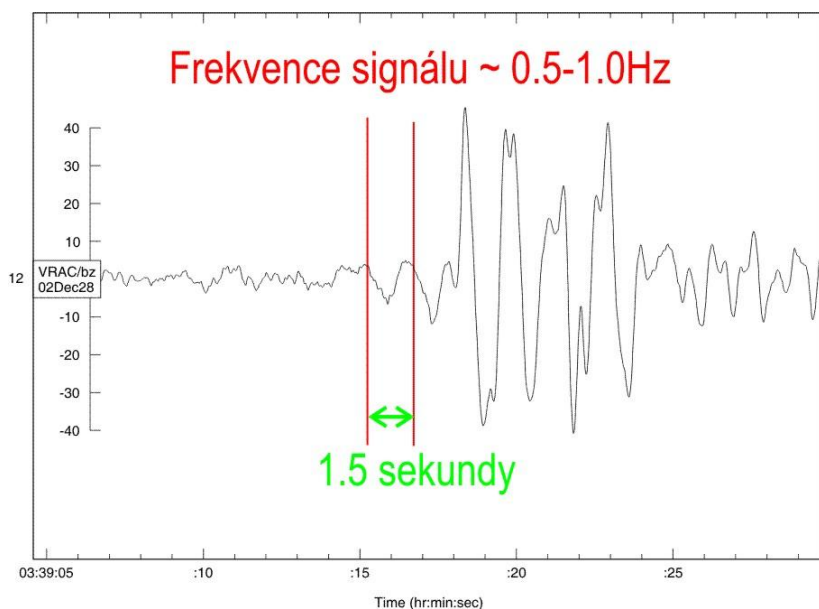
# Přesnost určení času nasazení – kvalita záznamu

- Čas začátku vlnového klubka lze na záznamech silných otřesů poznat relativně snadno.
- U slabších otřesů však může být začátek záznamu užitečného signálu natolik ovlivněn šumem, že určení začátku vlnového klubka je do jisté míry subjektivní.



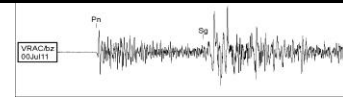
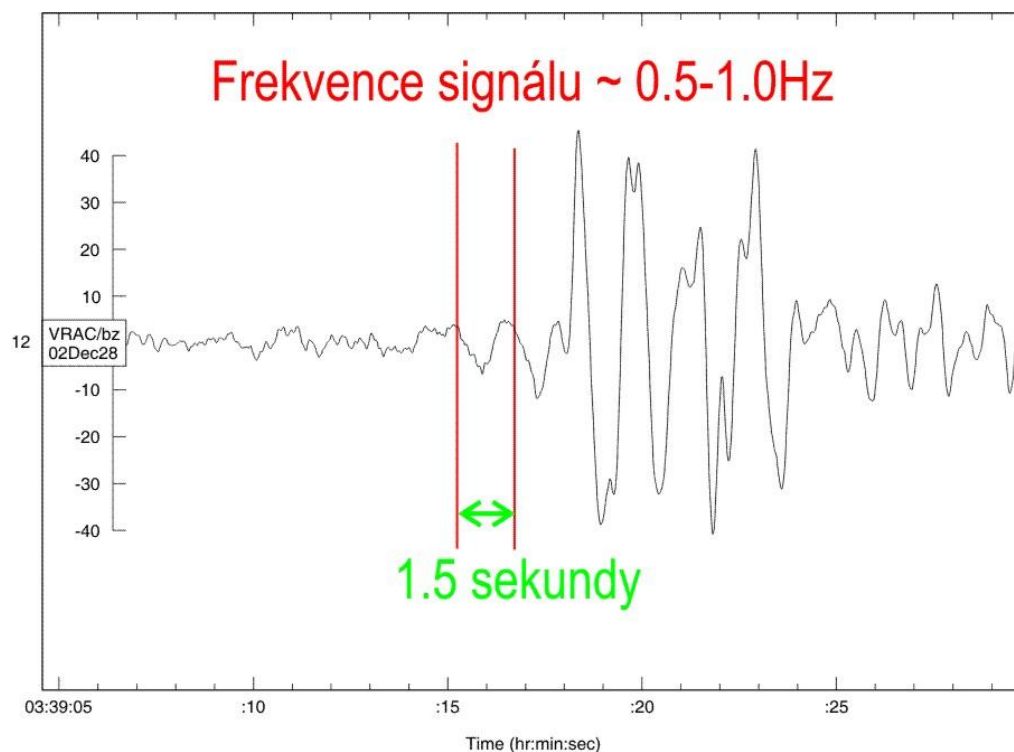
Nejistota v určení času nasazení je u méně kvalitních (více zašuměných) záznamů závislá na vlnové délce užitečného signálu.

Signál je nejlépe patrný v místě maximální amplitudy. První amplitudové maximum je vzdáleno čtvrtinu vlnové délky od místa příchodu signálu. Další maxima pak následují po celých násobcích půlvlny.

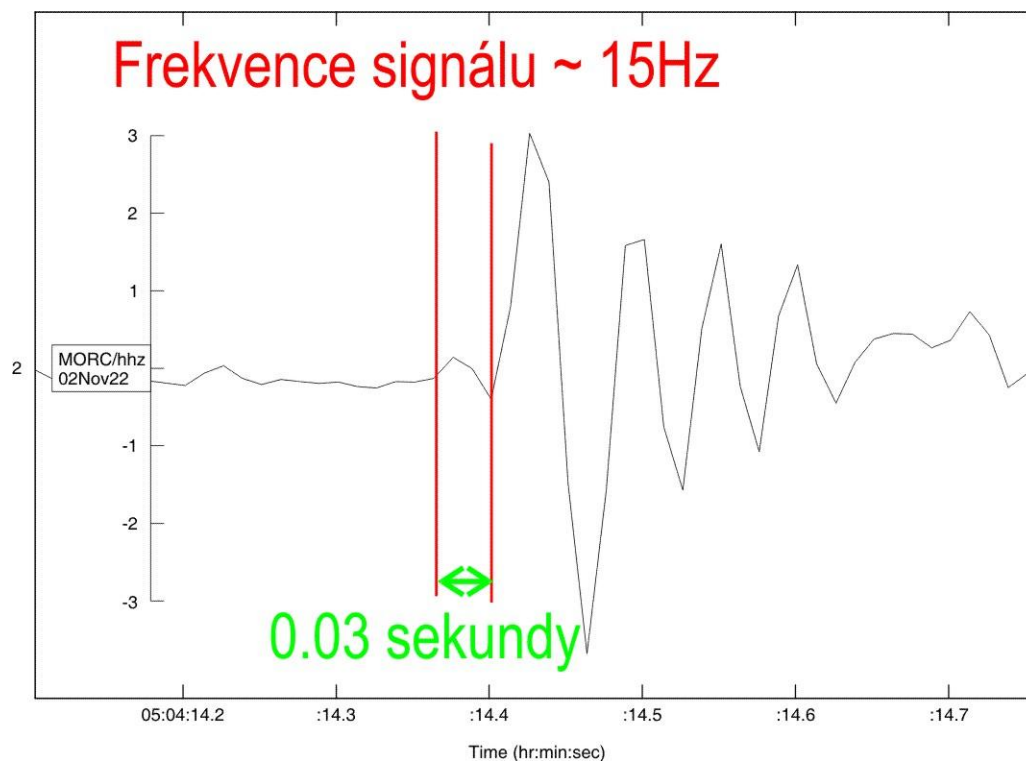


U záznamů silněji ovlivněných šumem tak může být nejistota v určení času nasazení řádově srovnatelná až s vlnovou délkou užitečného signálu.

V případě vzdálených zemětřesení tak může neurčitost odečtů vlivem nekvalitního záznamu snadno narůst až na hodnotu přesahující 1 sekundu.



Naopak u lokálních otřesů, v jejichž případě je frekvence užitečného signálu zpravidla až desítky Hz, je neurčitost odečtů vlivem nekvalitního záznamu obvykle mnohem menší než 1 sekunda.



Kromě času příchodu je pro seismickou fází odečítána také maximální amplituda a jí odpovídající frekvence.

Záporná a kladná výchylka obvykle není stejná, proto není amplituda odečítána jako jedna z těchto výchylek, ale přihlíží se k oběma. Amplituda, která je součtem záporné a kladné výchylky, se nazývá **celková (nebo totální) amplituda** (peak-to-peak amplituda). Do vzorců pro výpočet magnituda se ale někdy dosazují poloviční hodnoty celkové amplitudy (tzv. hlav-peak-to-peak amplituda).

