

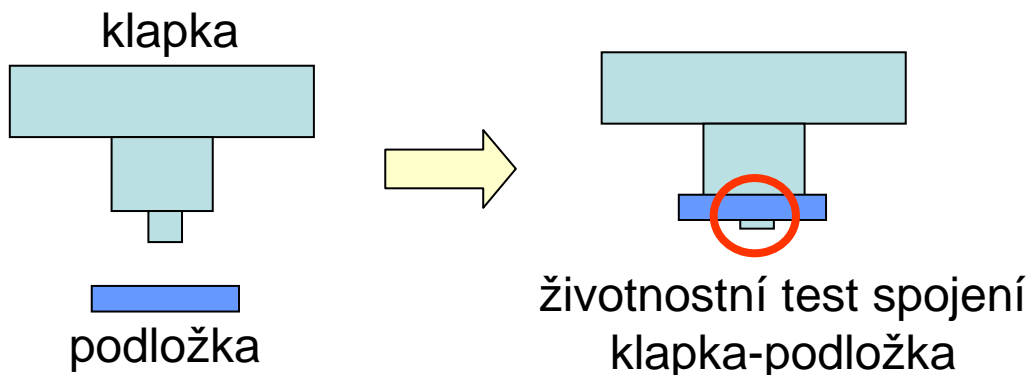
SWELL®

Vývojové služby pro automobilový průmysl

Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

Úvod



Požadavek zákazníka:

- navrhnout a provést zrychlené komponentní testy spoje klapka-podložka
- provést objektivní srovnání různých variant z hlediska použitých materiálů, technologie spojování, geometrických změn atp.

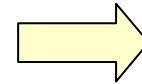
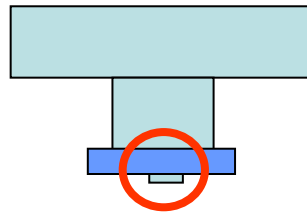
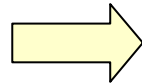
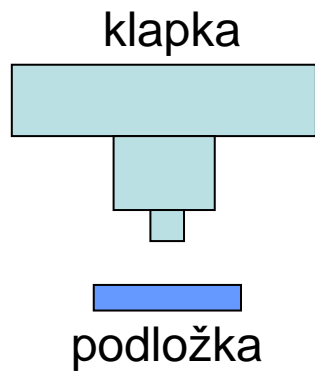
Návrh – použití vibračního zařízení:

- frekvence v řádu stovek Hz umožňuje náběh milionů cyklů během několika hodin
- přidáním hmoty lze zvýšit amplitudu zatížení
- zatížení lze zesílit testováním na vlastní frekvenci, testovat lze více vzorků najednou

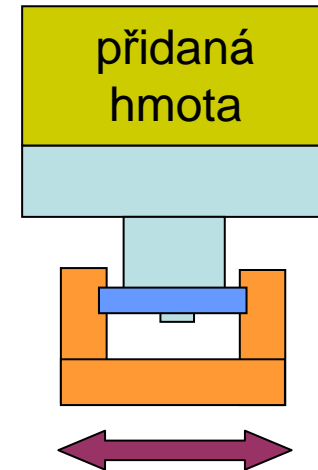
Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

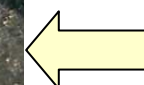
Způsob zatěžování



životnostní test spojení
klapka-podložka



směr zatěžování na
vibračním zařízení



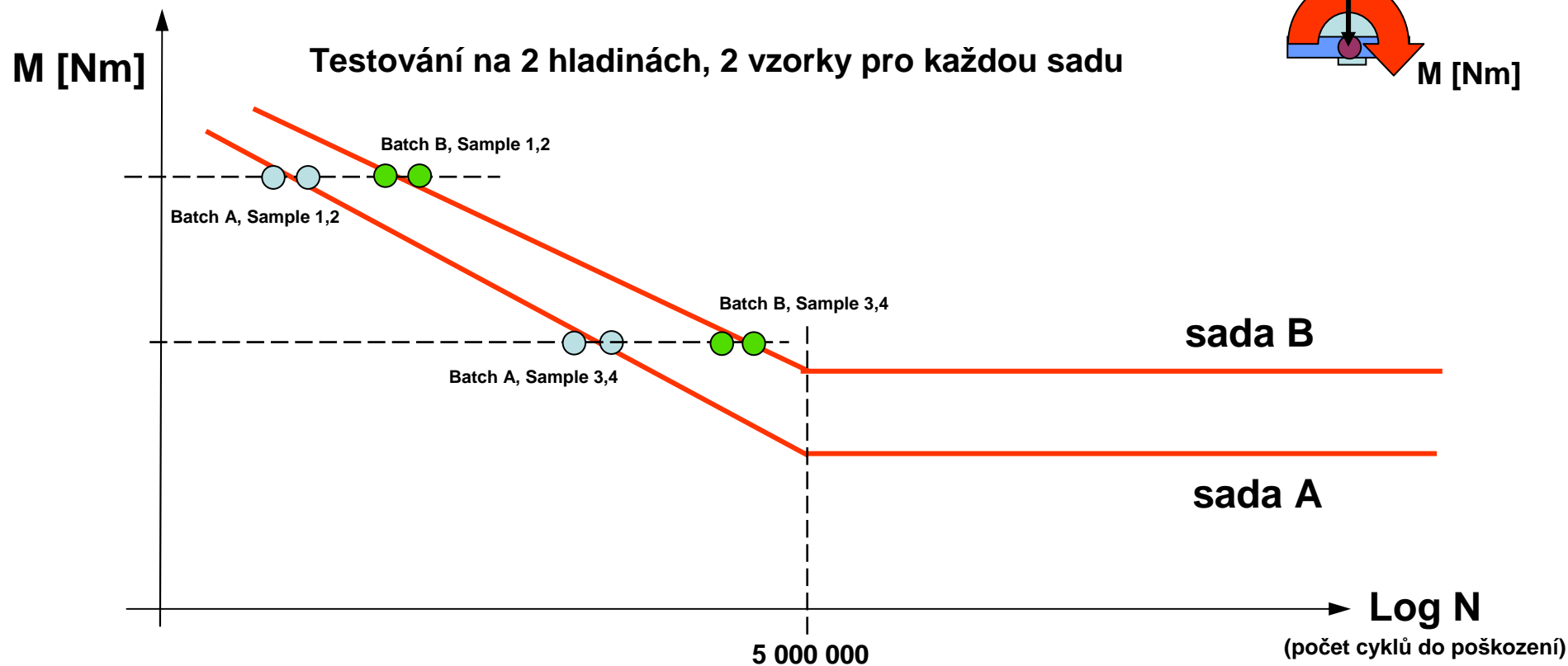
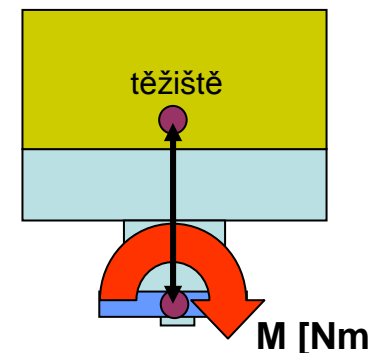
vzorek po
vibračním testu

Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

Způsob vyhodnocení - idea

Požadavek zákazníka: porovnat jednotlivé sady vzorků pomocí Wöhlerových křivek (tzn. vyhodnotit závislost počtu cyklů do poškození na zátěžném kroutícím momentu)



Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

Způsob zatížení a vyhodnocení - realita

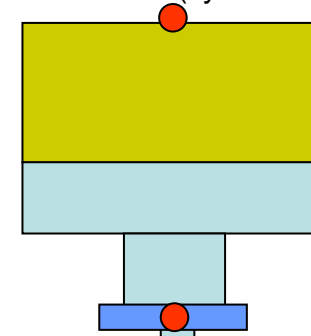
Vibrace na vlastní frekvenci – možné pouze při zatěžování širokospektrálním bílým šumem, protože

- každý vzorek (i ze stejné sady) má jinou vlastní frekvenci
- každý vzorek má jiné zesílení
- během testu se vlastní frekvence i zesílení posouvá dolů

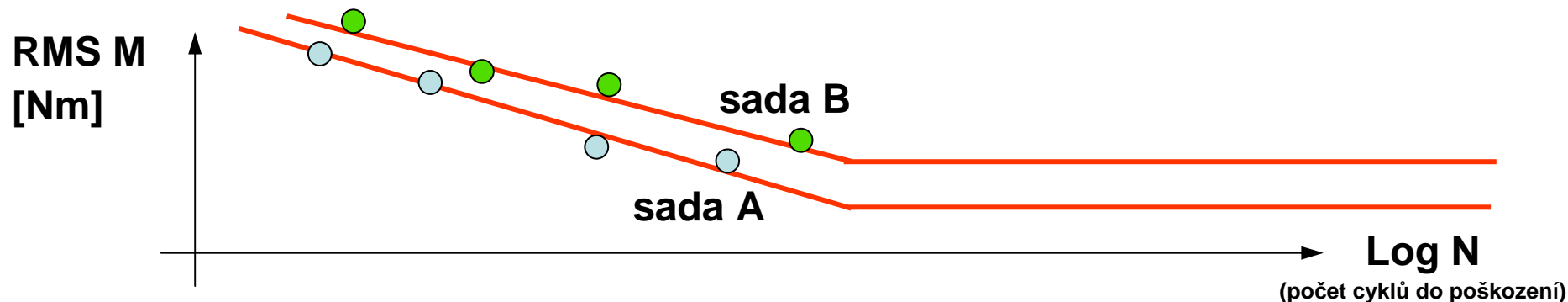
⇒ Vzorky kmitají na vlastní frekvenci, ale s náhodnou amplitudou

- krouticí moment dopočítán díky měření pomocí akcelerometru #2
- namísto M [Nm] lze vyhodnocovat pouze $\text{RMS } M$ [Nm]
- pro určení počtu cyklů do poškození je třeba monitorovat průběh vlastní frekvence
- pro udržení alespoň přibližně stejného $\text{RMS } M$ [Nm] je třeba postupně zvyšovat intenzitu buzení

Akcelerometr #2 (vyhodnocení)



Akcelerometr #1 (řídící)



Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

Kritika vynášení RMS do „Wöhlerova“ grafu

Vyhodnocováním kvadratického průměru amplitud (RMS) může dojít k podcenění poškození způsobeného kmity s velkou amplitudou. Dva různé zátěžné průběhy se stejným RMS tak mohou vést k jinému počtu cyklů do porušení.

Př.:

Zatížení A

Amplituda 13.

$RootMeanSquare[\{13., -13., 13., -13.\}] = 13.$

Zatížení B

Amplitudy 7., 17.

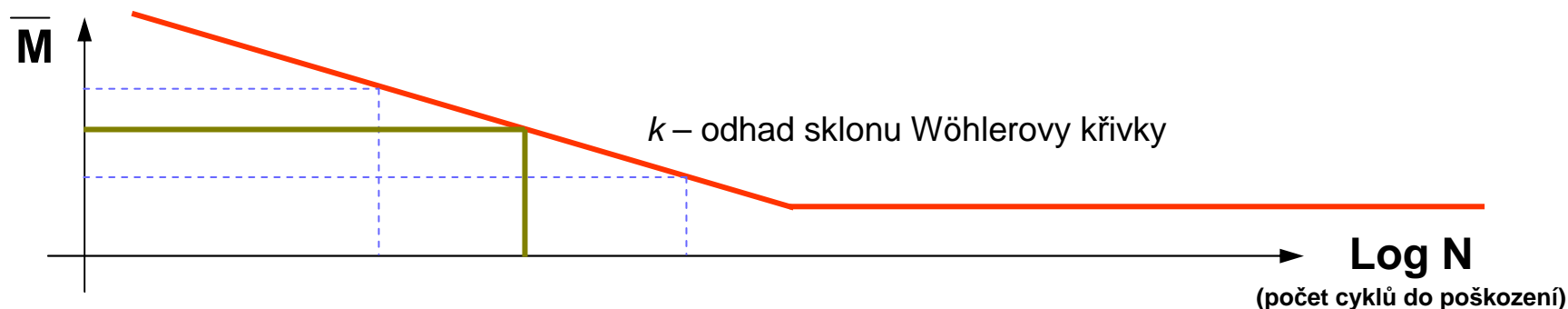
$RootMeanSquare[\{7., -7., 17., -17.\}] = 13.$

Střední amplituda z hlediska příspěvku k poškození:

$$\bar{g} = k \cdot \text{Log} \left(\frac{\sum 10^{s_i/k}}{\#I} \right) \quad \text{pro } k=5$$

Zatížení A: 13.

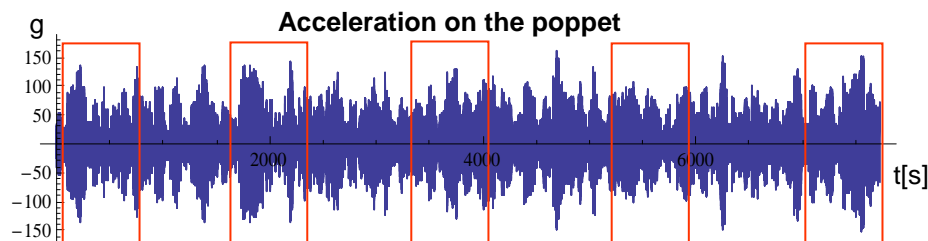
Zatížení B: 15.5



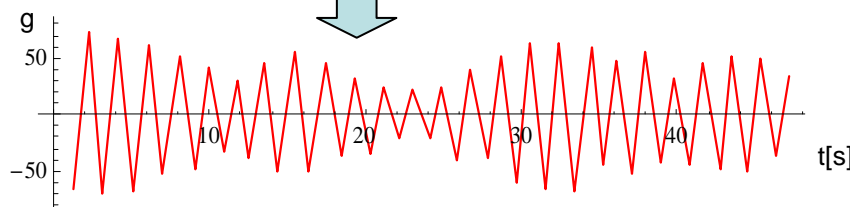
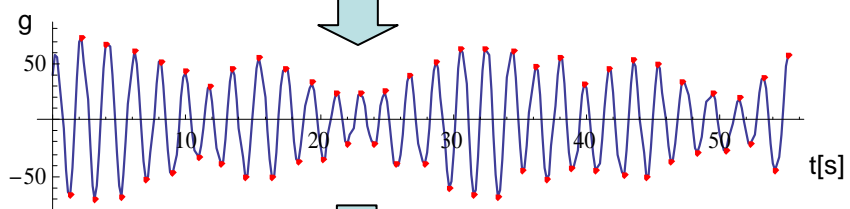
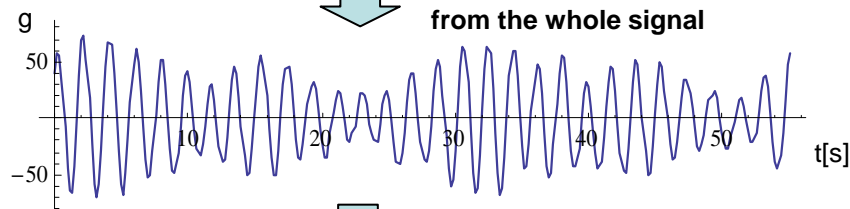
Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

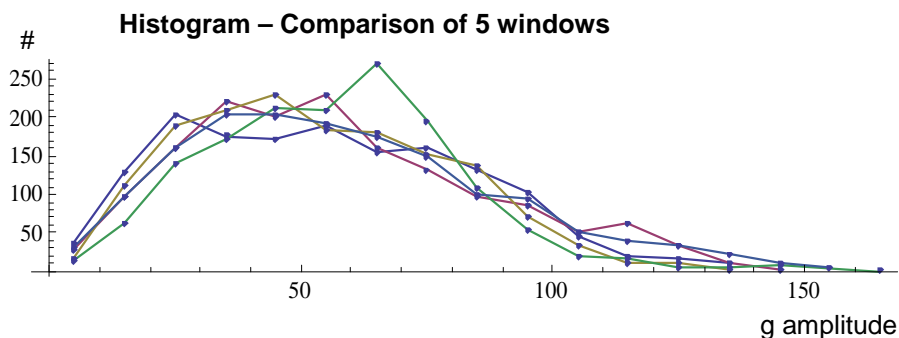
Střední amplituda z hlediska příspěvku k poškození



Choice of 5 windows from the whole signal



5 x Peak Valley on chosen windows



Conclusion: 5 chosen windows can represent the whole signal

Mean g amplitude for one specimen with respect to the damage:

$$\bar{g} = k \cdot \text{Log} \left(\frac{\sum_{i \in I} 10^{g_i/k}}{\#I} \right)$$

where:

g_i are amplitudes of acceleration from Peak-Valley

k is the slope of woehler curve

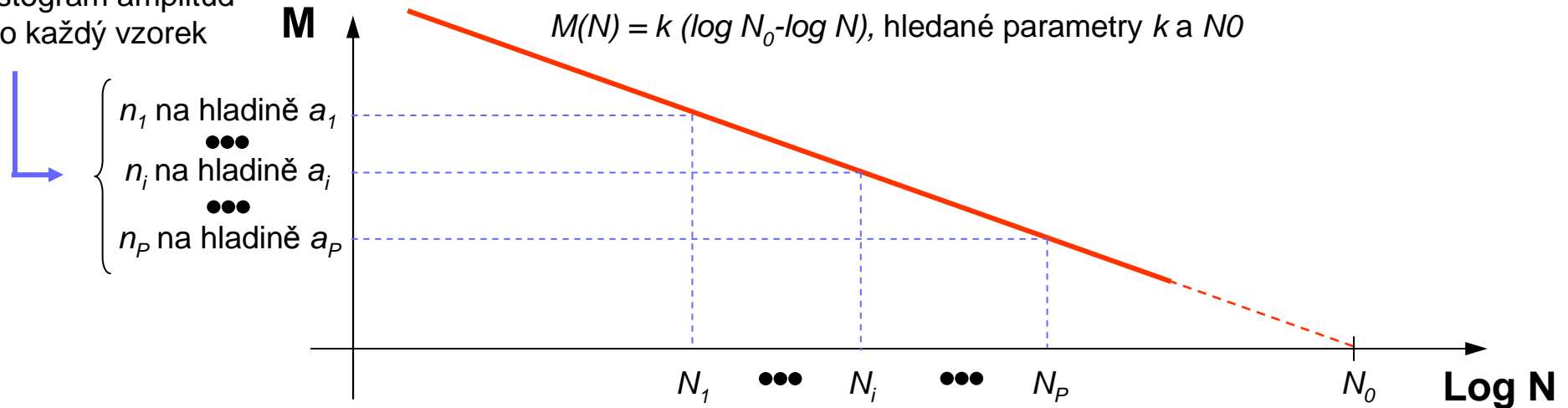
Tento přístup užívá pouze odhad sklonu Wöhlerovy křivky !

Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

Odhad parametrů Wöhlerovy křivky

Z měření známe
histogram amplitud
pro každý vzorek



U každého vzorku došlo k poškození, takže zřejmě platí: $D = \sum_i D_i = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = \sum_i \frac{n_i}{N_0} 10^{a_i/k} \approx 1$

Pokud máme alespoň 2 vzorky na sadu, lze parametry k a N_0 odhadnout metodou nejmenších čtverců:

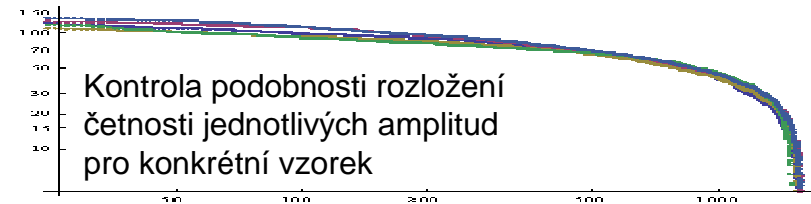
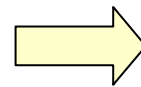
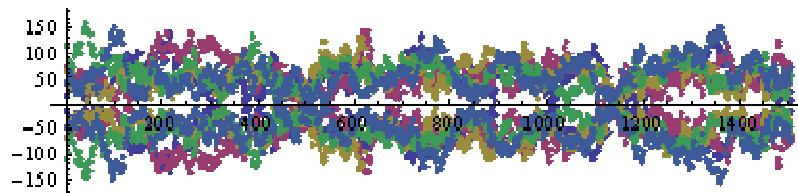
$$\min_{k, N_0} \sum_j \left(1 - \sum_i \frac{n_i}{N_0} 10^{a_i/k} \right)^2$$

Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

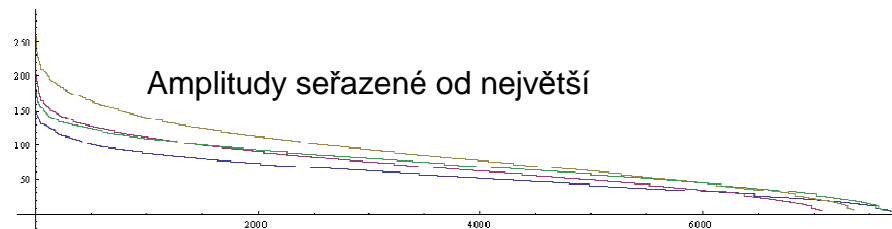
Realizace pomocí sw Mathematica

Import 5 okýnek z měřených dat pro každý vzorek, diskretizace, kontrola dat (měřit a vyhodnocovat celý časový průběh nepřipadá v úvahu)

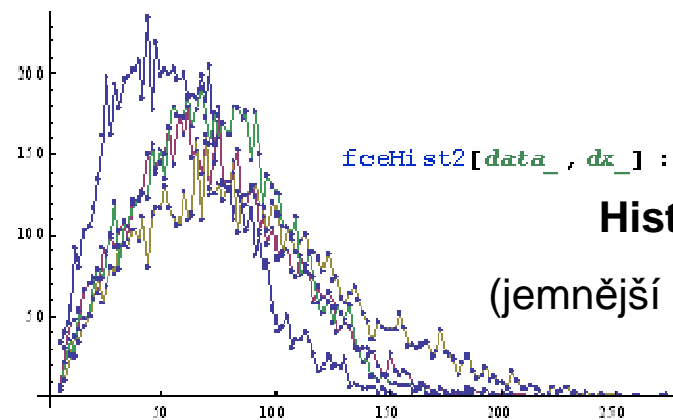


Kontrola podobnosti rozložení četnosti jednotlivých amplitud pro konkrétní vzorek

Porovnání vzorků z jedné sady



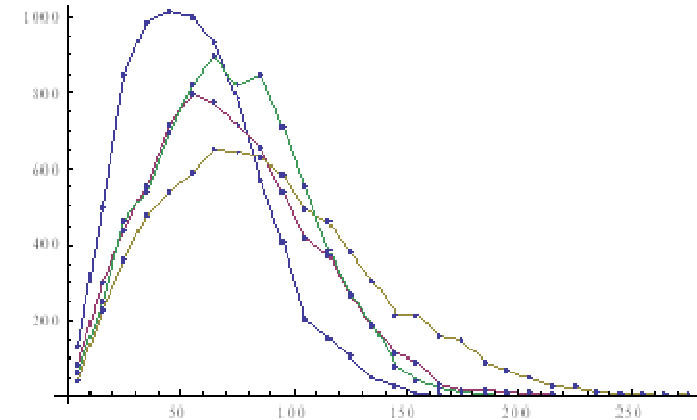
Amplitudy seřazené od největší



```
fceHist2[data_, dx_] := Tally[Ceiling[data, dx] - dx / 2]
```

Histogram amplitud

(jemnější vs. hrubší diskretizace)



Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

Realizace pomocí sw Mathematica

Výpočet rozložení četností amplitud

```
AN1 = Transpose[fceHist2[vzorek1, hr]];
AN2 = Transpose[fceHist2[vzorek2, hr]];
AN3 = Transpose[fceHist2[vzorek3, hr]];
AN4 = Transpose[fceHist2[vzorek4, hr]];
```

```
-----
AA = {AN1[[1]], AN2[[1]], AN3[[1]], AN4[[1]]};
mn = {AN1[[2]], AN2[[2]], AN3[[2]], AN4[[2]]} * pOpak / 2; (pOpak = celkový čas do poškození / celkový čas okýnek)
```

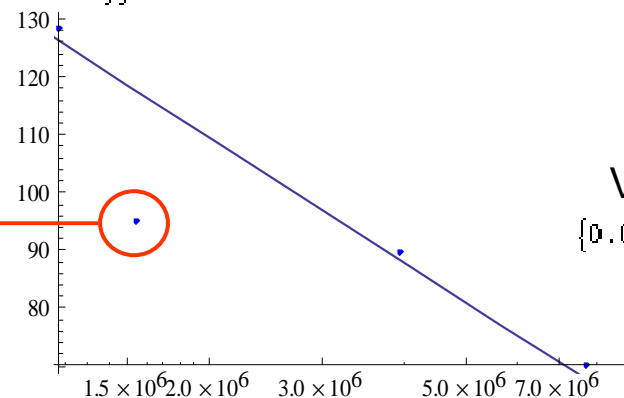
Odhad parametrů k, N_0

```
fce[N0_, k_] := Total[(1 - Map[Total[#1] &, mn] 10^(AA / k)] / N0 ^ 2]
```

```
NMinimize[{fce[N0, k], {10 < k < 200}}, {N0, k}]
```

```
{0.275912, {N0 → 6.66276 × 107, k → 72.0019}}
```

Vzorek #2 leží výrazně mimo odhad



Výsledek odhadu bez vzorku #2

```
{0.000800184, {N0 → 7.19978 × 107, k → 71.9466}}
```

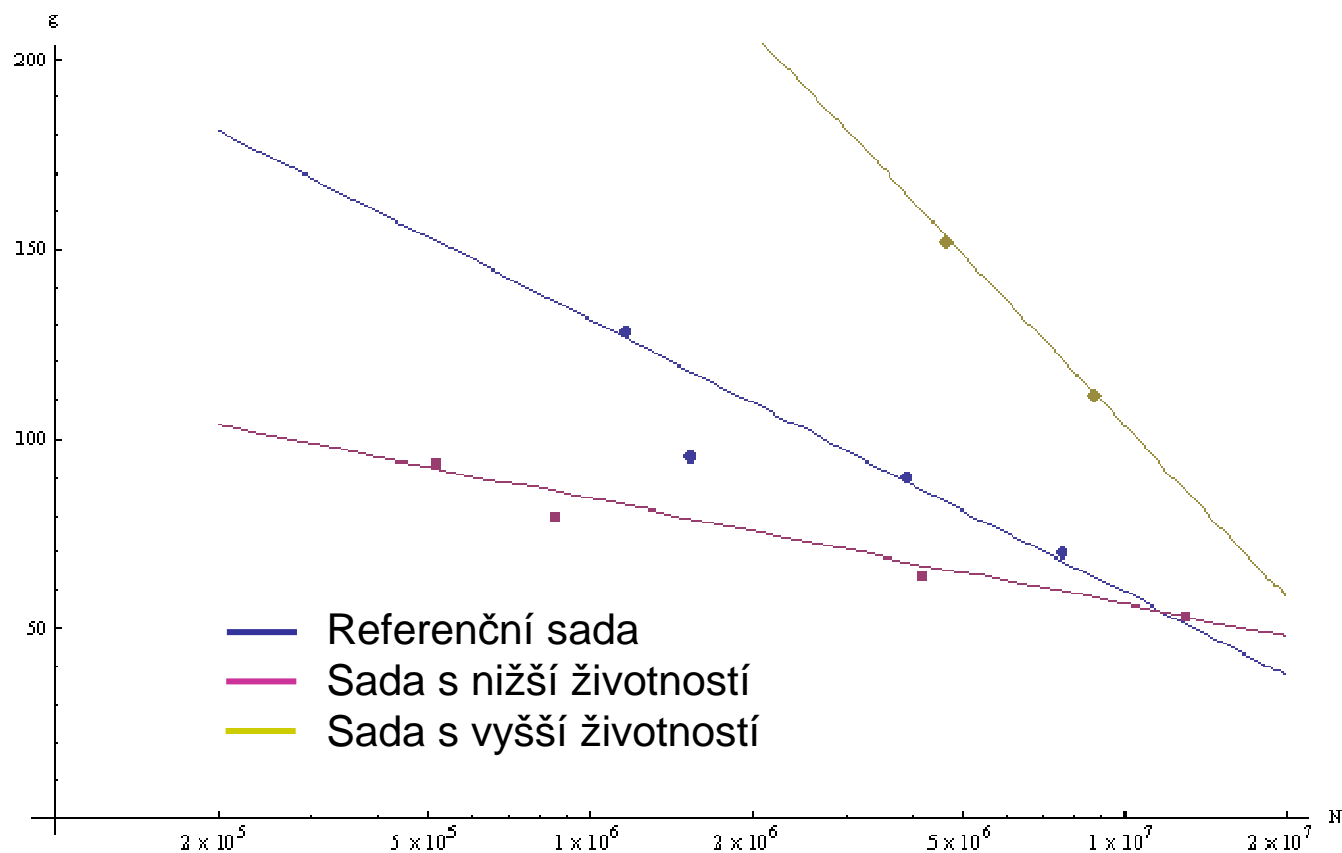
Určování únavových vlastností při náhodné amplitudě zatížení

13.9.2010

Závěr

Ze signálu s náhodnou amplitudou zatížení lze za určitých předpokladů odhadnout únavové křivky.

V našem konkrétním případě nevedly k odlišným závěrům při porovnání jednotlivých sad.





Swell, spol. s r. o.

Náměstí Jiřího z Poděbrad 236
508 01 Hořice, Czech Republic

tel.: +420 493 546 940
fax: +420 493 546 954

e-mail: info@swell.cz
www.swell.cz