

X31ZZS – 7. PŘEDNÁŠKA

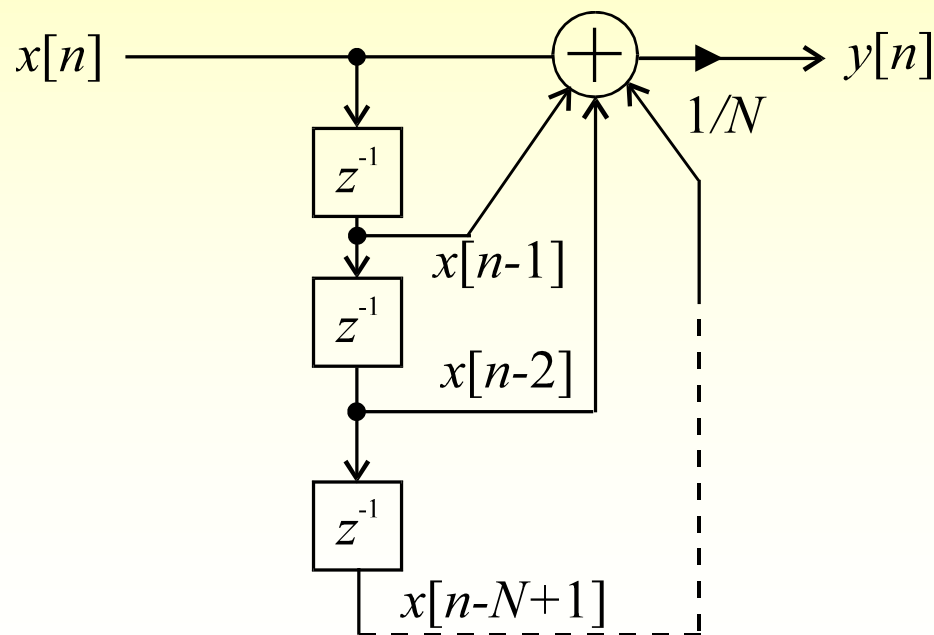
10. listopadu 2014

- **Jednoduché číslicové filtry**
 - Klouzavé průměry
 - Úzkopásmové zadržky
 - Diferenciátory
 - Hřebenové filtry
 - Karplusův – Strongův algoritmus
 - Fázovací filtry
 - Audio efekty založené na časovém zpoždění
 - Schroederův algoritmus modelování dozvuku

Filtr klouzavých průměrů I

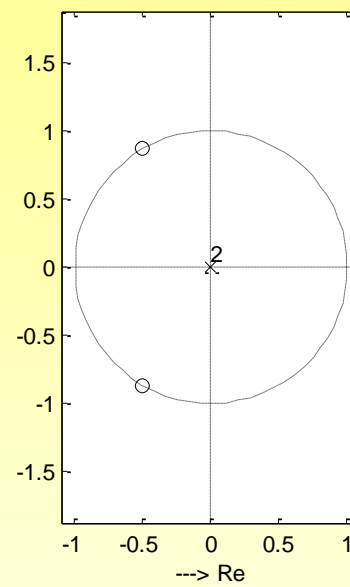
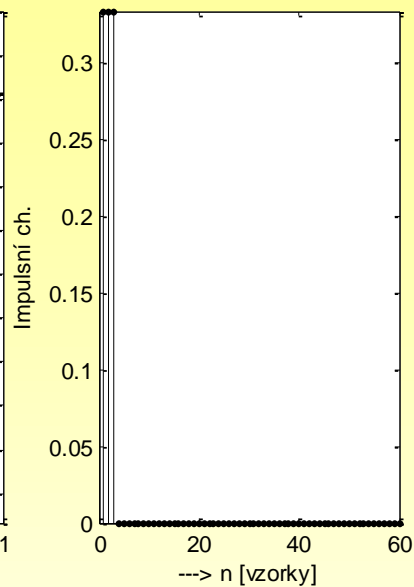
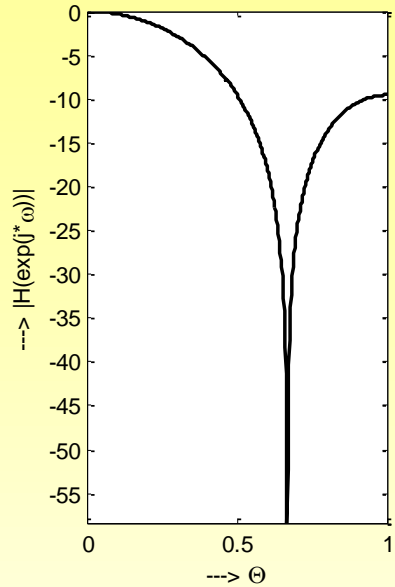
$$y[n] = \frac{1}{N} (x[n] + x[n-1] + \dots + x[n-N+1]), \quad n = 0, 1, \dots$$

$$H(z) = \frac{1}{N} (1 + z^{-1} + \dots + z^{-N+1}) = \frac{1}{N} \frac{z^{N-1} + z^{N-2} + \dots + 1}{z^{N-1}} = \frac{1}{N} \frac{z^N - 1}{z^{N-1} \cdot (z - 1)}$$

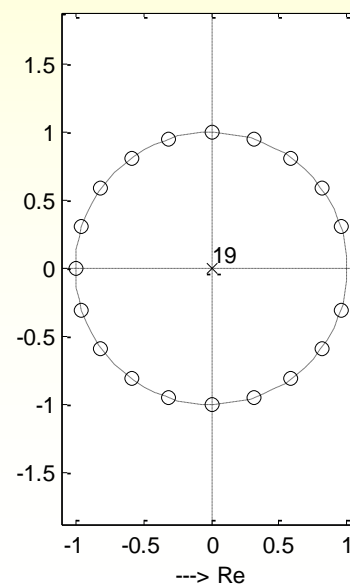
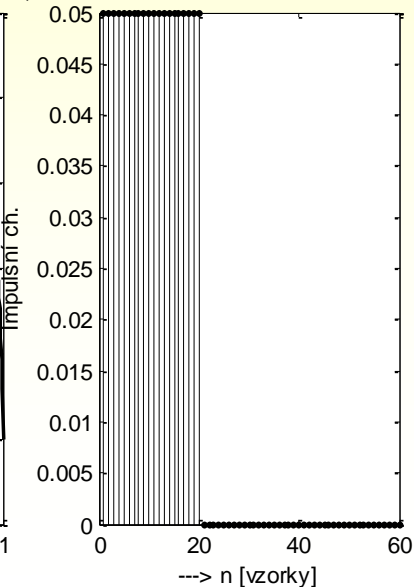
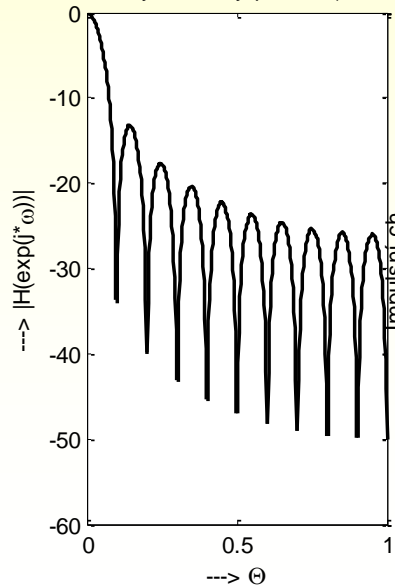


Filtr klouzavých průměrů II

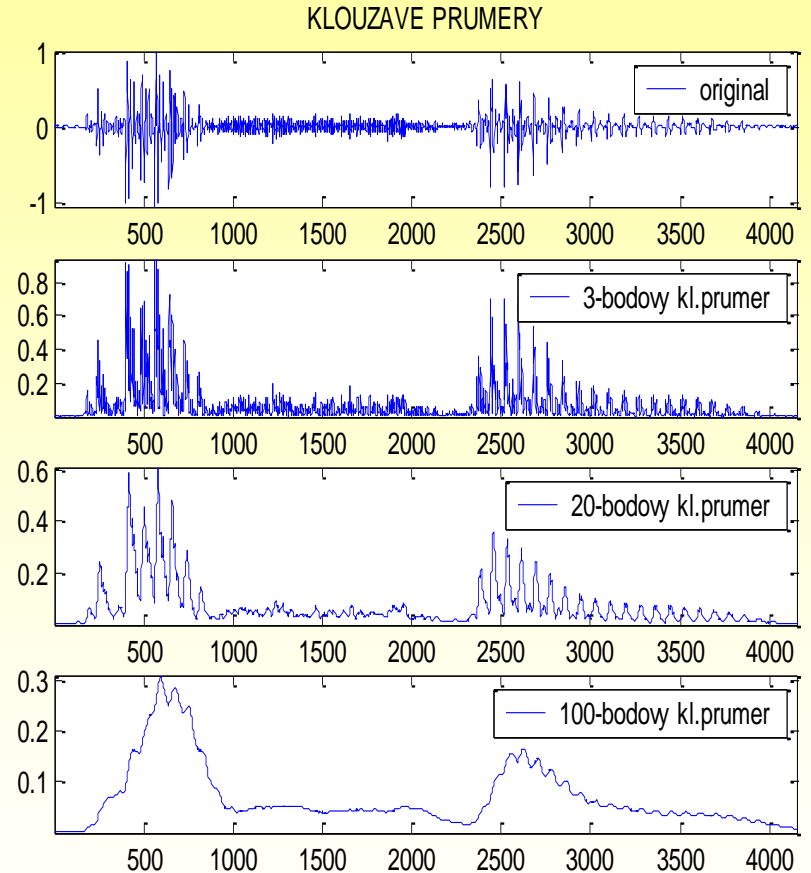
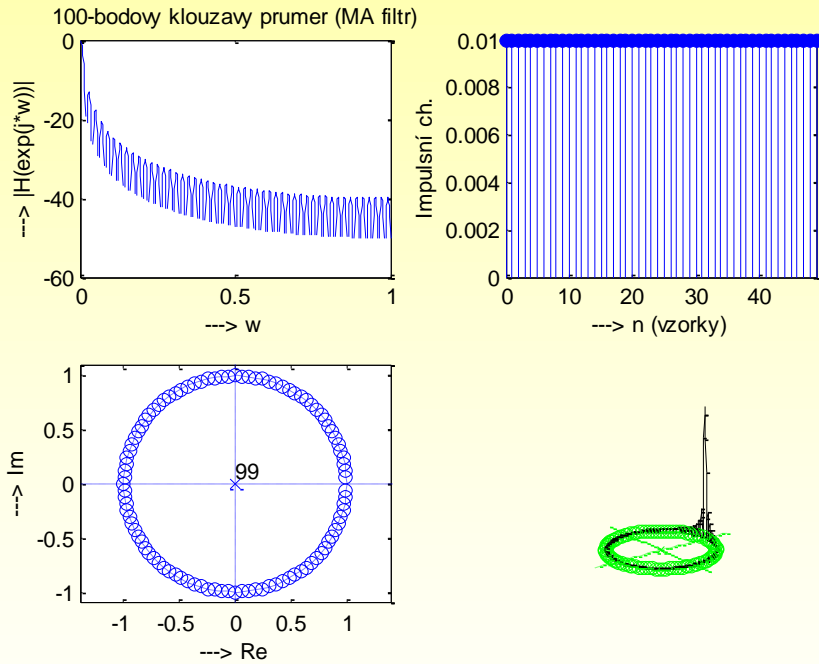
3-bodový klouzavý průměr (MA filtr)



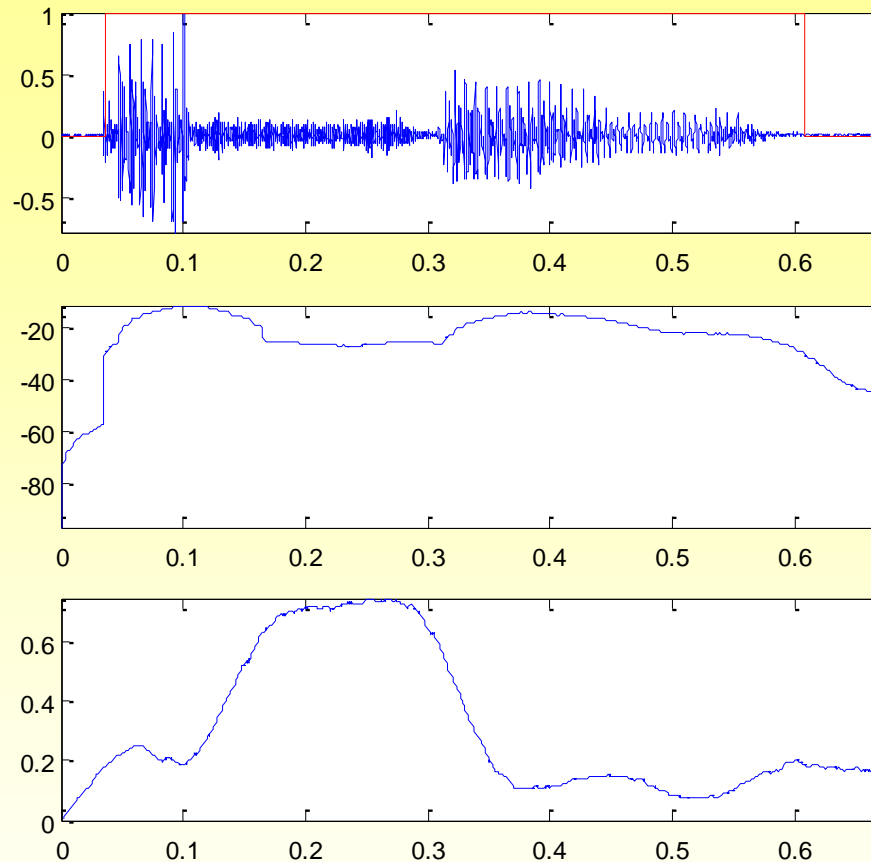
20-bodový klouzavý průměr (MA filtr)



Filtr klouzavých průměrů III



Filtr klouzavých průměrů IV

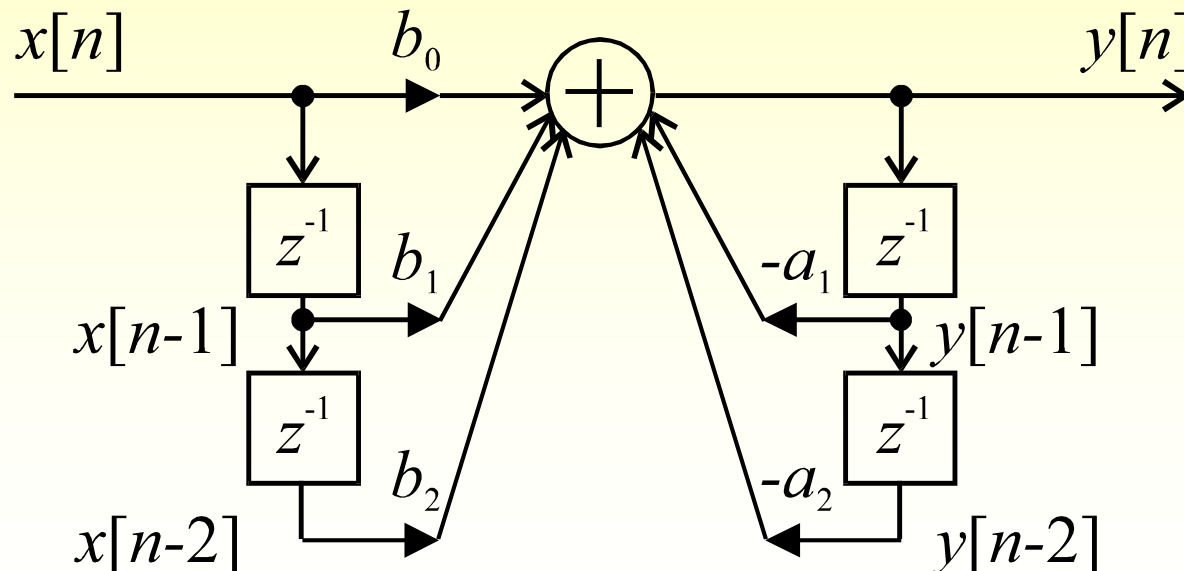


```
E = 10*log10(filter(ones(1,512),1,x.^2)./512);  
Z = [0;filter(ones(1,512),1,abs(diff(x>0)))./512];  
Y = E>-30|E>-45&Z>2000;
```

Úzkopásmová zadrž IIR I

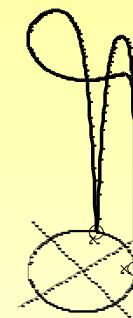
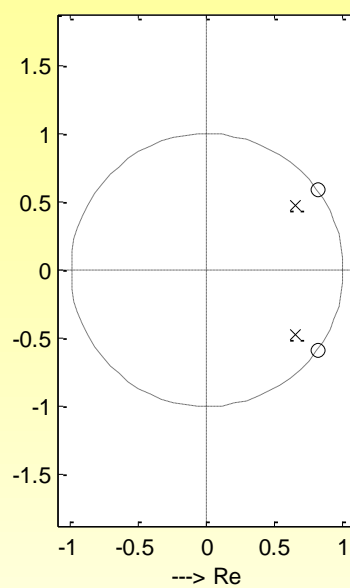
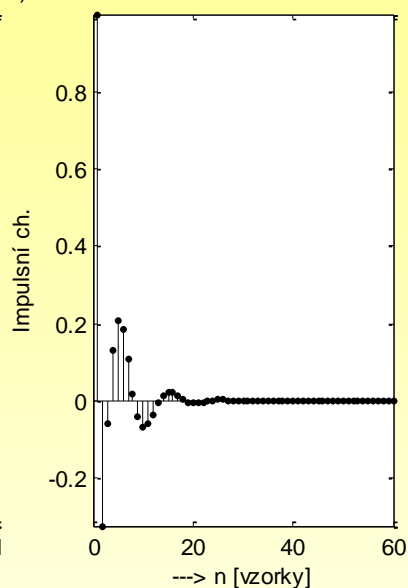
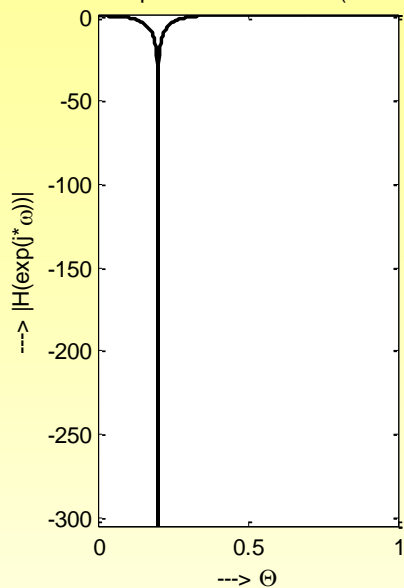
$$y[n] = x[n] - 2R \cos \Theta_0 x[n-1] + R^2 x[n-2] + 2r \cos \Theta_0 x[n-1] - r^2 x[n-2]$$

$$H(z) = \frac{1 - 2R \cos \Theta_0 z^{-1} + R^2 z^{-2}}{1 - 2r \cos \Theta_0 z^{-1} + r^2 z^{-2}} = \frac{z^2 - 2R \cos \Theta_0 z + R^2}{z^2 - 2r \cos \Theta_0 z + r^2}$$

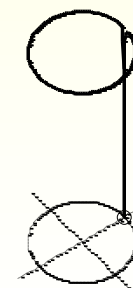
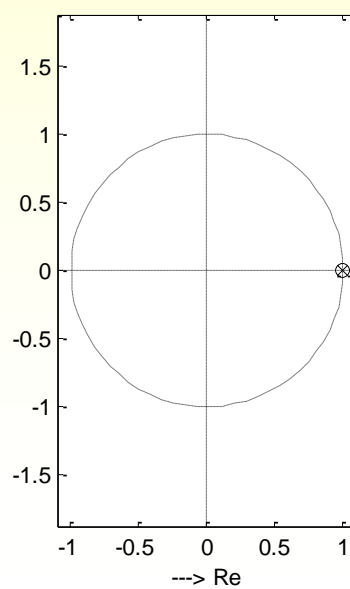
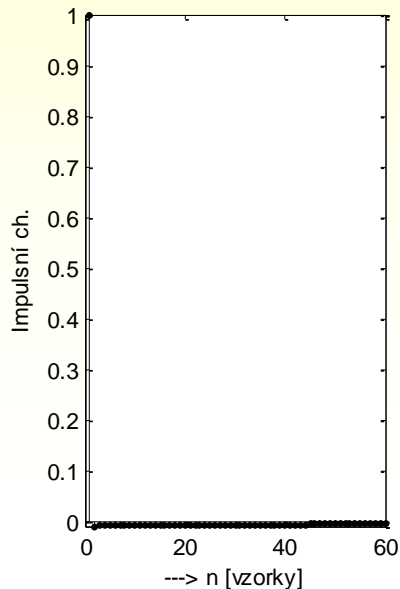
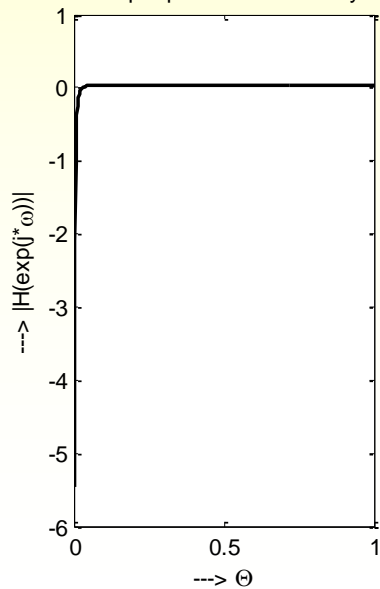


Úzkopásmová zadrž IIR II

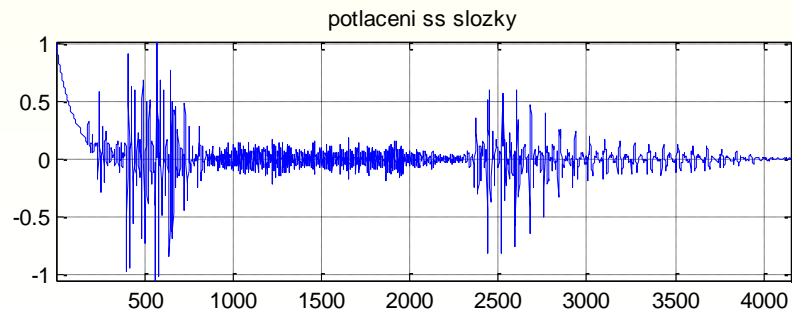
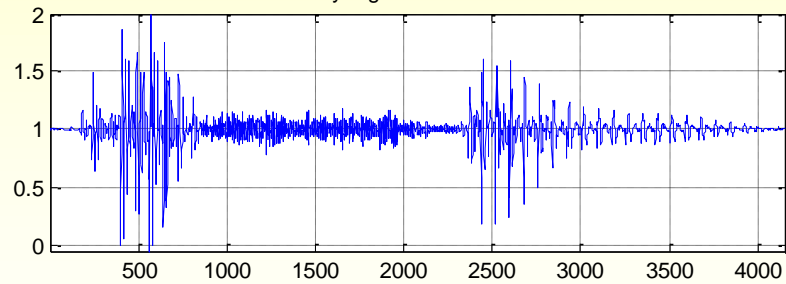
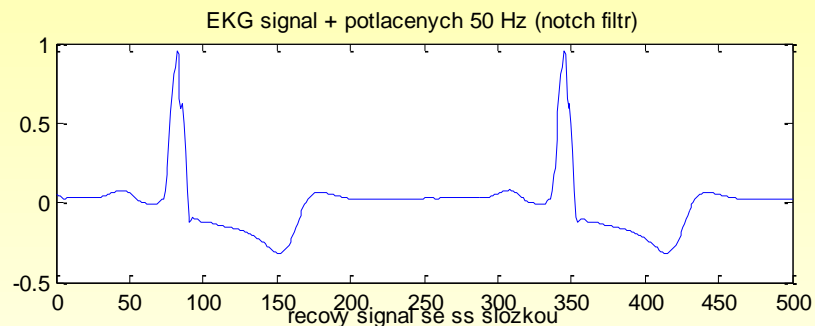
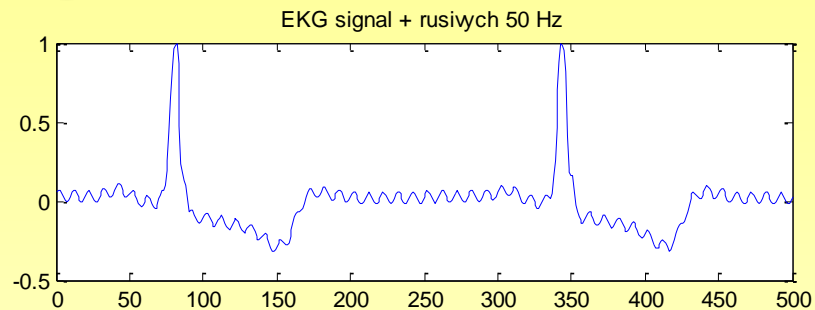
Příklad potlacení frekvence ($f_r = f_s/10$)



Filtr pro potlacení ss složky



Úzkopásmová zadrž IIR III



Potlačení 50 Hz v EKG signálu

```
f_s = 500;  
f_r = 50;  
R = 1;  
r = 0.8;  
b = [1 -2*R*cos(2*pi*f_r/f_s) R*R];  
a = [1 -2*r*cos(2*pi*f_r/f_s) r*r];  
load ecg;  
signal=ecg; signal=signal/max(abs(signal));  
subplot(211), plot(signal(1:500))  
title('EKG signal + rusivych 50 Hz')  
f_signal=filter(b,a,signal);  
subplot(212), plot(f_signal(1:500))  
title('EKG signal + potlacenyh 50 Hz (notch filtr)')  
  
%pacient je po infarktu
```

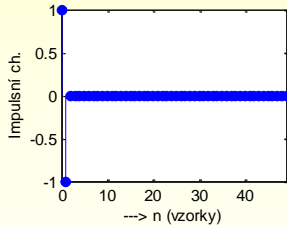
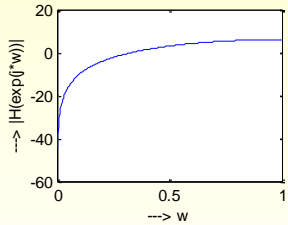
Diferenciátory

$$y[n] = x[n] - x[n - 1]$$

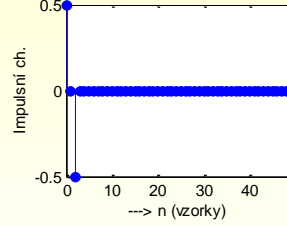
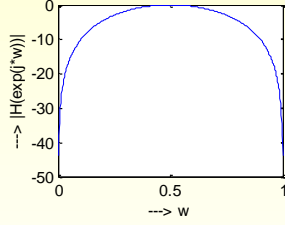
$$y[n] = 0,5 \cdot (x[n] - x[n - 2])$$

$$y[n] = 0,1 \cdot (2 \cdot x[n] + x[n - 1] - x[n - 3] - 2 \cdot x[n - 4])$$

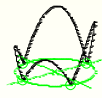
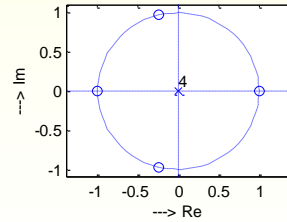
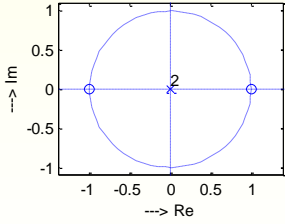
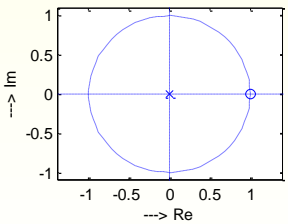
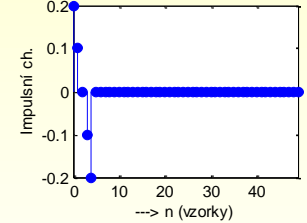
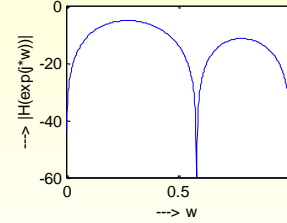
2b. diferenciator



3b. diferenciator

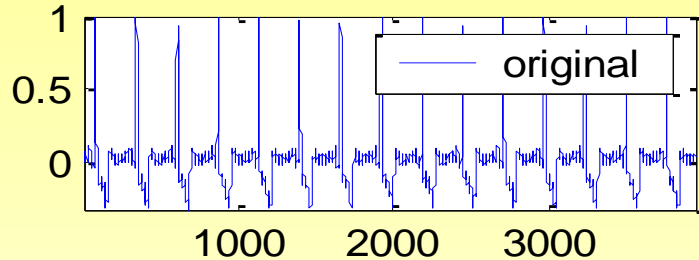


5b. diferenciator

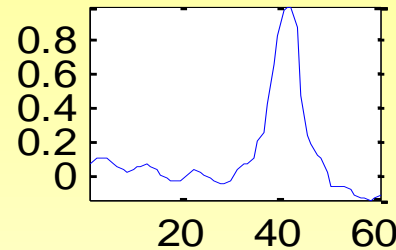


Diferenciátory

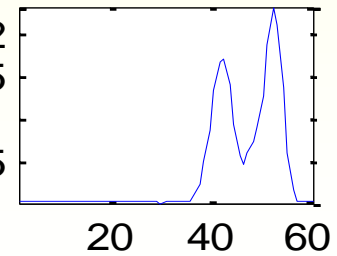
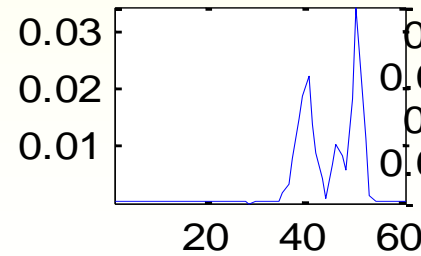
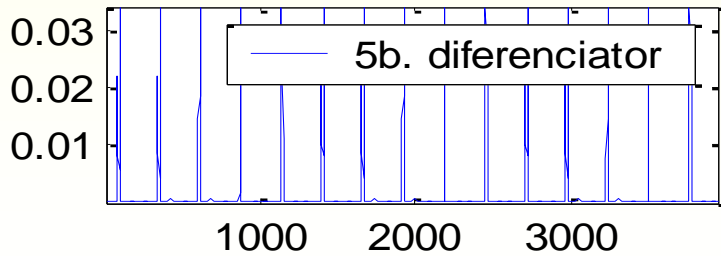
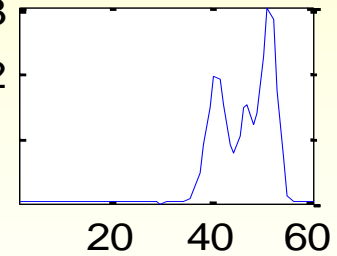
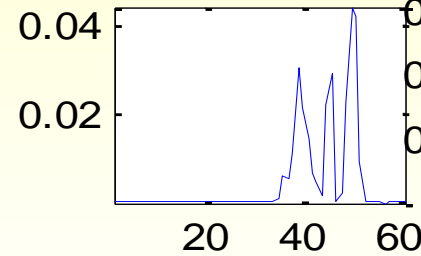
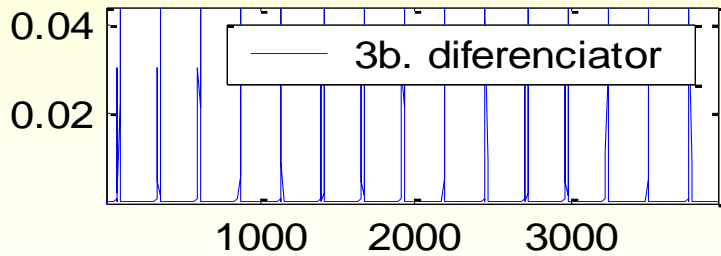
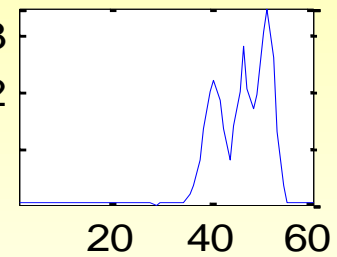
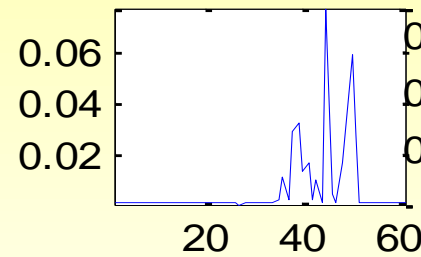
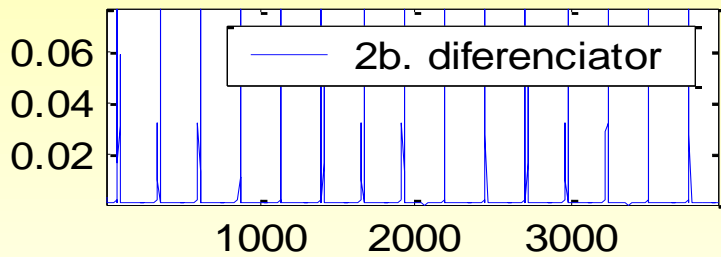
Detekce R spickek v EKG signalu



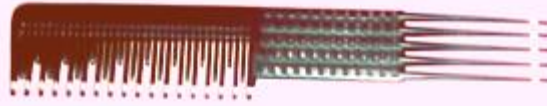
detail



po vyhlazeni

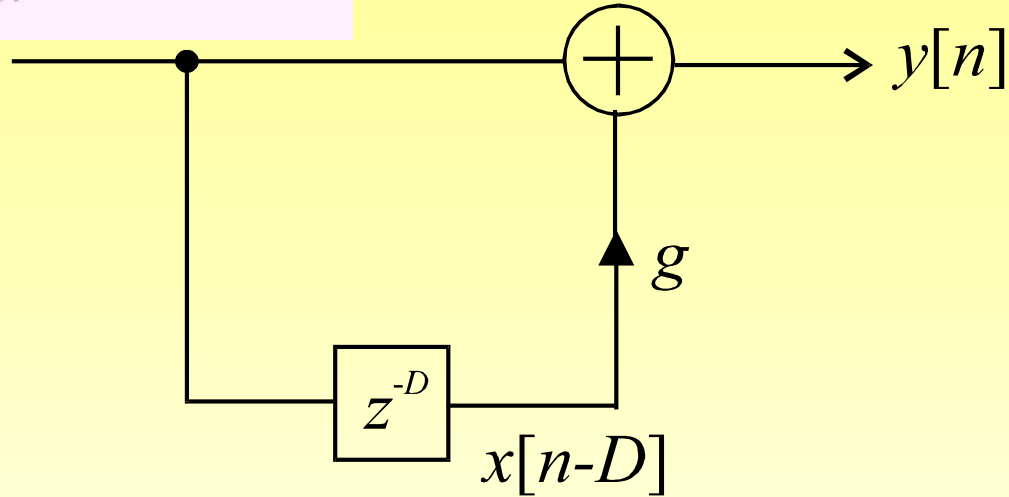


Hřebenový FIR filtr

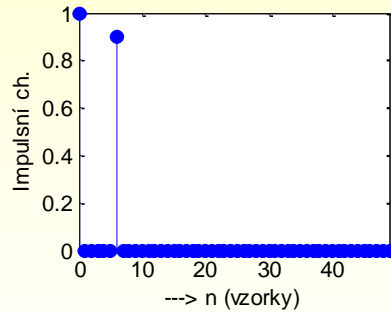
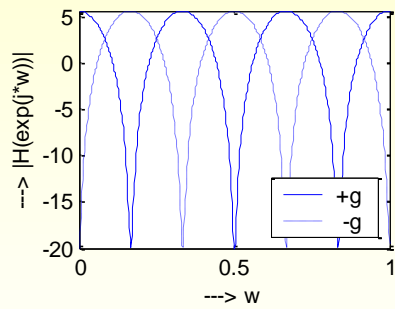


$$y[n] = x[n] + g \cdot x[n-D]$$

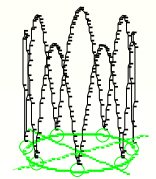
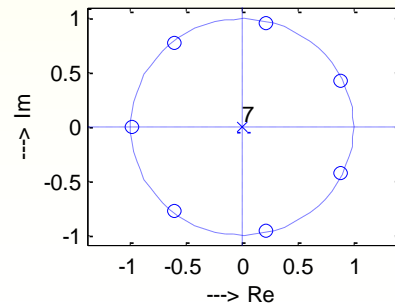
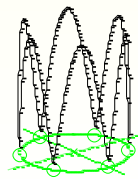
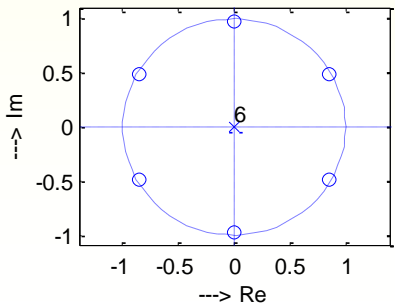
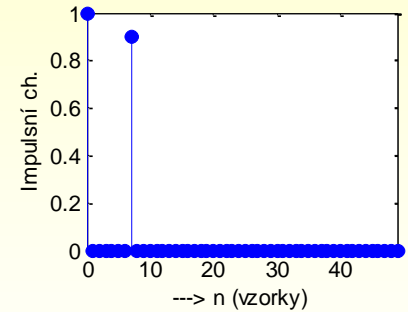
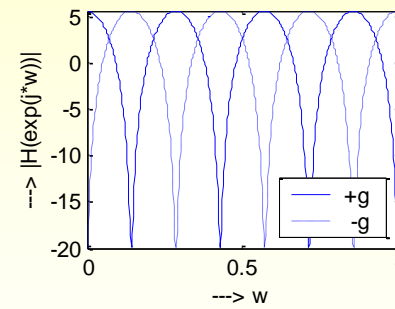
$$H(z) = 1 + g \cdot z^{-D} = \frac{z^D + g}{z^D}$$



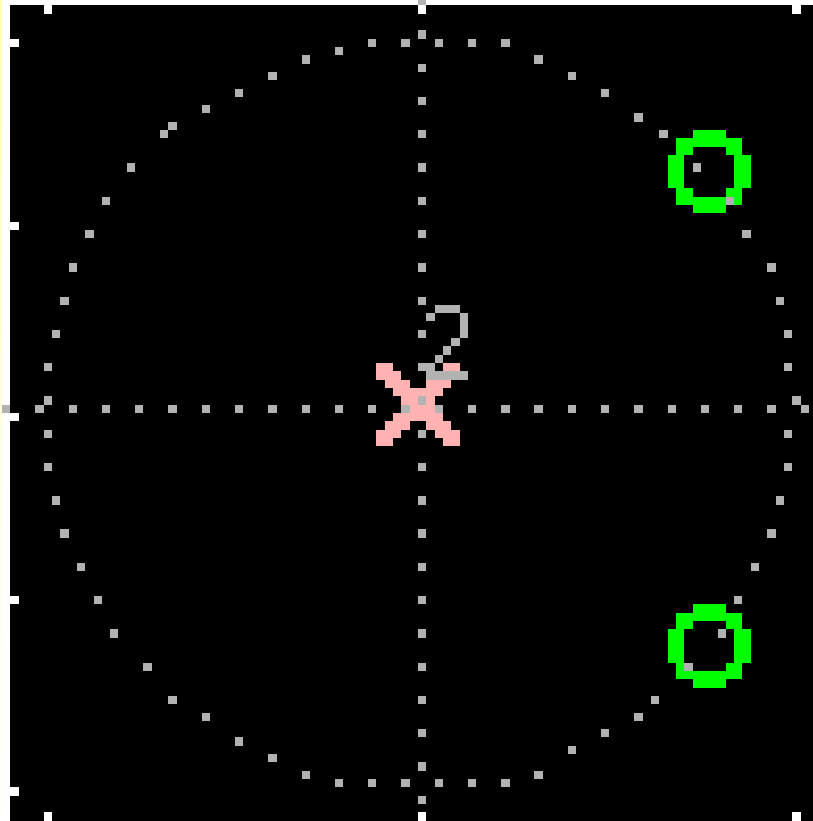
Hřebenový FIR filtr 6. radu



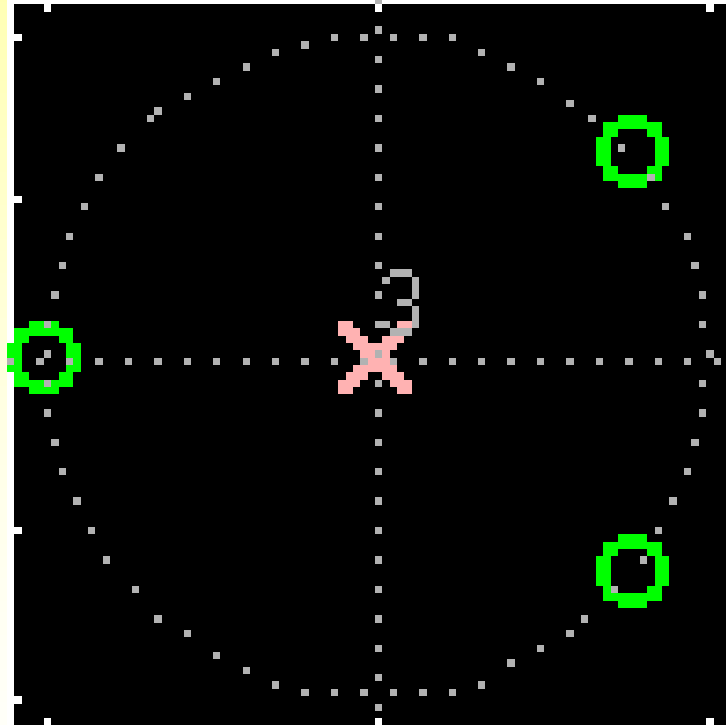
Hřebenový FIR filtr 7. radu



FIR filtr se dvěma nulami

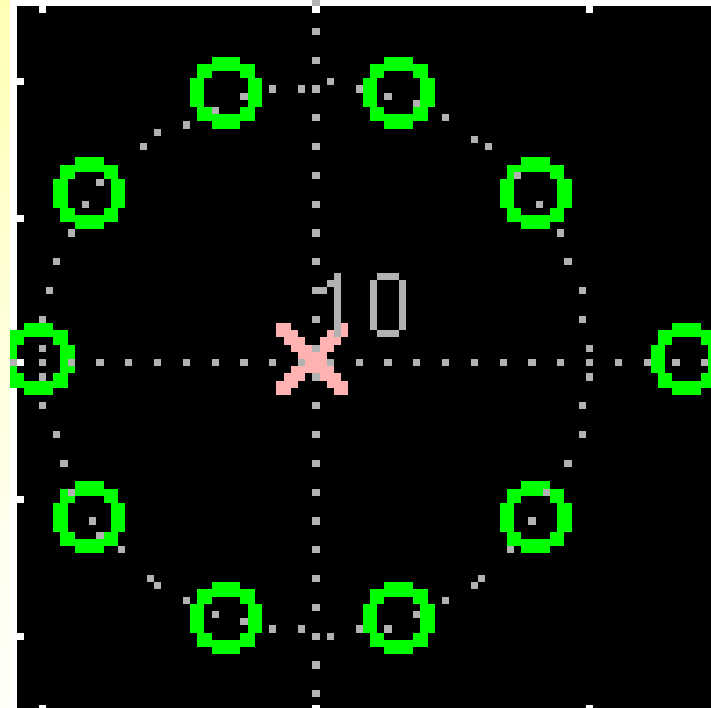


FIR filtr se třemi nulami

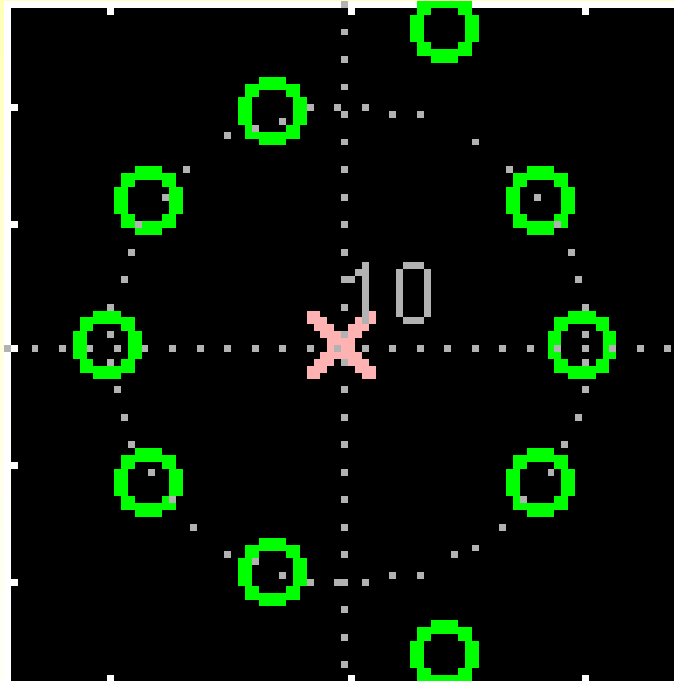


FIR filtry

(klouzavý průměr a hřebenový filtr)



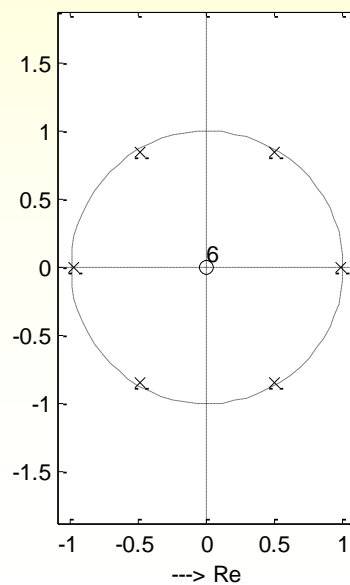
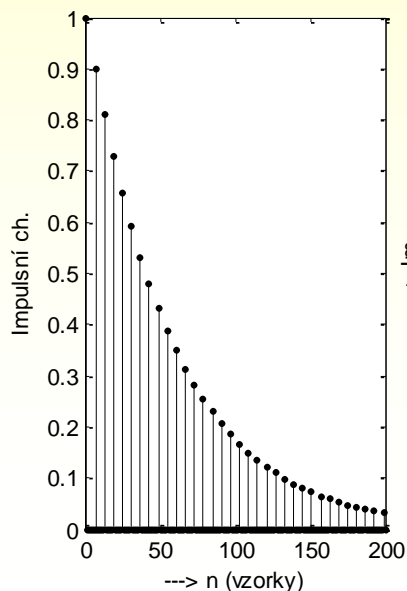
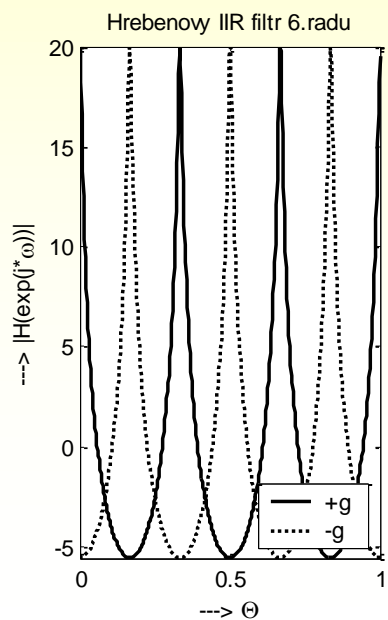
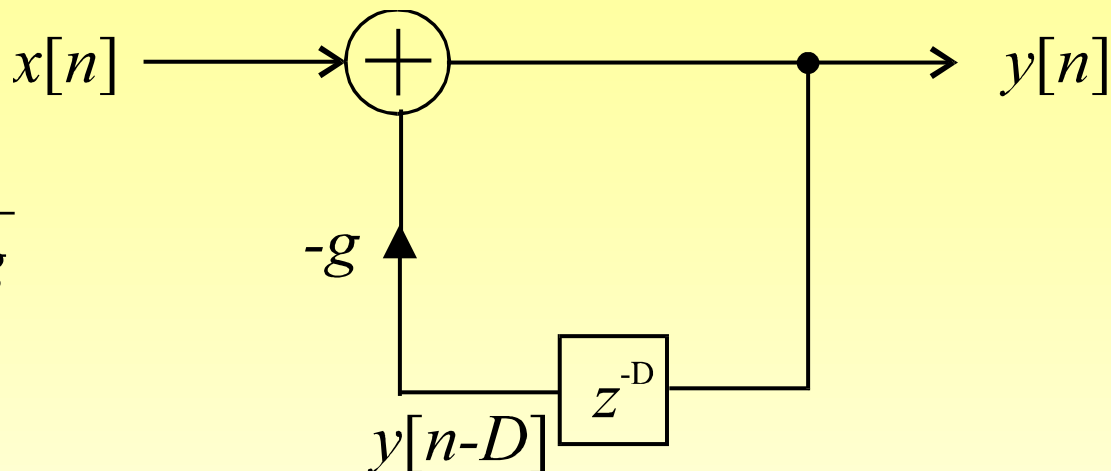
FIR filtry



Hřebenový IIR filtr

$$y[n] = x[n] - g \cdot y[n - D]$$

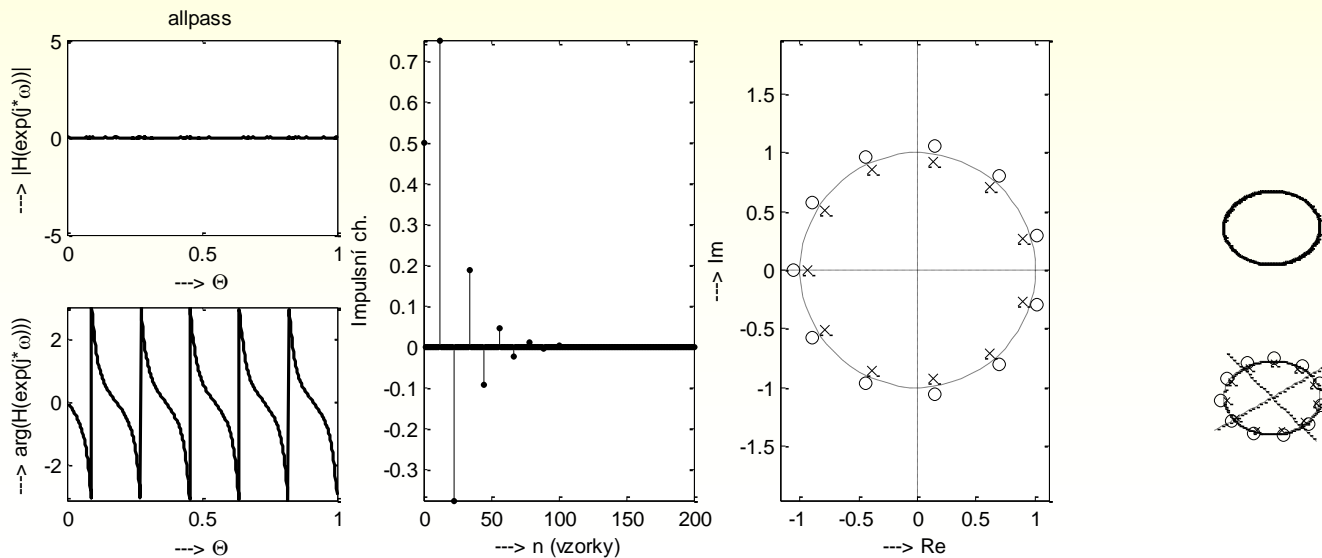
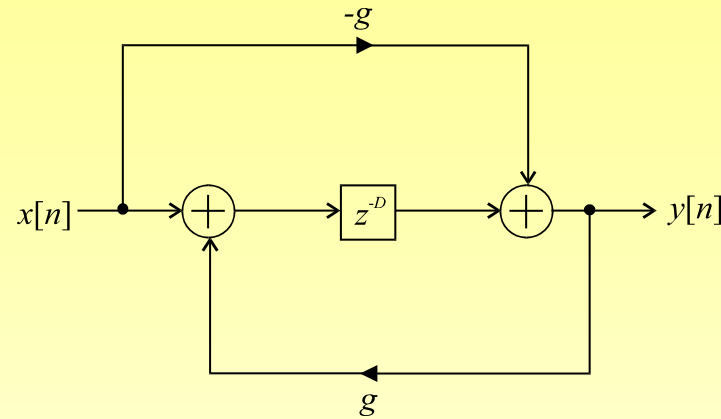
$$H(z) = \frac{1}{1 + g \cdot z^{-D}} = \frac{z^D}{z^D + g}$$



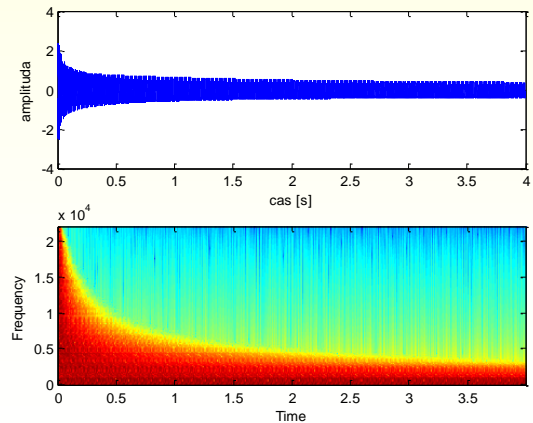
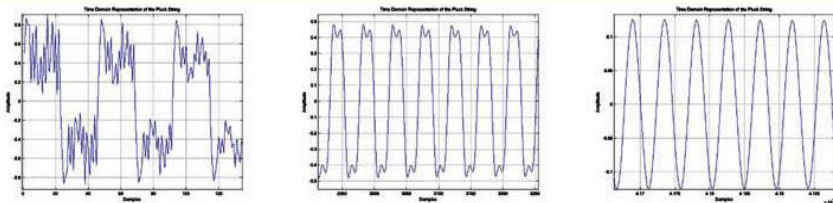
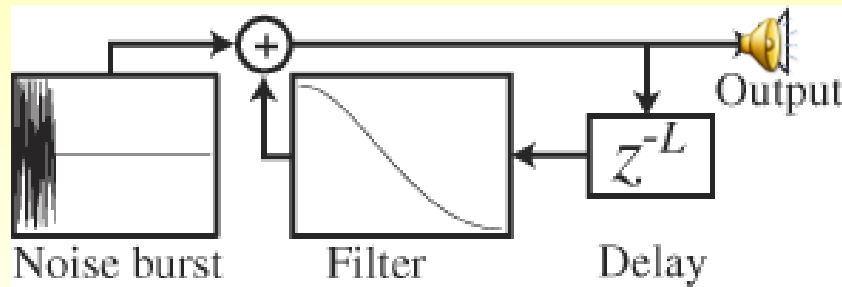
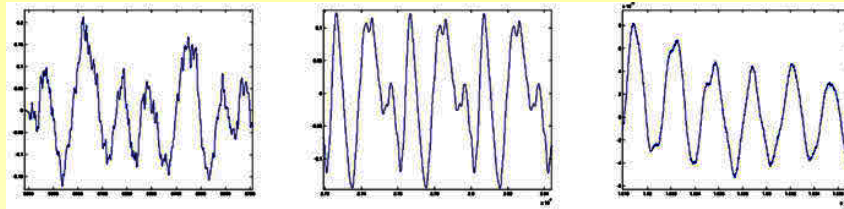
Číslicový fázovací filtr

$$y[n] = g \cdot y[n-D] - g \cdot x[n] + x[n-D]$$

$$H(z) = \frac{-g + z^{-D}}{1 - g z^{-D}} = \frac{-g z^D + 1}{z^D - g} = -g \frac{z^D - 1/g}{z^D - g}$$



Karplusův – Strongův alg.



Karplusův – Strongův alg.



kytara



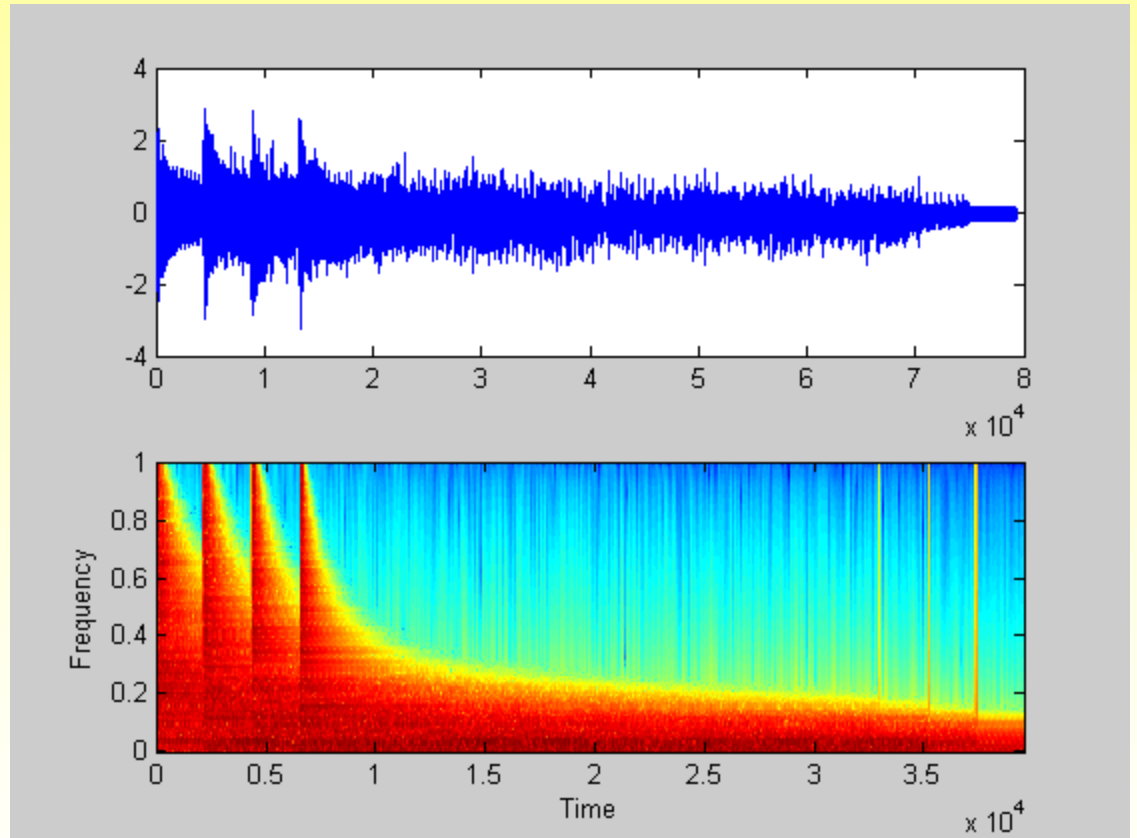
harfa

mandolína



klavír

bicí

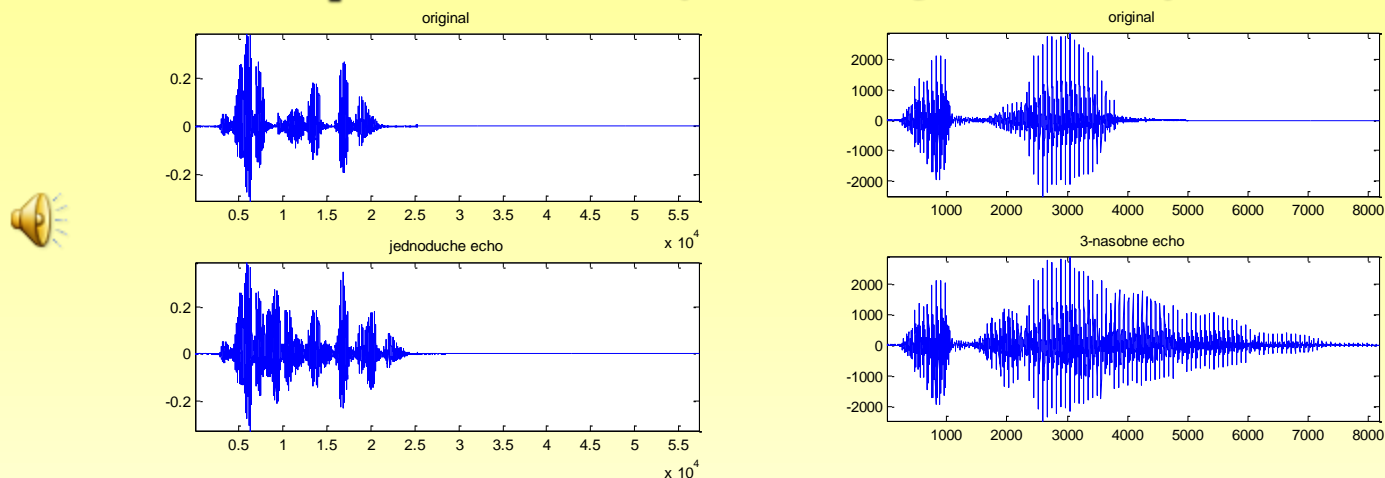


Karplusův – Strongův alg.

```
fs = 44.1e3;           % [Hz]
doba= 4;              % [s]
z = [];
g = 0.5;
f0 = [82.4 110 146.8 196 246.9 329.6]; % [Hz]

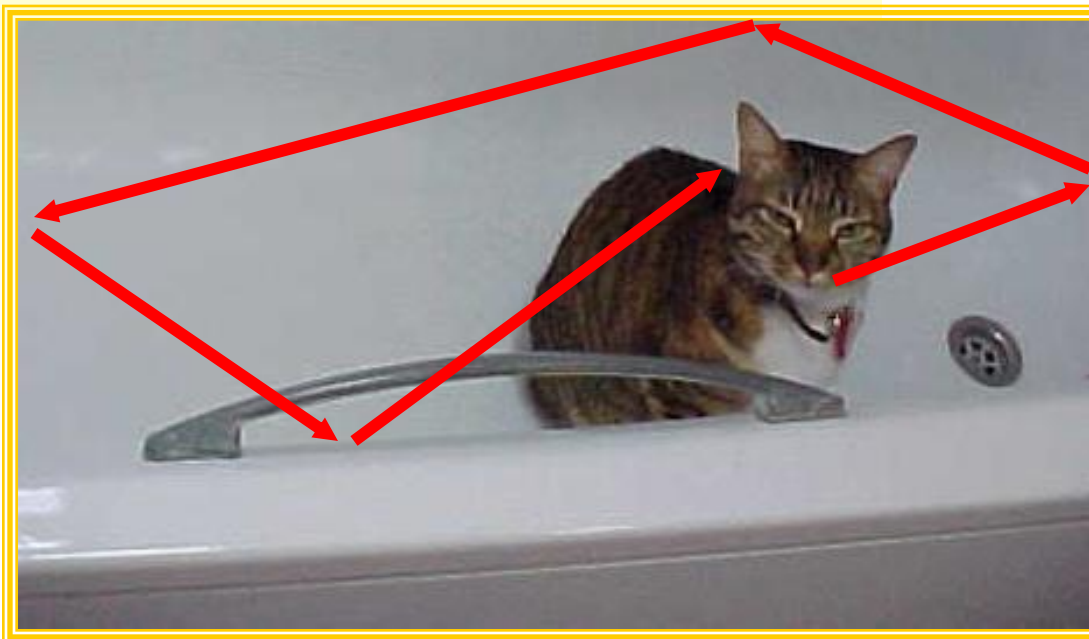
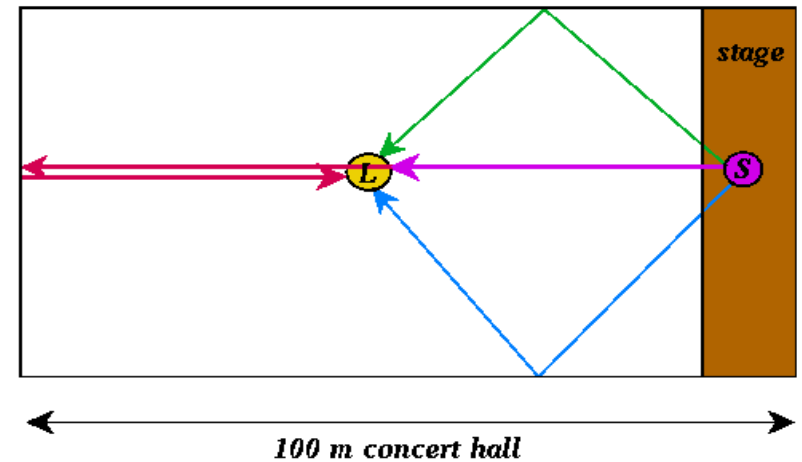
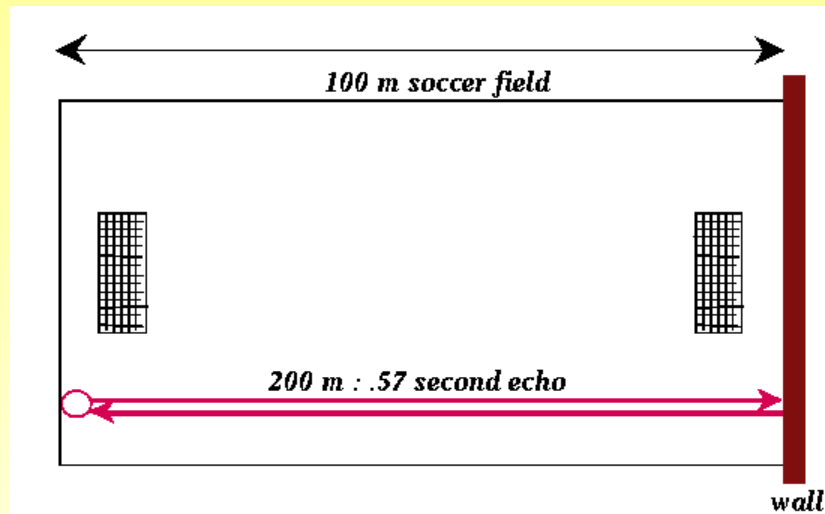
for k=1:length(f0)
    x=zeros(1,doba*fs); % generovani budiciho signalu
    D=round(fs/f0(k))   % modelujiciho drnknuti
    x(1:D)=randn(1,D);  % buzeni explozi bileho sumu
    a=[1 zeros(1,D-1) -g -g]; b=[1];
    y=filter(b,a,x);
    z=[z y];
end;
```

Audio efekty založené na časovém zpoždění (dozvuky a echa)



- K signálu přičítáme stejný signál, avšak zpožděný a tlumený (jednoduché echo)
- Zpoždění vnímáme jako echo, je-li delší než 50 ms
- Malé zpoždění přináší oživení a rozjasnění zvuku
- Rychlost zvukové vlny je 350 m/s (331,4 + 0,6 T)

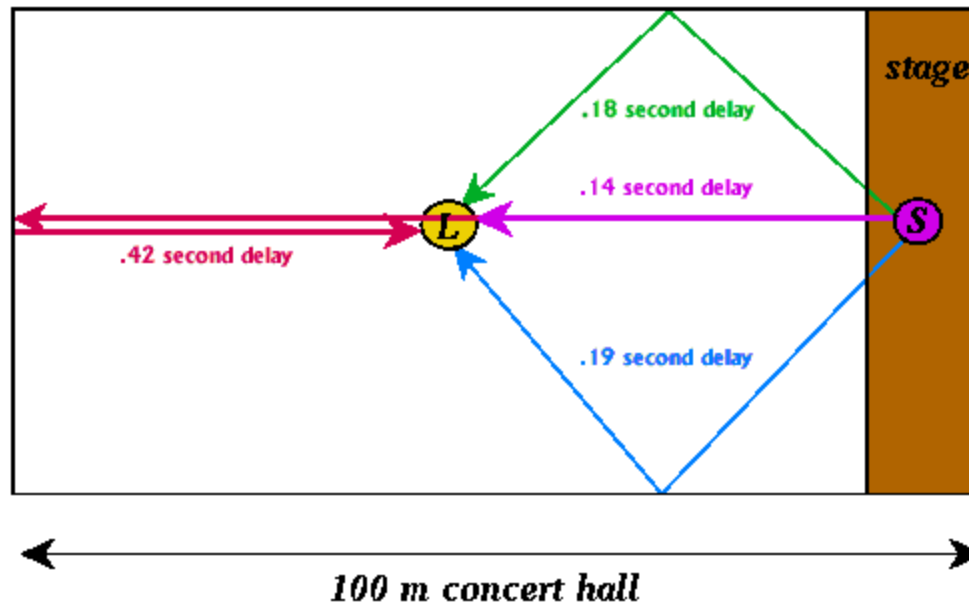
Audio efekty založené na časovém zpoždění (dozvuky a echa)



- Dozvuk 0,5 sekundy => zvuková vlna urazí 175 metrů
 - Např. v koupelně o 3m by se vlna odrazila 58x (pak by byla vlna více či méně absorbována)

Audio efekty založené na časovém zpoždění (dozvuky a echa)

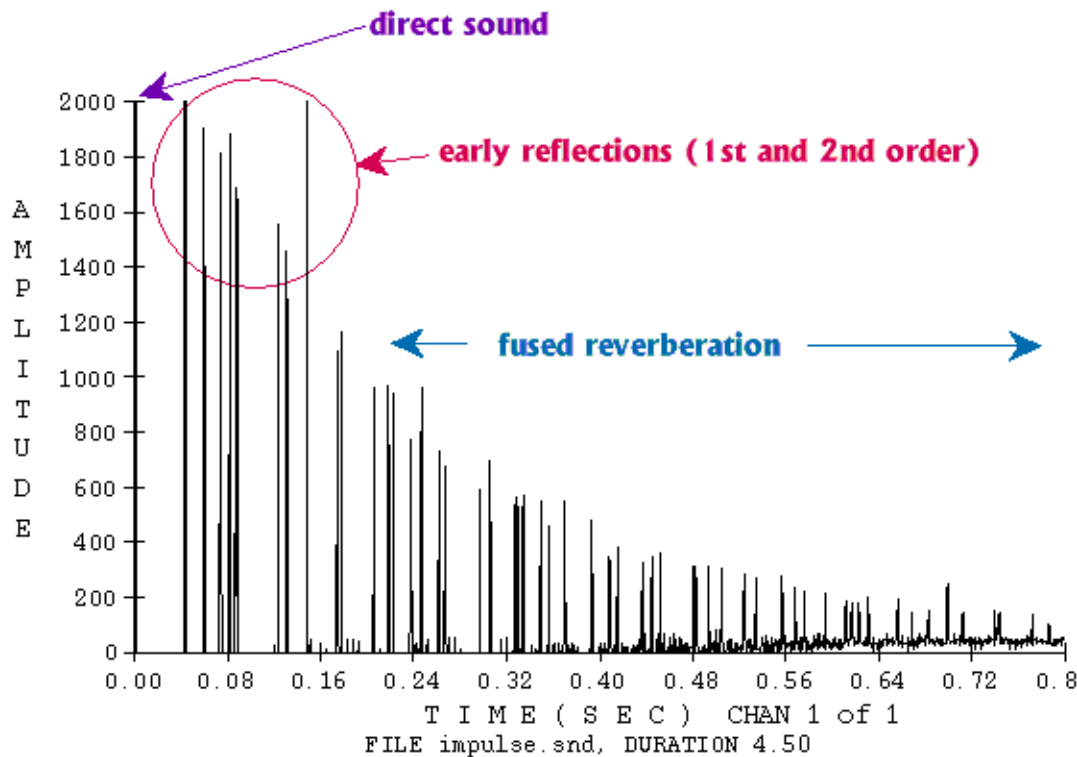
- Přímá vlna (bez odrazů)
 - přímá cesta k posluchači
- První odrazy
 - Odražené vlny přichází 0,01-0,1 s po přímé vlně



Audio efekty založené na časovém zpoždění (dozvuky a echa)

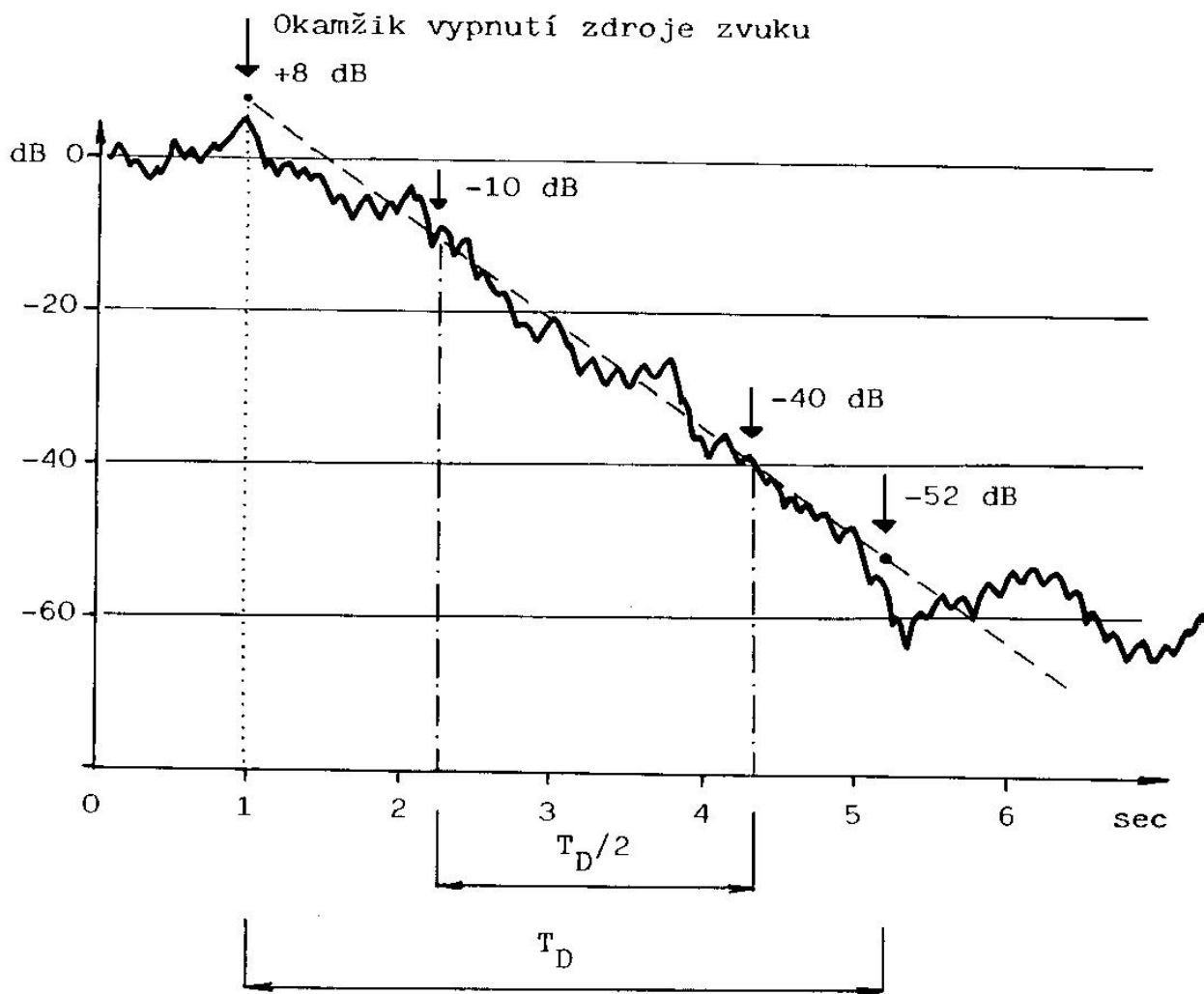
- Dozvuk

– obsahuje tisíce pozdějších odrazů

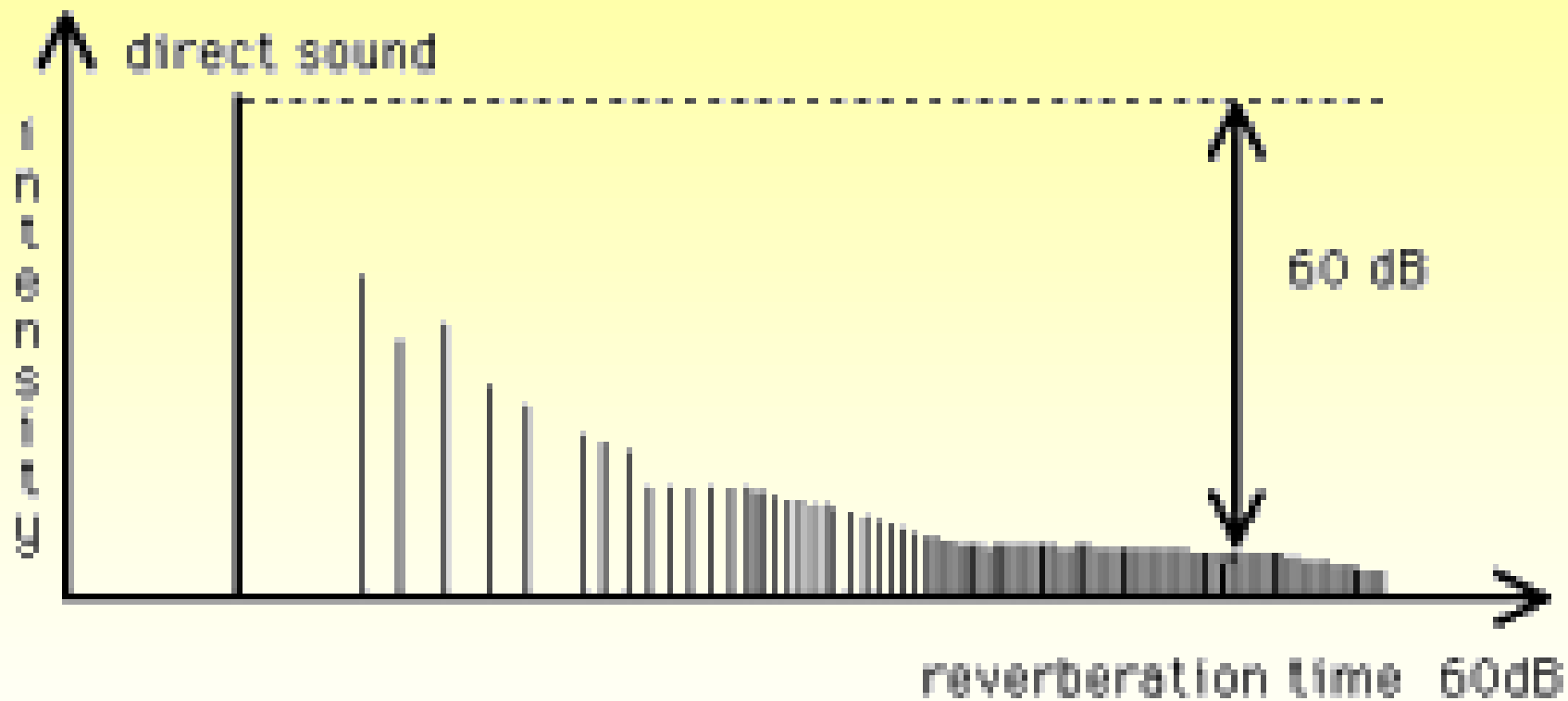


- Stand.doba dozvuku -pokles o 60 dB
- Typický koncertní sál má dozvuk 1.5 - 3 sekundy
- Chrám sv. Víta až 8 s

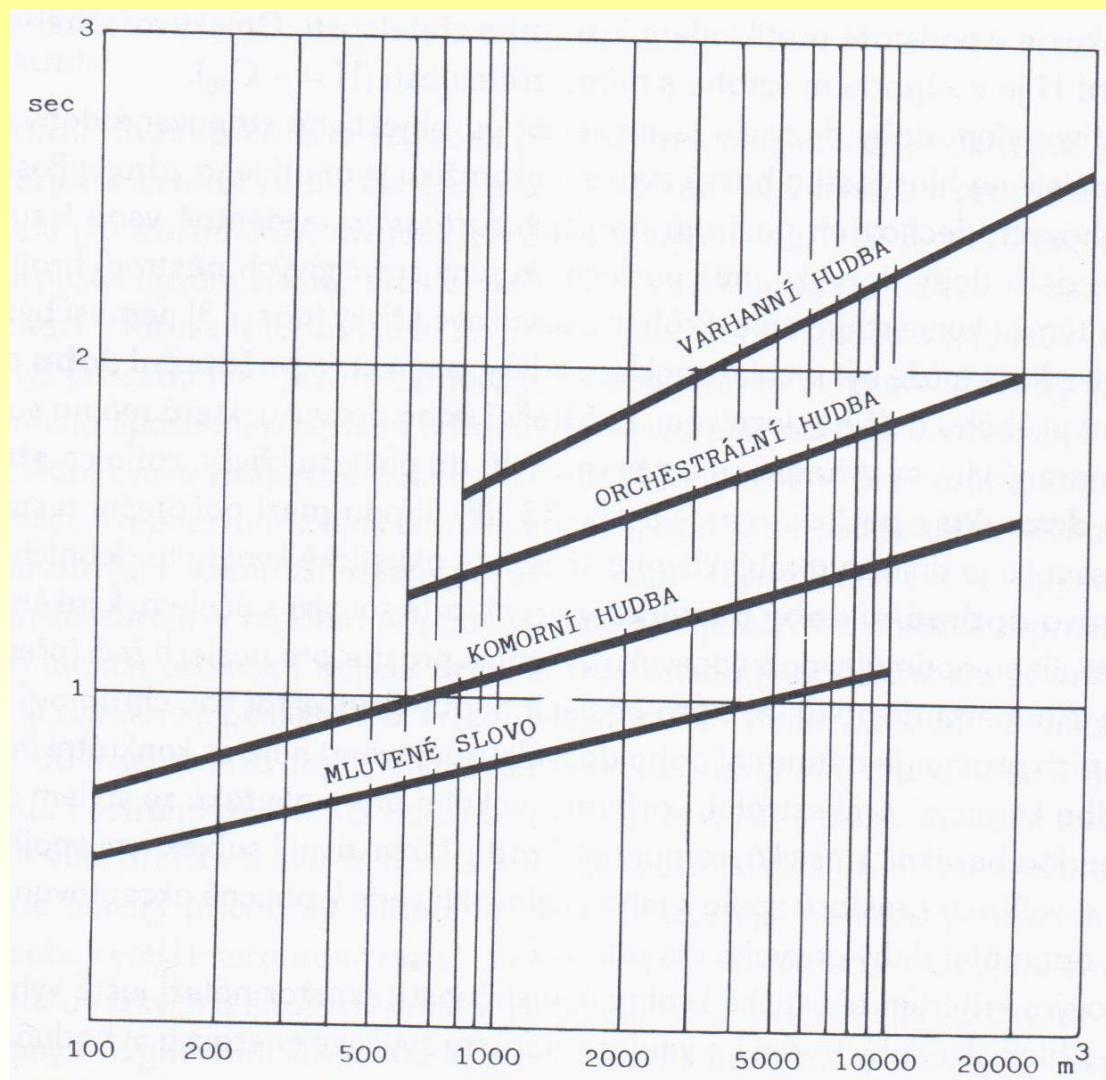
Odrazy impulsního signálu (exponenciální tlumení)



Definice standardní doby dozvuku



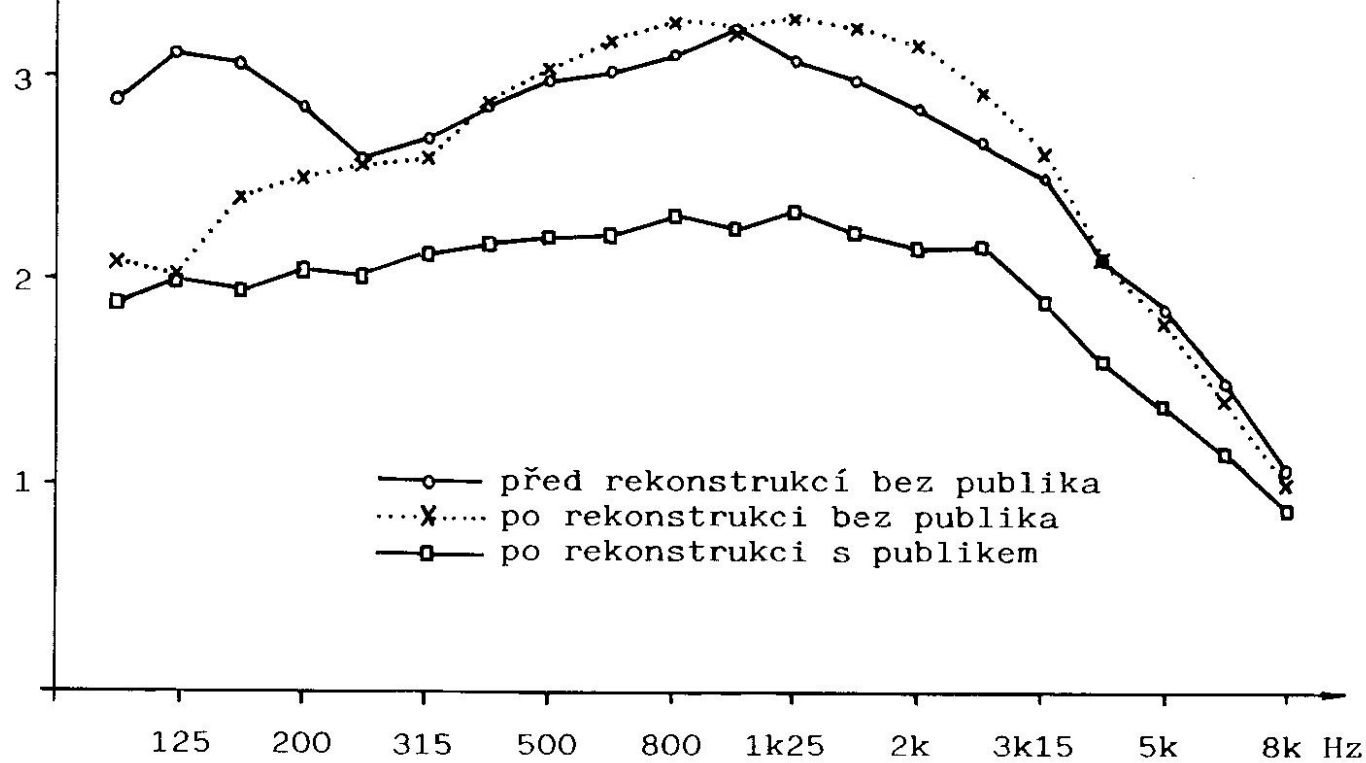
Definice standardní doby dozvuku



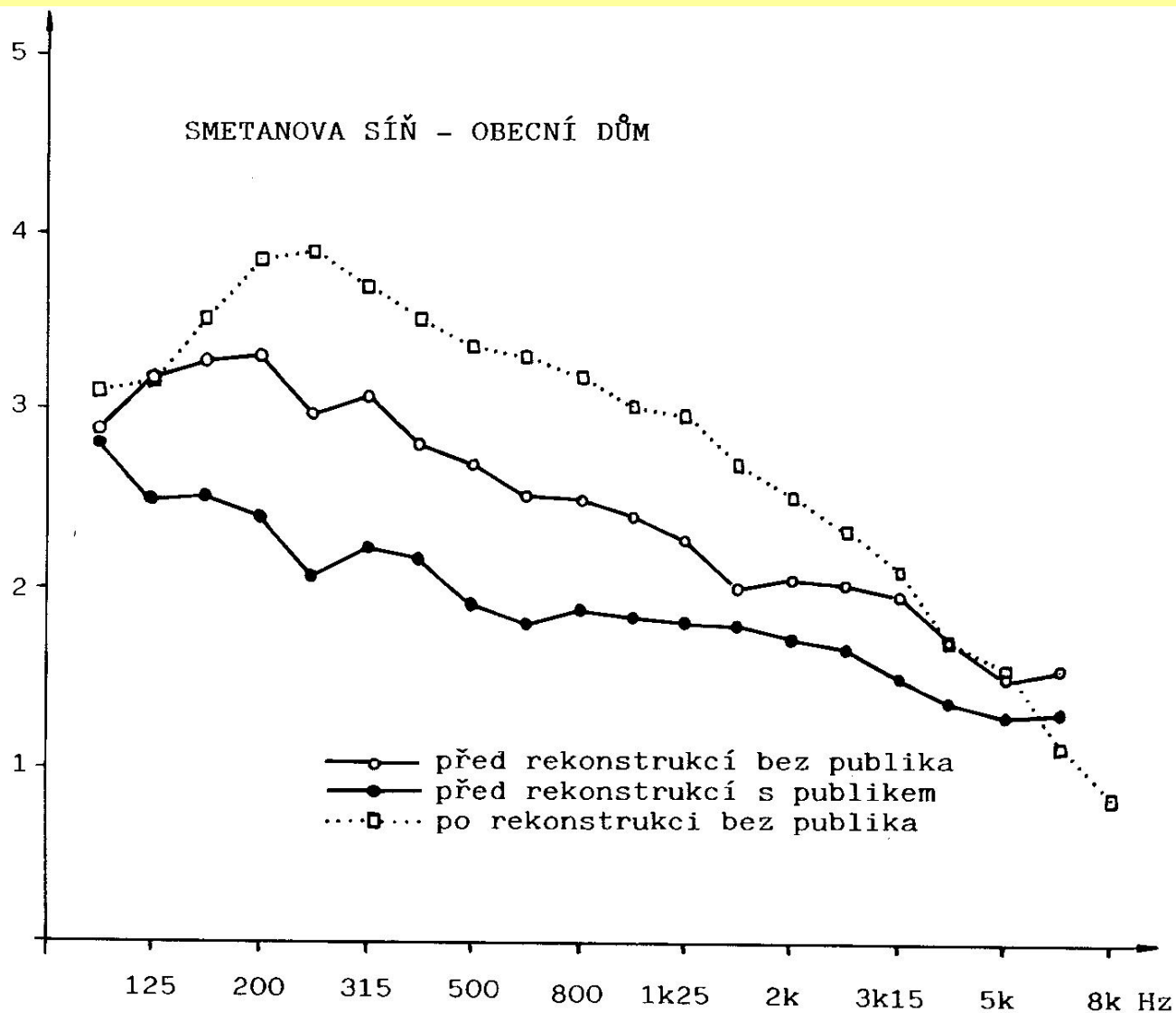
Závislost optimální doby dozvuku na objemu obsazeného sálu pro frekvenci 1 kHz

T_D
sec

DVOŘÁKOVA SÍŇ - RUDOLFINUM

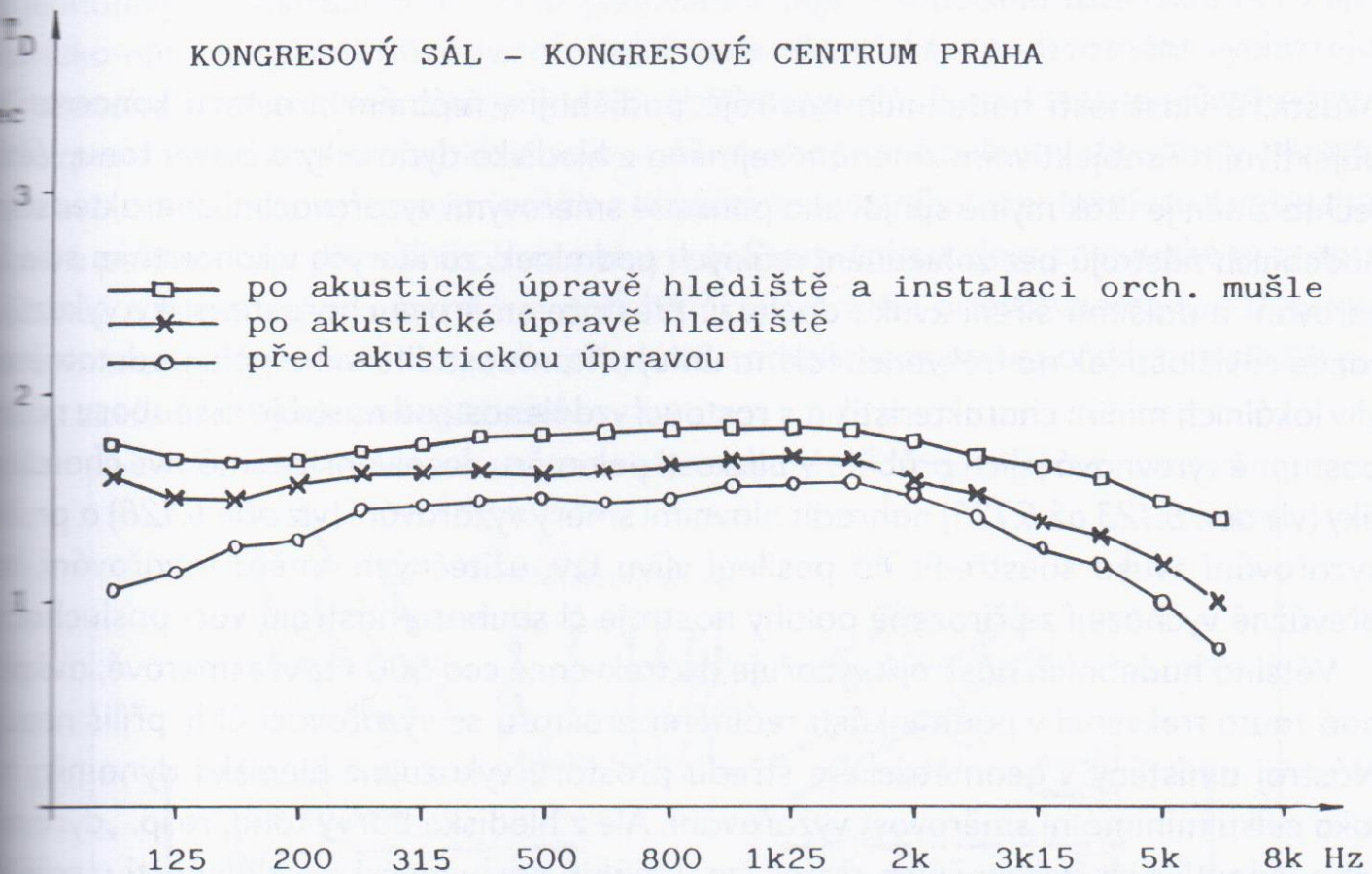


SMETANOVA SÍŇ - OBECNÍ DŮM

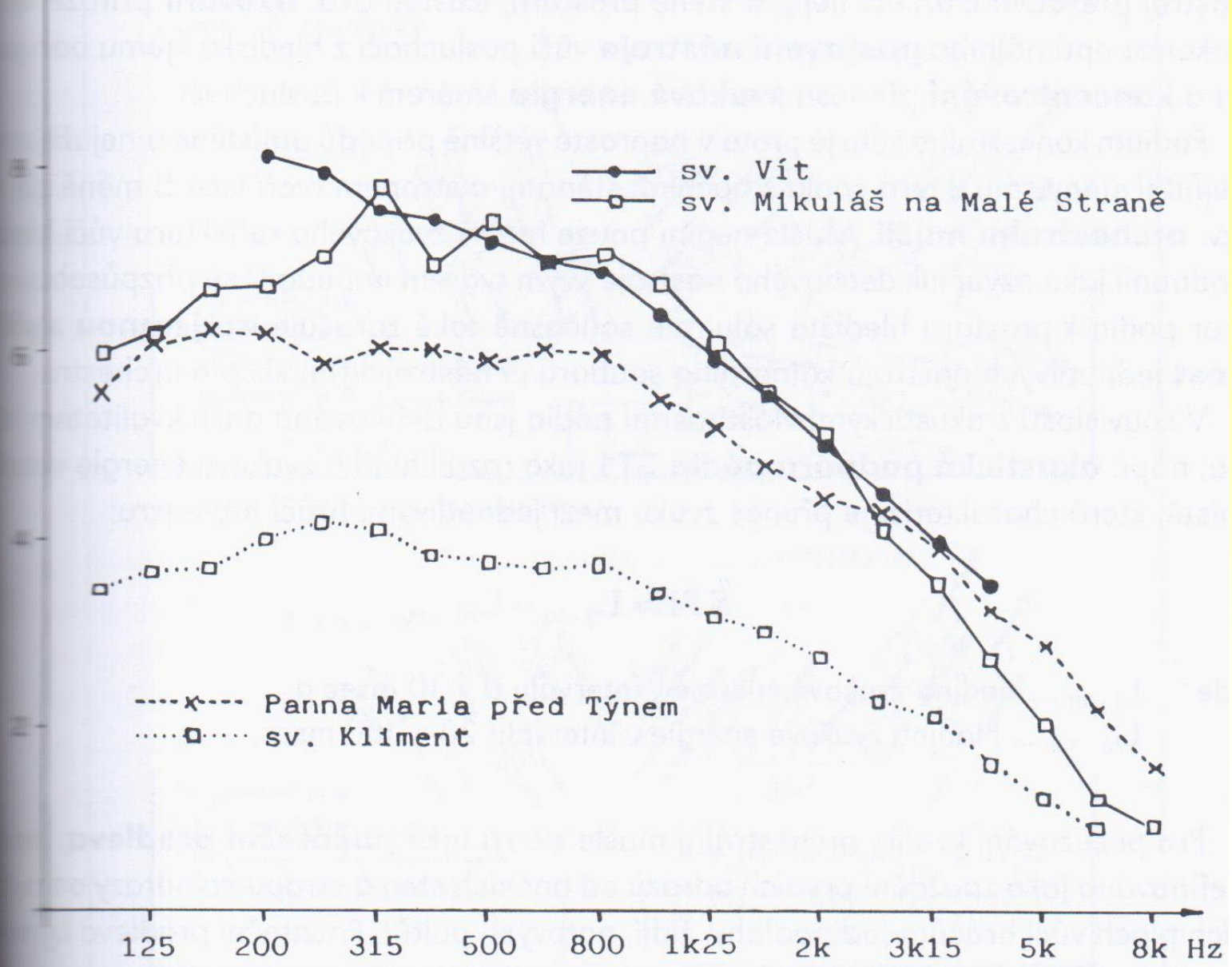


KONGRESOVÝ SÁL - KONGRESOVÉ CENTRUM PRAHA

- po akustické úpravě hlediště a instalaci orch. mušle
- ×— po akustické úpravě hlediště
- před akustickou úpravou



PRAŽSKÉ CHRÁMY



PRAŽSKÉ CHRÁMY

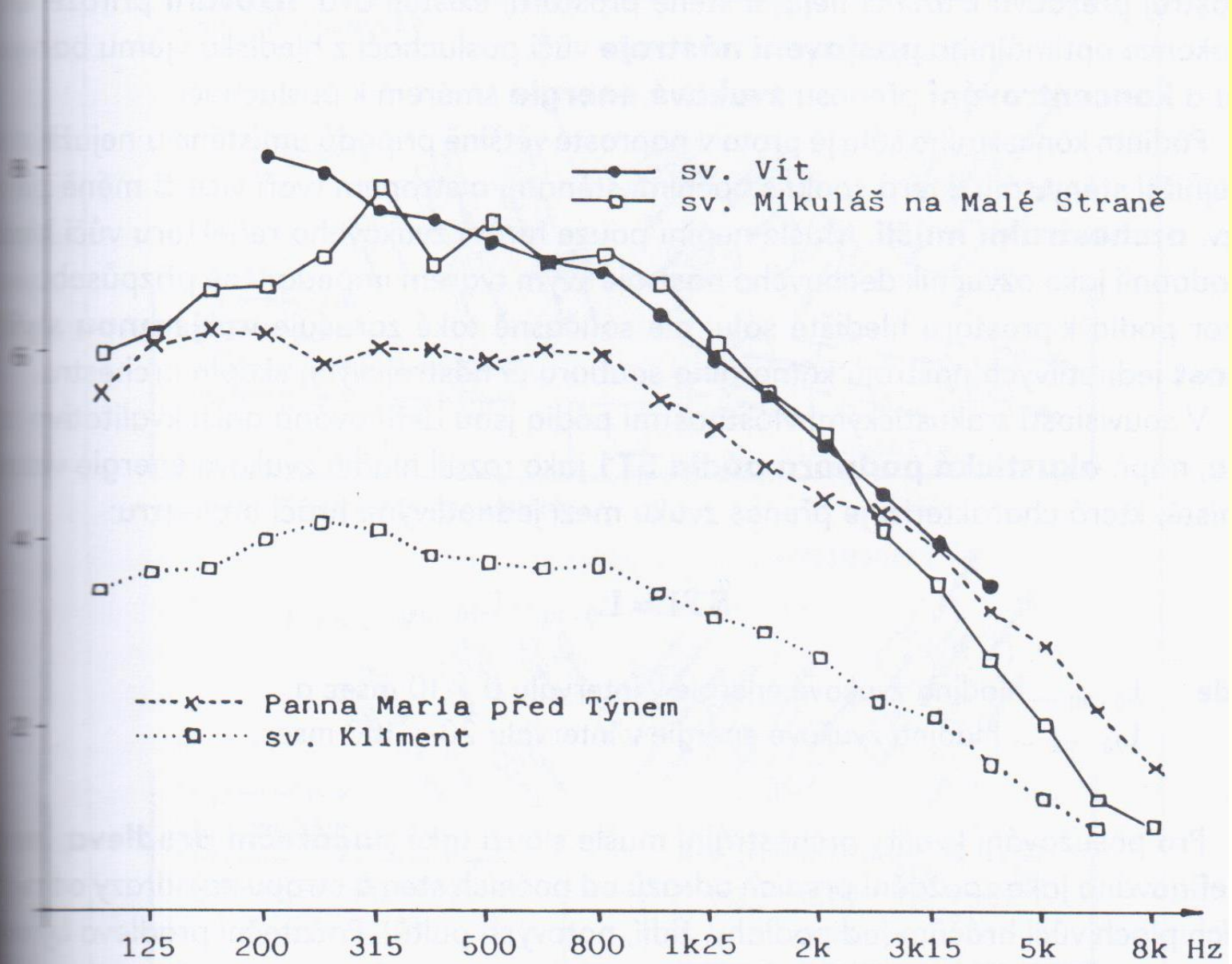


TABLE 23.3 Acoustical characteristics of concert halls

	Year built	Volume (m ³)	Area (m ²)	Number of seats	t_1 (ms)		RT (s)		
					Floor	Balc.	125	500	2000 Hz
Symphony Hall, Boston	1900	18,740	1550	2630	15	7	2.2	1.8	1.7
Orchestra Hall, Chicago	1905	15,170	1855	2580	40	24	—	1.3	—
Severence Hall, Cleveland	1930	15,700	1395	1890	20	13	—	1.7	1.6
Carnegie Hall, New York	1891	24,250	1985	2760	23	16	1.8	1.8	1.6
Opera House, San Francisco	1932	21,800	2165	3250	51	30	—	1.7	—
Arie Crown Theatre, Chicago	1961	36,500	3265	5080	36	14	2.2	1.7	1.4
Royal Festival Hall, London	1951	22,000	2145	3000	34	14	1.4	1.5	1.4
Royal Albert Hall, London	1871	86,600	3715	6080	65	70	3.4	2.6	2.2
Concertgebouw, Amsterdam	1887	18,700	1285	2200	21	9	2.2	2.1	1.8
Kennedy Center, Washington	1971	19,800	1220	2760	—	—	2.5	2.2	1.9

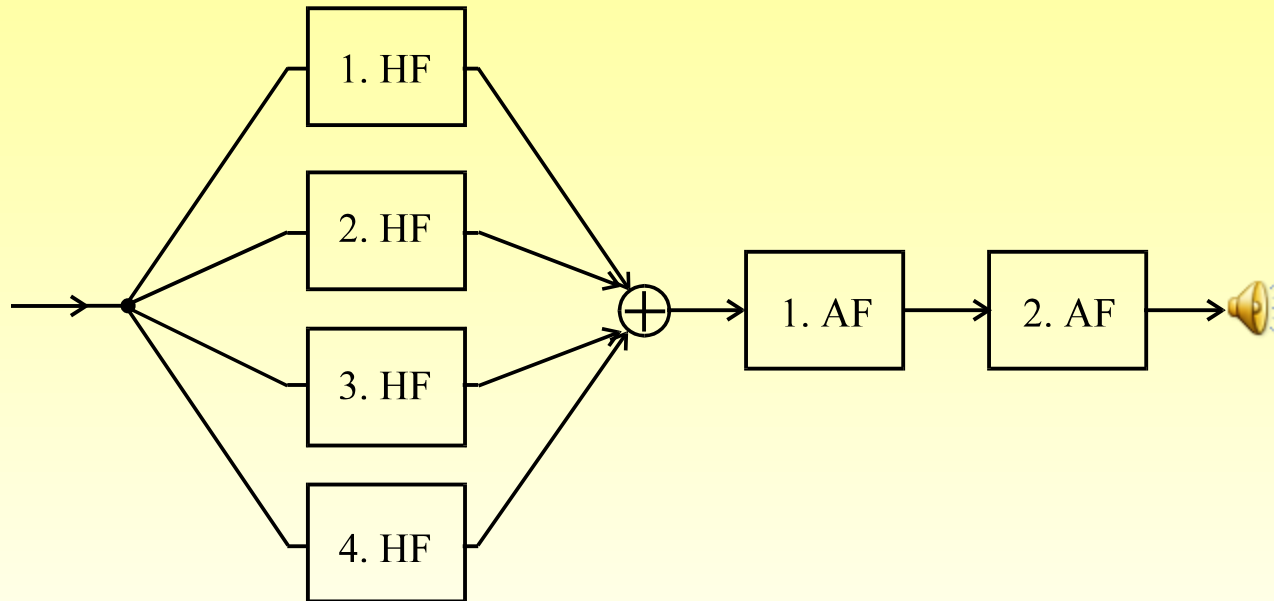
Source: After Beranek (1962).



Audio efekty založené na časovém zpoždění (dozvuky a echa) , př.36

Zvukový efekt	Zpoždění v sekundách	Filtrační koeficient
pod mostem	0,400	0,30
v chrámu	0,250	0,30
elektronicky vytvářený umělý dozvuk	0,200	0,90
klasické echo	0,150	0,50
v podzemní chodbě	0,120	0,70
v koncertní síni	0,100	0,40
elektronický efekt	0,085	0,90
ve sprše	0,030	0,60
v malé místnosti	0,010	0,50
mikrofonní zpětná vazba	0,001	0,97

Schroedrův algoritmus modelování dozvuku



- HF - hřebenové filtry: určují délku ozvěny (délka zpoždění je 10 až 50 ms; zapojují se paralelně)
- AF - all-pass filtry: „zahušťují a rozprostírají“ ozvěny (délka zpoždění je do 5 ms; zapojují se do kaskády)
- Realističtější modelování dozvuku
- Pracné nastavení parametrů modelu

Audio efekty založené na časovém zpoždění (dozvuky a echa), př.36

```
E = [0.400    0.30  
      0.250    0.30  
      0.200    0.90  
      0.150    0.50  
      0.120    0.70  
      0.100    0.40  
      0.085    0.90  
      0.030    0.60  
      0.010    0.50  
      0.001    0.97];
```

```
for k=1:length(E)  
    zpozdeni = E(k,1);  
    g        = E(k,2);  
    D        = round(zpozdeni*f_s);    % [vzorky]  
    a        = [1 zeros(1,D-1) -g];  
    y        = filter(1,a,x);  
    soundsc( y',f_s)  
    pause(3)  
end;
```

Audio efekty založené na časovém zpoždění (dozvuky a echa)

```
E = [0.400    0.30  
      0.250    0.30  
      0.200    0.90  
      0.150    0.50  
      0.120    0.70  
      0.100    0.40  
      0.085    0.90  
      0.030    0.60  
      0.010    0.50  
      0.001    0.97];
```

```
for k=1:length(E)  
    zpozdeni = E(k,1);  
    g        = E(k,2);  
    D        = round(zpozdeni*f_s);    % [vzorky]  
    a        = [1 zeros(1,D-1) -g];  
    y        = filter(1,a,x);  
    soundsc(y',f_s)  
    pause(3)  
end;
```

Číslicové filtry - obecně

Diferenční rovnice FIR

$$y[n] = b_0 x[n] + b_1 x[n-1] + \dots + b_{M-1} x[n-M+1]$$

Přenosová funkce FIR filtru

$$H(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{M-1} z^{1-M} = \sum_{n=0}^{M-1} b_n z^{-n} = \sum_{n=0}^{M-1} \frac{b_n z^{M-n-1}}{z^M}$$

Diferenční rovnice IIR

$$y[n] = \sum_{l=0}^L b_l x[n-l] - \sum_{m=1}^M a_m y[n-m]$$

Přenosová funkce IIR filtru

$$H(z) = \frac{\sum_{l=0}^L b_l z^{-l}}{\sum_{m=0}^M b_m z^{-m}} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_L z^{-L}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_M z^{-M}} = \frac{\sum_{l=0}^L b_l z^{L-l}}{\sum_{m=0}^M b_m z^{M-m}} = \frac{b_0 z^L + b_1 z^{L-1} + \dots + b_L}{z^M + a_1 z^{M-1} + \dots + a_M}$$

Schéma IIR filtru-přímá struktura

