

**Methods of a posteriori filtration  
versus  
adaptive smoothing  
of the slip-rate time histories**

Miriám Kristeková Martin Gális

Peter Moczo Jozef Kristek

Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava  
Slovak Academy of Sciences, Slovakia

## Obsah prezentácie:

falošné oscilácie naložené na signáloch rýchlosti sklzu  
ich pôvod  
ako ich redukovať?

bežné aj menej obvyklé prístupy

- ASA (adaptive smoothing algorithm)
- rôzne metódy a posteriori odstránenia oscilácií

porovnanie

závery

V dôsledku **diskretizácie** problému

u mnohých sieťových metód  
na simuláciu šírenia trhliny

vznikajú umelé **vysokofrekvenčné oscilácie**  
naložené  
na časovú históriu rýchlosti sklzu

Napríklad u TSN metódy

( jednej z najpresnejších metód  
na reprezentovanie rýchlosti sklzu  
spomedzi sieťových metód )

sa na výpočet prírastku rýchlosti sklzu  
v každej časovej hladine  
používa hodnota  $T_t$

$T_t$  nie je hladká

(v dôsledku vysoko-frekvenčných variácií napätia  
nepresne šírených sieťou)

nepresne určený prírastok  
rýchlosti sklzu

sa používa vo výpočte slip-rate  
pre ďalšiu časovú hladinu

nepresne určený prírastok  
rýchlosti sklzu

sa používa vo výpočte slip-rate  
pre ďalšiu časovú hladinu

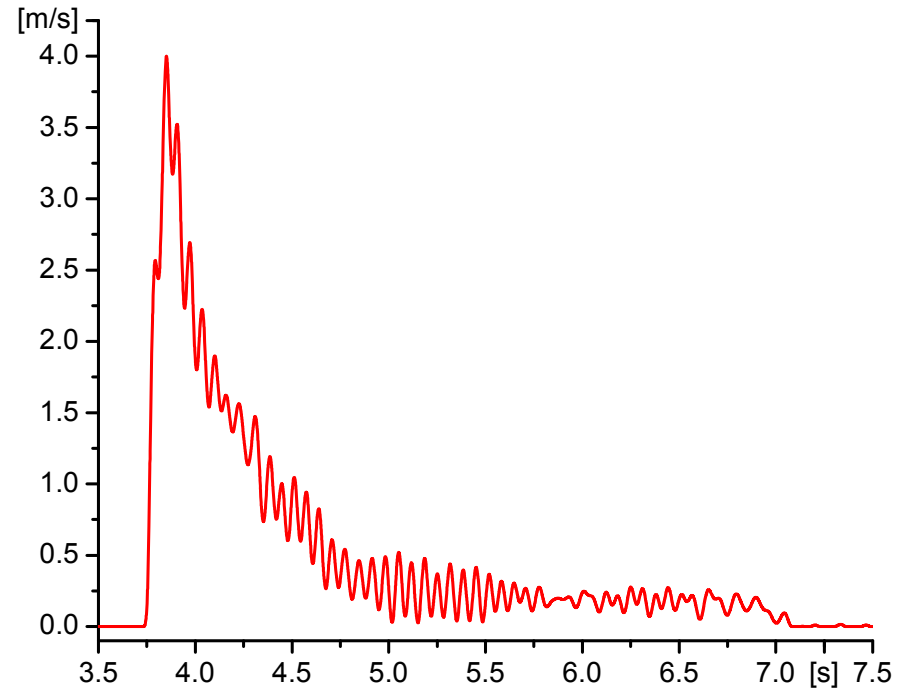
toto

**spôsobuje oscilácie rýchlosti sklzu**

čo spätne

ovplyvňuje hodnotu of the trial traction

$Tt$



Na riešenie tohto problému sa prirodzene ponúka  
myšlienka

**vyhladiť trial traction  $Tt$**

už počas výpočtu, ešte pred tým

než sa vypočíta prírastok rýchlosti sklzu

**Algoritmus ASA** (Adaptive smothing alghorithm)

pre metódu TSN bol navrhnutý, otestovaný a publikovaný

v práci

Galis, Moczo, Kristek, Kristekova, 2010

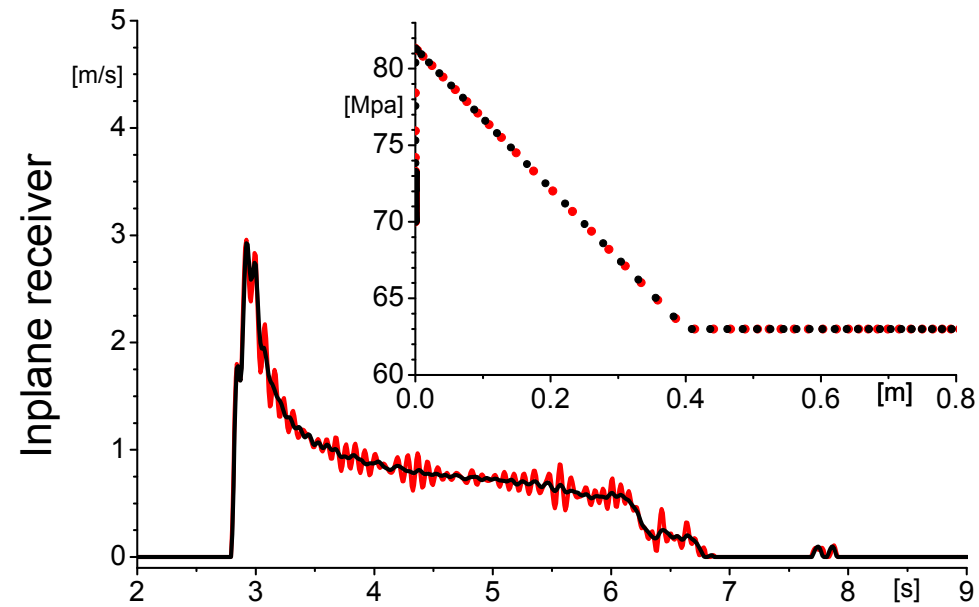
An adaptive smoothing algorithm  
in the TSN modelling of rupture propagation  
with the linear slip-weakening friction law

*Geophysical J. Int.* 180, 418–432

dostupné na [www.nuquake.eu](http://www.nuquake.eu)



without ASA  
with ASA

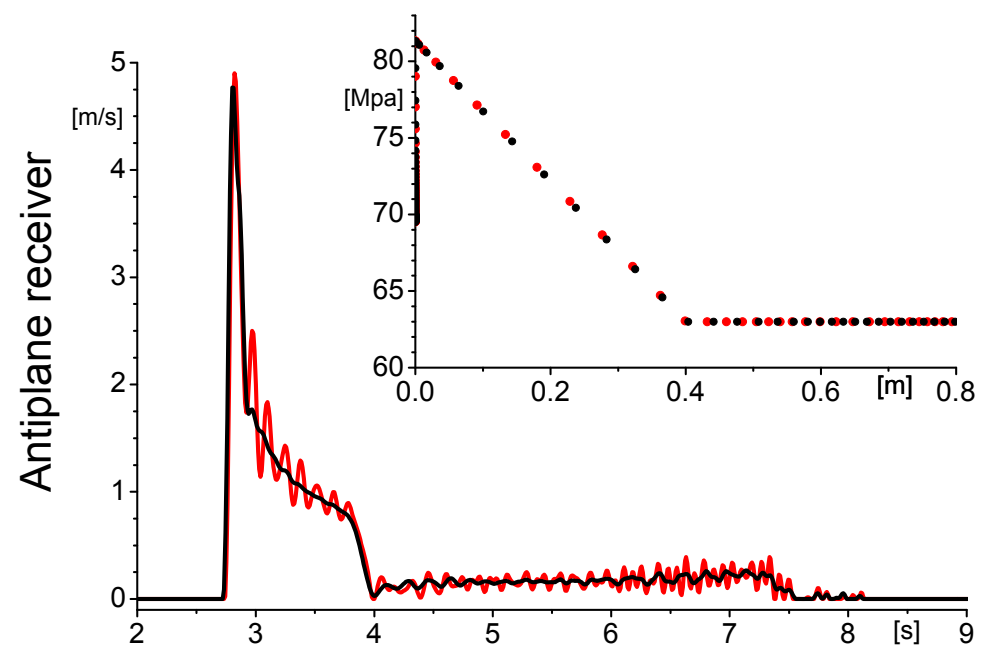
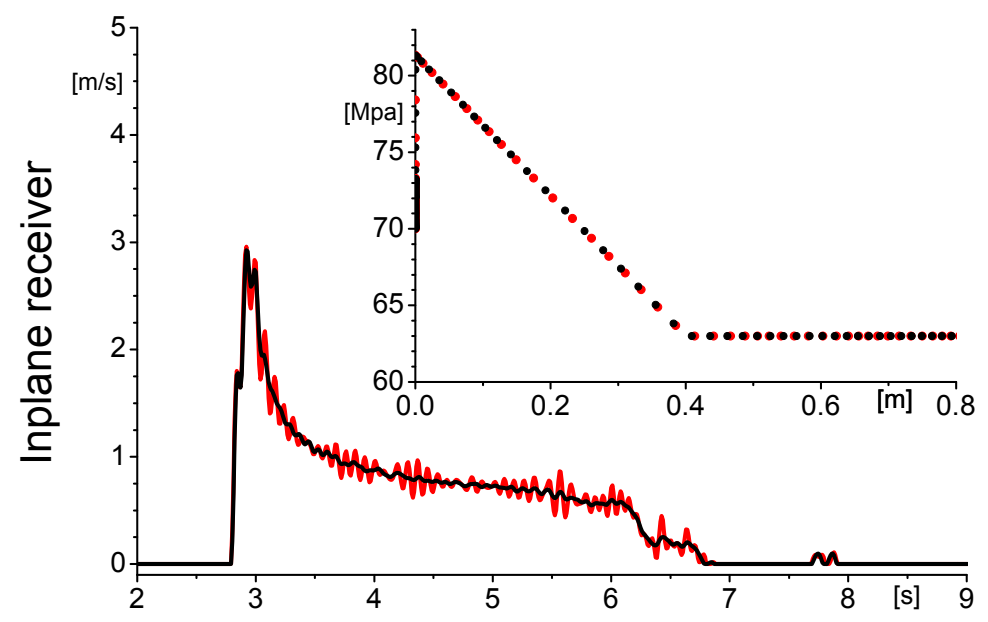


sub-Rayleigh

linear slip-weakening

$h = 150$  m

without ASA  
with ASA



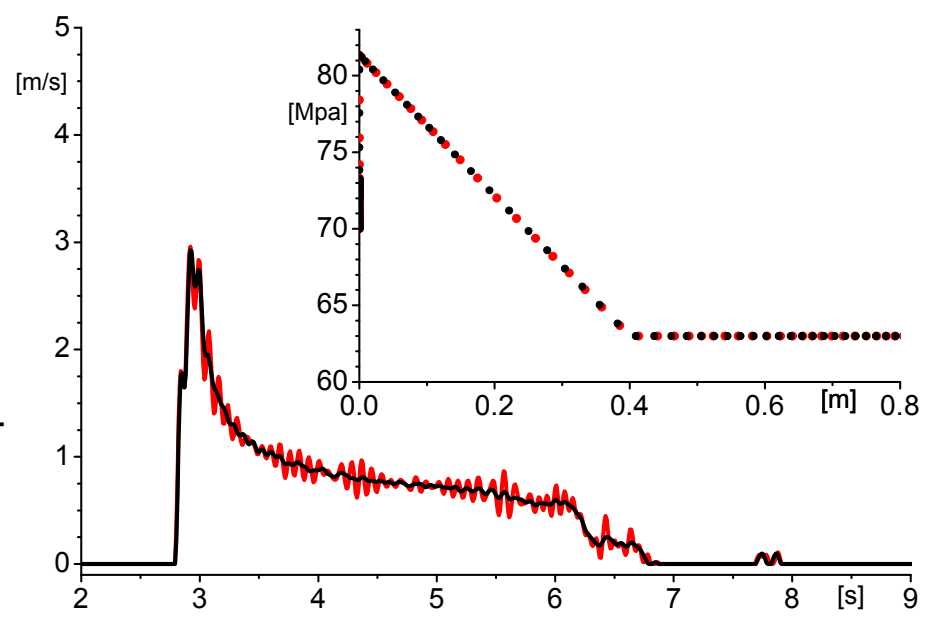
sub-Rayleigh

linear slip-weakening

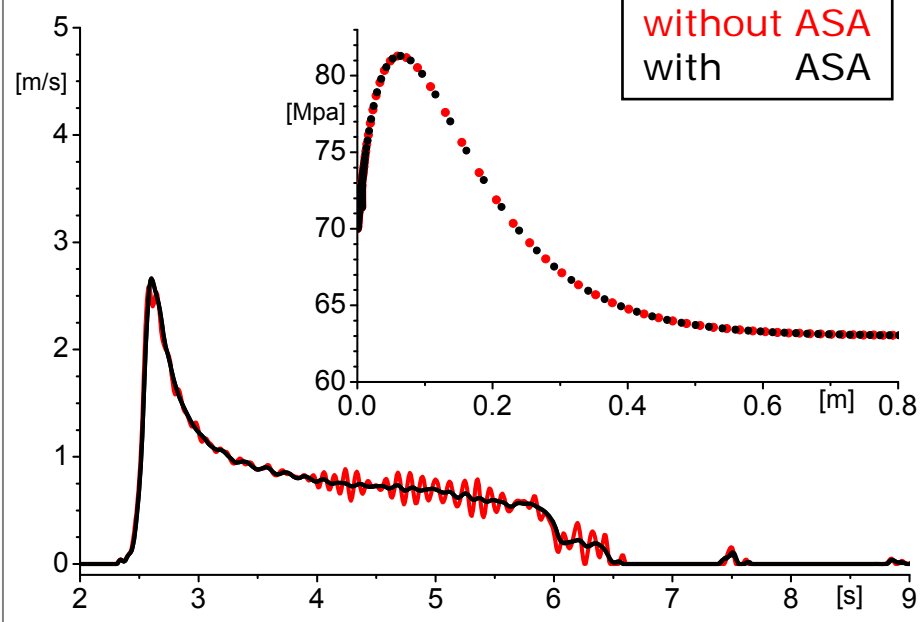
Ohnaka & Yamashita

$h = 150$  m

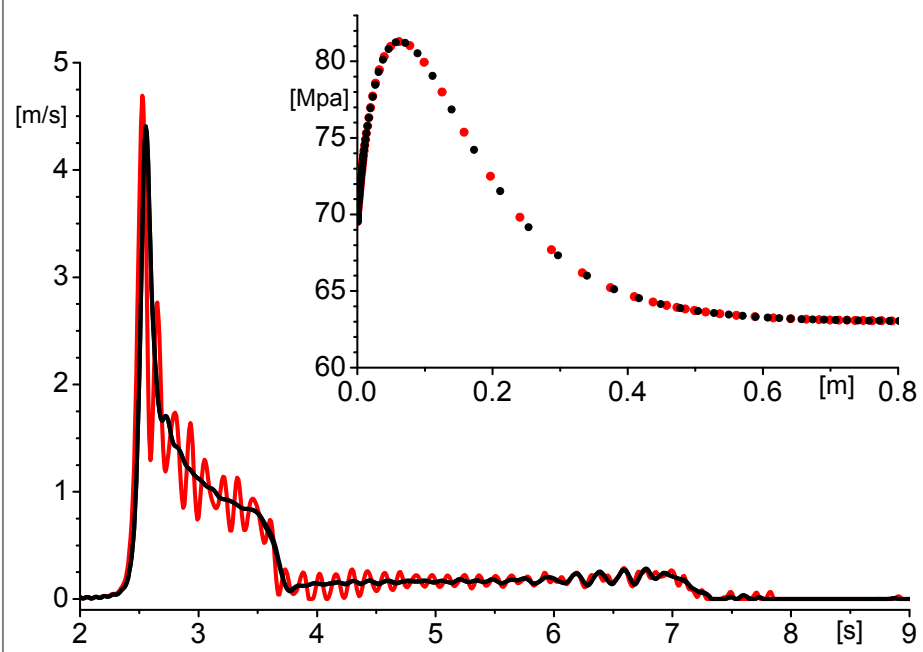
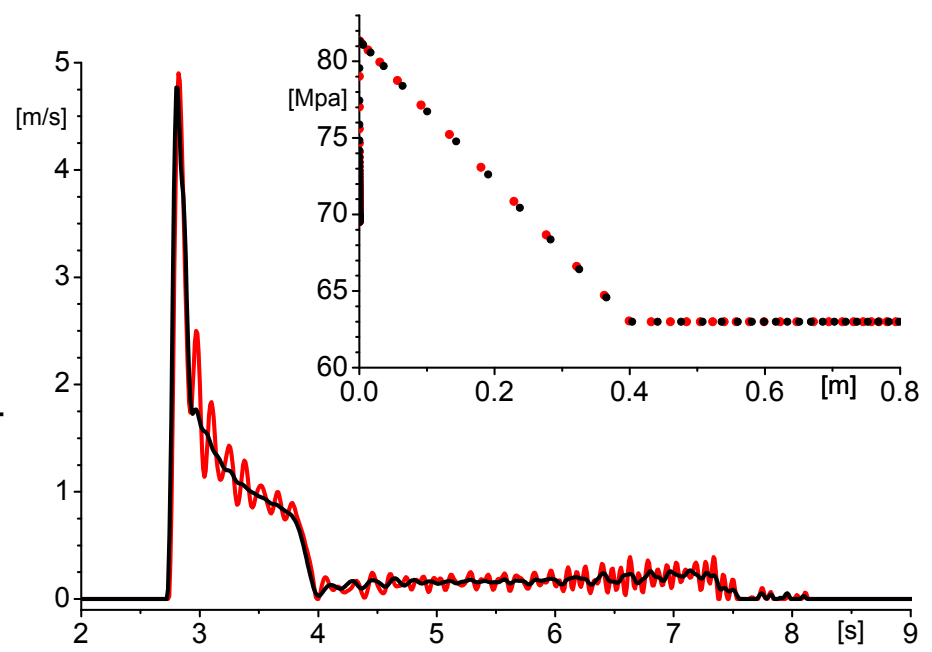
Inplane receiver



without ASA  
with ASA



Antiplane receiver



niektorí modelári používajú  
na odstránenie alebo redukciu  
vysokofrekvenčných oscilácií  
umelo zavedený nefyzikálny útlm,  
mnohí využívajú  
**a posteriori low-pass filtrovanie**

Pozrime sa teda  
na metódy dodatočného vyhladzovania,  
presnejšie,  
**a posteriori odstraňovania nežiadúcich zložiek signálu,**  
(a posteriori denoising)

## Low-Pass filtrovanie (LPF)

Najčastejšie používaný filter: Butterworth, 6.rádu

- kauzálny      ⇒      fázové posuny – **nevhodný**
- zero phase    ⇒      výrazné nekauzálne poškodenie  
nasadenia signálu rýchlosti sklzu

## Low-Pass filtrovanie (LPF)

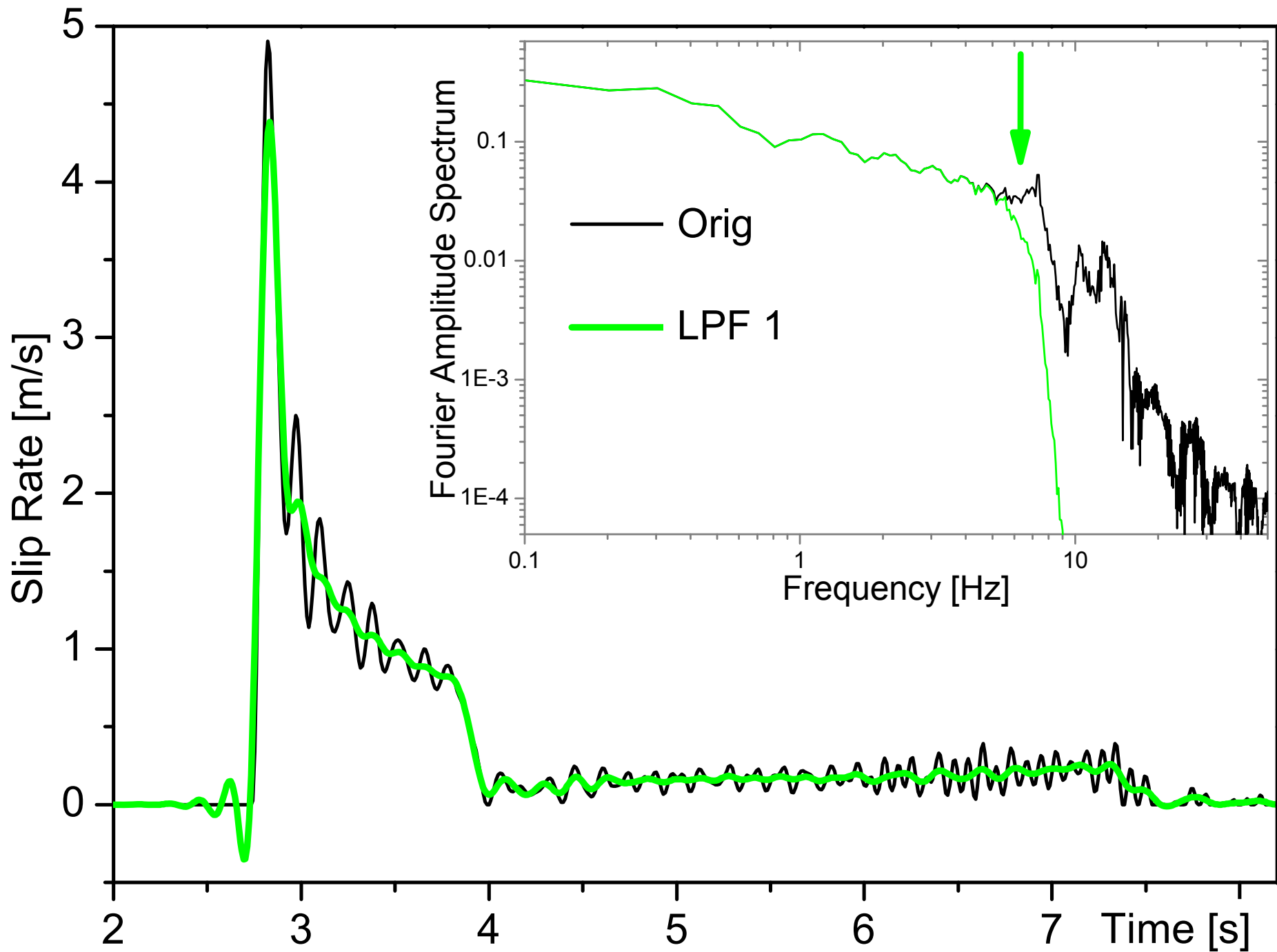
Najčastejšie používaný filter: Butterworth, 6.rádu

- kauzálny      ⇒      fázové posuny – **nevhodný**
- zero phase    ⇒      výrazné nekauzálne poškodenie  
nasadenia signálu rýchlosti sklzu

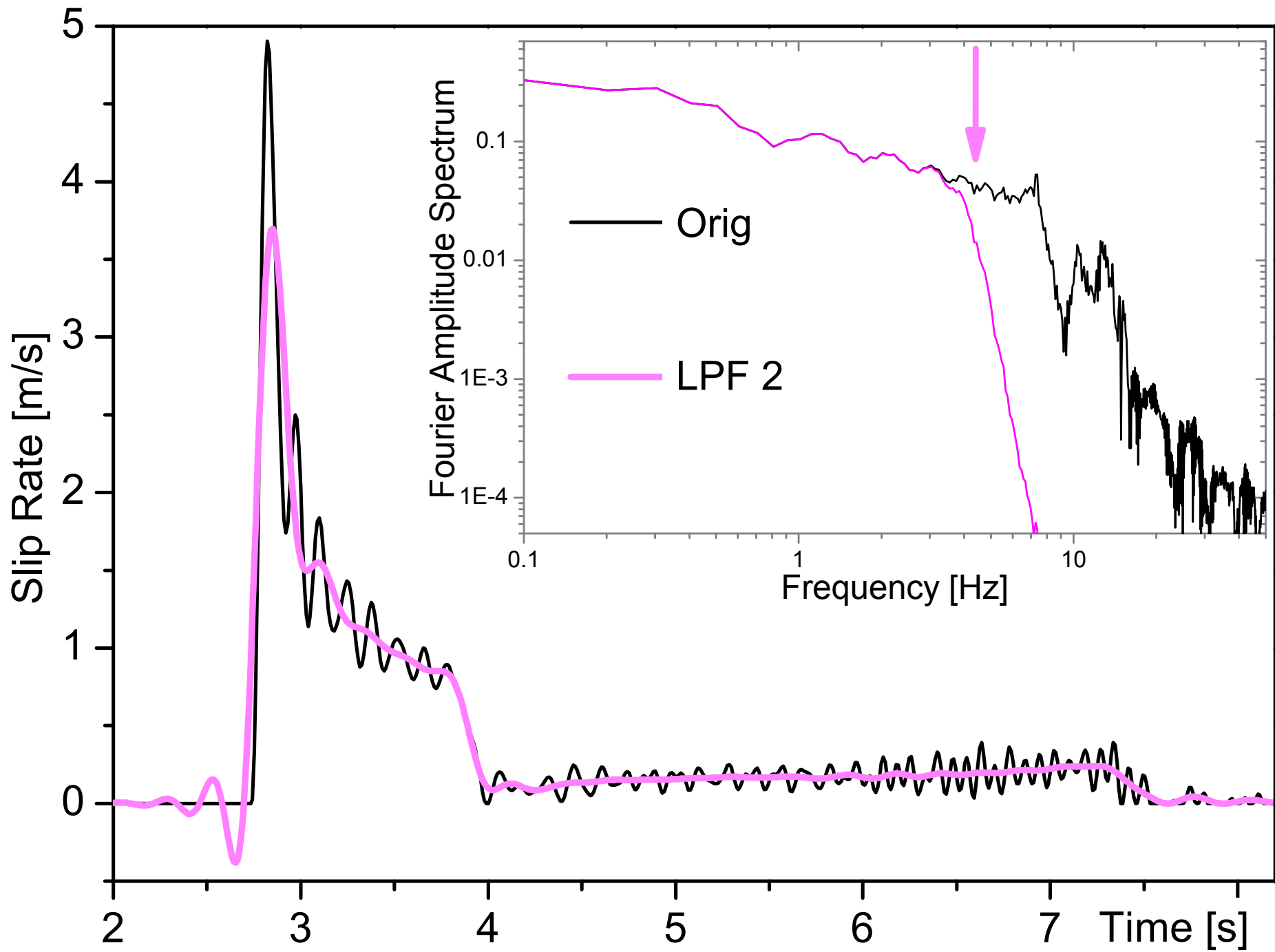
Naviac,

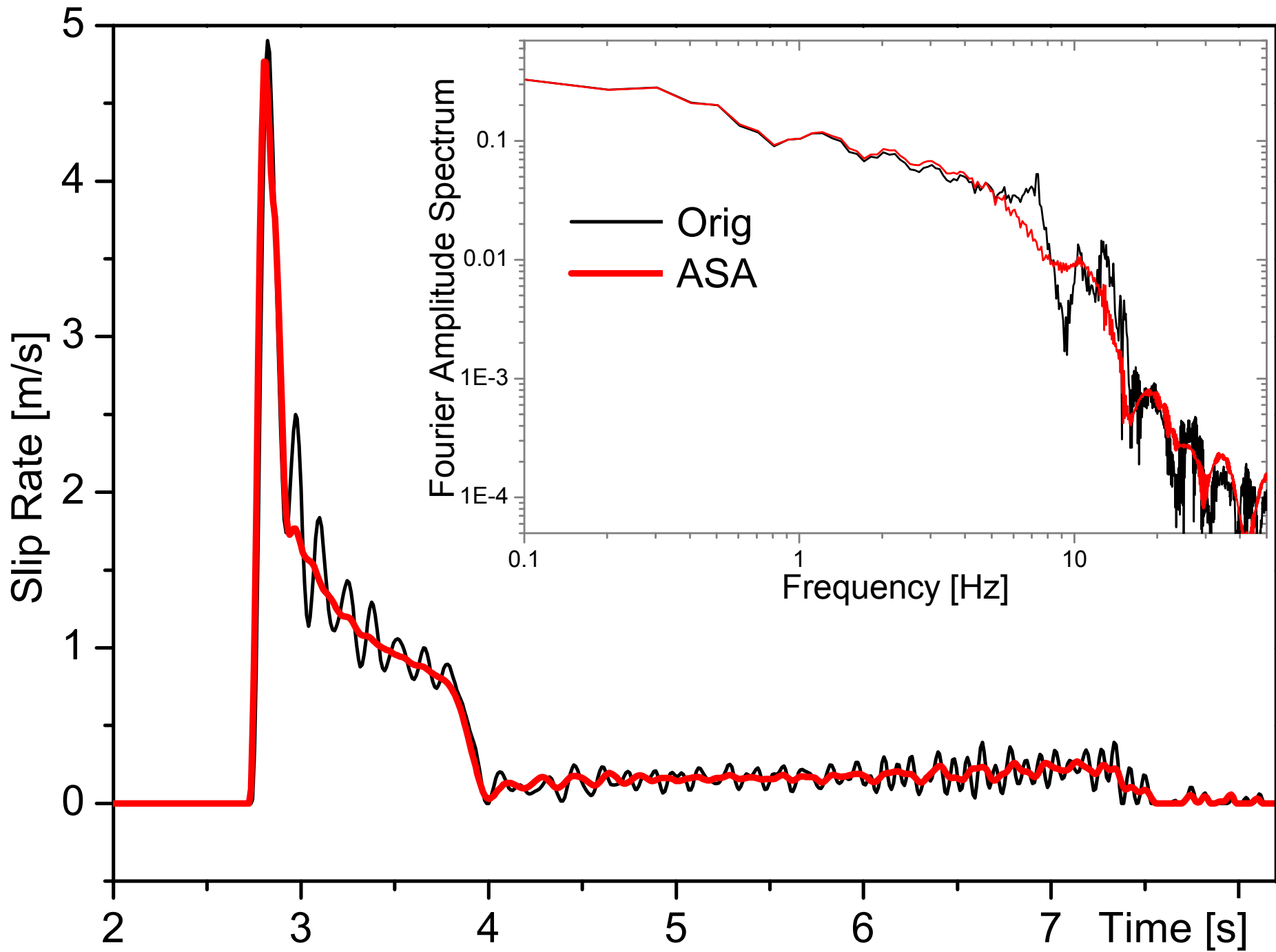
kvalita získaných výsledkov silne závisí na  
výbere parametrov filtra, najmä rohovej frekvencie  $f_c$

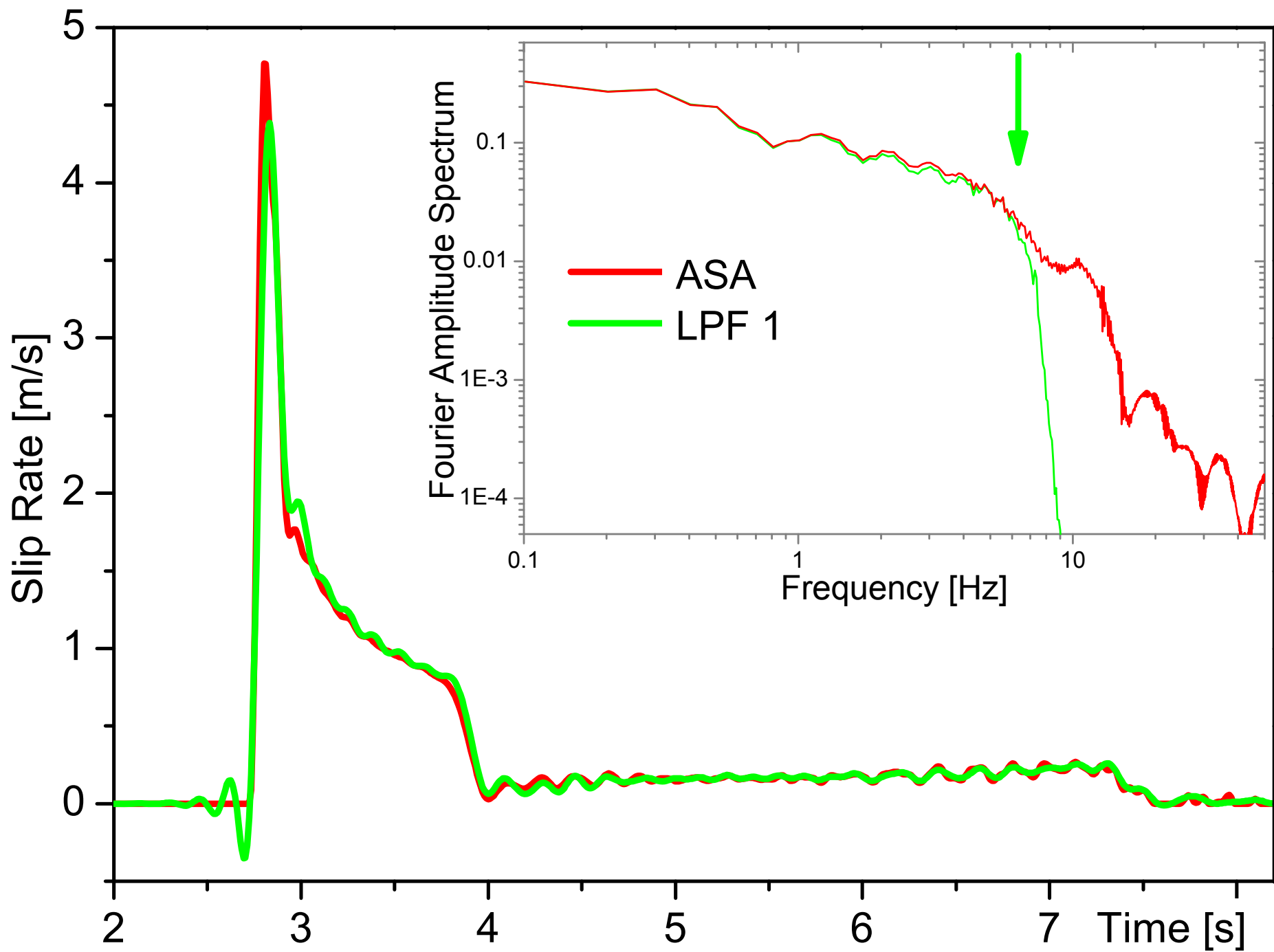
$f_c$  by teda mala byť vyberaná pre každý signál  
rýchlosti sklzu na základe jeho Fourierovského spectra











## Discrete Wavelet De-noising (DWD)

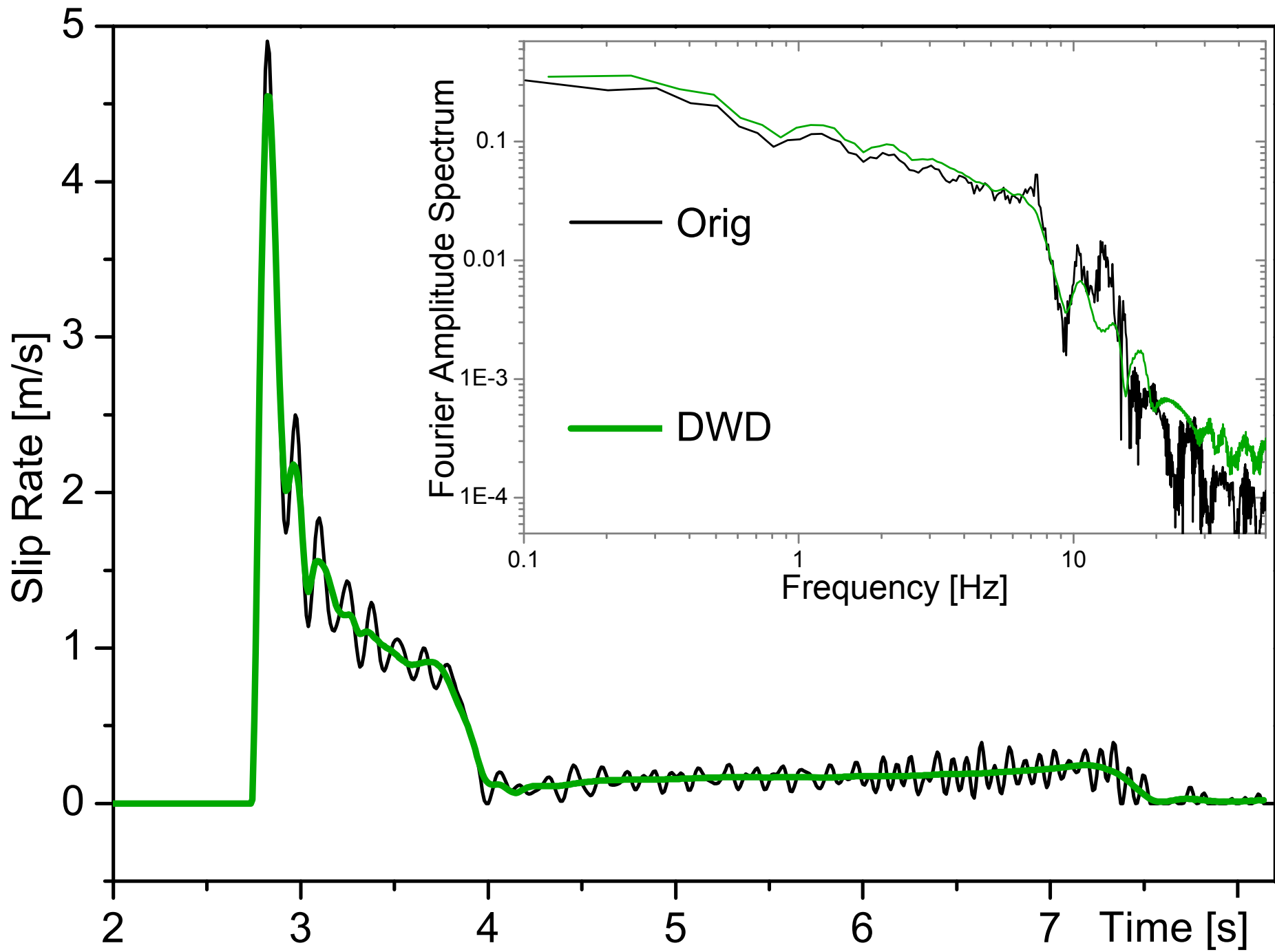
1. wavelet dekompozícia signálu rýchlosti sklzu  
dekompozícia do 4. tej úrovne rozkladu  
Daubechies wavelety 4.rádu alebo  
Symlets wavelety 8.rádu

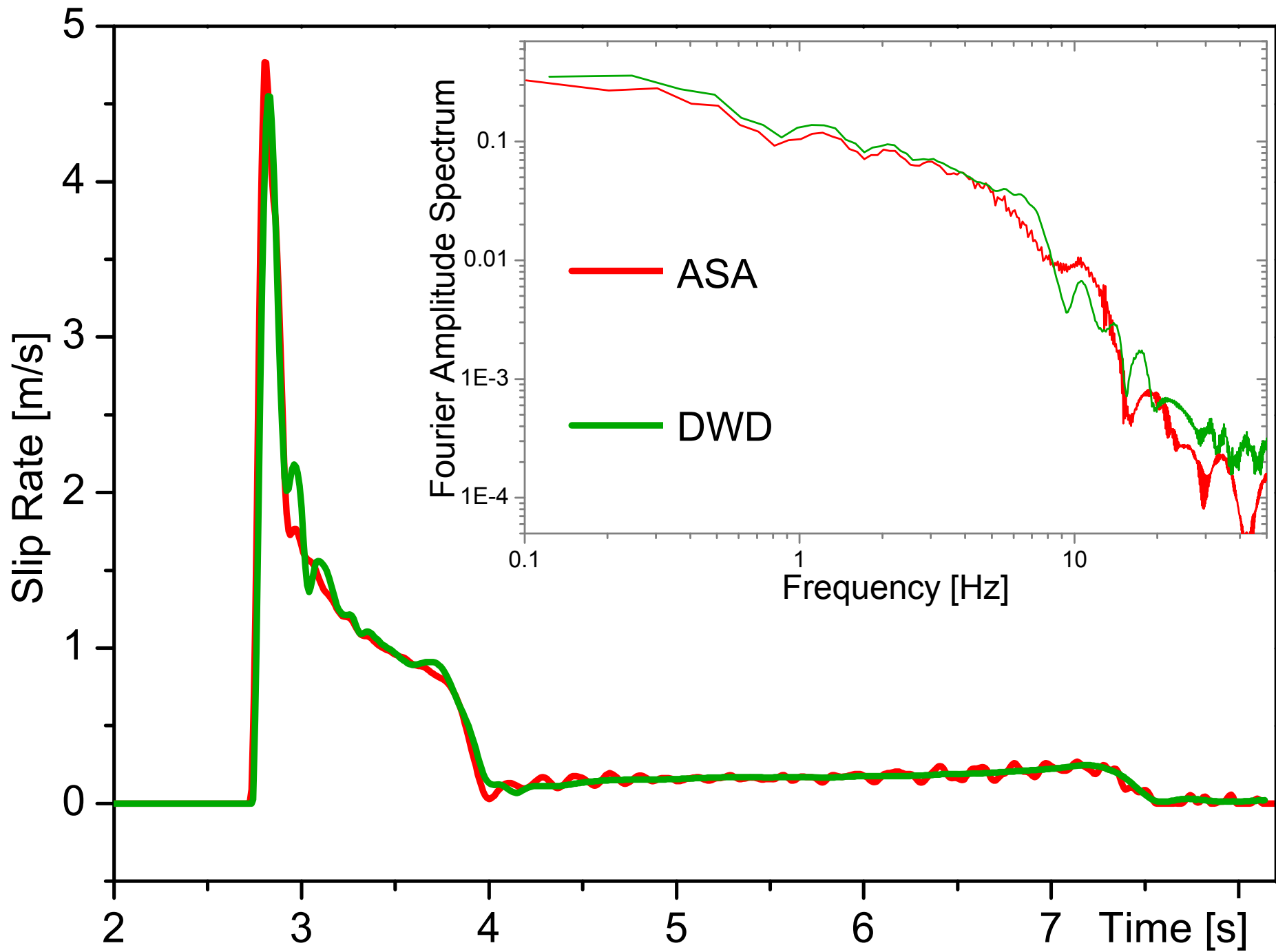
## Discrete Wavelet De-noising (DWD)

1. wavelet dekompozícia signálu rýchlosti sklzu  
dekompozícia do 4. tej úrovne rozkladu  
Daubechies wavelety 4.rádu alebo  
Symlets wavelety 8.rádu
2. „thresholding“ wavelet koeficientov  
tzv. „soft thresholding“  
prahové hodnoty sú preškáľované podľa  
úrovňovo - závislého odhadu hladiny šumu

## Discrete Wavelet De-noising (DWD)

1. wavelet dekompozícia signálu rýchlosti sklzu  
dekompozícia do 4. tej úrovne rozkladu  
Daubechies wavelety 4.rádu alebo  
Symlets wavelety 8.rádu
2. „thresholding“ wavelet koeficientov  
tzv. „soft thresholding“  
prahové hodnoty sú preškáľované podľa  
úrovňovo - závislého odhadu hladiny šumu
3. rekonštrukcia signálu použitím  
modifikovaného súboru wavelet koeficientov







## Empirical Mode Decomposition (EMD) de-noising

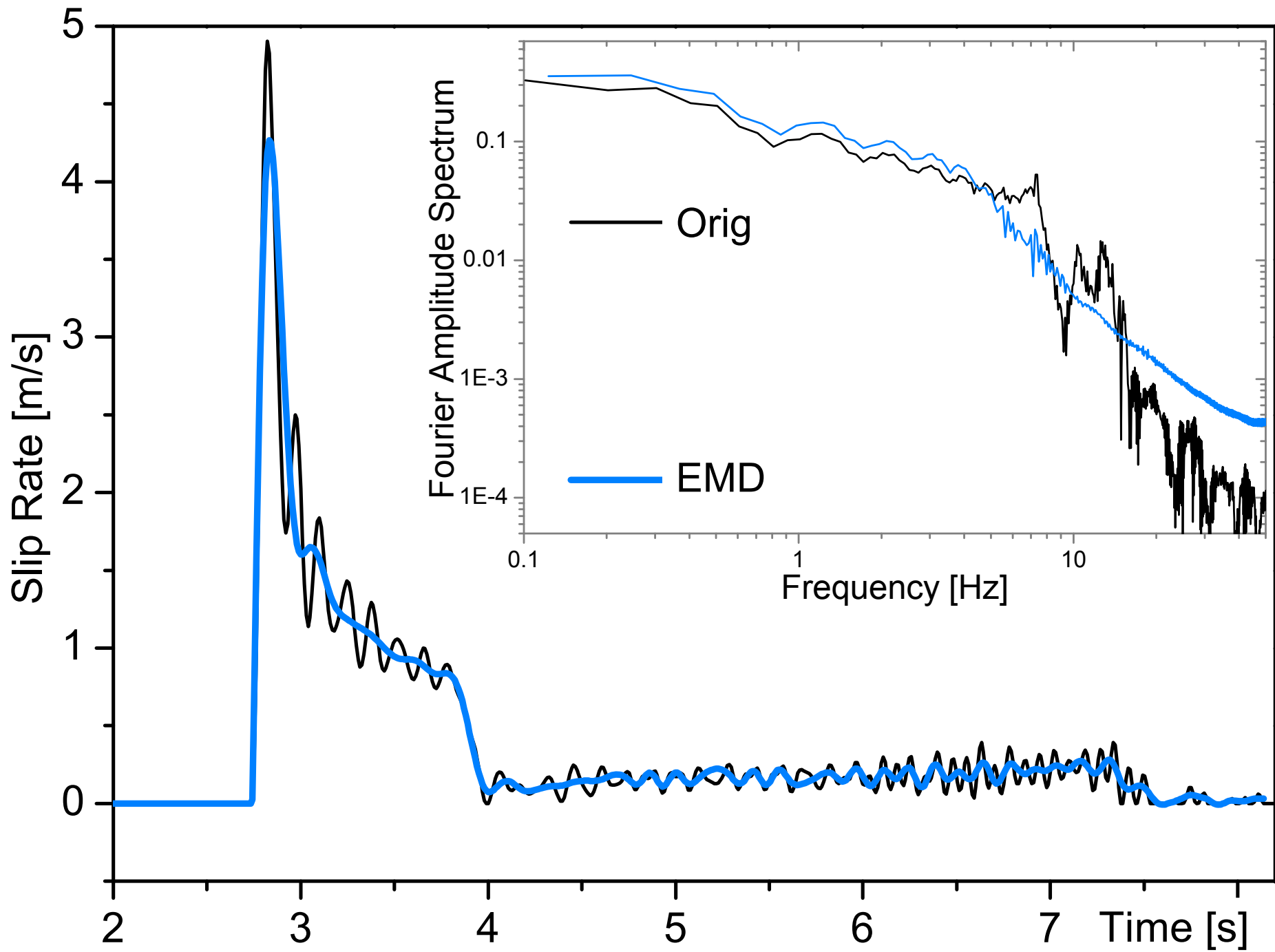
signál rýchlosti sklzu je možné empiricky rozložiť do niekoľkých oscilačných módov – „intrinsic mode functions“ (IMFs)

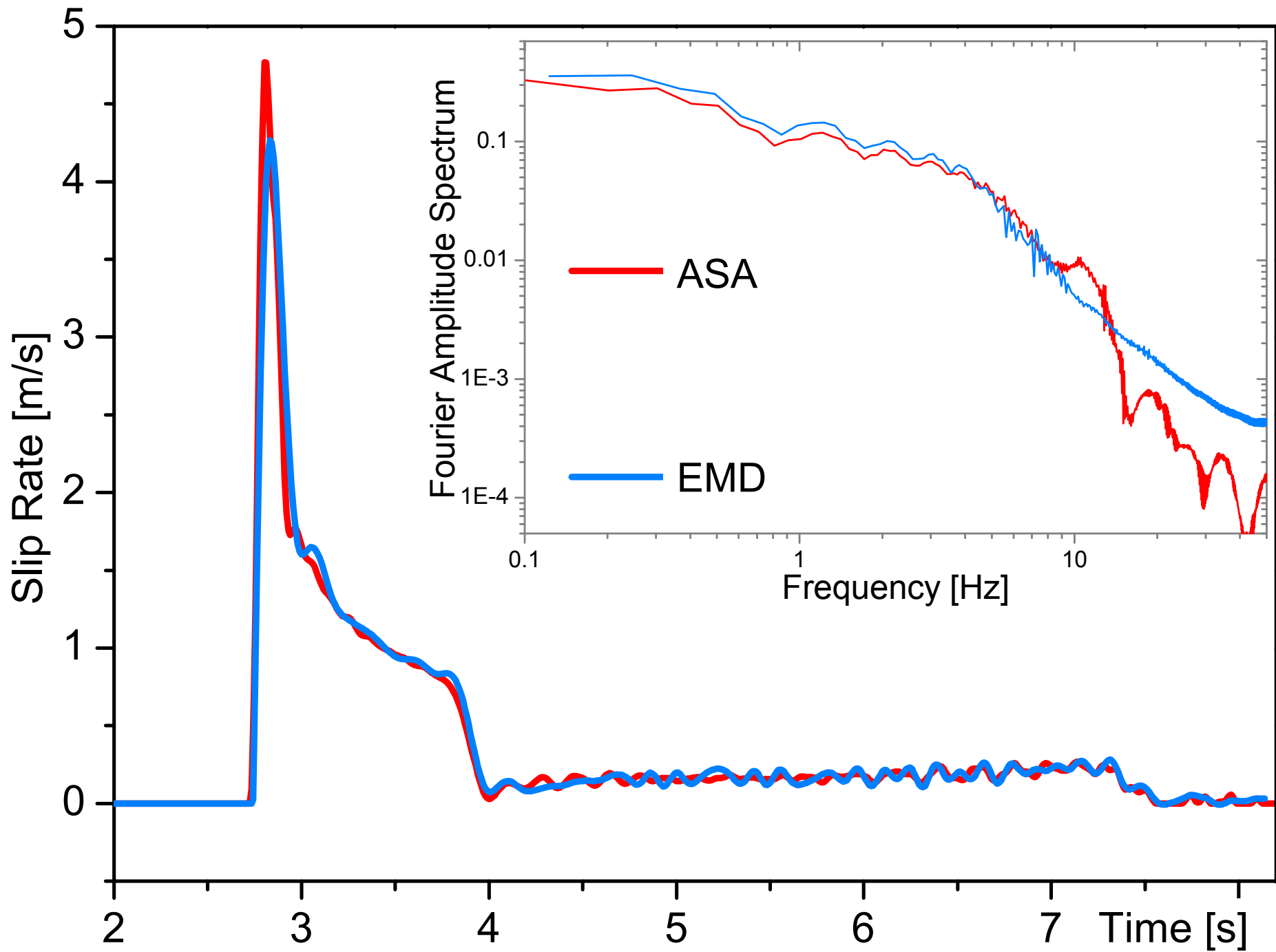
IMFs sú zero-mean and wide-sense AM-FM funkcie

**de-noising procedúra** (jej najjednoduchšia verzia):

1. rozložiť rýchlosť sklzu pomocou EMD do niekoľkých IMFs
2. odčítať prvú IMF (ktorej zvyčajne dominuje vysokofrekvenčný šum) od pôvodného signálu rýchlosti sklzu

**Hlavná výhoda:** adaptívna, tzv. „data-driven“ metóda





**pokiaľ oscilácie neovplyvňujú (nemenia)**

vývoj a šírenie trhliny,

vtedy je principiálne možné aplikovať

**a posteriori de-noising metódy**

na odstránenie a redukciu nežiaducich oscilácií

Problémom je však to,  
**že vo všeobecnosti nemôžeme**  
**apriori predpokladať, že**  
oscilácie nemia  
vývoj a šírenie trhliny

Problémom je však to,  
**že vo všeobecnosti nemôžeme**  
**apriori predpokladať, že**  
oscilácie nemia  
vývoj a šírenie trhliny

preto,  
a posteriori de-noising  
**nemôže slúžiť ako systematický nástroj**  
na potlačenie vysokofrekvenčných oscilácií

# Závery

Kvôli problematickosti overenia splnenia nutného prepokladu pre použitie a posteriori filtrovania rýchlosti sklzu, metódy a posteriori filtrácie **môžu byť** len **pomocným** prostriedkom **na potlačenie vysokofrekvenčných oscilácií**, často prítomných na numericky simulovaných signáloch.

Vzhľadom na špecifiká metód na a posteriori filtráciu signálov, (citlivosť na vstupné parametre, rozdielna efektivita potlačenia) **nie je možné tieto metódy používať rutinne**, bez prispôsobenia ich parametrov špecifikám signálu

# Závery

náš adaptívny vyhladzovací algoritmus (**ASA**)  
**je vhodným systematickým a priori prostriedkom**  
na potlačenie  
nefyzikálnych vysokofrekvenčných oscilácií rýchlostí sklzu



# Závery

náš adaptívny vyhladzovací algoritmus (**ASA**)  
**je vhodným systematickým a priori prostriedkom**  
na potlačenie  
nefyzikálnych vysokofrekvenčných oscilácií rýchlostí sklzu

nepoškodzuje (neskresľuje)  
rýchlosť sklzu

Môže len pomôcť odstrániť oscilácie,  
and

**je veľmi ľahko**  
**implementovateľný v programoch**  
na simuláciu šírenia trhliny

*Ďakujem za pozornosť*