

SYNTÉZA AUDIO SIGNÁLŮ

zima 2025 – 2026

R.Čmejla

místnost 525, blok B2

cmejla@fel.cvut.cz

B2M31SYN														
Syntéza audio signálů (2+2)														
Hodina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
čas	7:30 - 9:00		9:15 - 10:45		10:45 - 12:15		12:45 - 14:15		14:30 - 16:00		16:15 - 17:45		18:00 - 19:30	
St			Přednáška <i>R.Čmejla</i> 413a		Cvičení <i>R.Čmejla</i> 413a									

<https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5602>



1. PŘEDNÁŠKA – Úvod do předmětu

- **Organizace výuky**
 - Hodnocení a podmínky udělení zápočtu
 - Semestrální práce
 - Zkouška
- **Obsah předmětu - úvod do číslicové syntézy signálů**
 - Syntézy (ukázky)
- **Základy audio DSP**
 - Analogově-číslicový převod
 - Aliasing
 - Kvantování
 - Časové obálky



Organizace a hodnocení předmětu

• Podmínky udělení zápočtu

- Účast na přednáškách je doporučena
- Neúčast na cvičení lze nahradit odevzdáním domácího úkolu
- Odevzdání semestrální práce do **31.12.2025, 24:00**
- Dosažení alespoň 30 bodů

• Dosažitelné body

- Domácí úkoly (nepovinné) max. 20 bodů
- Semestrální práce max. 60 bodů
- Písemný test u zkoušky max. 40 bodů

• Výsledné hodnocení

A ... 91 a více

B ... 81 až 90

C ... 71 až 80

D ... 61 až 70

E ... 50 až 60

F ... < 50



Domácí úkoly ... 10 x 2 body

- Odevzdání všech zdrojových a výstupních souborů + krátkého popisu v MOODLE
- Vytvoření snadno spustitelného skriptu

do úterý 09:15 následujícího týdne



Semestrální práce ... 60 bodů

- **Odevzdání do 31.12.2025, 24:00**
 - Zvuky automobilu v MATLABu
 - **všechny soubory syntézy z MATLABu**
 - **výstupní soubory** (*.m4a nebo *.wav) (podle pořadí až 30 bodů)
 - **zpráva** obsahující popis použitých technik syntézy a odkazy (až 30 bodů)



Uvedený předmět kompletně nepokrývá žádná česká učebnice nebo skriptum. Většinu informací však lze nalézt v textech **a na webech** zabývajících se číslicovým zpracováním audio signálů.

- Miranda, E.R.: Computer Sound Design, Focal Press, Oxford, 2002.
- Dodge, Ch., Jerse, T.: Computer Music: Synthesis, Composition, and Performance, 2nd Edition, Wadsworth Publishing, 1997.
- Zölzer, U.: DAFX - Digital Audio Effects, John Wiley & Sons, 2002.
- Russ, M.: Sound Synthesis and Sampling (3rd Edition) Oxford: Focal Press, 2008.
- Čmejla, R., Sovka, P.: Úvod do číslicového zpracování signálů - cvičení, ČVUT 2005.



Laboratorní řád v učebně 413a

1. Studenti smějí být v laboratoři jen v přítomnosti vyučujícího.
2. Příkazy vyučujícího vedoucího cvičení musí být bezpodmínečně dodržovány.
3. Manipulace s měřícím zařízením je možná pouze se souhlasem vyučujícího.
4. Elektrický rozvod smí zapínat pouze vyučující.
5. Studenti jsou povinni sledovat při měření stav přístrojů a zařízení.
6. V případě nebezpečí jsou povinni vypnout elektrický rozvod.
7. Závady na přístrojích nebo zařízení musejí studenti ihned hlásit vyučujícímu.
8. Opustit laboratoř je dovoleno jen se souhlasem vyučujícího.



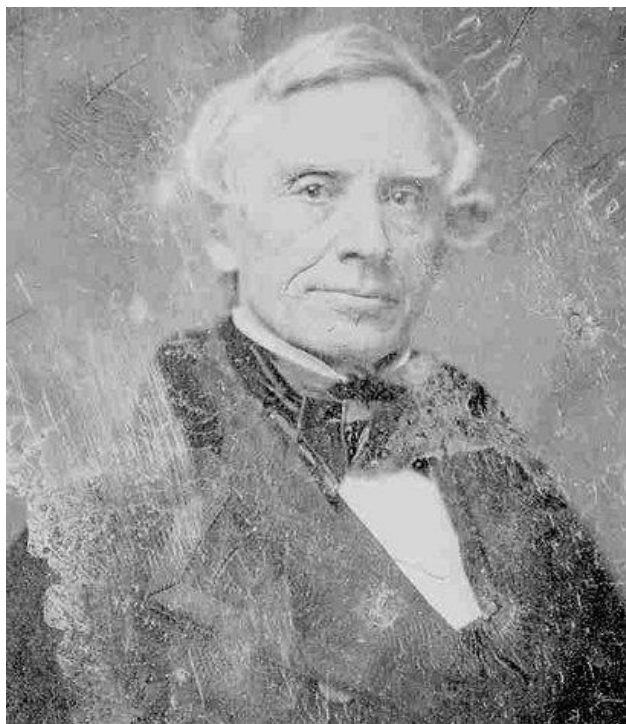
2. týden – Tabulková (wavetable) syntéza

- **Generování číslicových signálů**
 - Hudební stupnice
- **Tabulková syntéza**
 - Techniky
 - Tvorba tabulkového oscilátoru
 - Různé délky (interpolace)
 - Prolínání
 - Přeladění (pitch posunutí)
 - Tabulkové syntézy hudebních nástrojů (banjo)



2. týden – Tabulková (wavetable) syntéza

- Generátor Morseovy abecedy
- `>> morse('sos pomoc')`
- `... ./- - -/. . .//. - - ./- - -/- -/- - -/- . - ./`

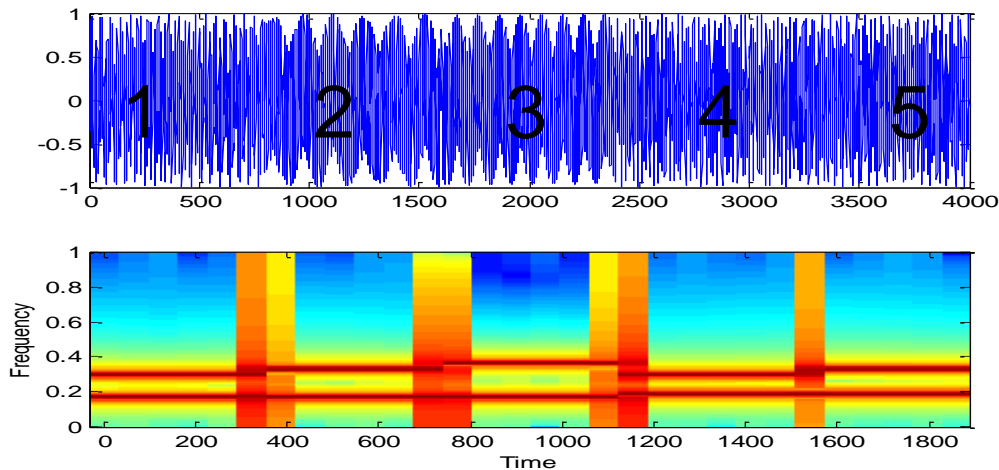


A	.-	M	--	Y	-.--	6	-....
B	-...	N	-.	Z	---.	7	---..
C	-.-.	O	---	Ä	.-.-	8	---.
D	-..	P	-.-.	Ö	---.	9	----.
E	.	Q	--.	Ü	..--	.	..-.-
F	..-.	R	-.	Ch	----	,	---..
G	--.	S	...	0	-----	?	..-..
H	T	-	1	.-....	!	..-.
I	..	U	..-	2	..---	:	---...
J	.-...	V	...-	3	...--	"	..-..
K	-.-	W	.-.	4-	'	..-...
L	.-.	X	-.-.	5	=	---.

<http://www.shaman.cz/sifrovani/morseova-abeceda.htm>

2. týden – Tabulková (wavetable) syntéza

- Tónová volba (DTMF - Dual Tone Multi-Frequency)
- Frekvence nejsou:
 - násobkem jiné frekvence
 - rozdílem či součtem frekvencí



	1209	1336	1477
697	1	2	3
770	4	5	6
852	7	8	9
941	*	0	#

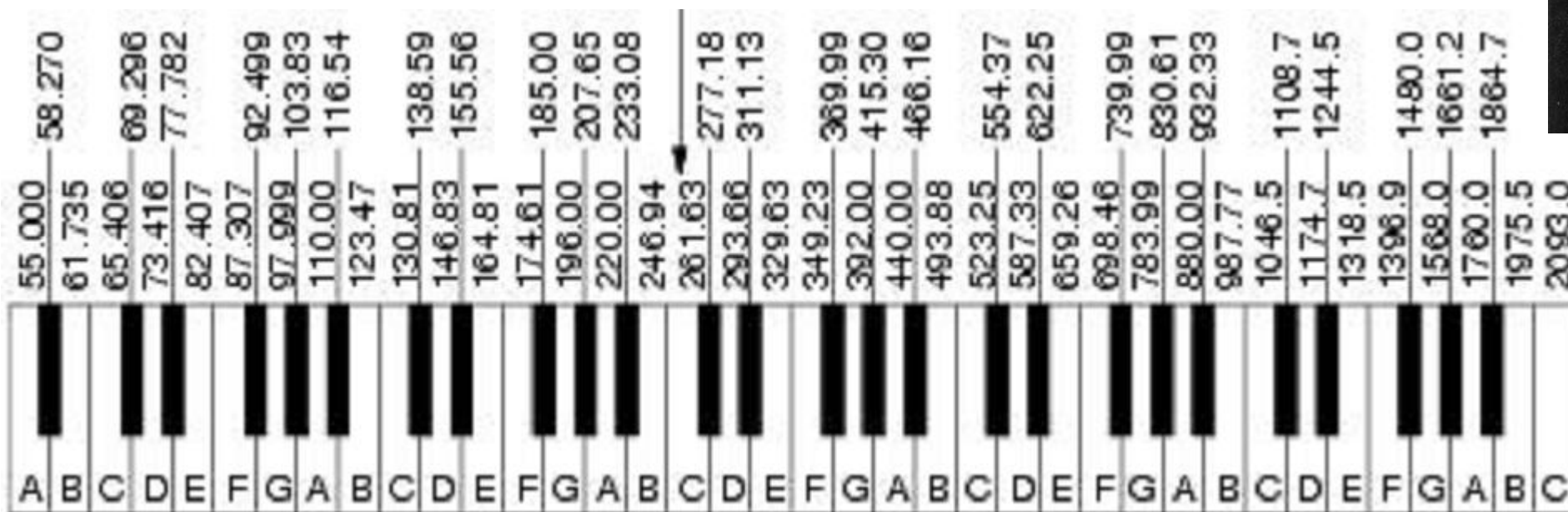




2. týden – Tabulková (wavetable) syntéza

• Hudební stupnice

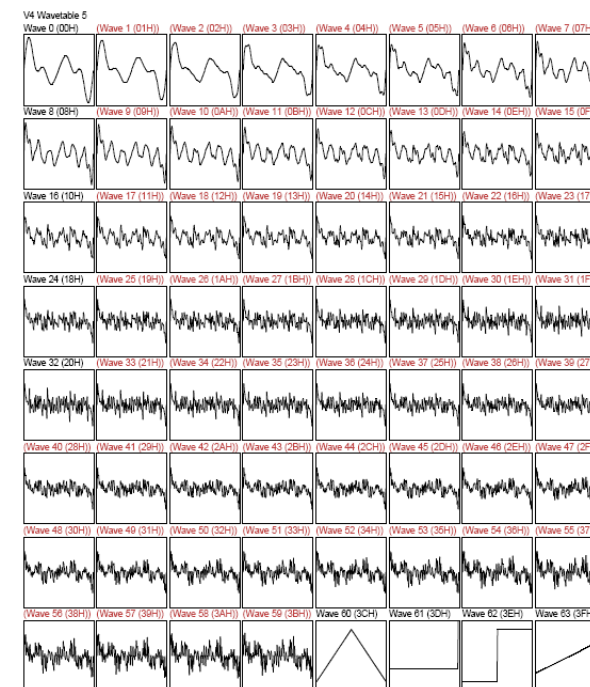
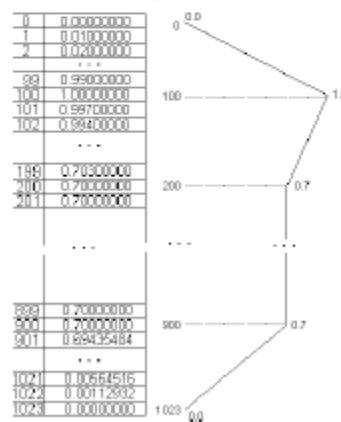
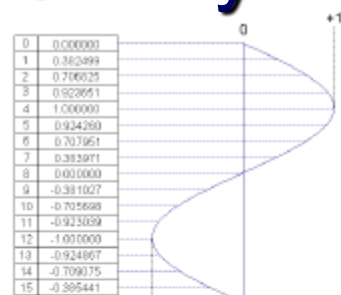
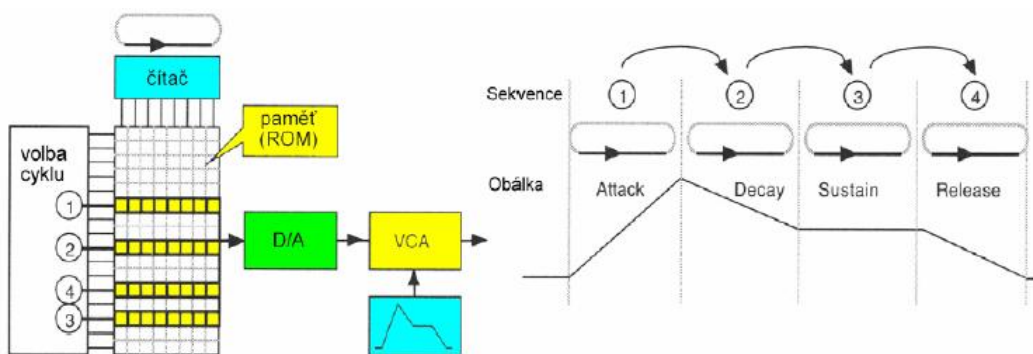
>> logspace(log10(261.63),log10(2*261.63),13)



>>261.63; 277.19; 293.67; 311.13; 329.63; 349.23; 370.00; 392.00; 415.31; 440.01; 466.17; 493.89; 523.26

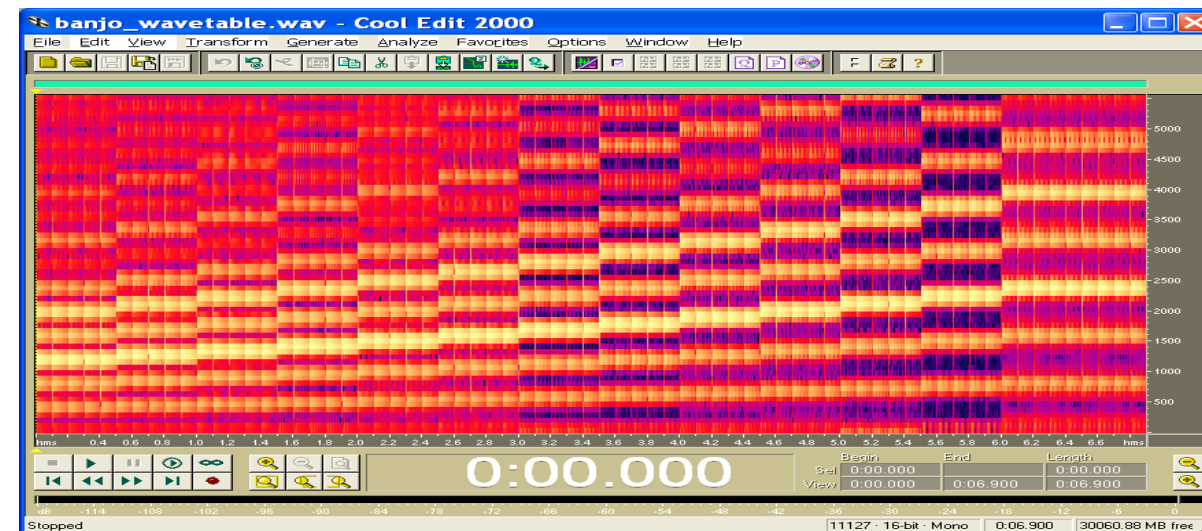
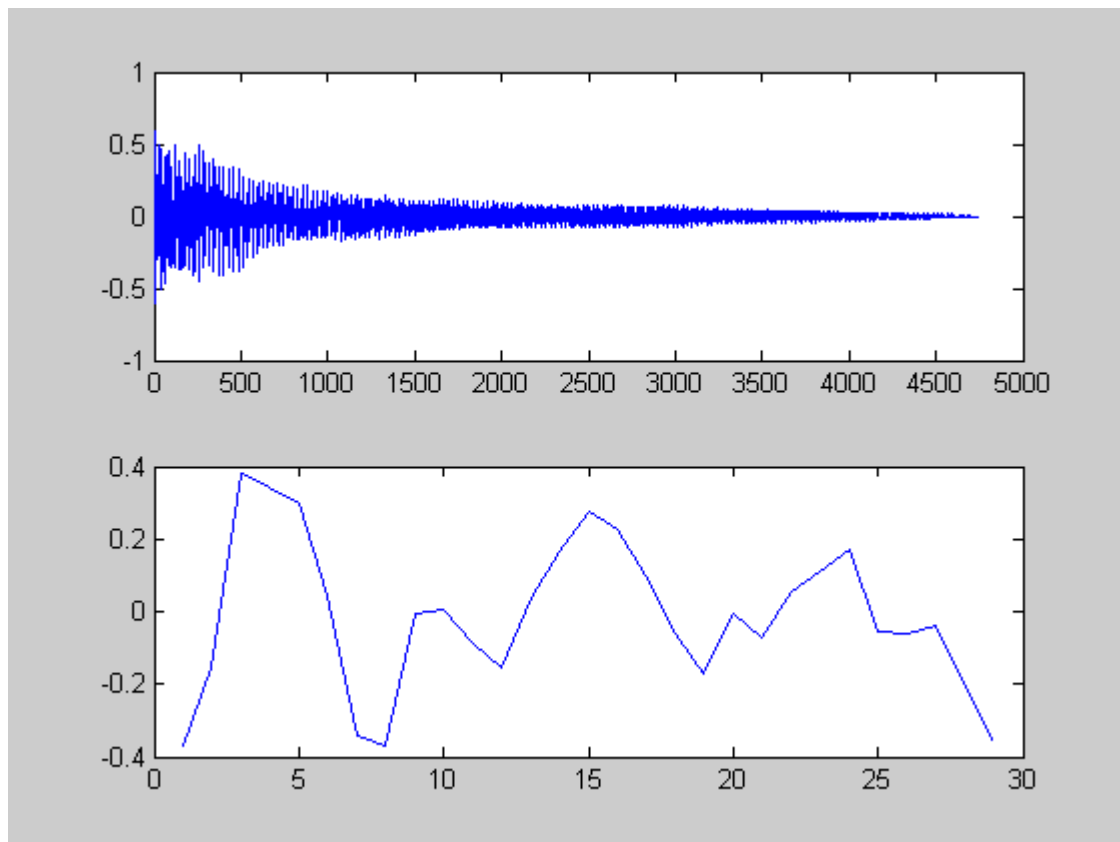
2. týden – Tabulková (wavetable) syntéza

- **Spojovací (konkatenační) techniky**
- Při tabulkové syntéze simulujeme nástroj pomocí vzorků vyjmutých ze skutečného nástroje





2. týden – Tabulková (wavetable) syntéza

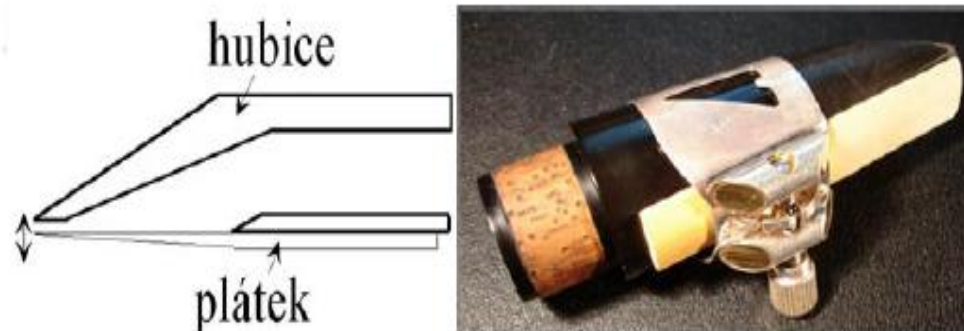


% príklad tabulkovej syntézy banja
`[x,fs]=wavread('banjo.wav');`
`P=x(144:172);`

2. týden – Tabulková (wavetable) syntéza

- Klarinet

1-5



- Ukázky ze semestrálních prací



Tulach Lukáš

Chtíc, aby spal

Samohlásková syntéza zpěváka v doprovodu trubek

Aditivní a wavetable syntéza, tremolo



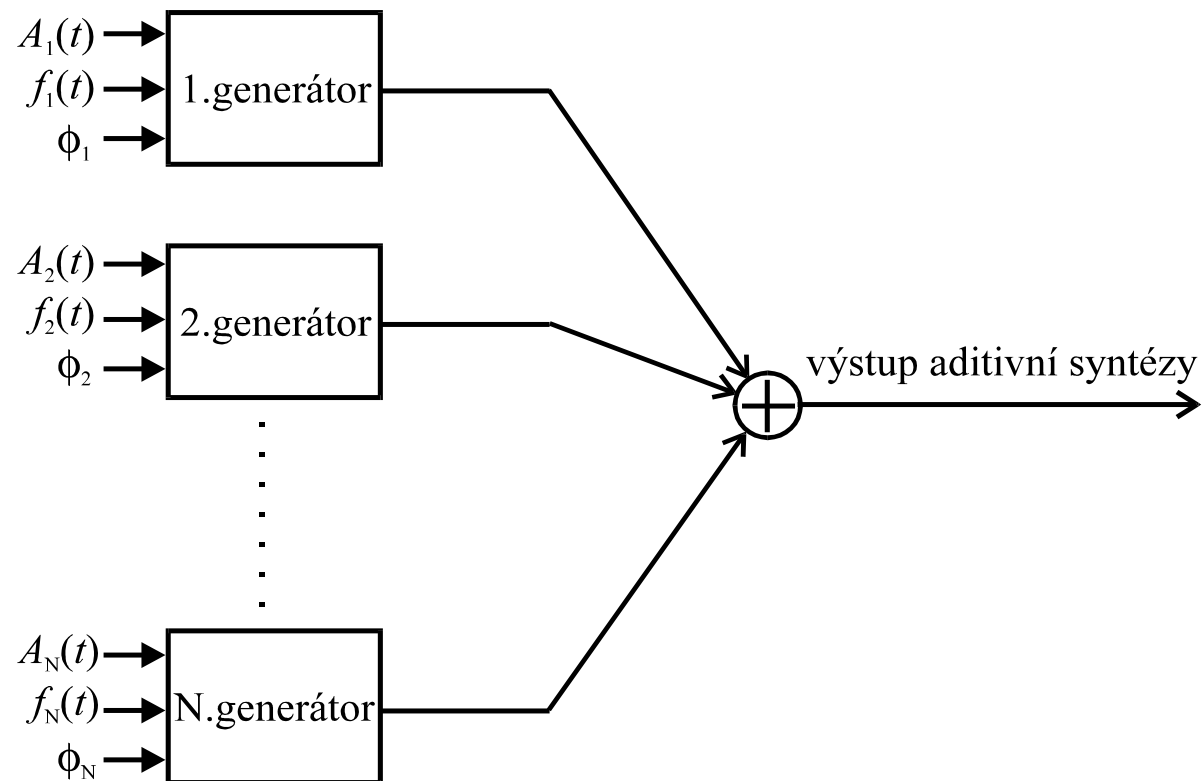
3. týden – Aditivní syntéza

- **Hudební nástroje**
 - Dělení podle vzniku zvuku
- **Aditivní (součtová) syntéza**
 - Fourierovy řady
 - Harmonická analýza a syntéza
 - Barva zvuku
 - Syntéza periodických průběhů
 - Syntéza hudebních nástrojů

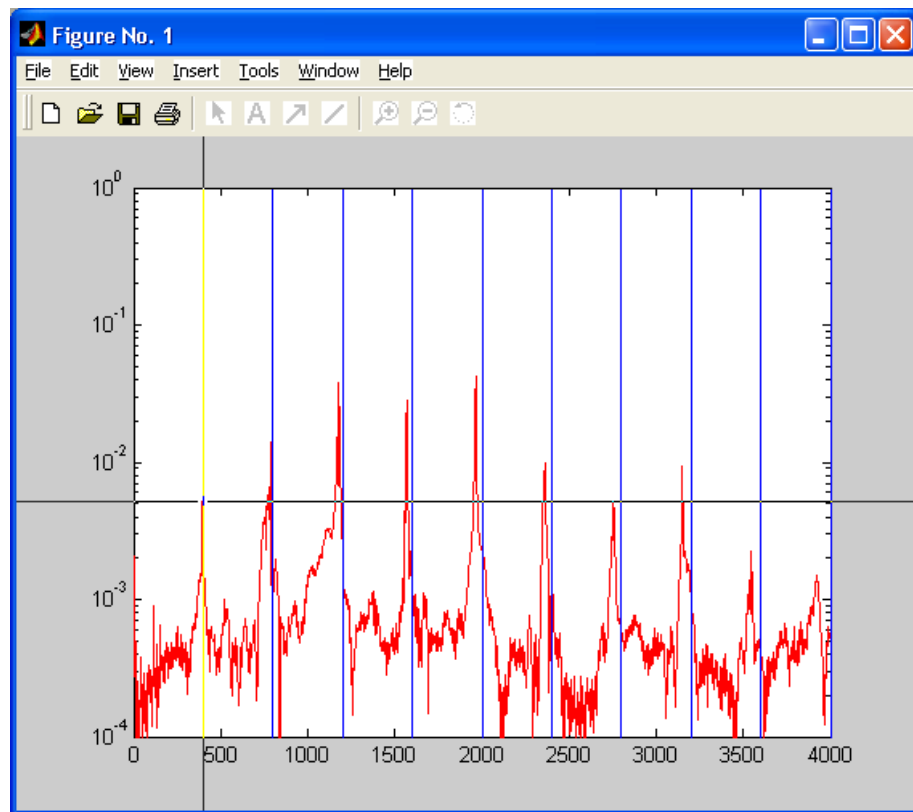
3. týden – Aditivní syntéza

Aditivní syntézy (spektrální, fourierovské resyntézy)

- sčítání jednotlivých frekvenčních složek
- teorie je založena na Fourierových řadách



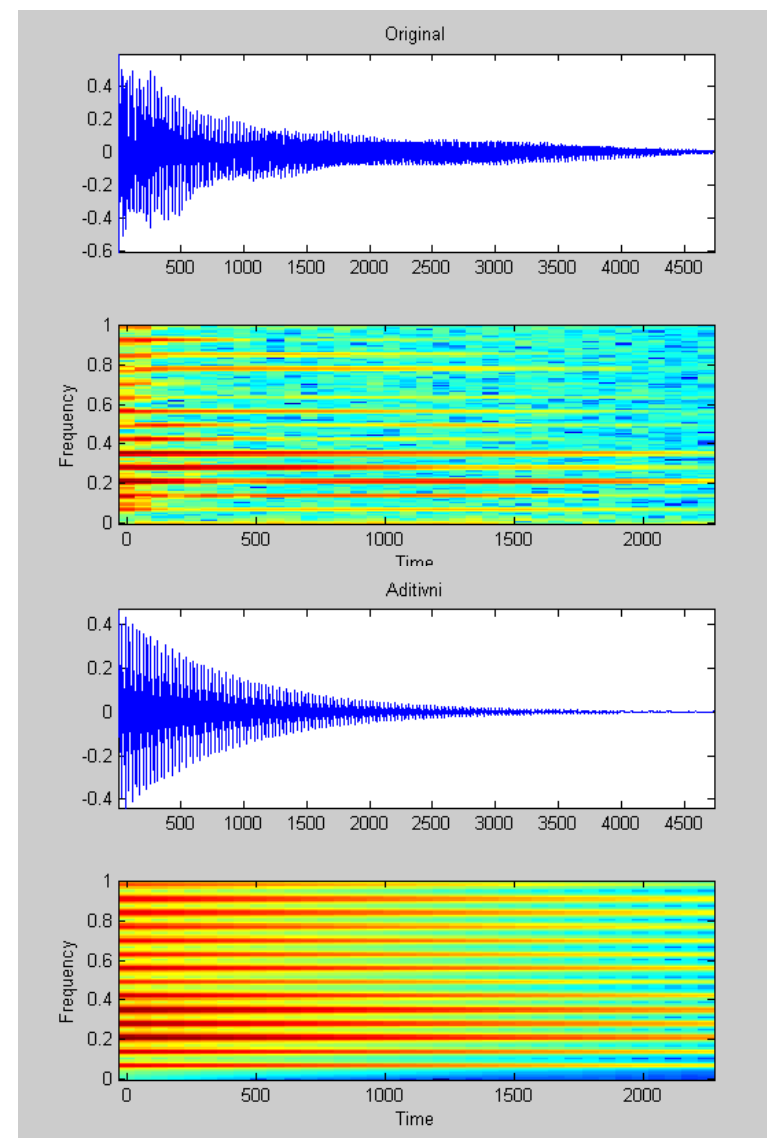
3. týden – Aditivní syntéza



```

ampl = [0.0051 0.0144 0.0246 0.0290 0.0422
0.0101 0.0052 0.0096 0.0022 0.0015];
o=exp(-nT./tau);
x=o.*[ampl*sin(2*pi*[1:length(ampl)]'*f0*nT)];

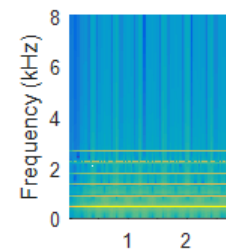
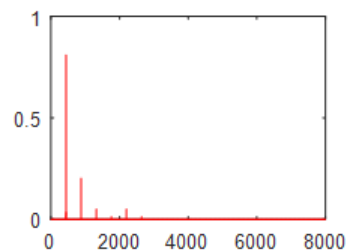
```



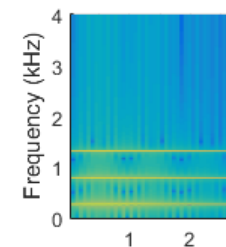
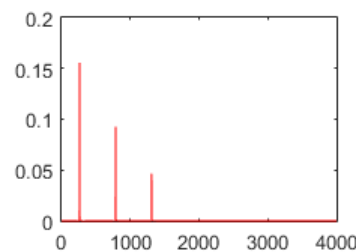
3. týden – Aditivní syntéza

• Aditivní syntéza nástrojů

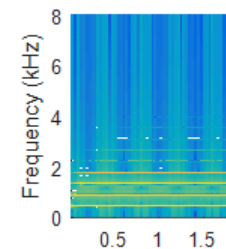
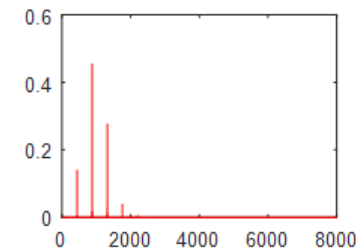
Flétna



Klarinet



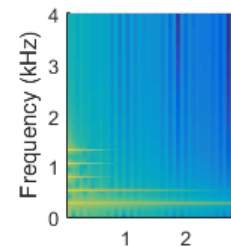
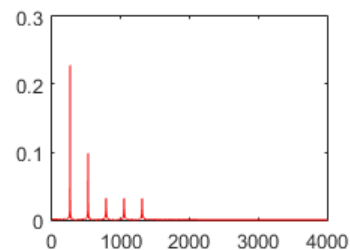
Trubka



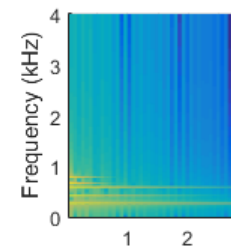
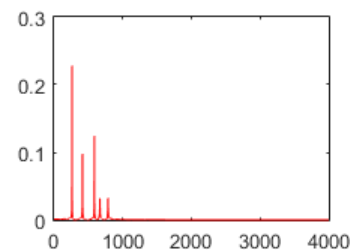
3. týden – Aditivní syntéza

• Aditivní syntéza nástrojů

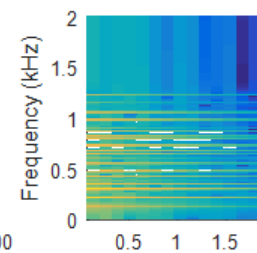
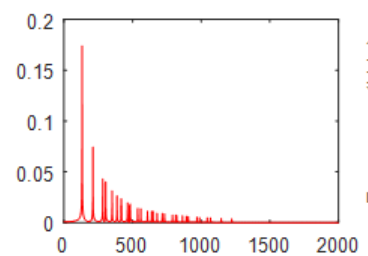
Struna



Úder



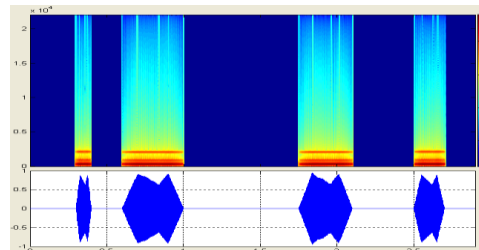
Tympány



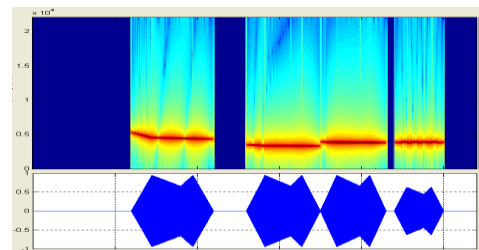
3. týden – Aditivní syntéza

- Aditivní syntéza ptáků

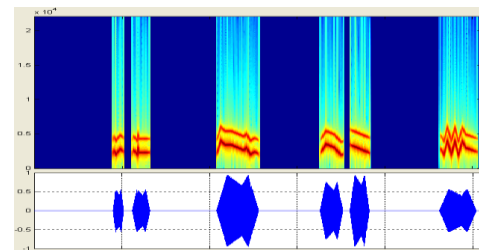
Výr



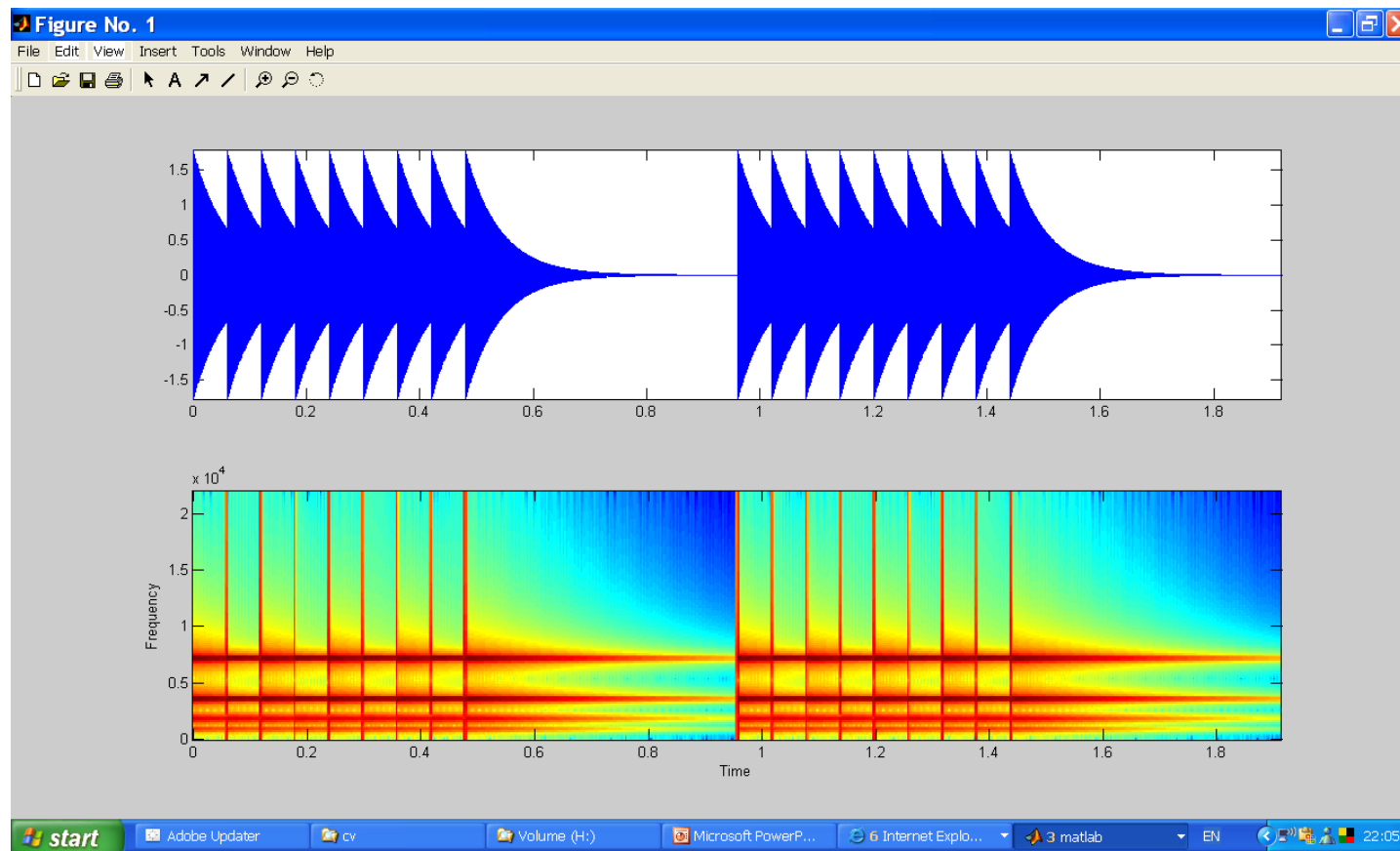
Strnad



Drozd



- Zvonek





3. týden – Aditivní syntéza



- **Varhany**



- **Hammondovy varhany**





3. týden – Aditivní syntéza

• Ukázky semestrálních prací



Burša Petr

"Tichá noc"

aditivní syntéza flétny ze sedmi harmonických složek + FM pro vibráto + nelineární tvarování + spektrální modelování s bílým šumem a rezonátorem



Dřínovský Martin

Hororová zvuková sekvence první část tvoří Bachova Toccata a Fuga v D-mol hraná na varhany s efektem dozvuku simulujícím prostředí chrámu (*aditivní syntéza*). Druhá část sestává z útěku lesem za větrné (*filtrační syntéza = bílý šum + rezonátor*) a chladně noci. Tato část je zakončena výkřikem (*LPC filtrační syntéza*).



Krejčí Vítězslav

Syntéza smyčců, resyntéza zvuků Yamaha

spektrální modelování, aditivní syntéza



Klicpera Jakub

"Elektrický valčík"

syntéza klavíru a harmoniky



Knopková Stanislava

"Piráti z Karibiku"

aditivní resyntéza flétny + polyfonie



Körber Karel

B. Smetany – Vltava

Aditivní syntéza (flétna, piano, smyčce), AM



4. týden – Spektrální manipulace

- **Spektrální analýzy**
 - FŘ, FT, DFT
- **Fázový vokodér**
 - Analýza, transformace, syntéza
 - Spektrální manipulace
 - Časové změny
 - Frekvenční změny
 - Audio efekty

4. týden – Spektrální manipulace

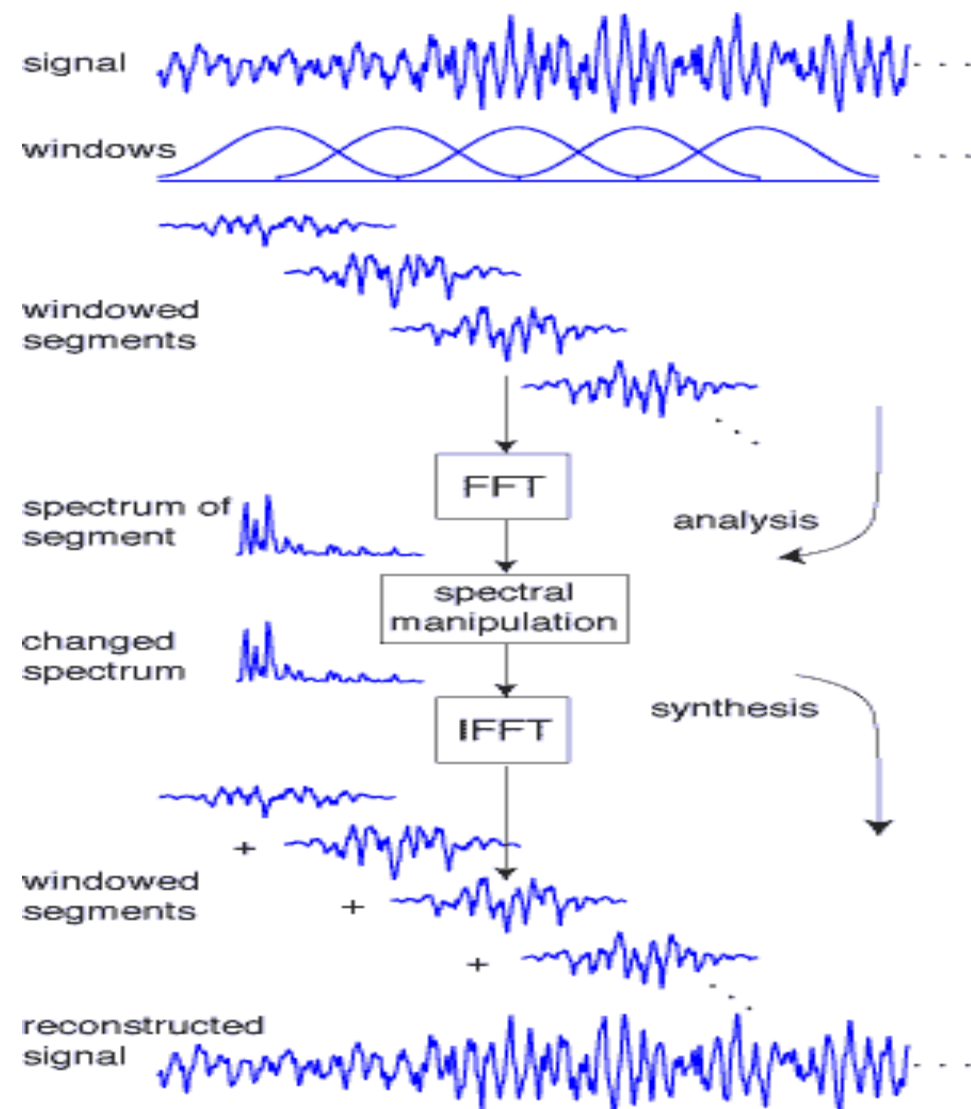
• Fázový vokodér

Krátkodobá Fourierova transformace

$$X_m = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x_k e^{-j \frac{2\pi mk}{n}}$$

Re-syntéza

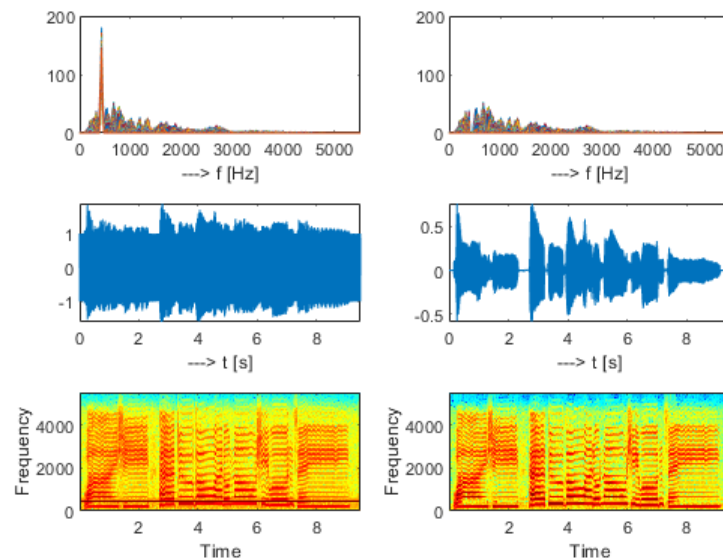
$$x_k = \frac{1}{n} \sum_{m=0}^{n-1} X_m e^{j \frac{2\pi mk}{n}}$$



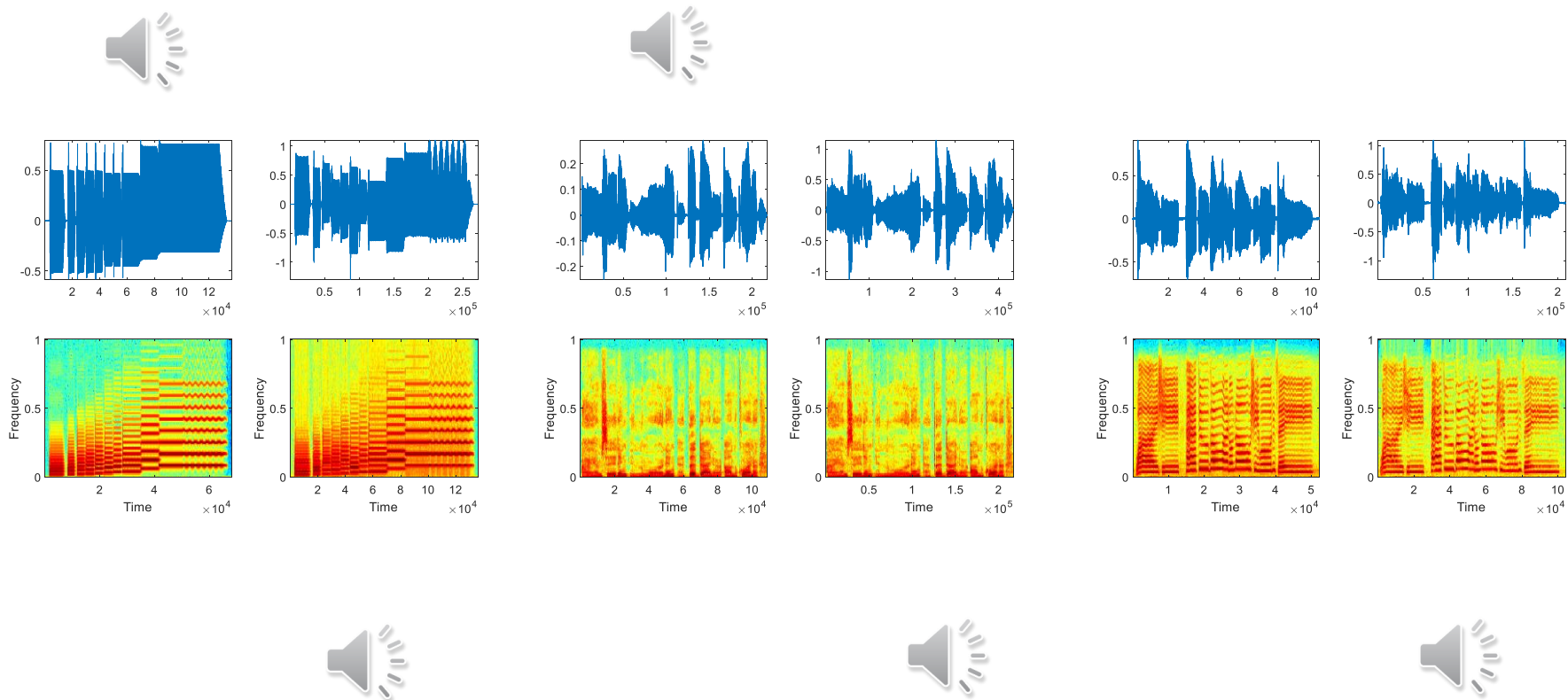


4. týden – Spektrální manipulace

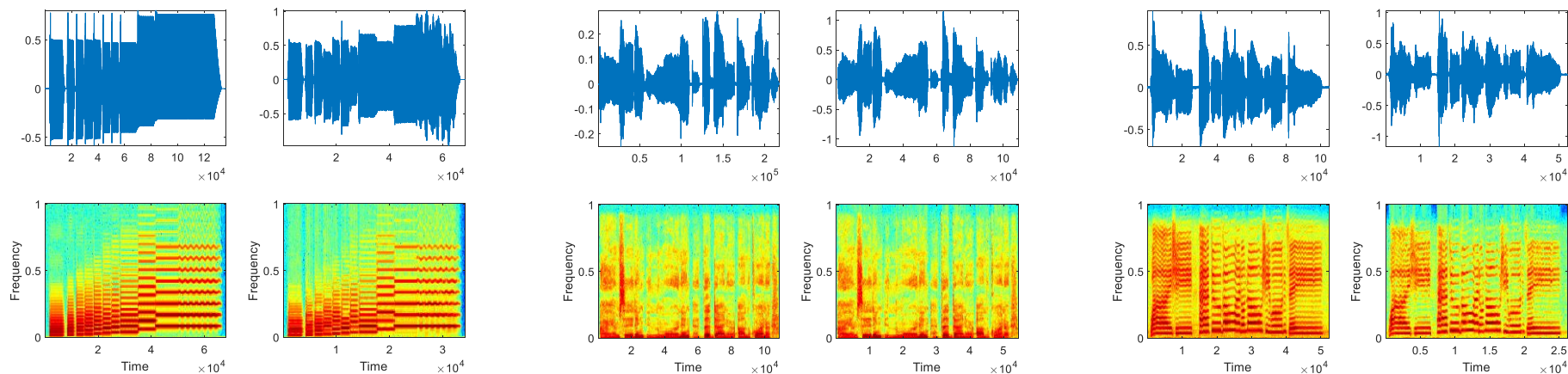
- manipulace ve spektru 430 Hz



- prodloužení 2x

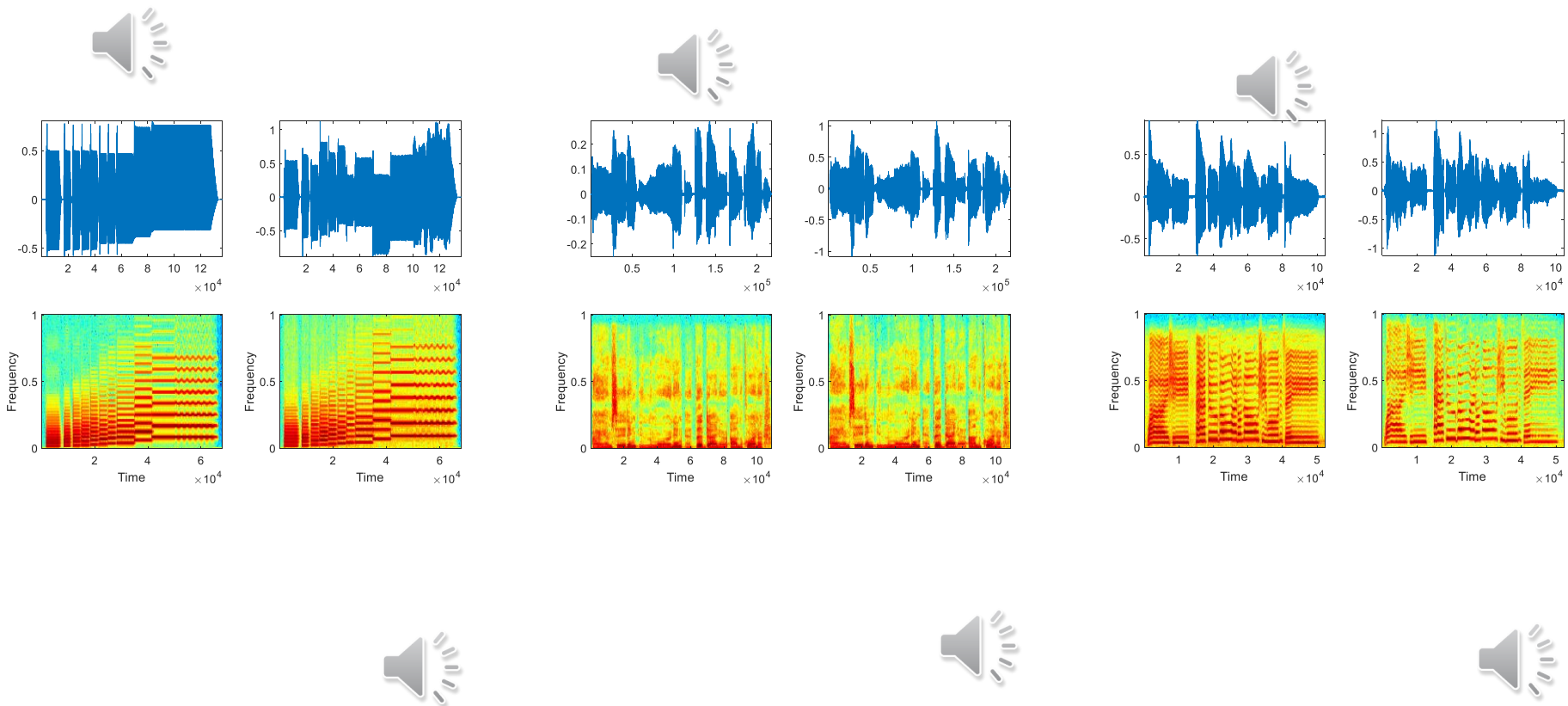


- zkrácení 0,5x



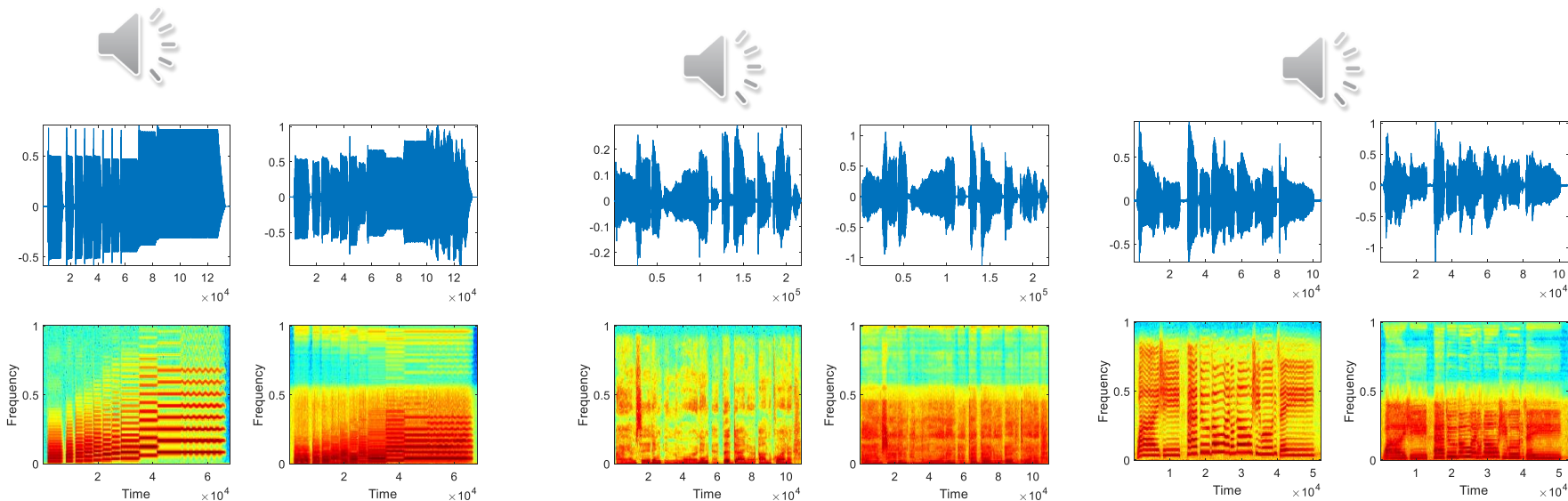
4. týden – Spektrální manipulace

• $f \uparrow$

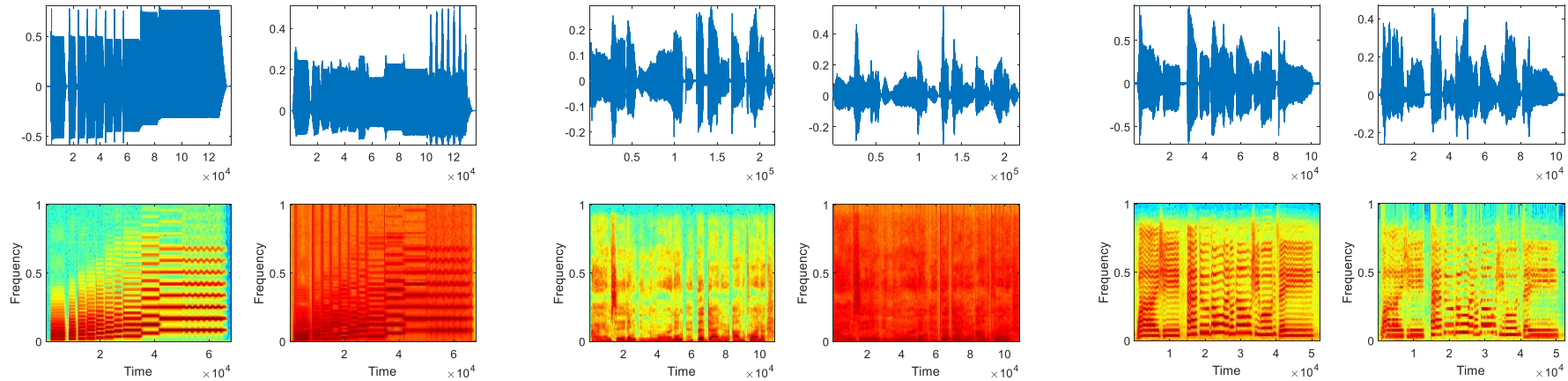


4. týden – Spektrální manipulace

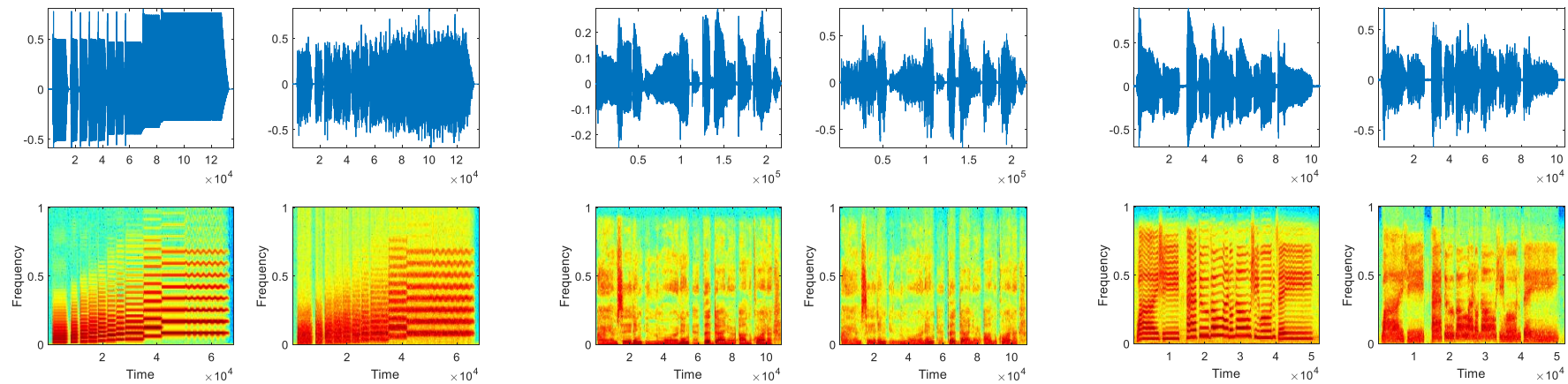
• $f \downarrow$



- robot



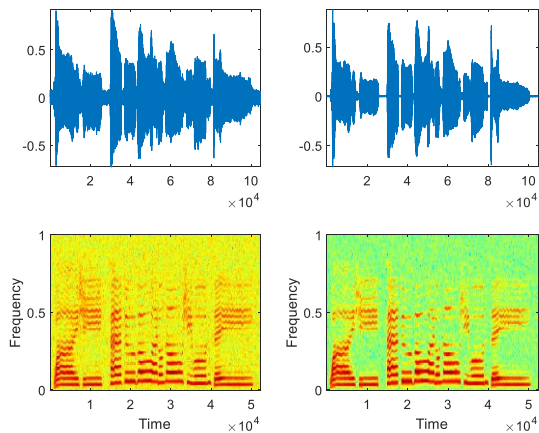
- šepot





4. týden – Spektrální manipulace

- potlačení šumu





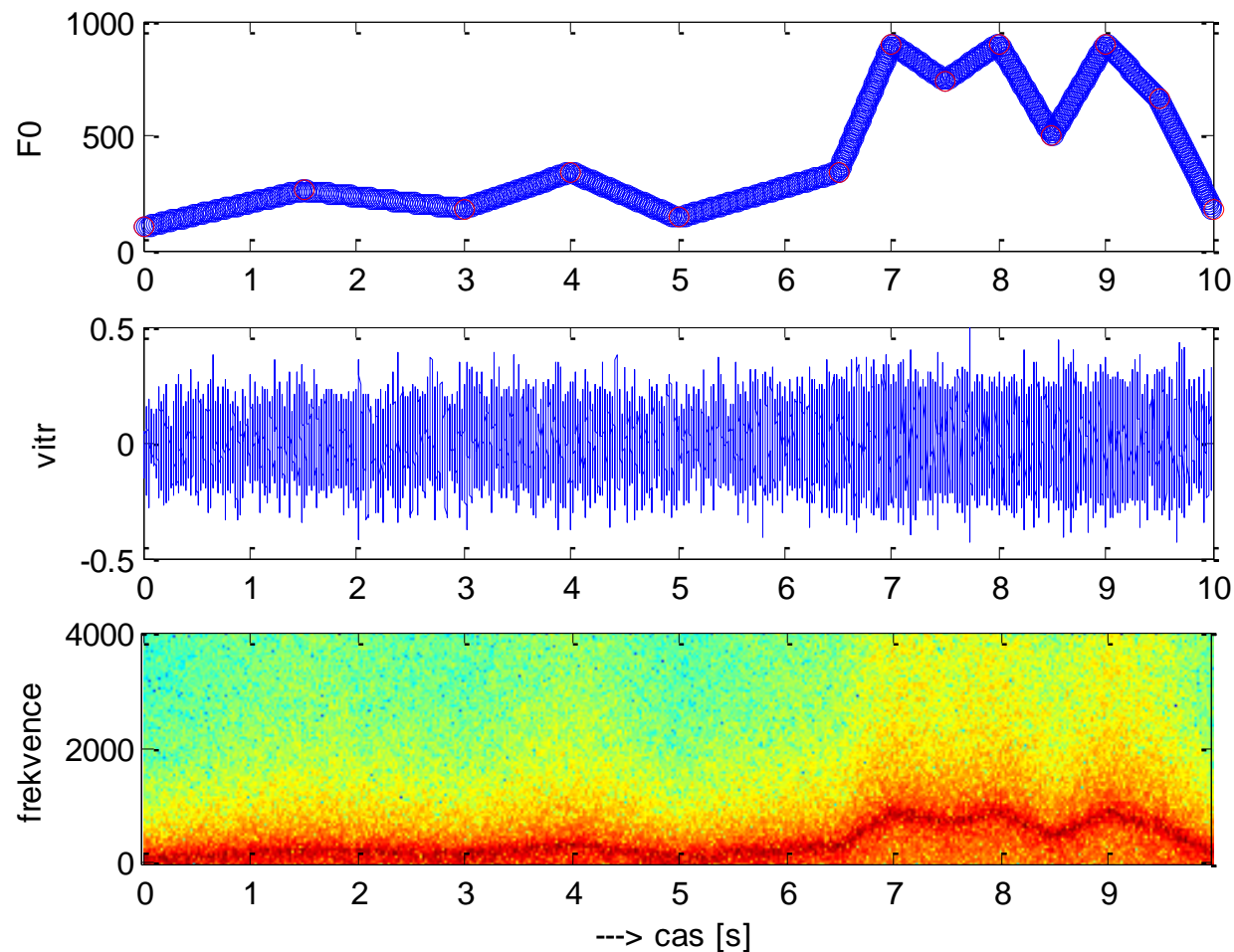
5. týden – Filtrační syntéza

- **Filtrační (rozdílová, subtrakční) syntéza**
 - Jednoduché číslicové filtry
 - Číslicová filtrace v MATLABu
 - Filtry s časově proměnnými koeficienty
 - Barevné šумы
 - Pulzní buzení
 - Audio aplikace



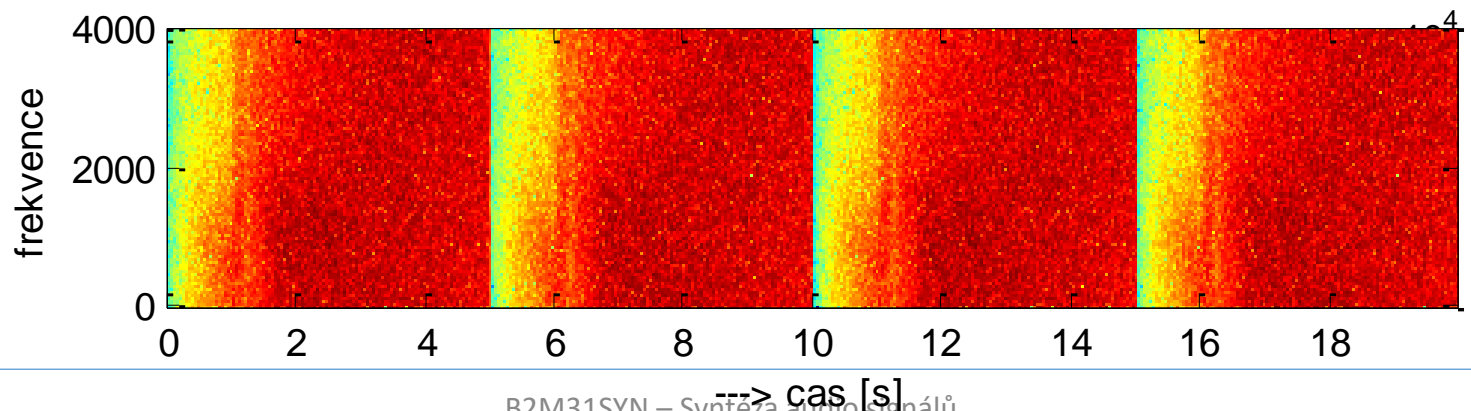
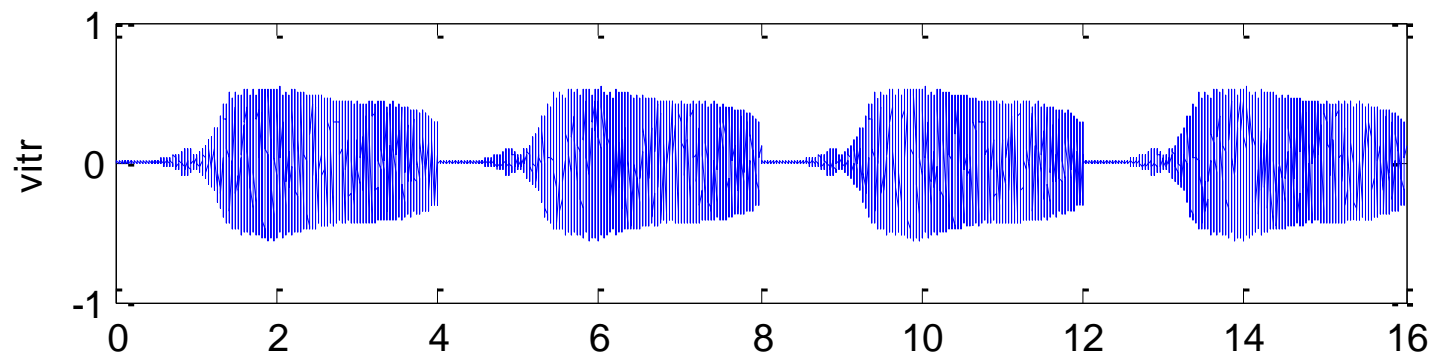
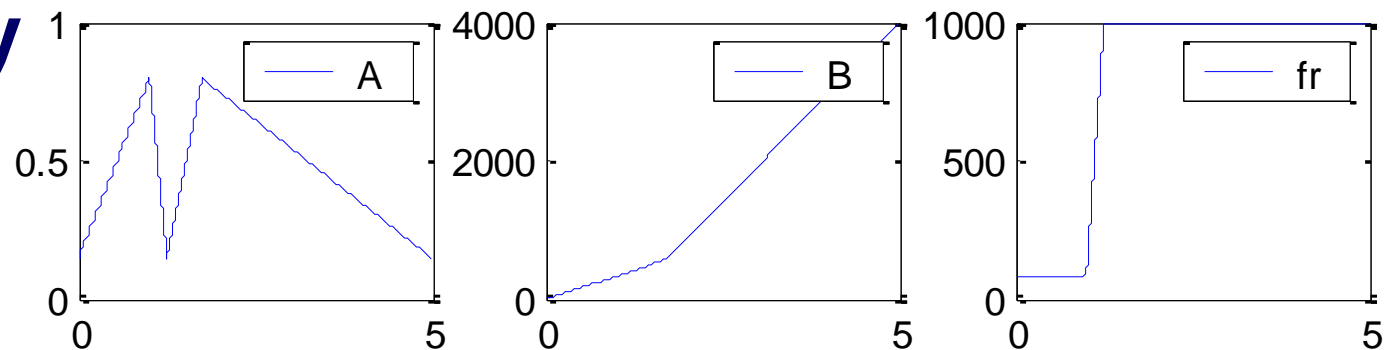
5. týden – Filtrační syntéza

- vítr



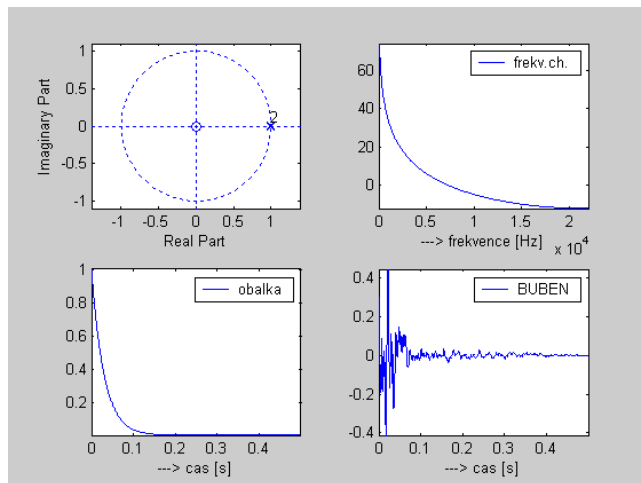
5. týden – Filtrační syntéza

- **vlny**

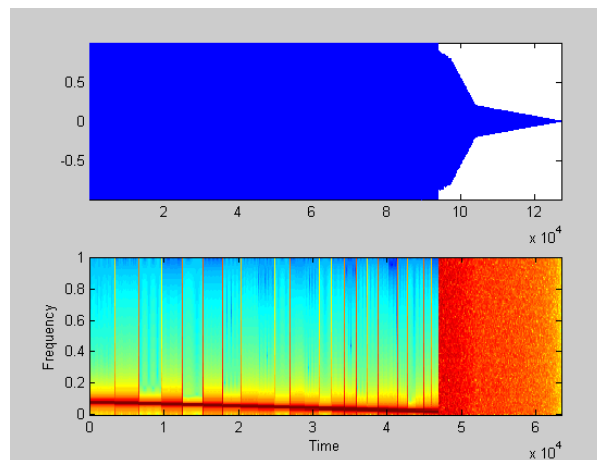


5. týden – Filtrační syntéza

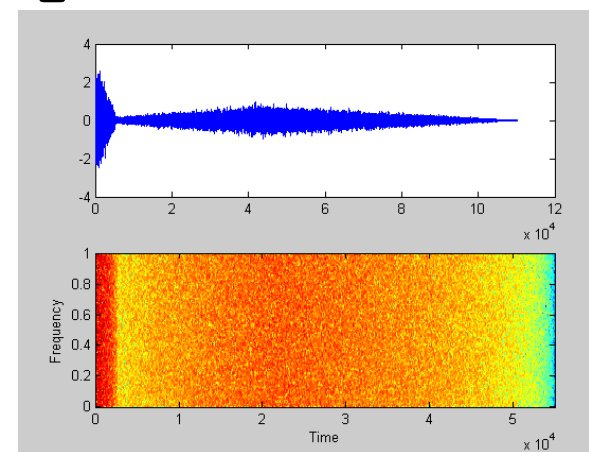
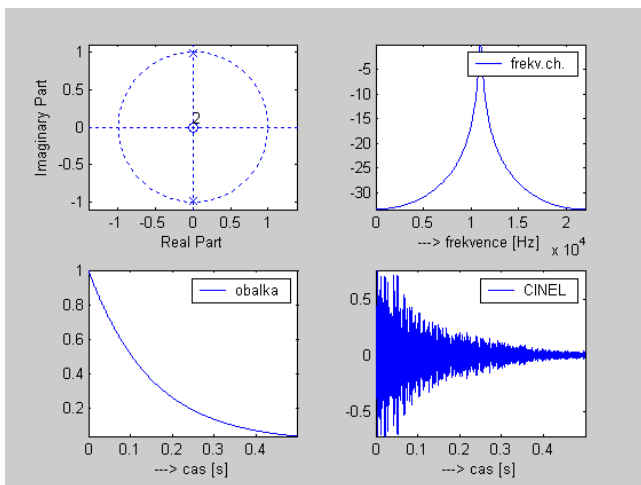
- Aplikace s šumem rezonátory a obálkami



hry



efekty



5. týden – Filtrační syntéza

• Syntéza materiálů



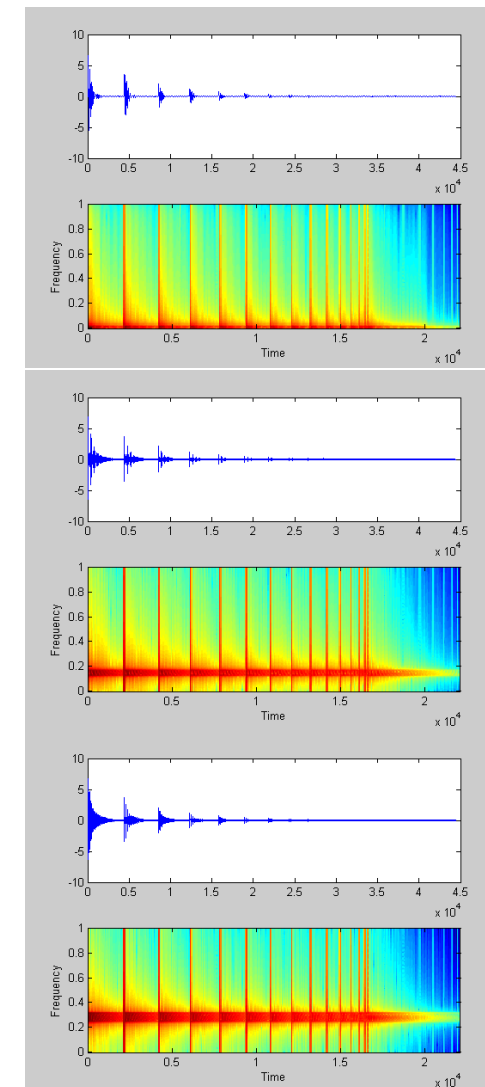
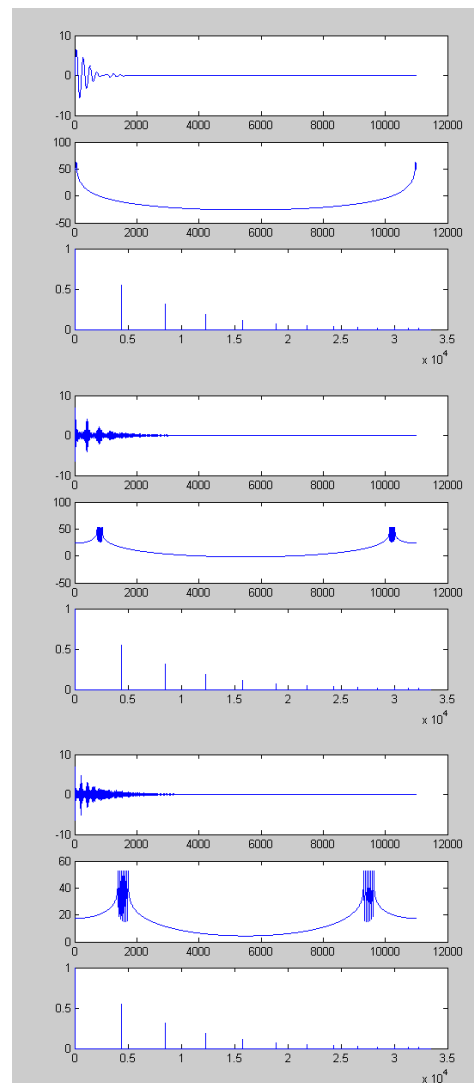
• **dřevo**



• **kov**



• **sklo**



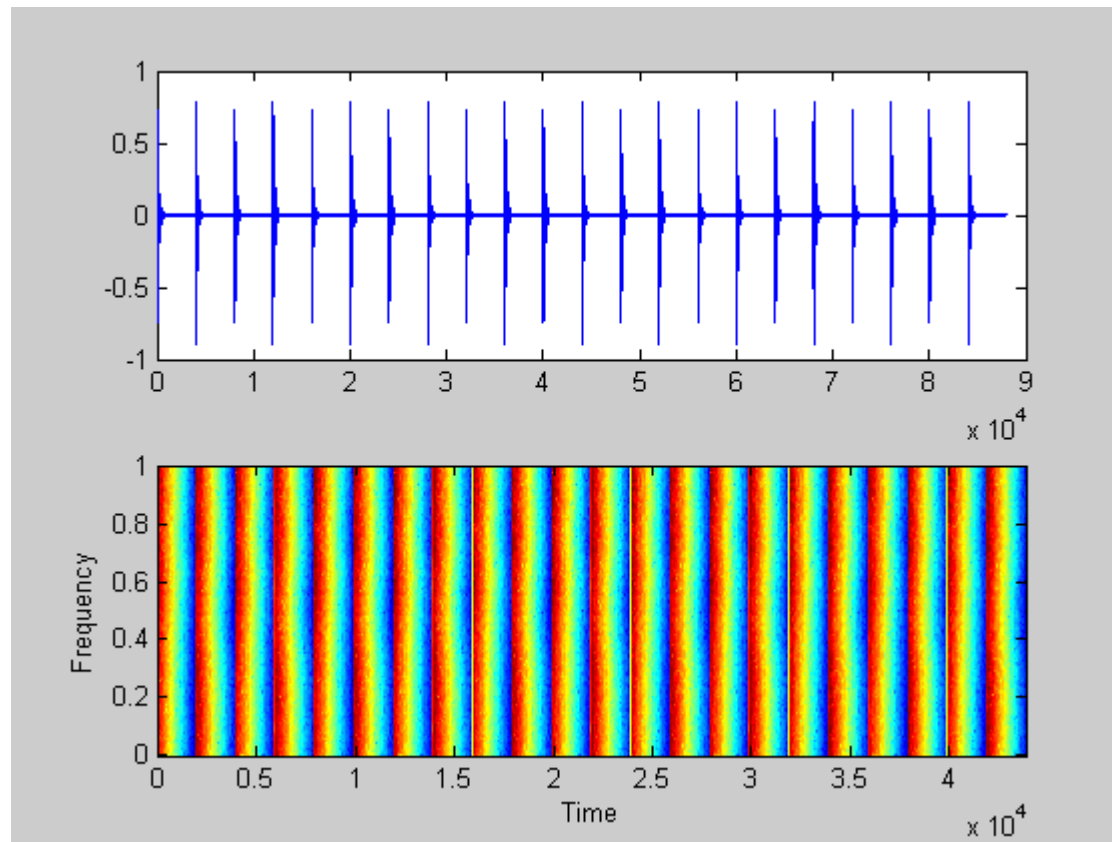


5. týden – Filtrační syntéza

- hodiny



$F_r=3500; B = 550;$
 $F_r=3000; B = 750;$





5. týden – Filtrační syntéza

• Ukázky semestrálních prací



Anisimova Elena

Zpěv ptáků v krajině
AM, FM, aditivní syntéza



Gregor Pavel

Kostel v horách
*zvony vytvořené FM modulací, přidaná AM modulace + echo,
vítr vytvořený filtrační syntézou*



Kolacia Martin

Rozjíždějící se parní lokomotiva s píšťalou
AM, filtrační syntéza

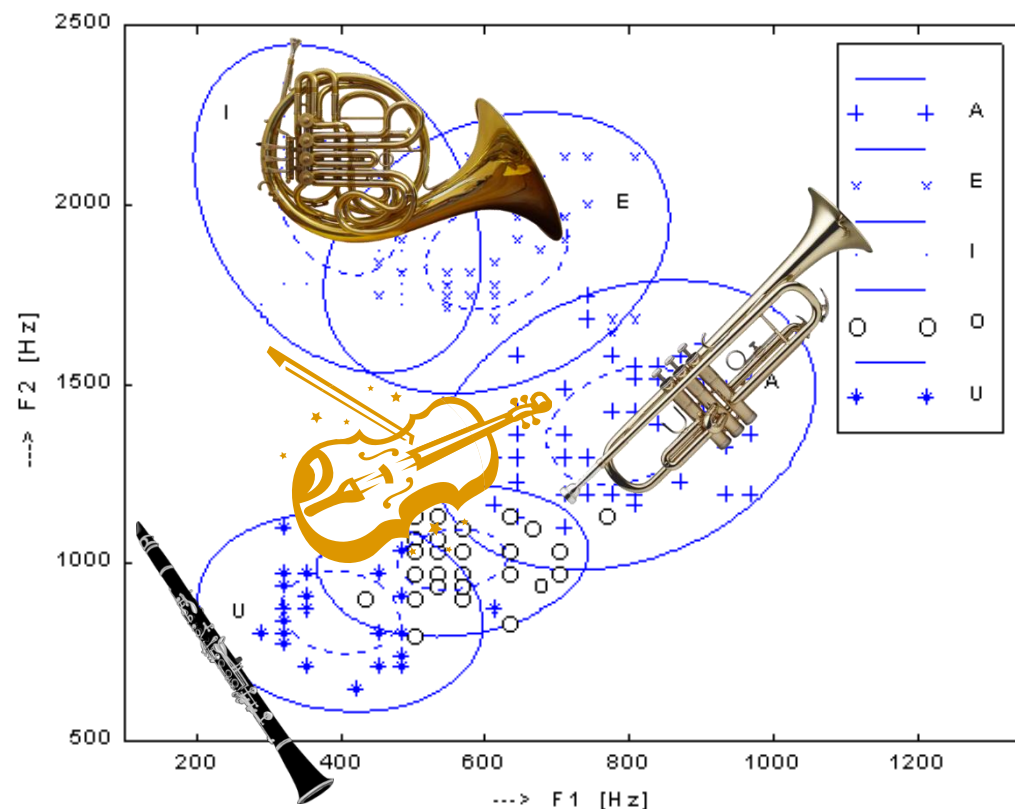


6. týden – Formantová syntéza

- **Číslicové filtry 2.řádu**
 - Rezonátory
 - Časově proměnné filtry
- **Formantové syntézy hudebních nástrojů**
 - Spektra hudebních nástrojů
- **Formantové syntézy hlasu a řeči**
 - Klattův formantový syntetizér
 - Syntézy samohlásek

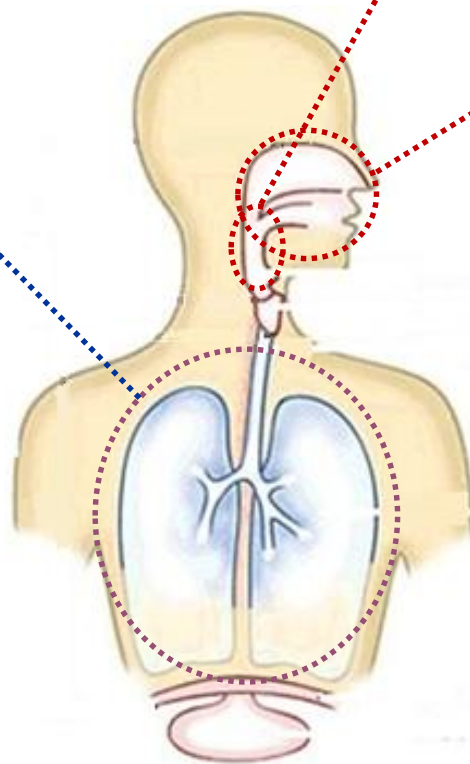
6. týden – Formantová syntéza

- Formantové syntézy řeči a nástrojů



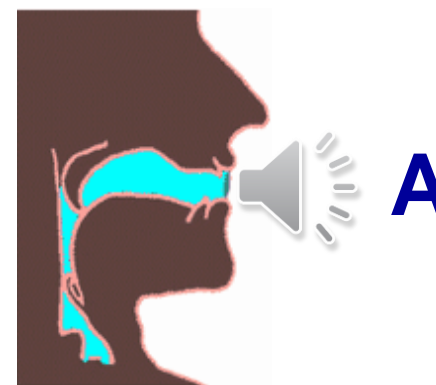
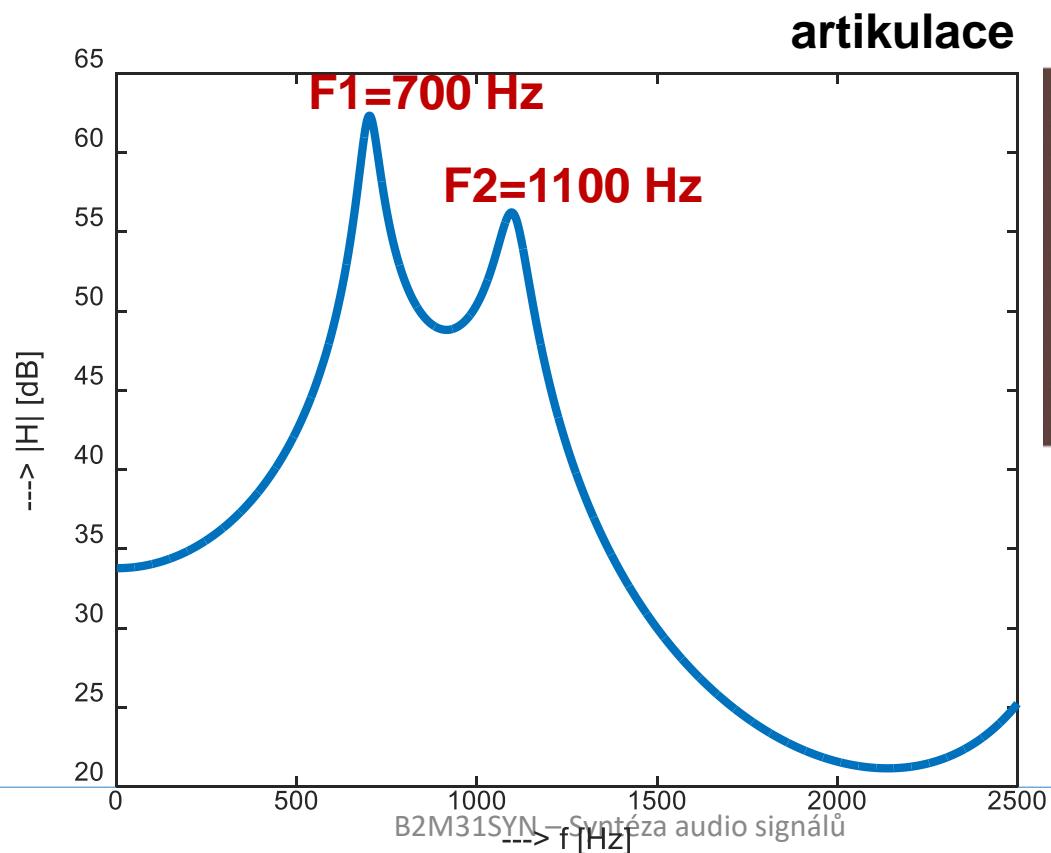
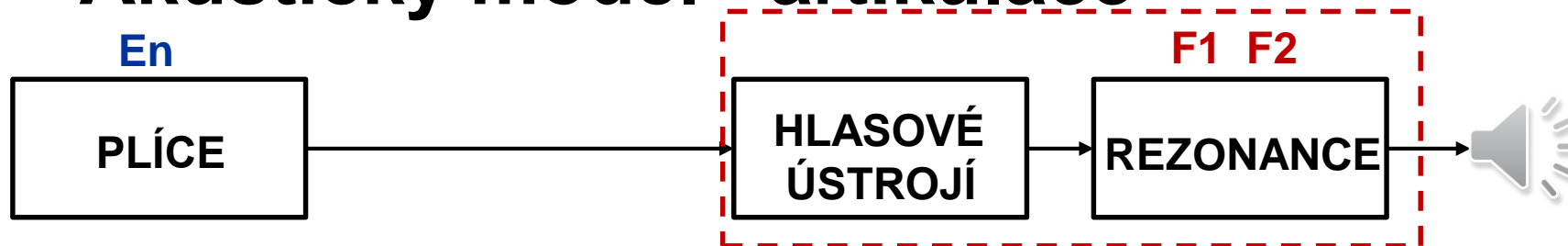
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model - artikulace



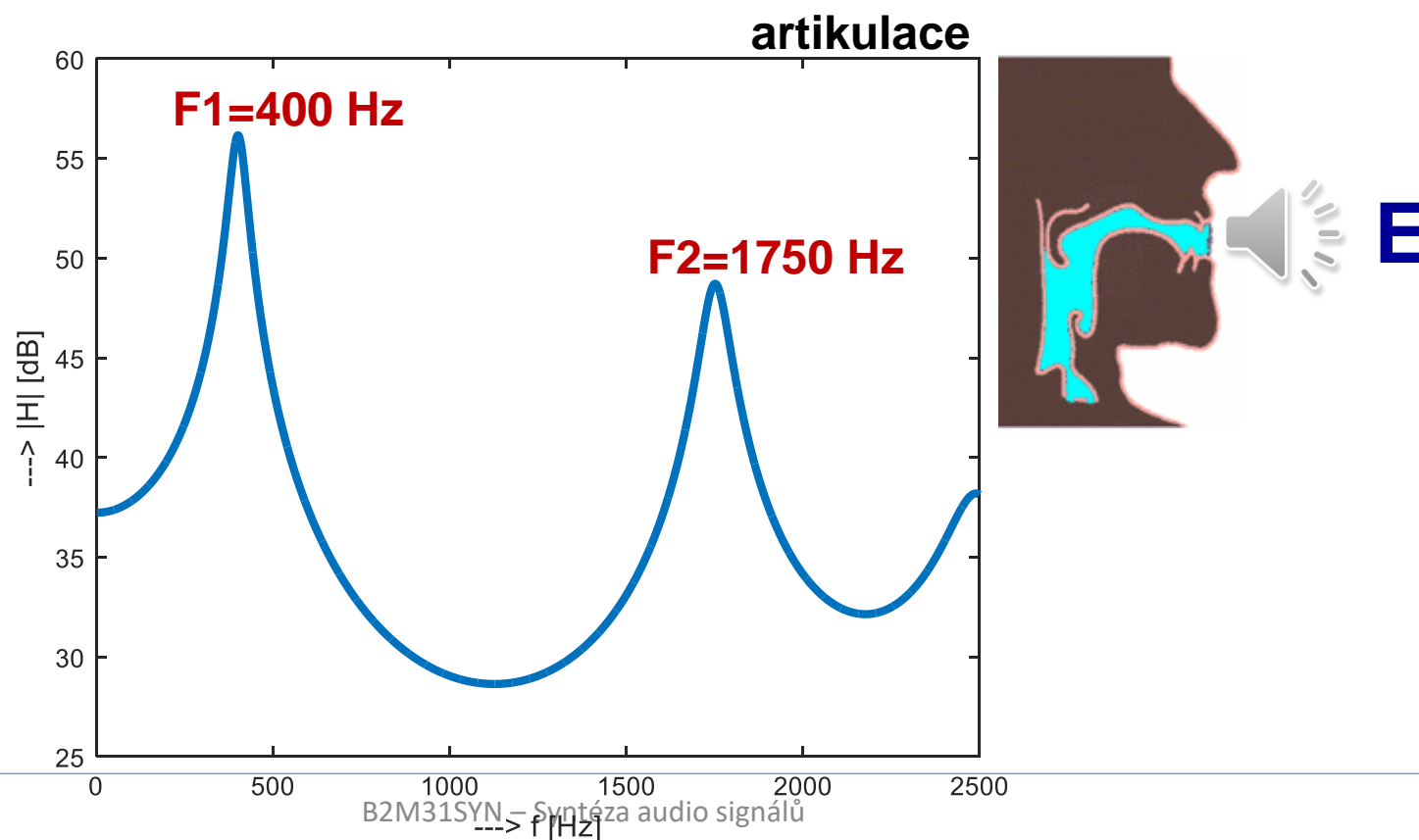
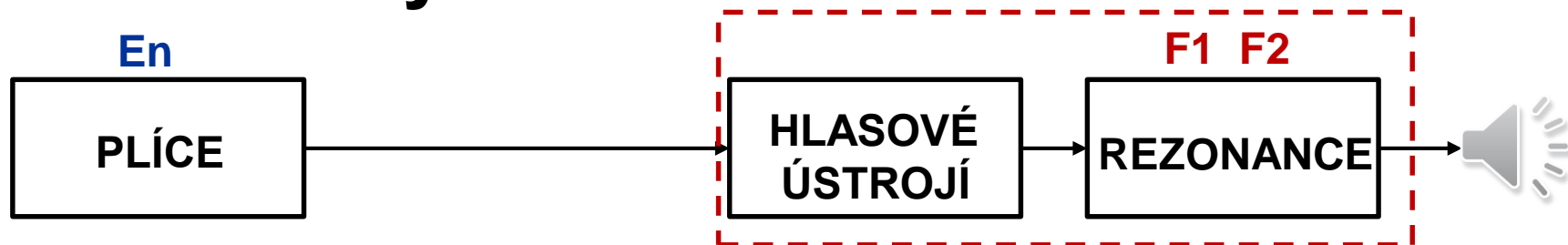
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model - artikulace



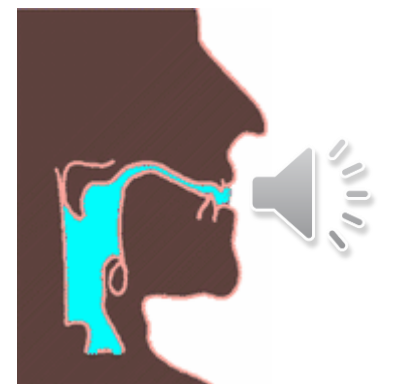
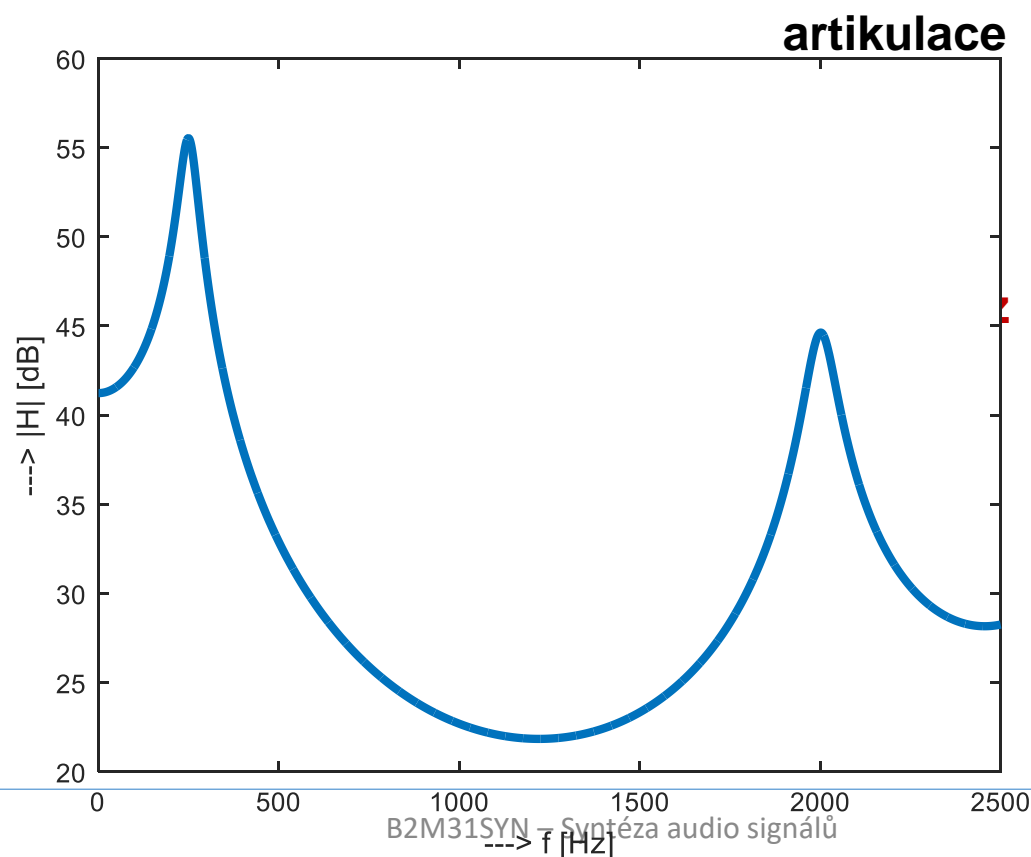
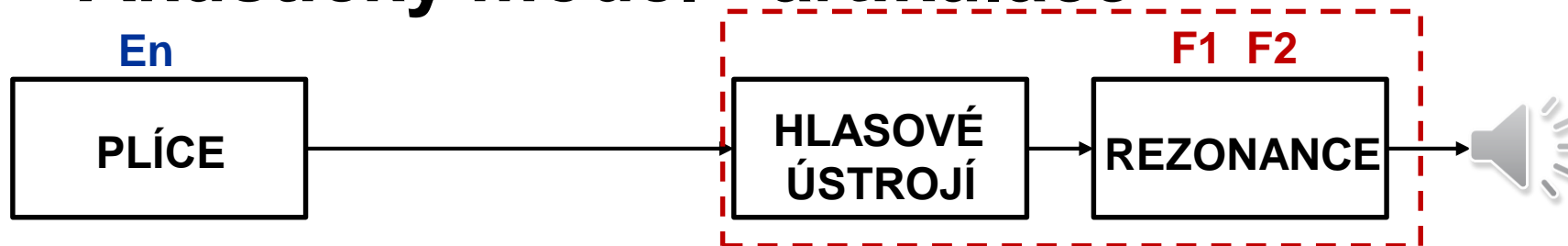
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model - artikulace



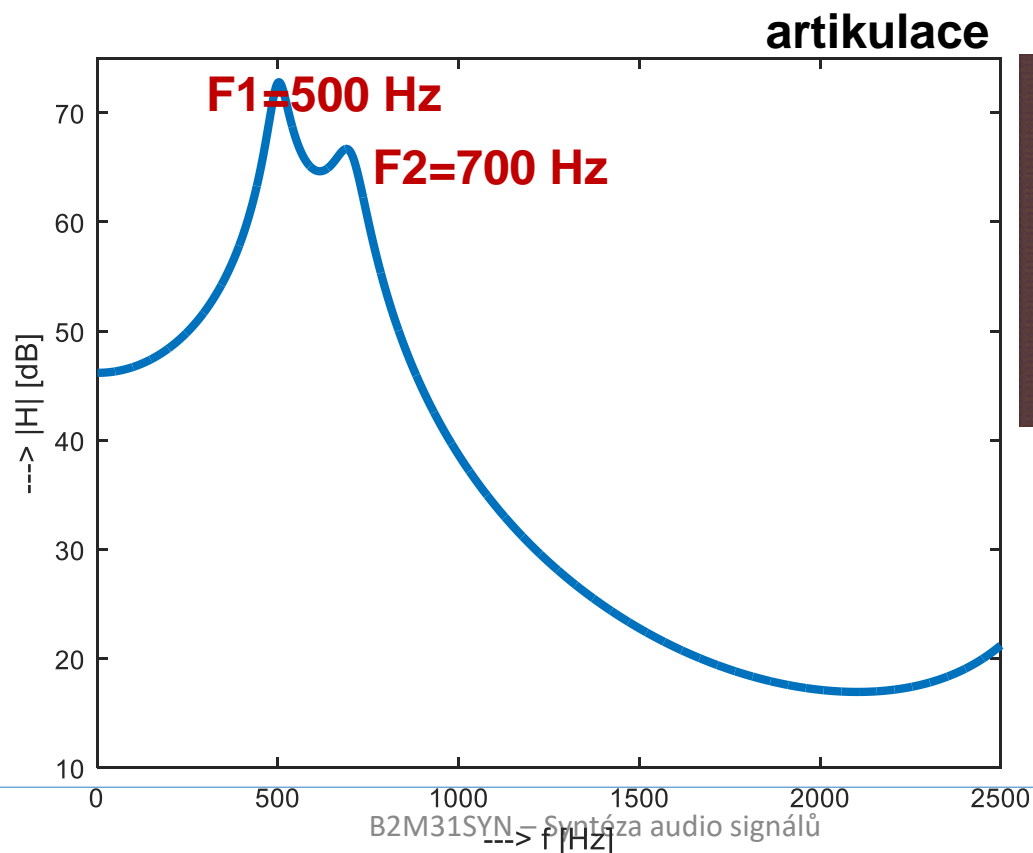
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model - artikulace



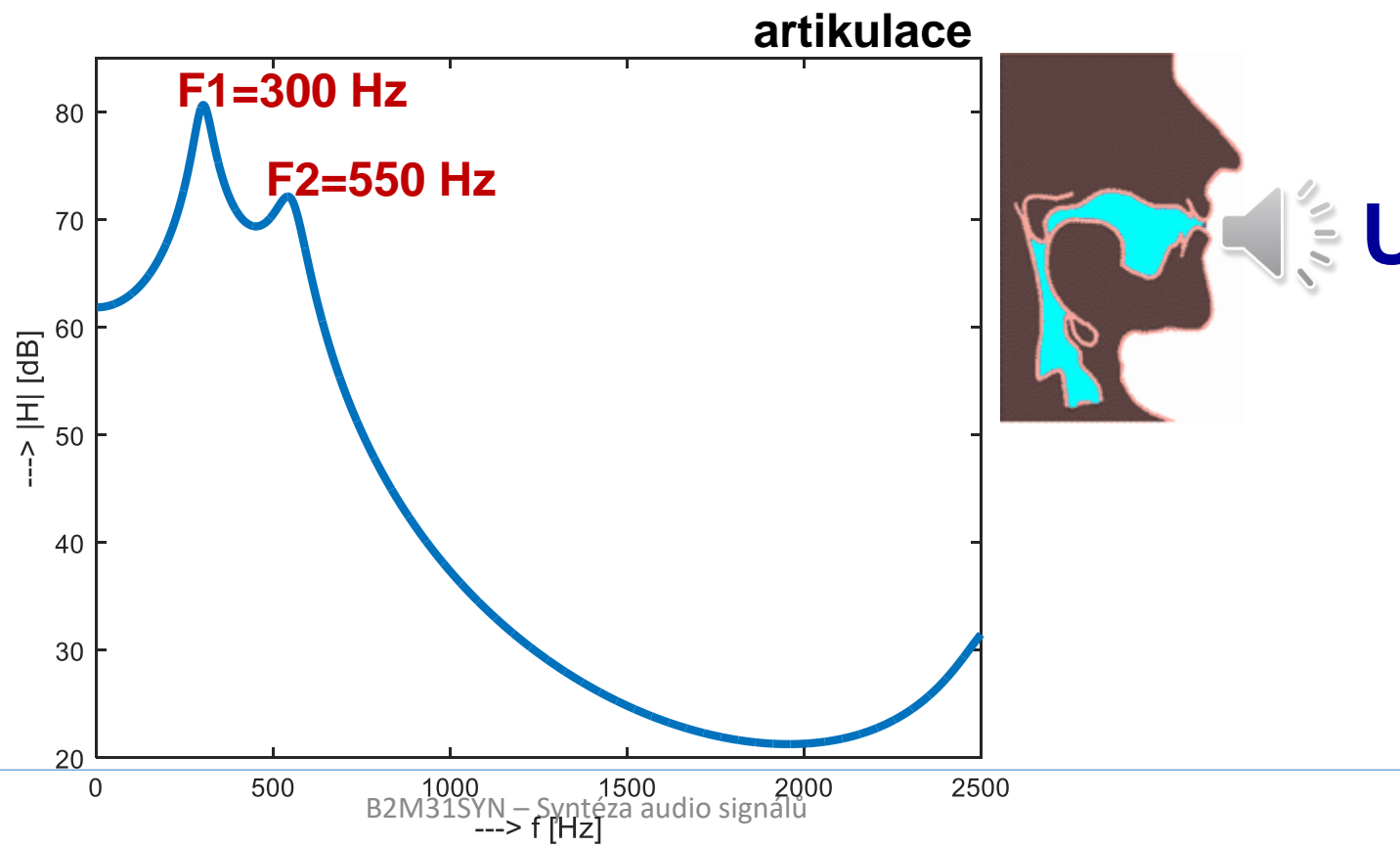
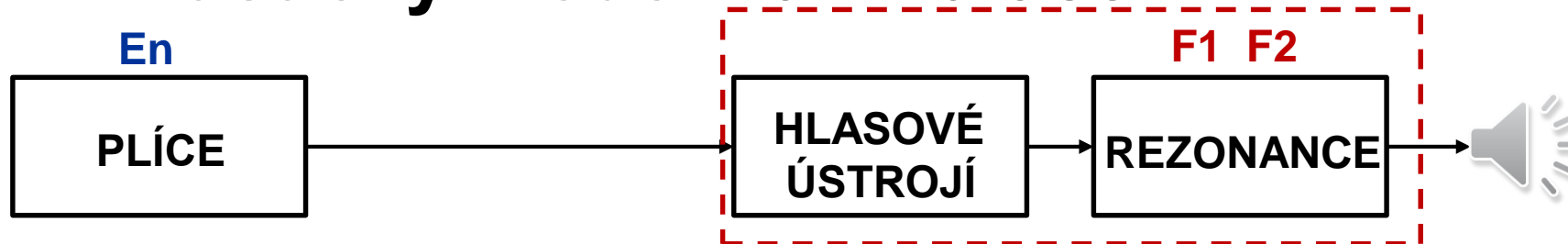
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model - artikulace



6. týden – Formantová syntéza

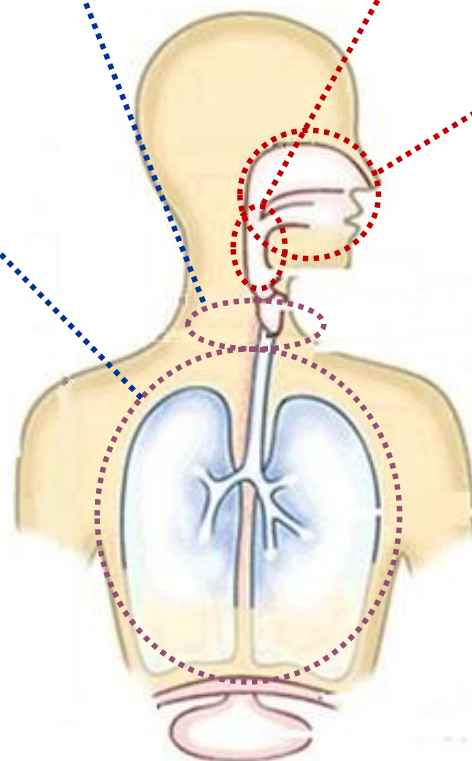
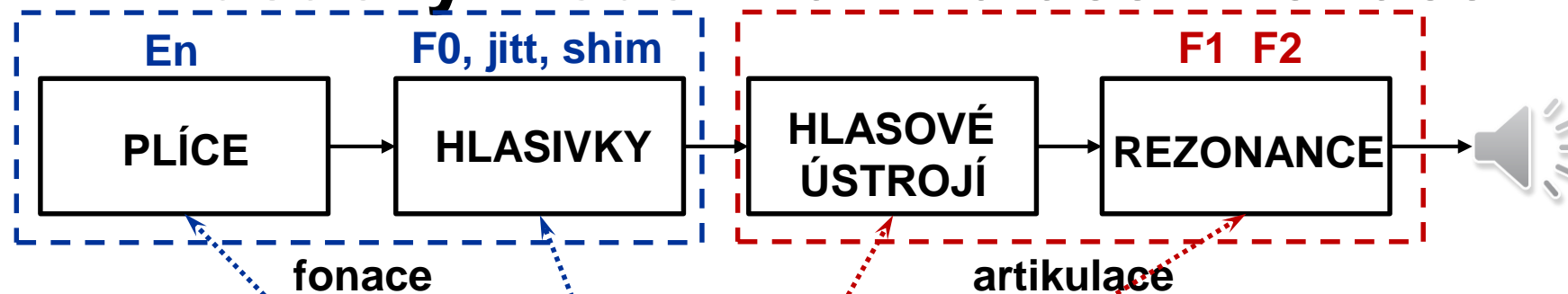
• Akustický model - artikulace





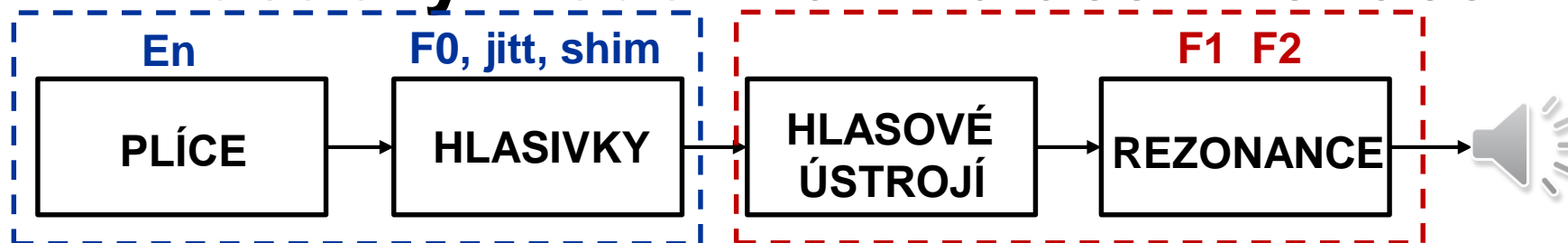
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model – artikulace + fonace



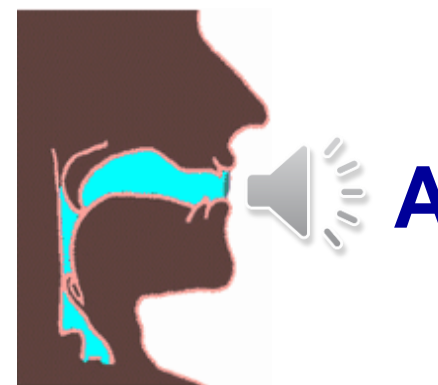
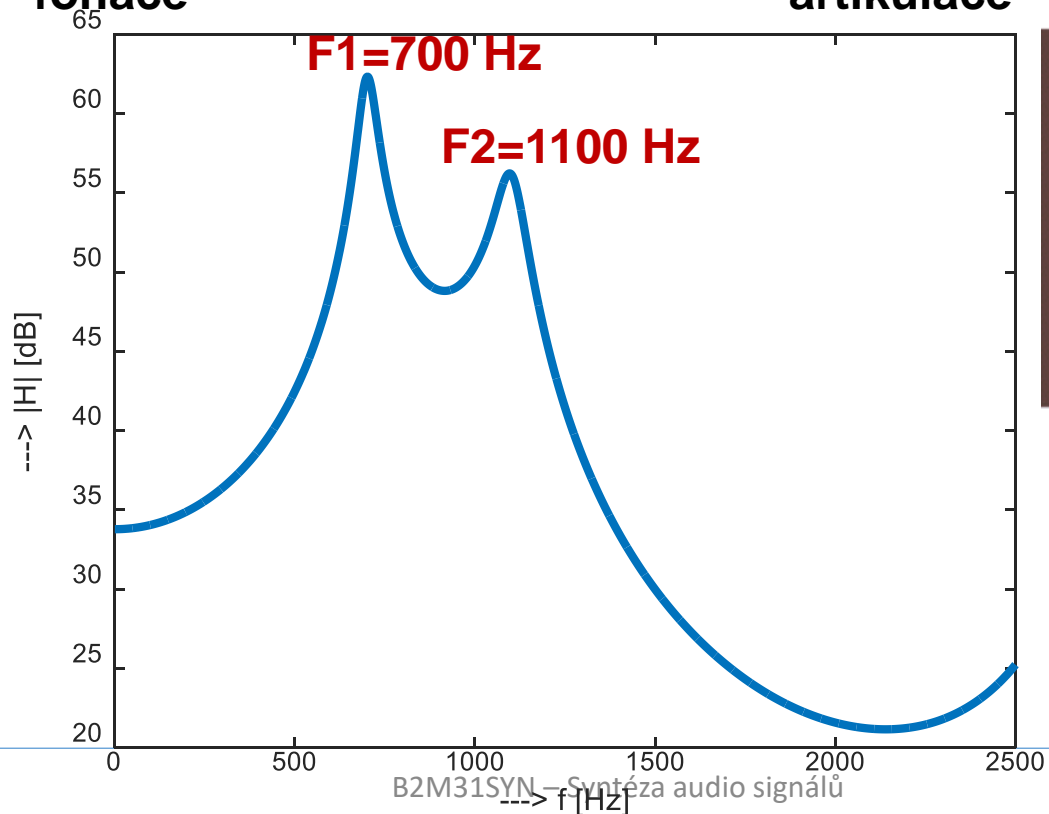
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model – artikulace + fonace



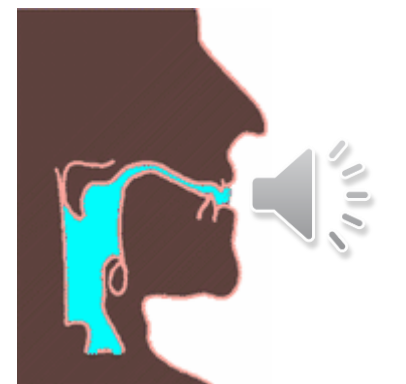
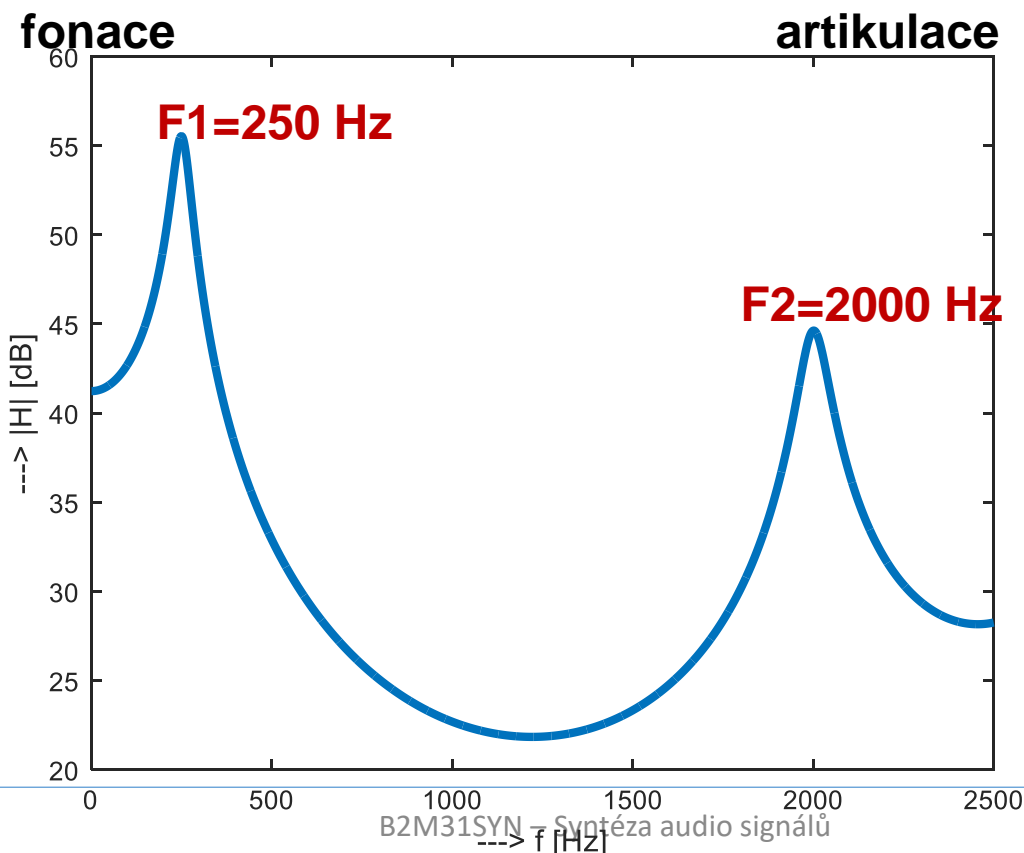
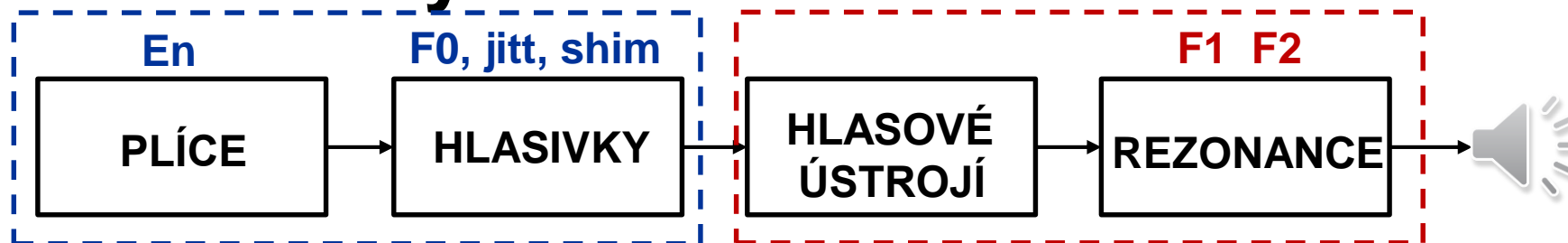
fonace

artikulace



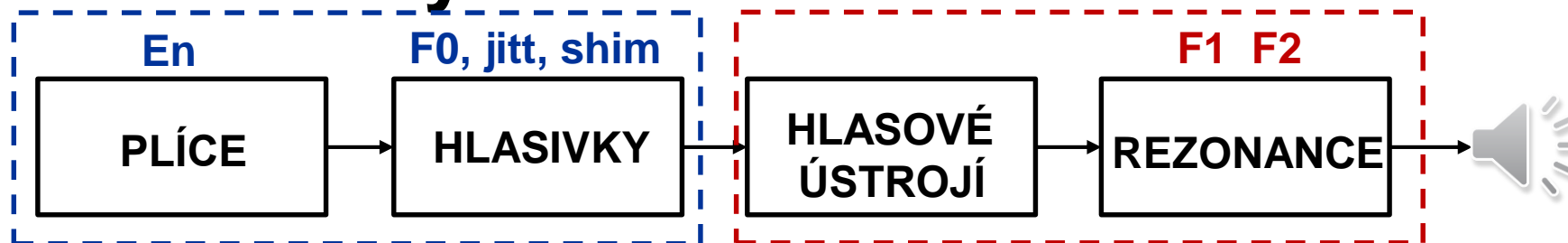
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model – artikulace + fonace



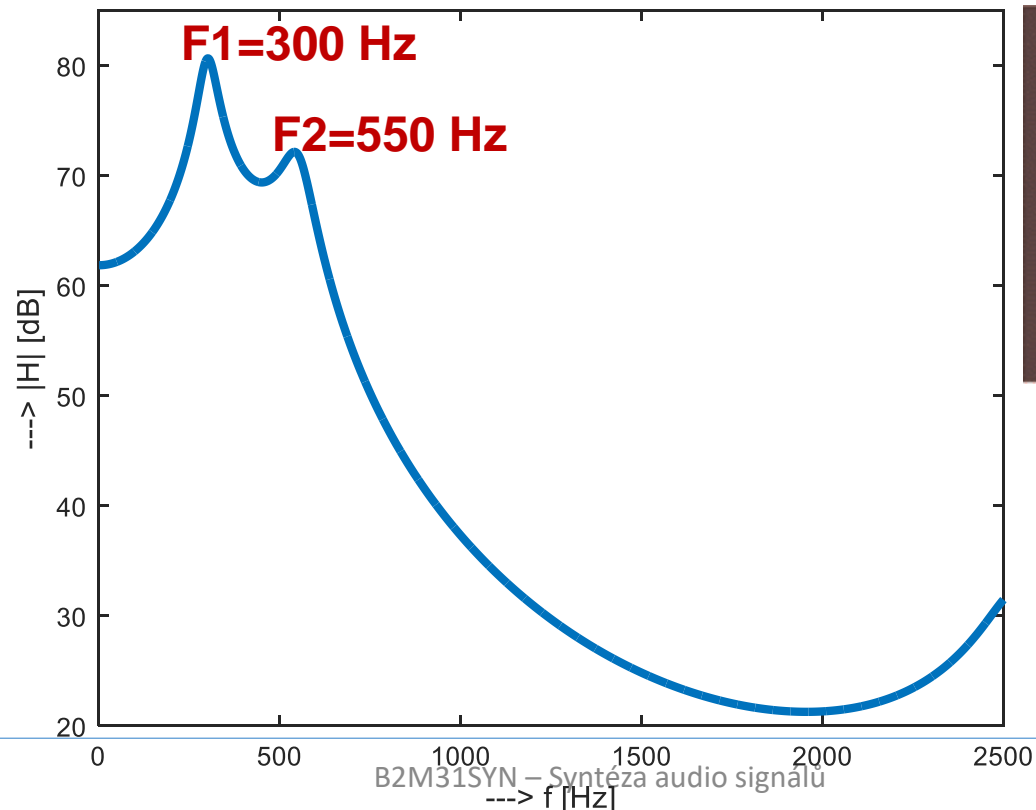
6. týden – Formantová syntéza

• Akustický model – artikulace + fonace



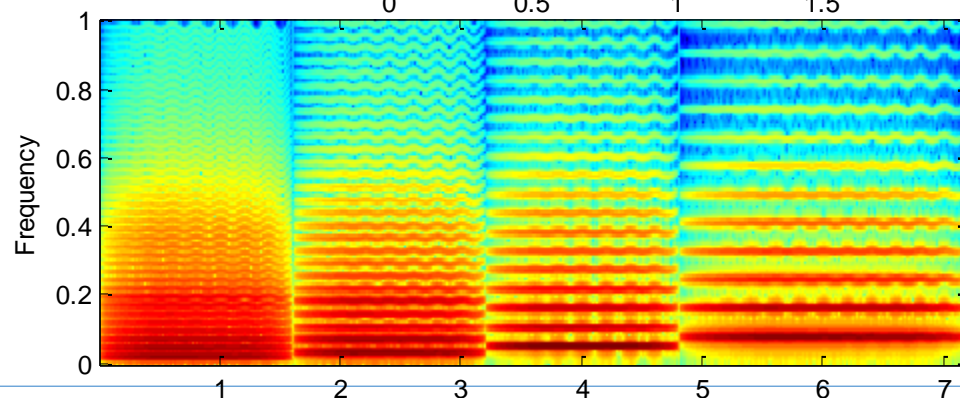
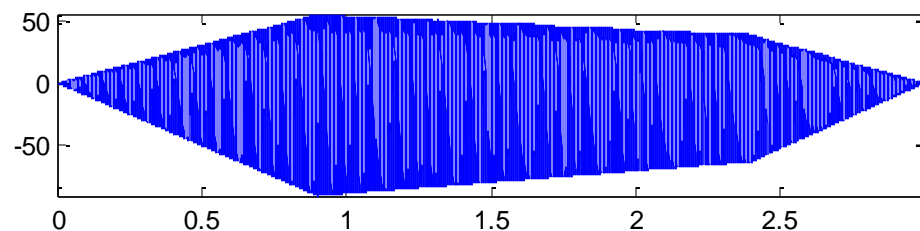
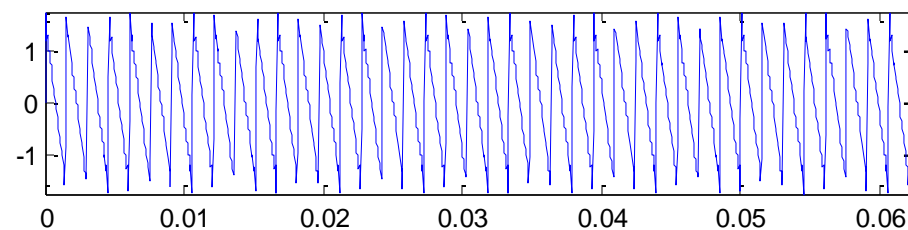
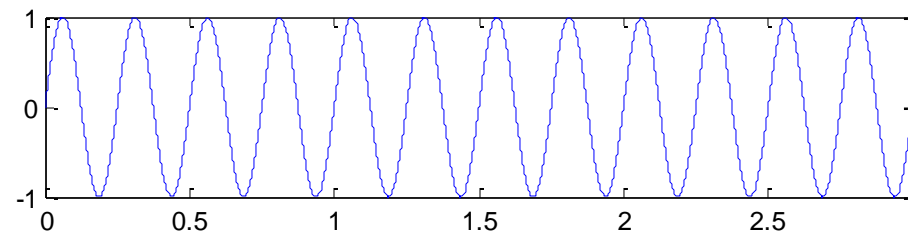
fonace

artikulace



6. týden – Formantová syntéza

- housle



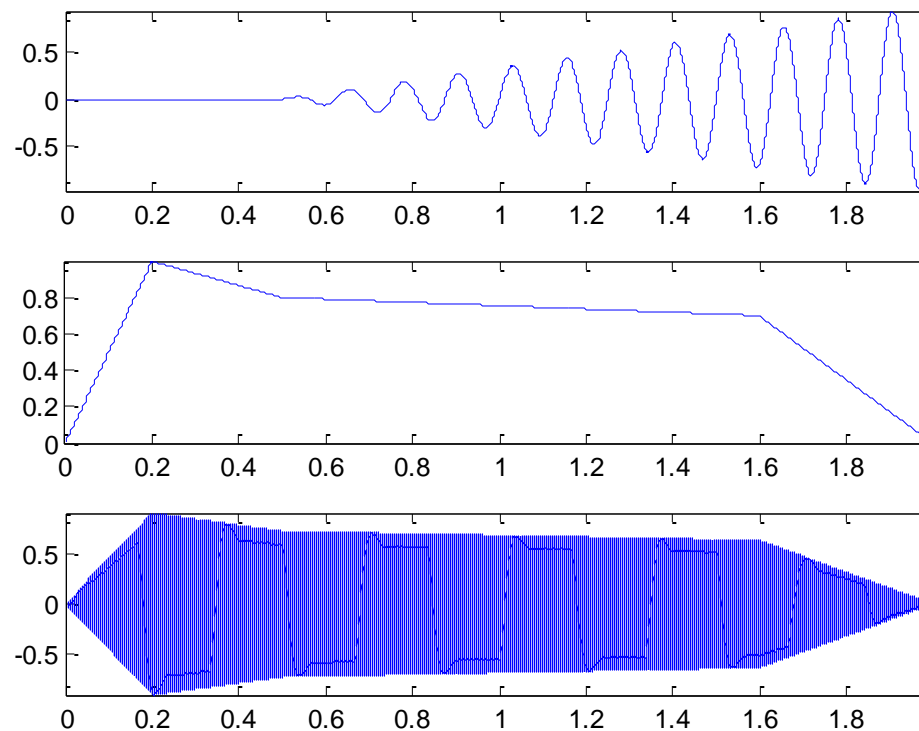
```

% filtr (model housli)
%%%%%%%%%%%%%%
F = [500, 1500, 3000, 4000];
BW = [300, 200, 700, 1500];
    
```



6. týden – Formantová syntéza

- klarinet



% navrh rezonatoru

fr = 900; % rezonancni frekvence

B = 1200; % sirka pasma rezonatoru



7. týden – Parametrické modelování

- **LPC vokodér**
 - Časové manipulace
 - LPC syntéza perkusí
- **LPC "cross" syntéza**
 - Audio efekty

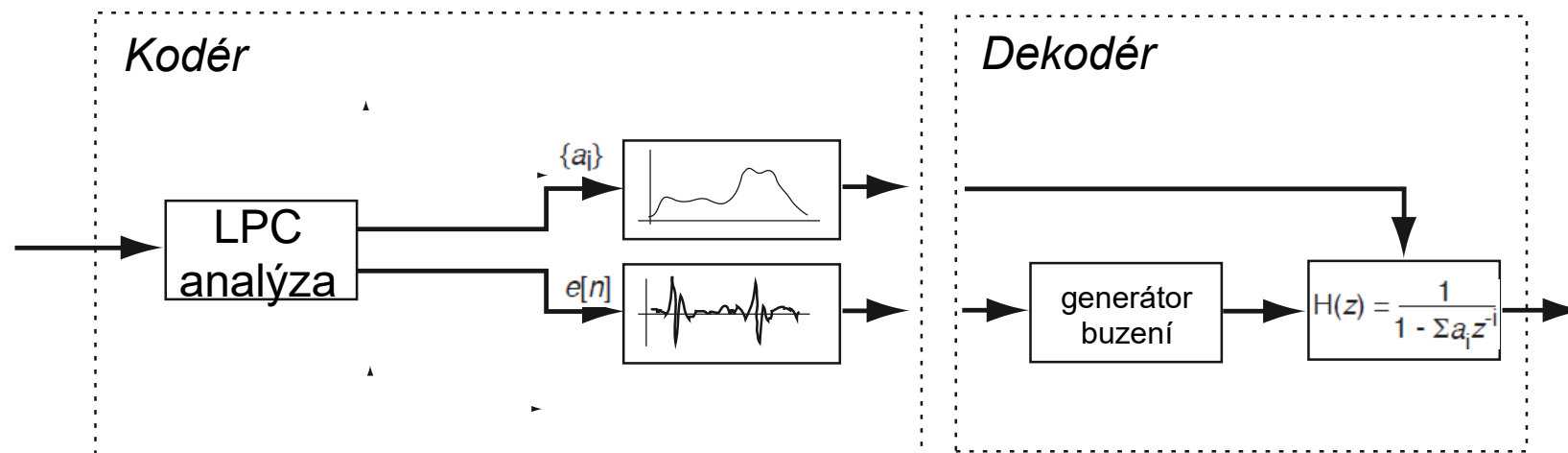
7. týden – Parametrické modelování

• LPC vokodér - oddělení zdroje a informace

LP analýza v segmentech $\sim 20\text{ms}$ nalezne predikční koeficienty filtru $A(z)$

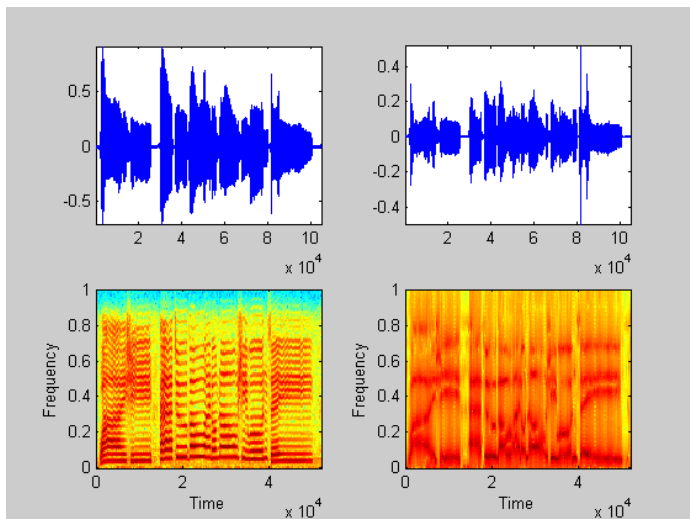
a chybu predikce $e[n]$

- rekombinací $A(z)$ a $e[n]$ získáme perfektní $s[n]$
- při kódování se dále komprimuje $e[n]$

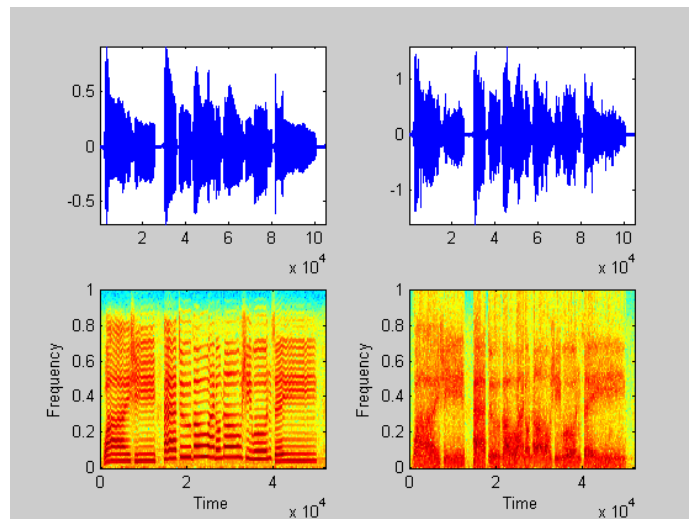


• LPC vokodér

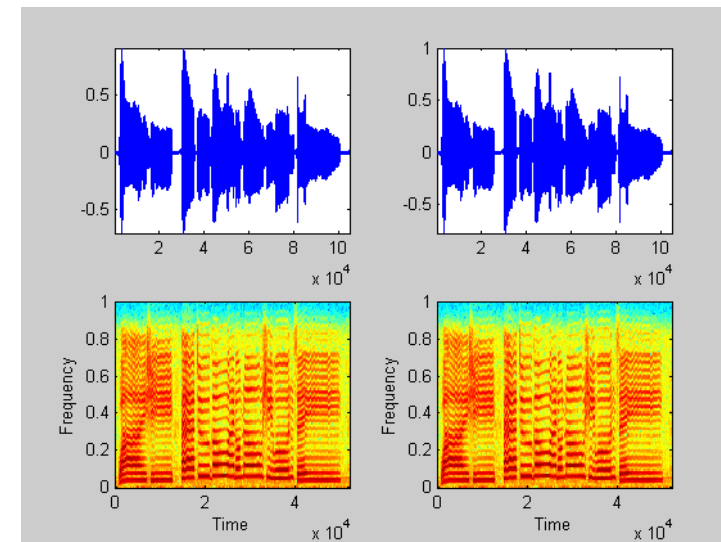
Impulzní buzení



bílý šum



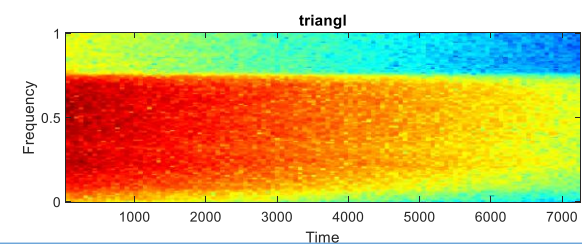
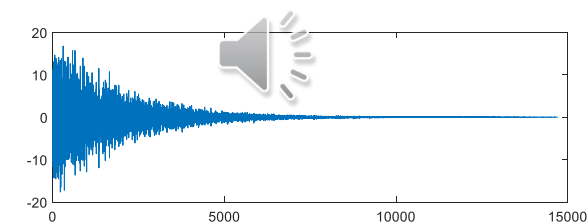
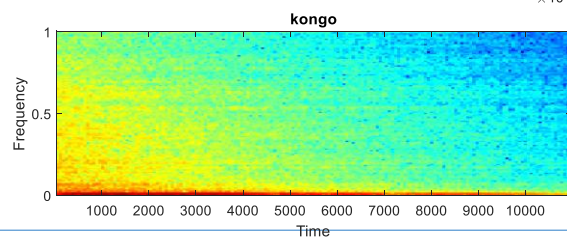
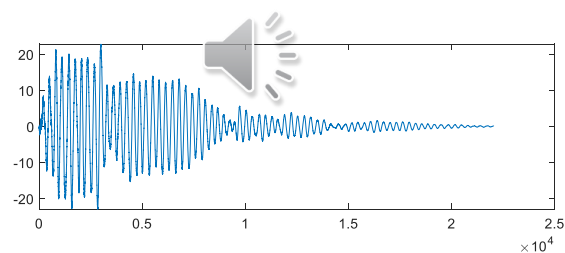
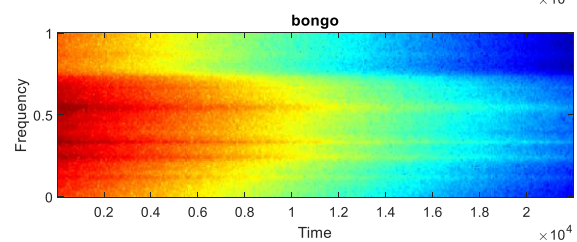
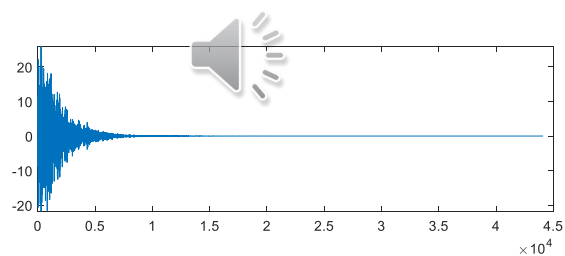
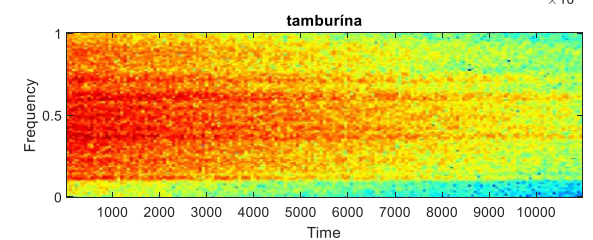
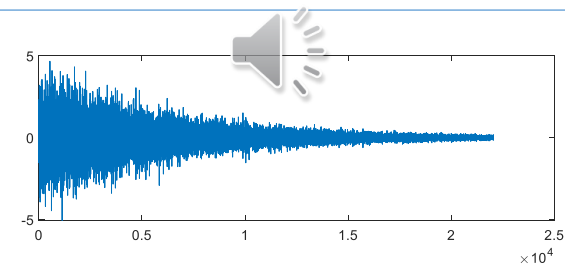
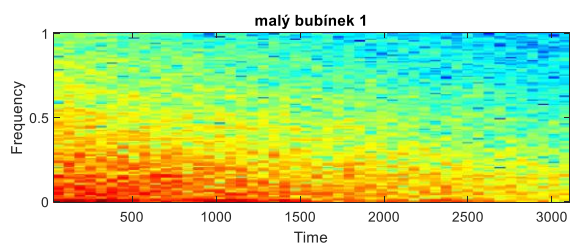
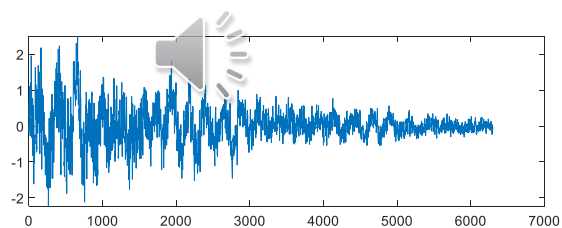
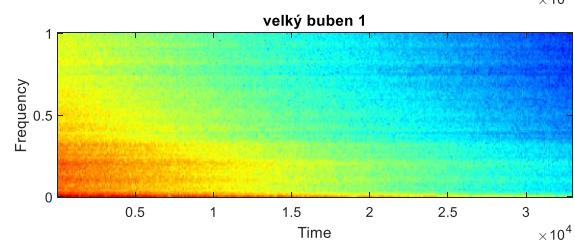
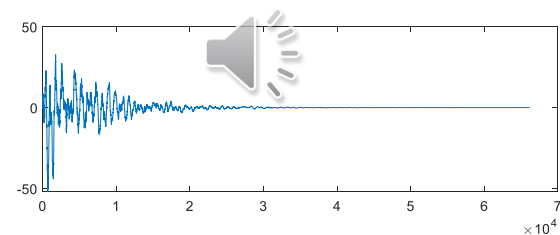
chybový signál



efekty

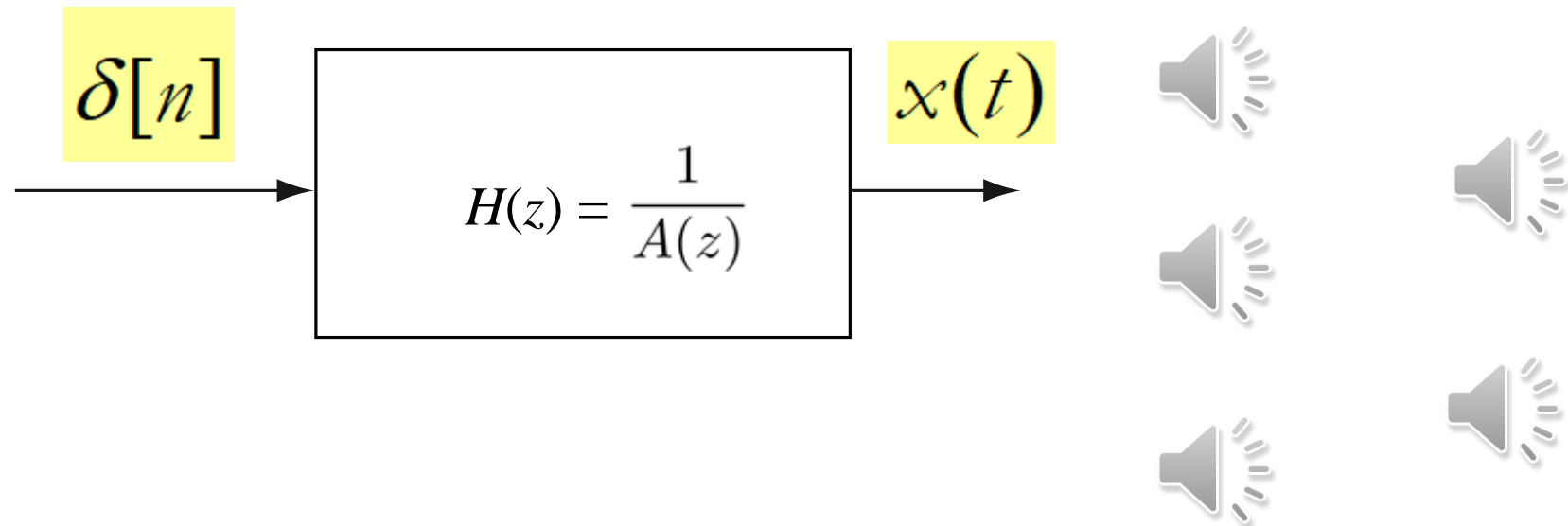


7. týden – Parametrické modelování



7. týden – Parametrické modelování

- Modelování hudebních nástrojů
(s využitím impulsní charakteristiky nebo šumu)



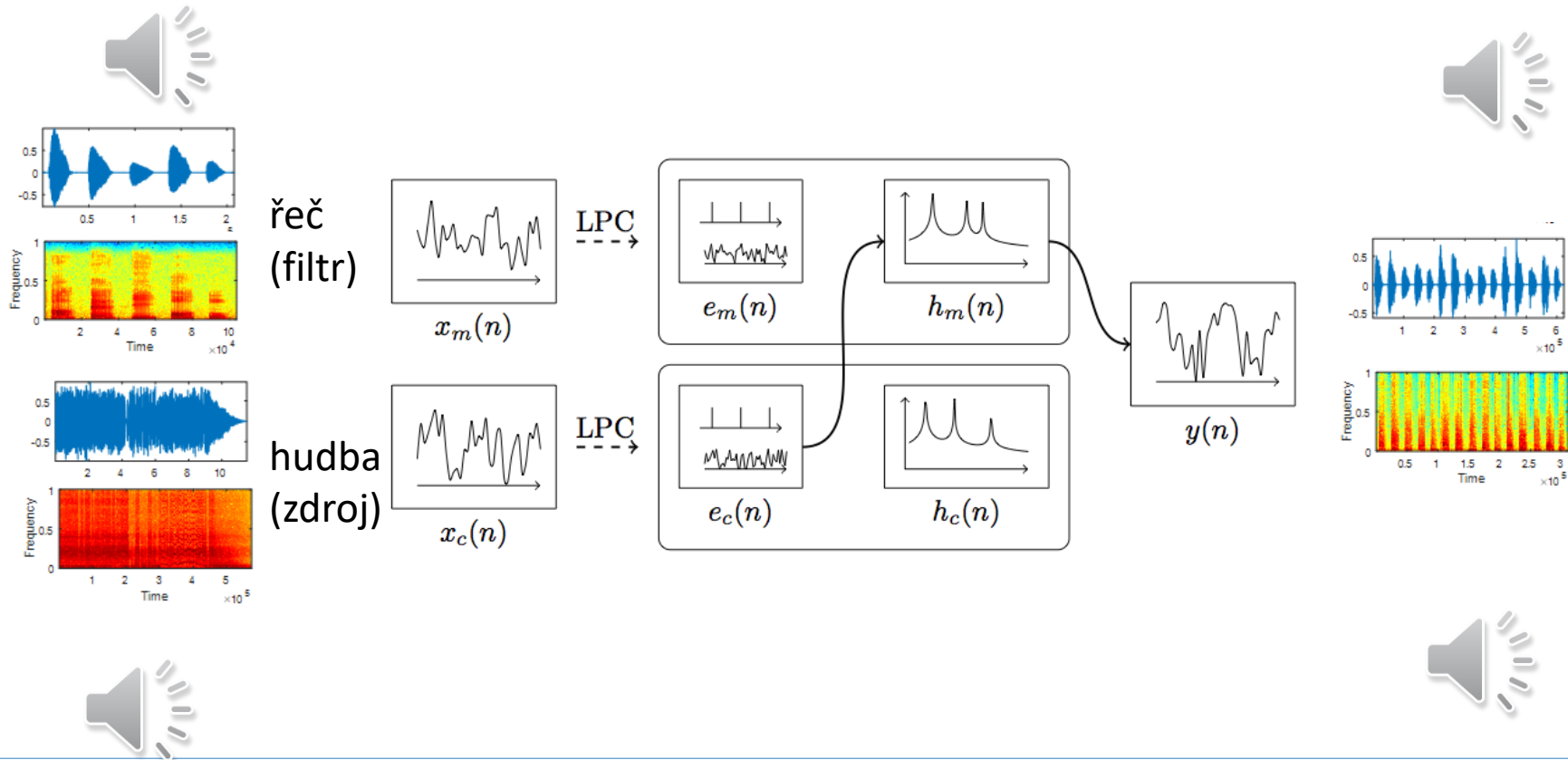
```
x=filter(1,a,[1 zeros(1,10000)])
```

```
x_new=resample(x,M,L);
```

7. týden – Parametrické modelování

• LPC „cross“ syntéza

- Mix reziduálního signálu (zdroje) a signálu s rezonancemi (filtru)

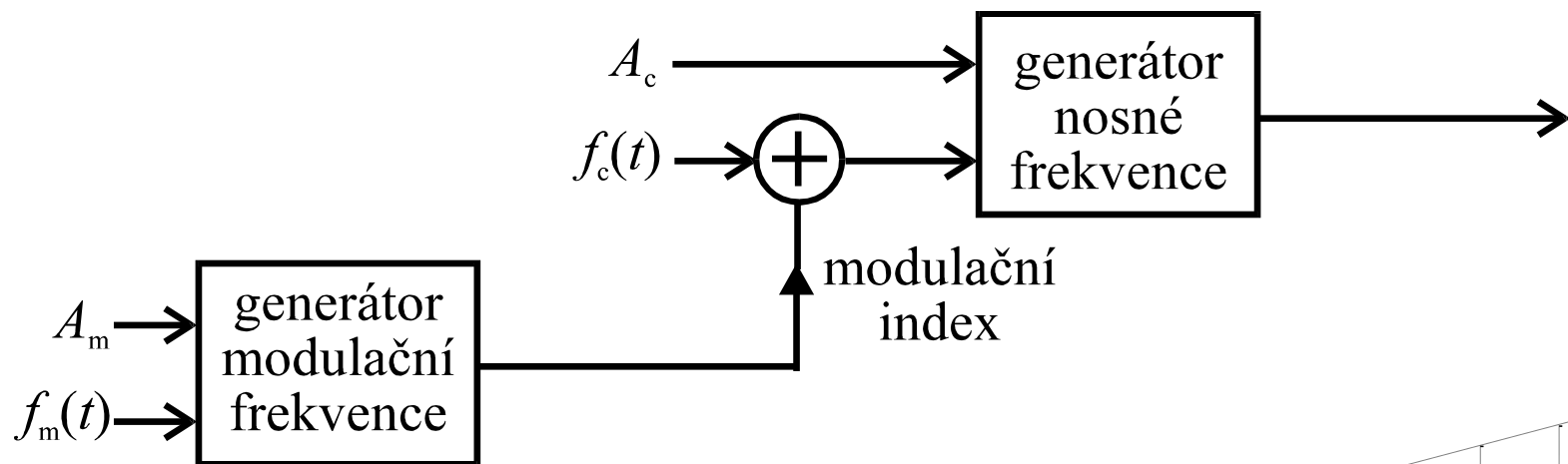




8. týden – Modulační syntézy

- **Amplitudová a kruhová modulace**
- **Frekvenční modulace**
 - Chowningova FM syntéza
 - Jednoduché FM nástroje

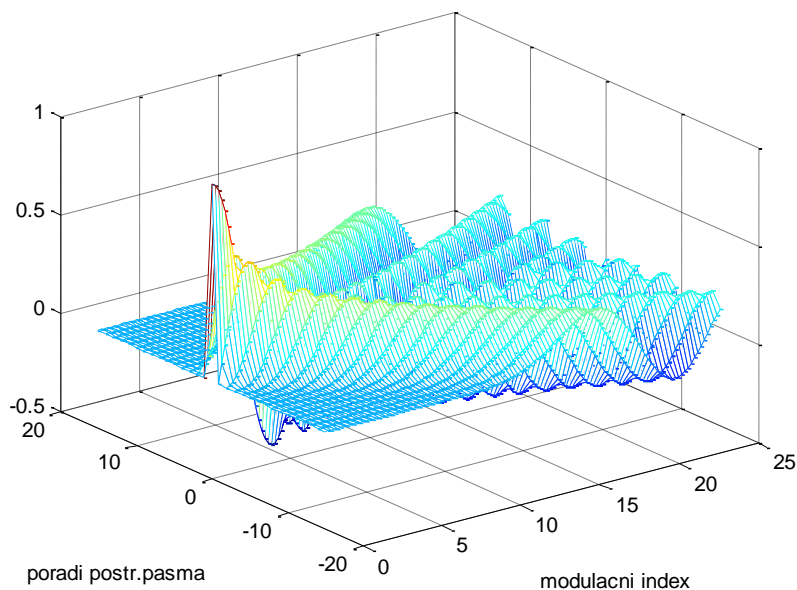
• Frekvenční modulace



$$f(t) = \sin((2\pi f_c t) + m_i \cdot \sin(2\pi f_m t))$$

$$\sin(2\pi f_c t + m_i \sin(2\pi f_m t)) =$$

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} I_k(m_i) \sin(2\pi(f_c + k f_m) + \phi_k)$$

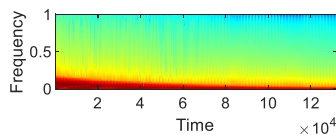
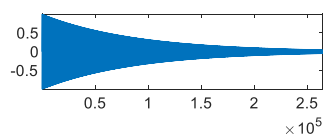


8. týden – Modulační syntézy

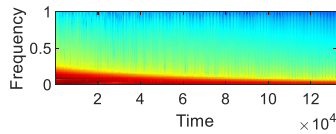
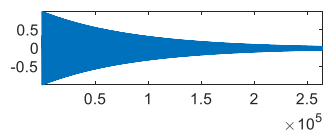
• Jednoduché syntetické FM nástroje – perkuse

ZVONY

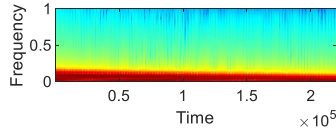
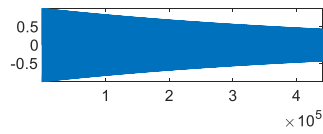
τ f_c $H = f_m/f_c$ I_{max} I_{min}



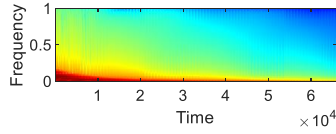
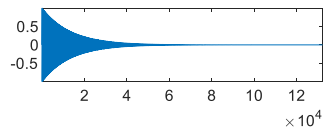
12 110 2 10 0



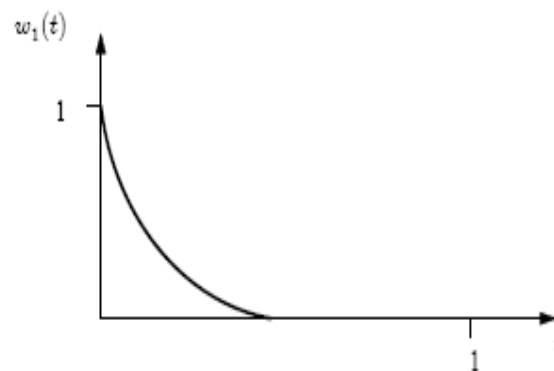
2 110 2 10 0



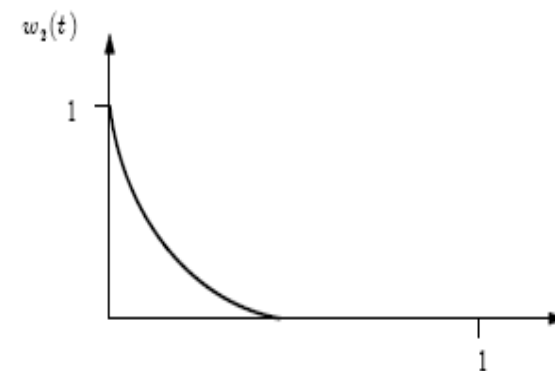
2 220 2 5 0



0,3 110 2 10 0



Amplitudová obálka



Obálka modulačního indexu

8. týden – Modulační syntézy

- Jednoduché syntetické FM nástroje – perkuse

MARIMBA

délka f_c

$H = f_m/f_c$

I_{max}

I_{min}

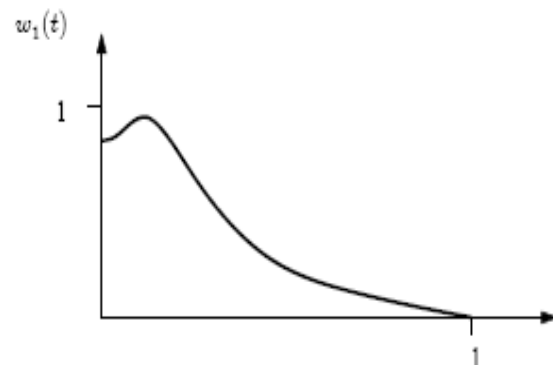
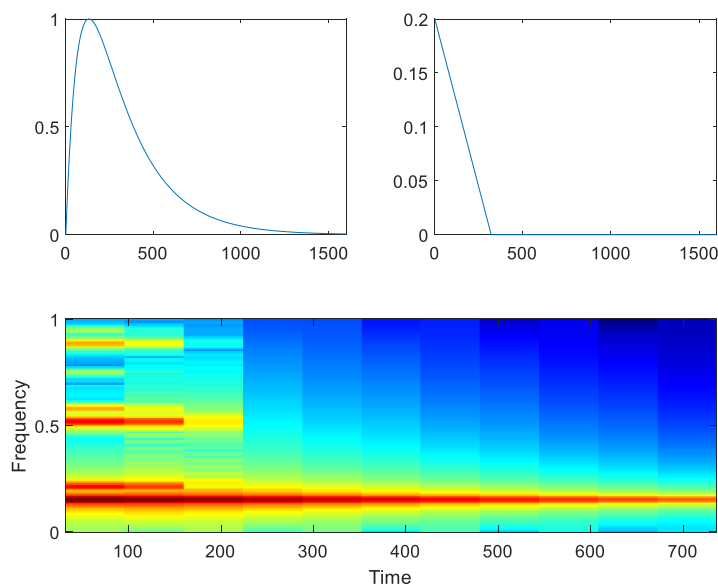
0.2

610

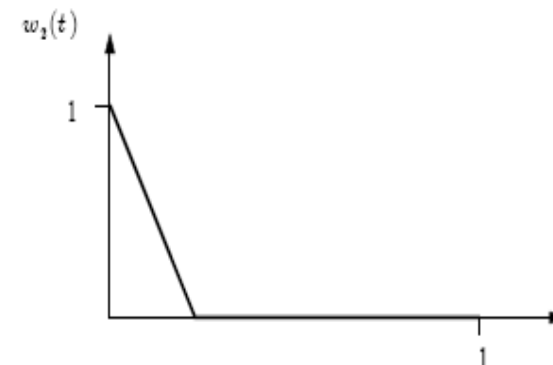
2.4

0.2

0



Amplitudová obálka



Obálka modulačního indexu



8. týden – Modulační syntézy

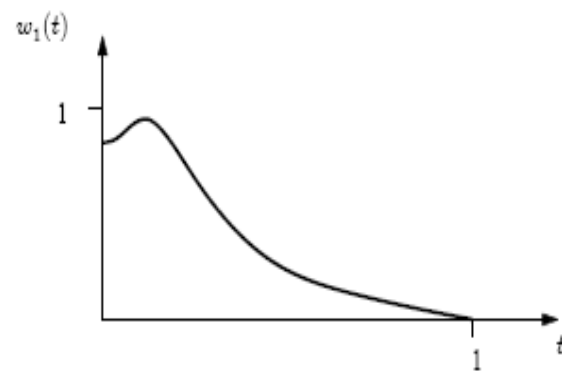
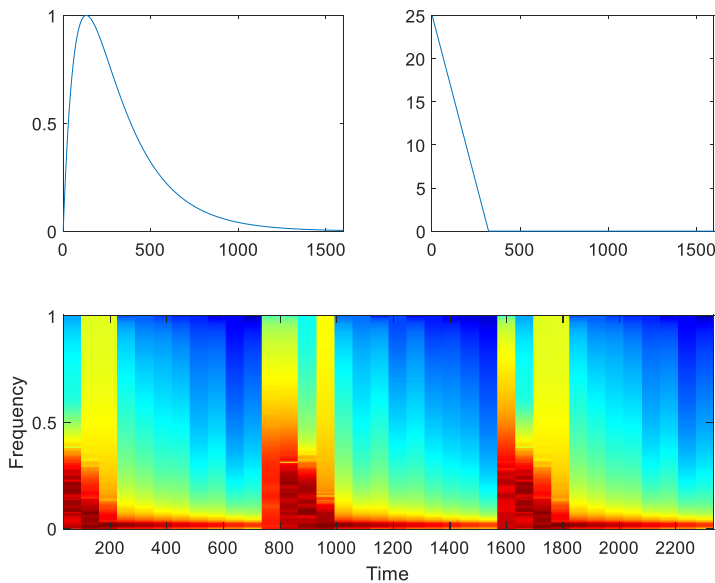
- Jednoduché syntetické FM nástroje – perkuse

BICÍ

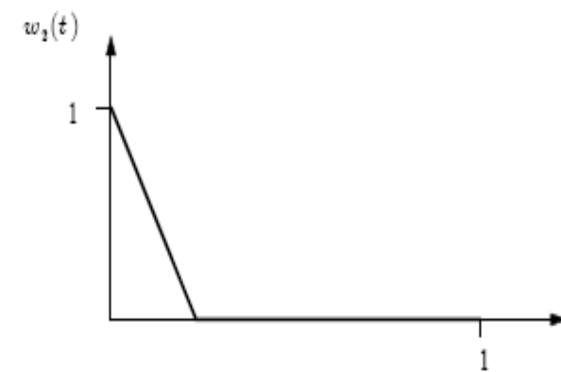
délka f_c $H = f_m/f_c$ I_{max} I_{min}

dřevo

0.2 80 0.688 25 0



Amplitudová obálka



Obálka modulačního indexu



8. týden – Modulační syntézy

- Jednoduché syntetické FM nástroje – dřevěné dechové

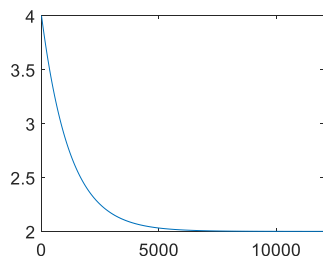
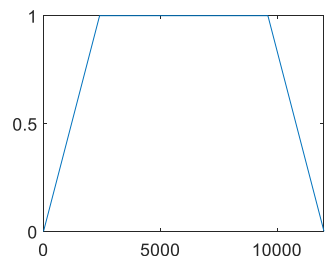
KLARINET

délka f_c

$H = f_m/f_c$

I_{max}

I_{min}



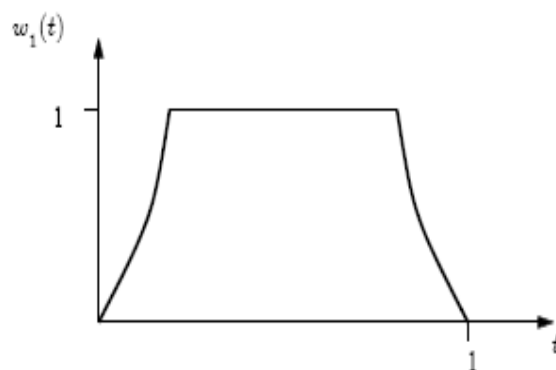
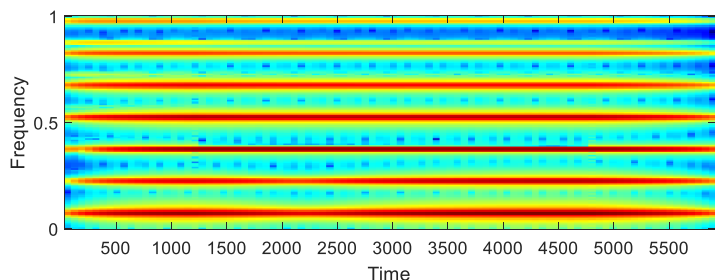
0.5

900

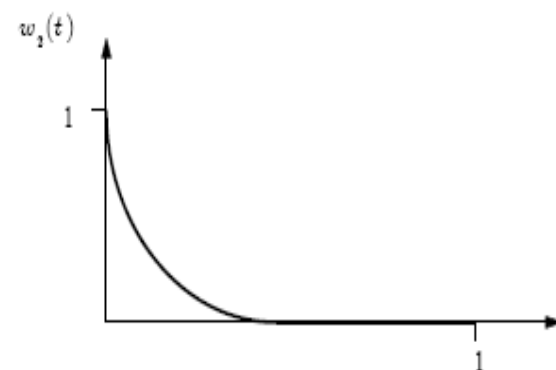
0.667

4

2



Amplitudová obálka



Obálka modulačního indexu



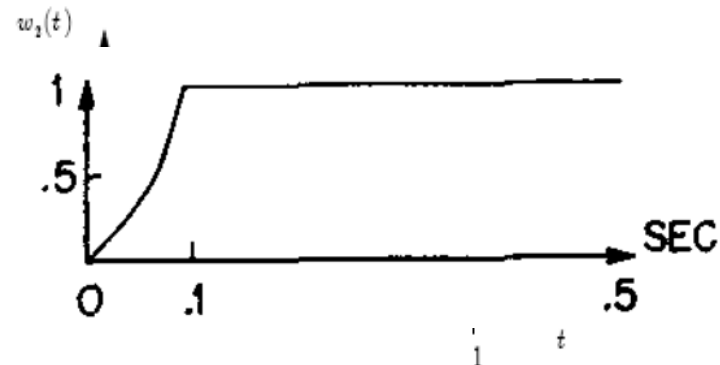
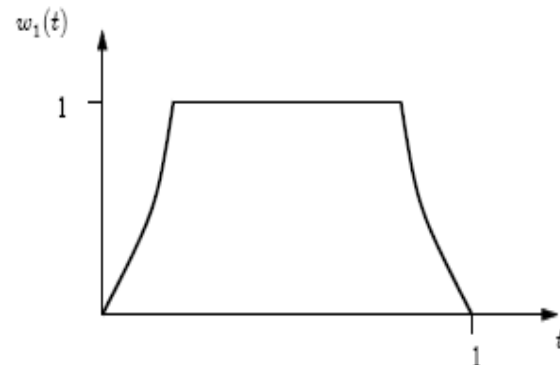
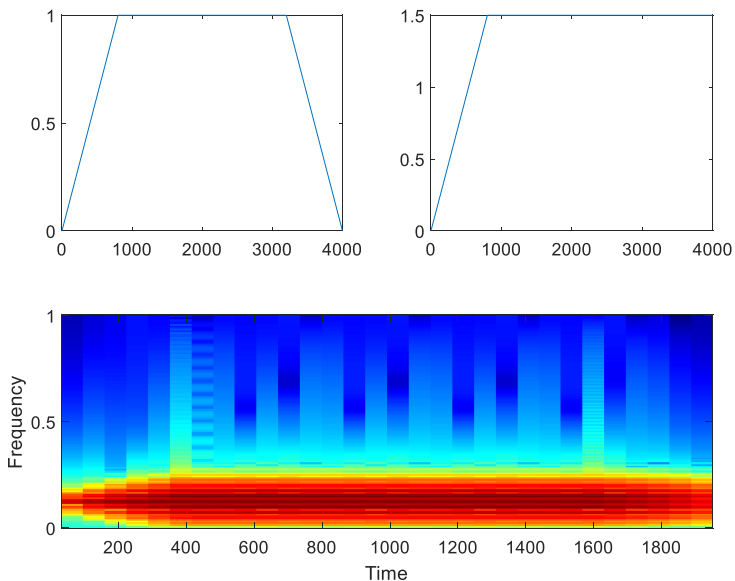
8. týden – Modulační syntézy

- Jednoduché syntetické FM nástroje – dřevěné dechové

FAGOT

délka f_c $H = f_m/f_c$ I_{max} I_{min}

0.5 1100 0.2 1.5 0



Amplitudová obálka

Obálka modulačního indexu



8. týden – Modulační syntézy

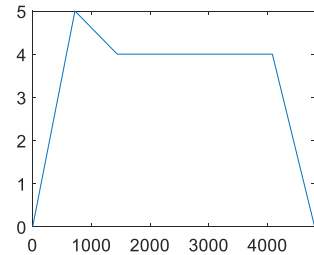
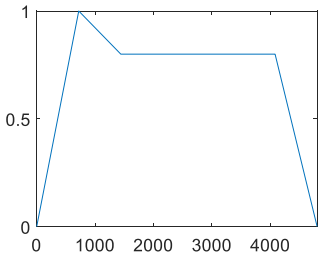
- Jednoduché syntetické FM nástroje – žestové

ŽESTĚ

délka f_c

$H = f_m / f_c$

I_{max} I_{min}



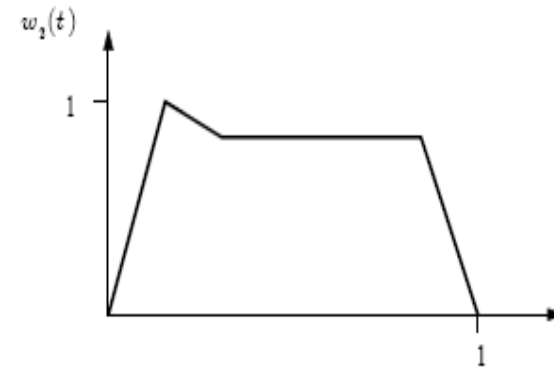
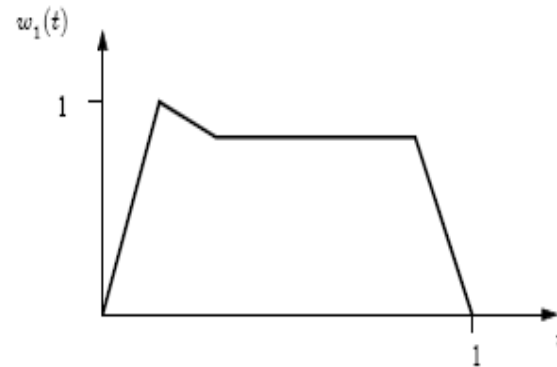
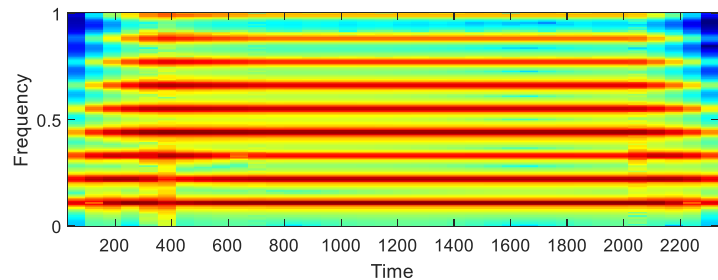
0.6

440

1.0

5

0

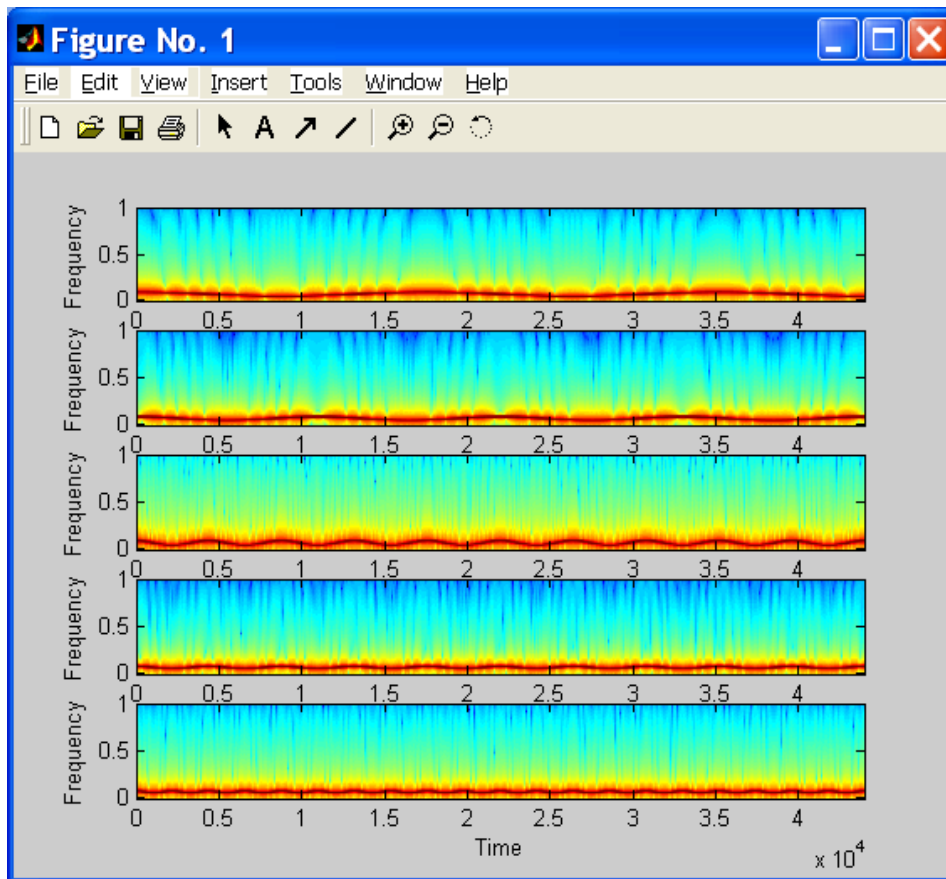


Amplitudová obálka

Obálka modulačního indexu

8. týden – Modulační syntézy

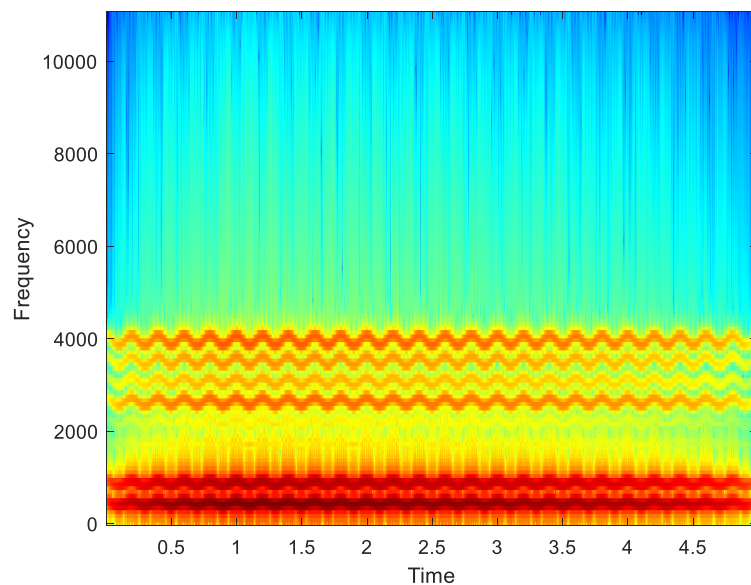
• Alarmy



m_i	f_c	f_m
400	1500	1,25
250	1500	2
100	1500	5
50	1500	10
20	1500	25



• Vibráto



$$x(t) = O \cdot \sum_{n=1}^9 \alpha_n \sin(2\pi n f_c t + 7\sqrt{n} \cdot \sin(2\pi f_m t))$$

$$f_c = 440\text{Hz}, f_m = 5\text{Hz}$$

$$\alpha_n = 1000, 300, 0.01, 0.01, 0.01, 3, 0.5, 1, 4$$

$$O \dots X = [0.2 \ 8.95 \ 1], Y = [0 \ 1 \ .3 \ 1 \ 0]$$





8. týden – Modulační syntézy

• Ukázky semestrálních prací



Dvořák Jan

Syntéza zvuků telefonu (oznamovací tón, DTMF volba, 6x různé typy vyzvánění, oznámení o SMS zprávě)
AM, FM, aditivní a filtrační syntéza



Gregor Pavel

Kostel v horách
zvony vytvořené FM modulací, přidaná AM modulace + echo, vítr vytvořený filtrační syntézou



Chlumecký Martin

Policejní konvoj
FM, AM



Pazdera František

Hasičská siréna
FM + echo + dozvuk

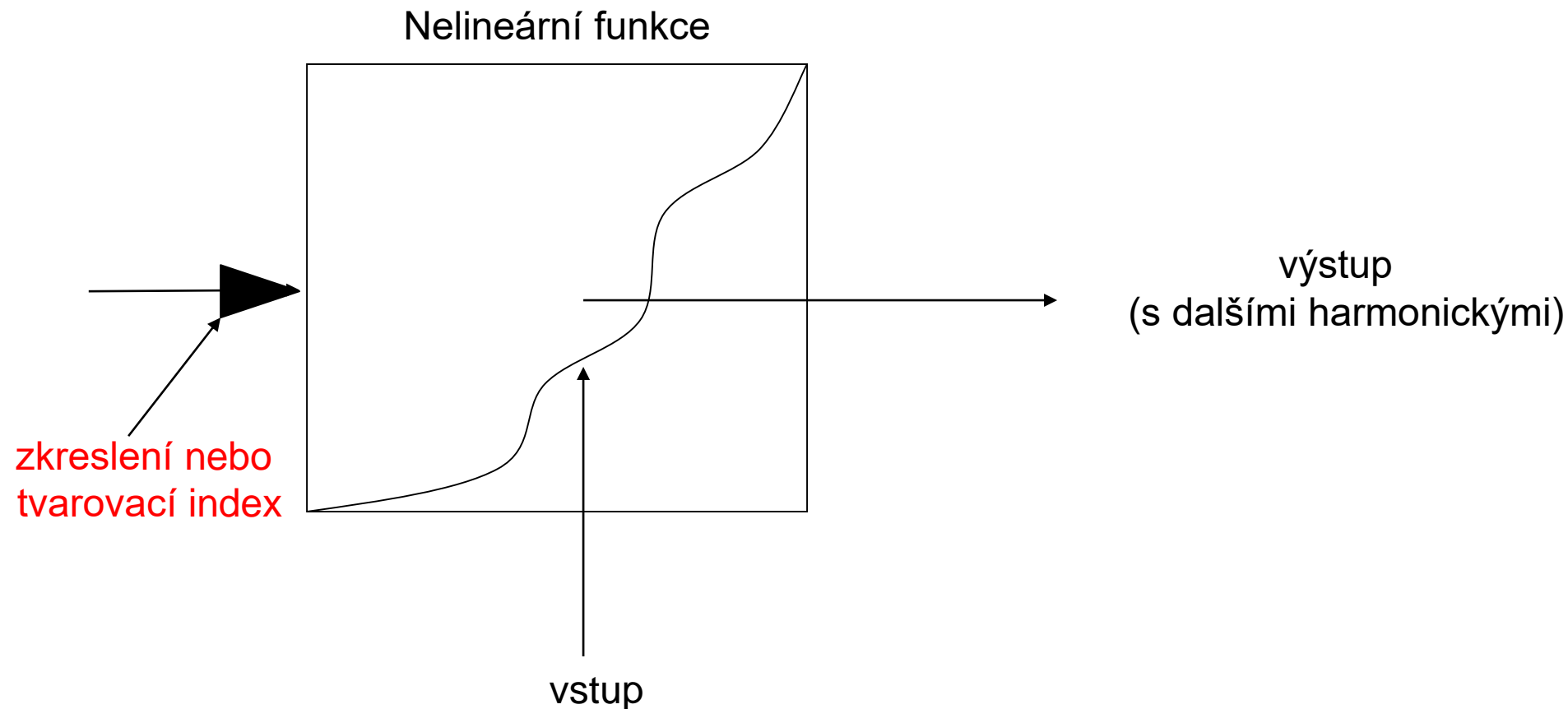


9. týden – Nelineární a tvarovací syntéza

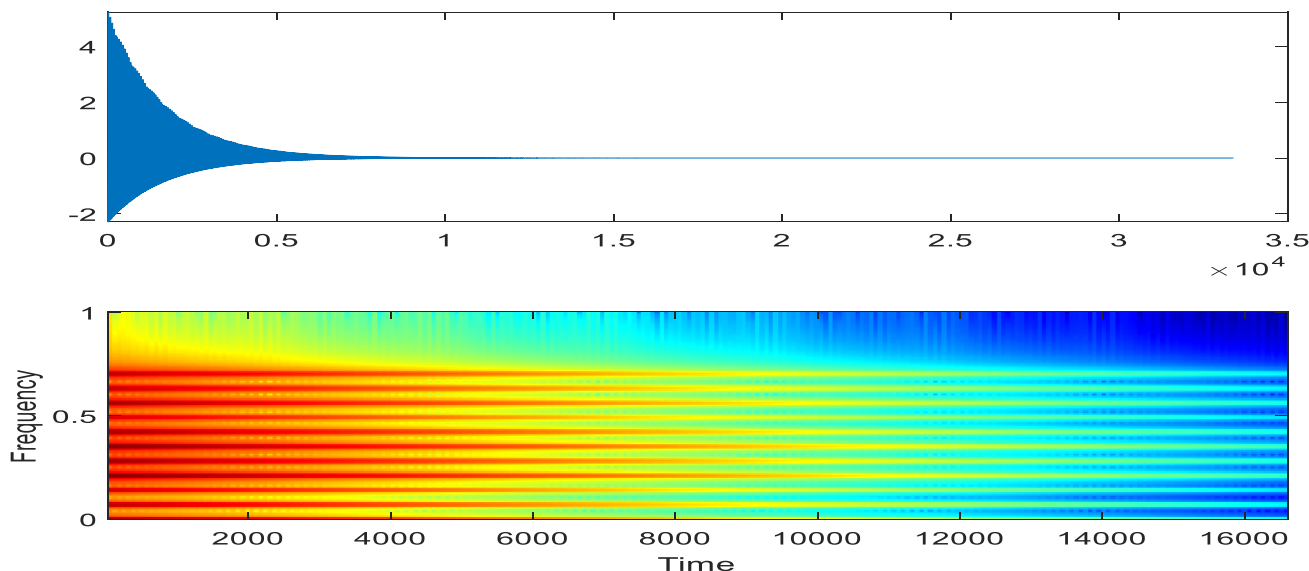
- **Tvarovací syntézy**
 - Nelineární funkce
 - Čebyševovy polynomy
- **Granulační syntéza**
- **Konkatenáčnická syntéza**
 - Syntéza řeči

9. týden – Nelineární a tvarovací syntéza

- Syntézy pomocí zkreslení



• Čebyševovy polynomy - banjo

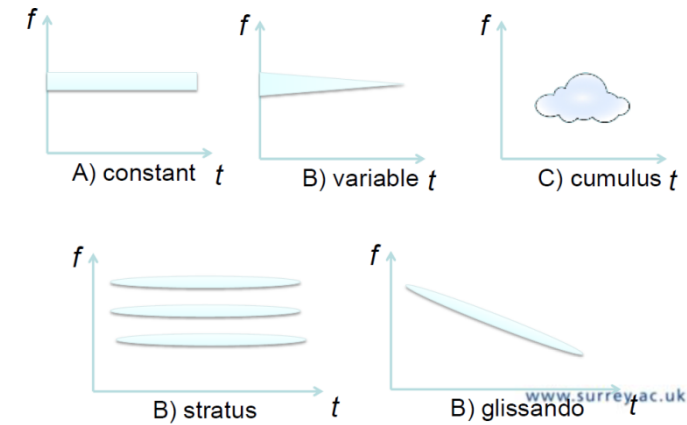
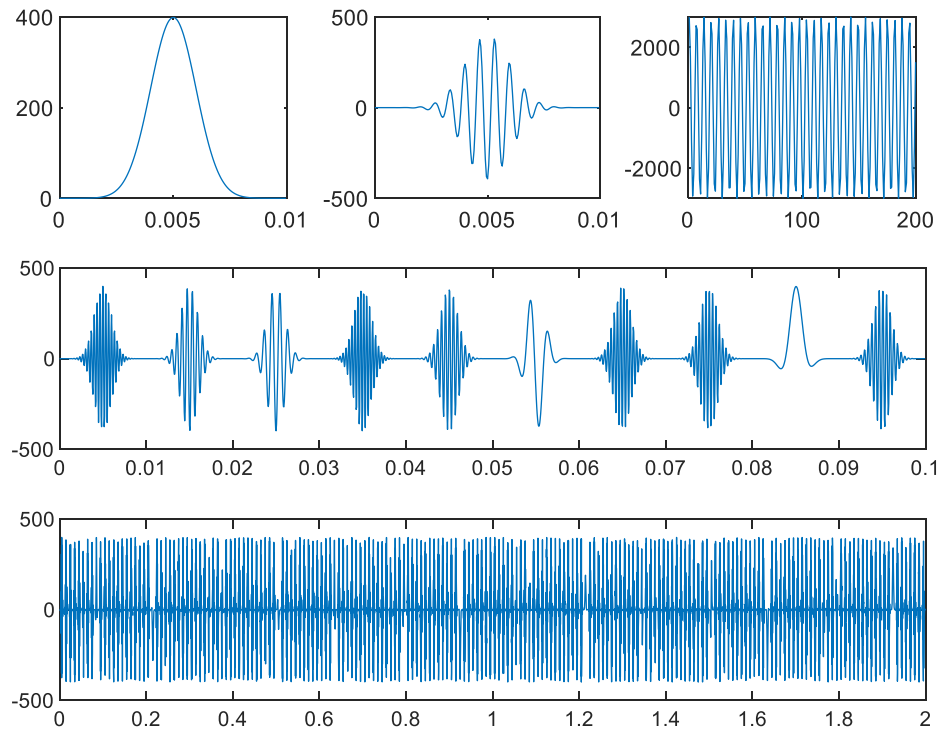


```
H=[-13  -8  5.5 -3.5  2.6 -6.6  -21  -7  -16  -13  -17  -13  -13  -27];  
ampl = 10.^(X./20);
```

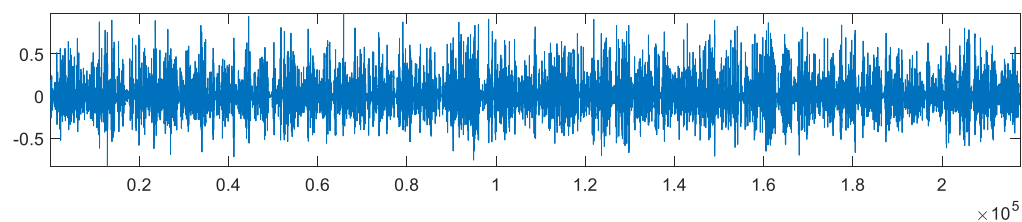
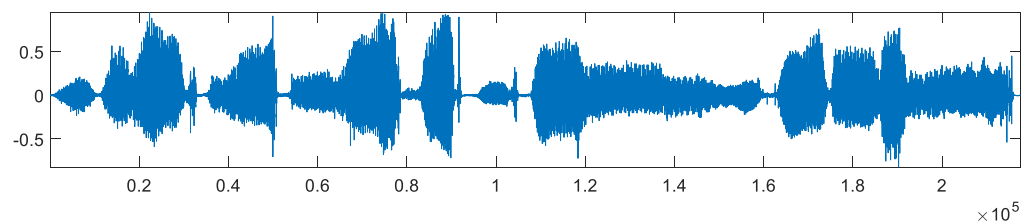
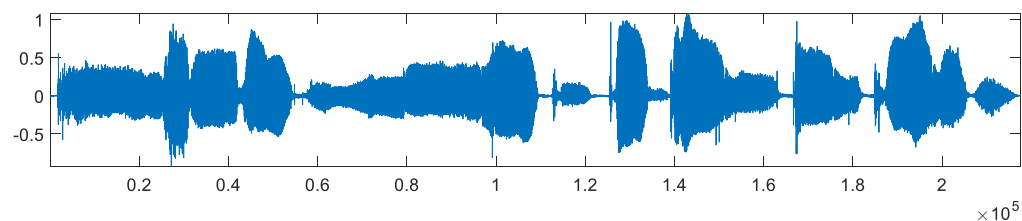
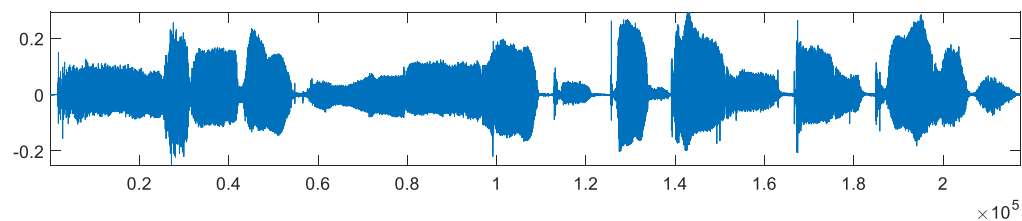
```
y = 115.0*x.^10 + 40.4*x.^9 - 230.0*x.^8 - 85.3*x.^7 + 151.0*x.^6 ...  
    + 79.9*x.^5 - 35.2*x.^4 - 33.5*x.^3 + 0.772*x.^2 + 2.13*x + 0.025;
```

```
z=y.*exp(-t./0.15);
```

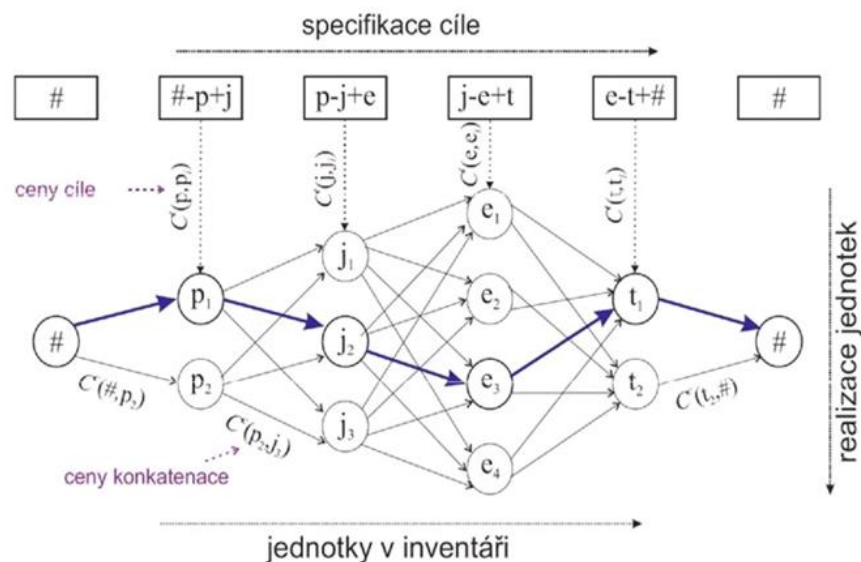
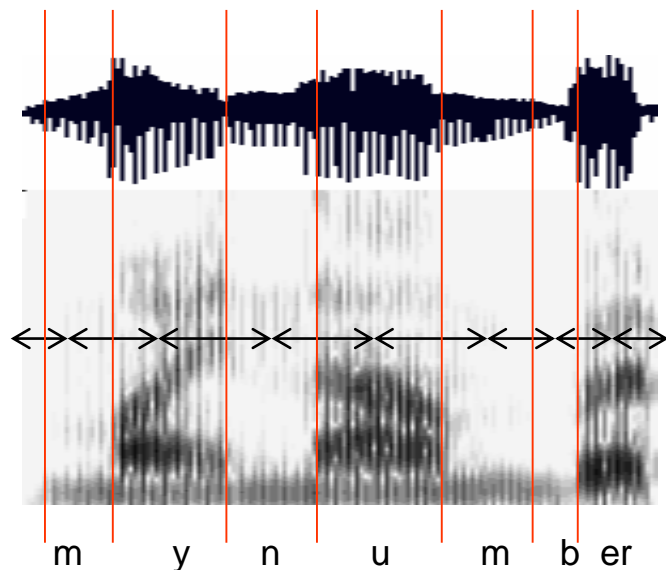
• Granulační syntéza



• Principy konkatenáční syntézy



• Konkatenční syntéza řeči (z řečových elementů)





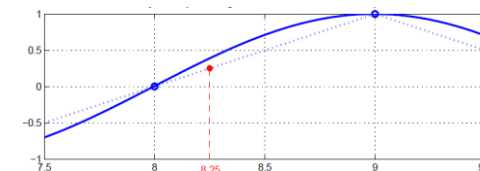
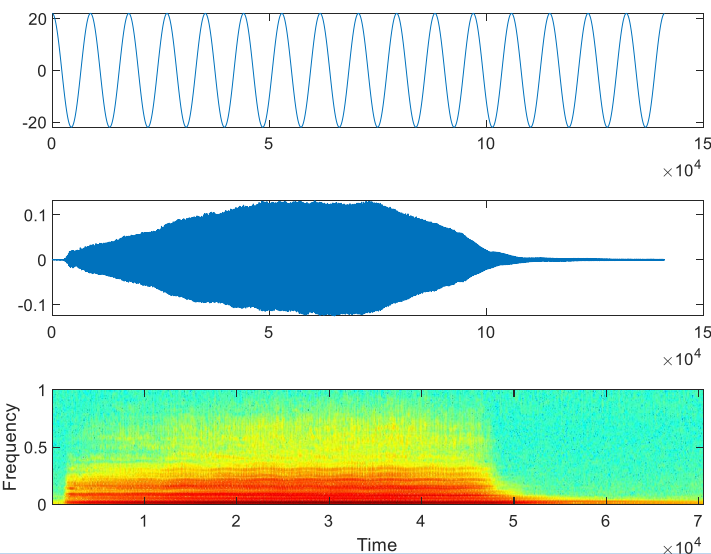
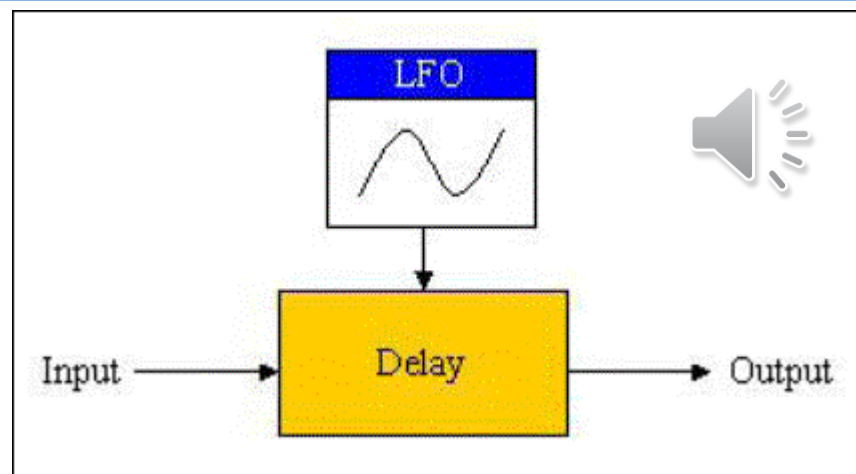
10. týden – Číslicové audio efekty

- **Efekty založené na časovém zpoždění**
 - Vibráto
 - Chorus
 - Flanger

- **Echo a dozvuky**
 - Hřebenové filtry
 - All-pass filtry
 - Konvoluční reverb
 - Schroederův dozvuk

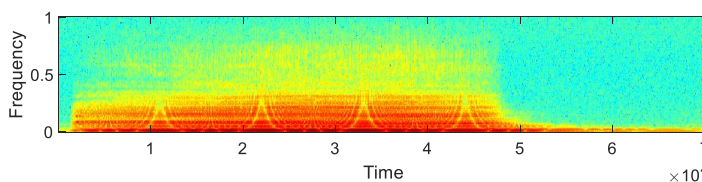
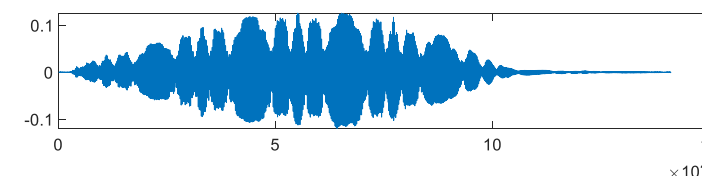
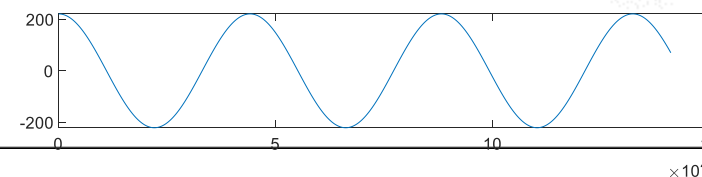
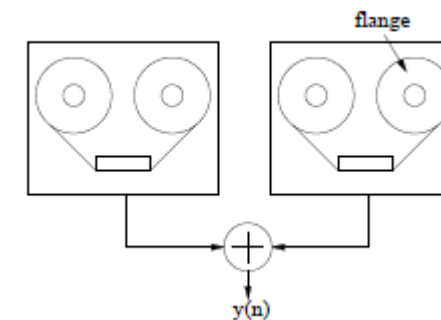
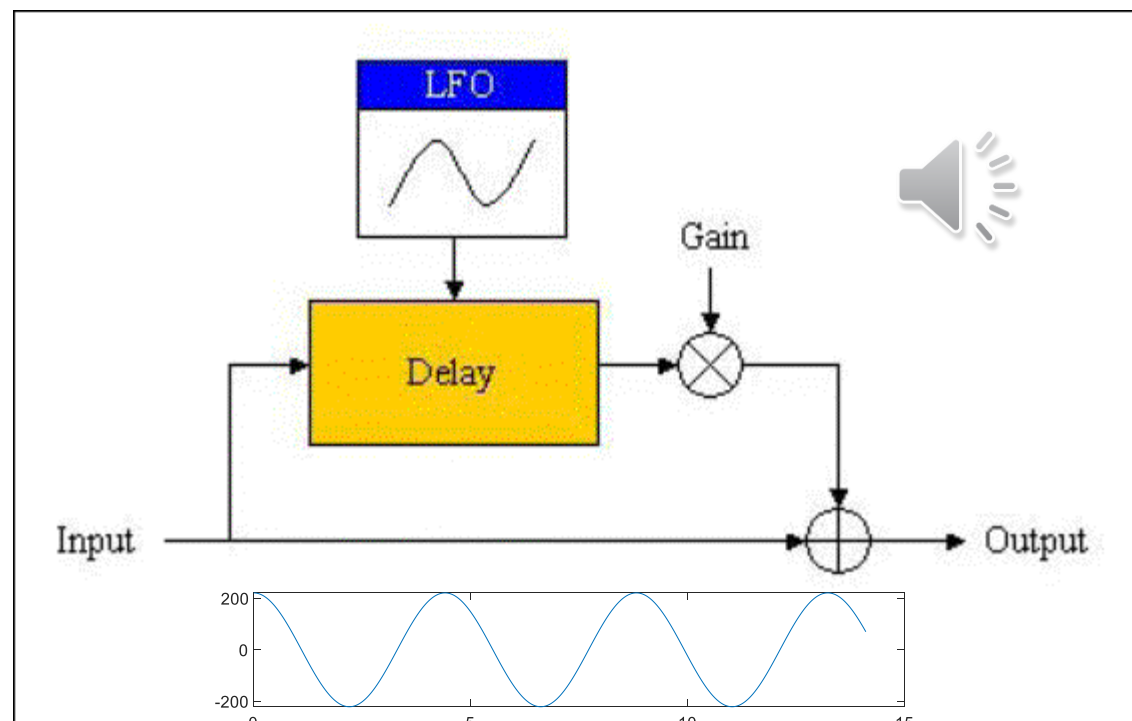
Vibráto

Efekt	Rozsah ms
vibrato	0 - 5
flange	0 - 10
chorus	10 - 50
echo	50 -



Flanger

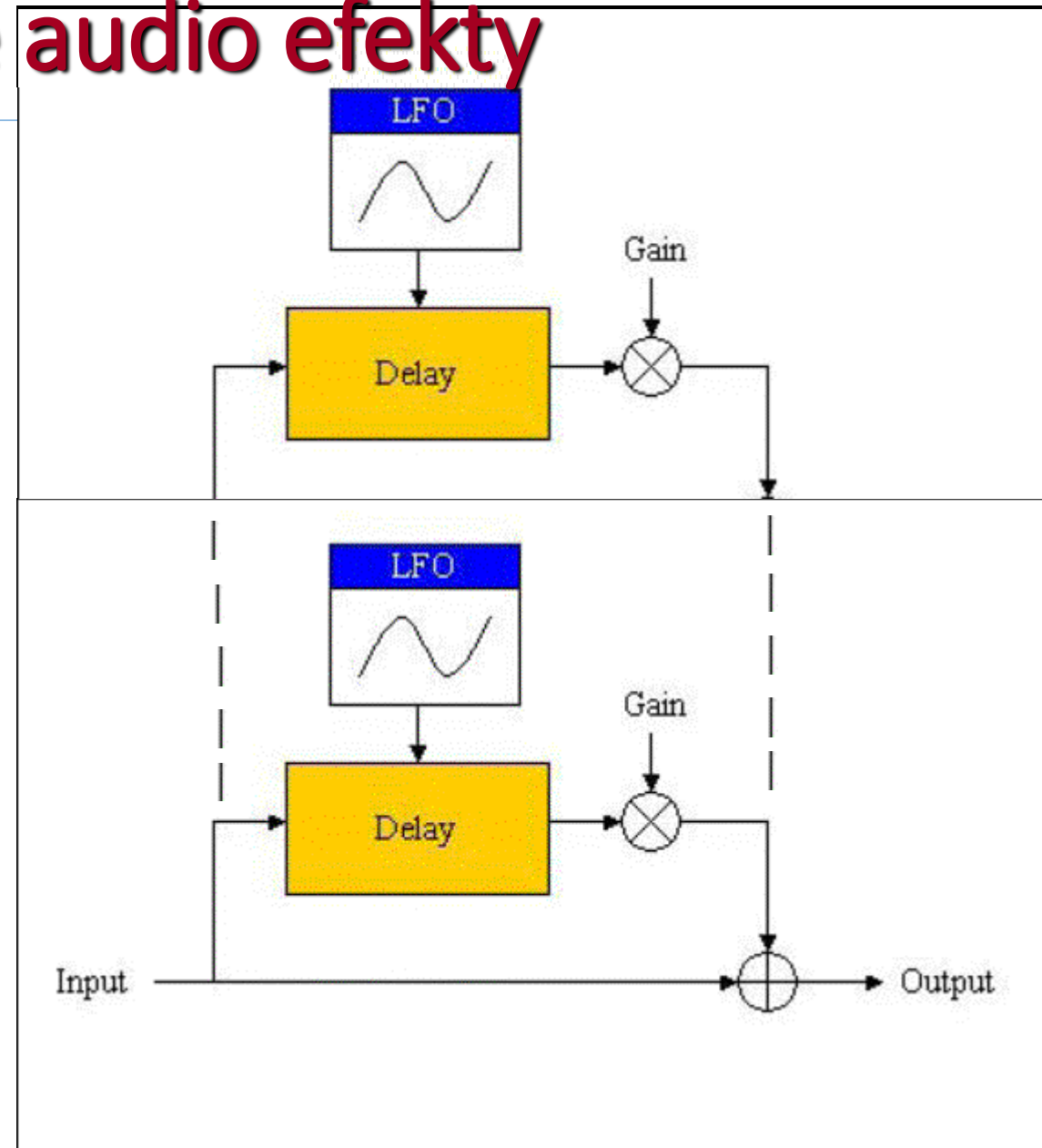
Efekt	Rozsah ms
vibrato	0 - 5
flange	0 - 10
chorus	10 - 50
echo	50 -



Chorus



Efekt	Rozsah ms
vibrato	0 - 5
flange	0 - 10
chorus	10 - 50
echo	50 -





10. týden – Číslicové audio efekty

Dozvuky a echa

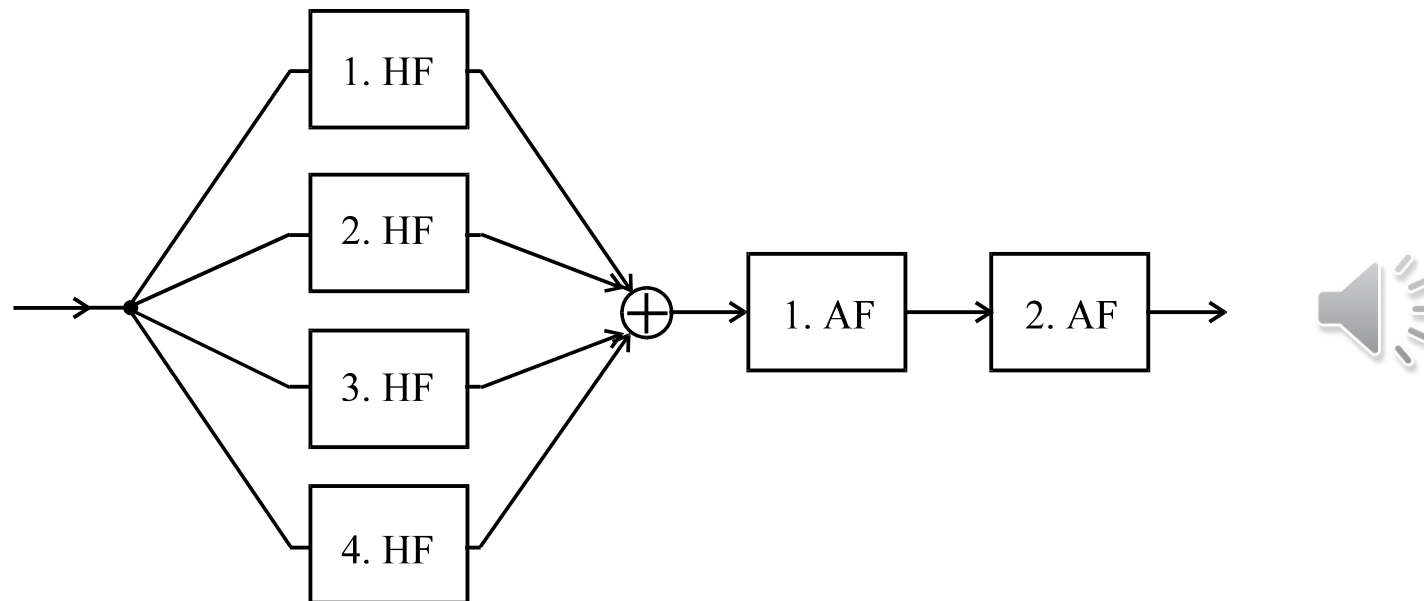
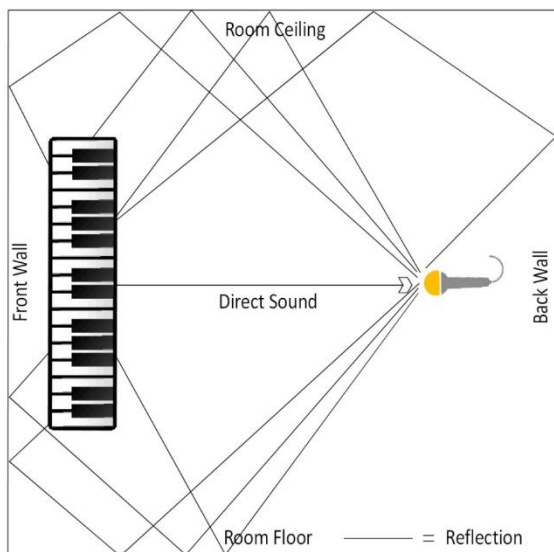
Zvukový efekt	Zpoždění v sekundách	Filtrační koeficient
pod mostem	0,400	0,30
v chrámu	0,250	0,30
elektronicky vytvářený umělý dozvuk	0,200	0,90
klasické echo	0,150	0,50
v podzemní chodbě	0,120	0,70
v koncertní síni	0,100	0,40
elektronický efekt	0,085	0,90
ve sprše	0,030	0,60
v malé místnosti	0,010	0,50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



Efekt	Rozsah ms
vibrato	0 - 5
flange	0 - 10
chorus	10 - 50
echo	50 -

10. týden – Číslicové audio efekty

• 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)

10. týden – Číslicové audio efekty

• Konvoluční reverb



Konvoluční reverb	
v koupelně	
Opera La Scala	
Reverzní La Scala	
Telefon	



11. týden – Úvod do fyzikálního modelování

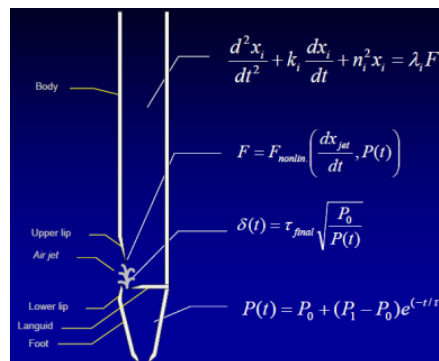
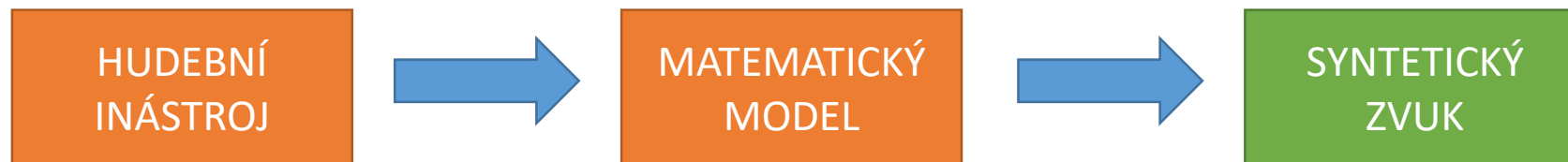
- **Fyzikální modelování**
 - Číslicové vlnovody
 - Karplusův-Strongův algoritmus
 - Modifikace KS algoritmu

11. týden – Úvod do fyzikálního modelování

- Klasická audio syntéza:

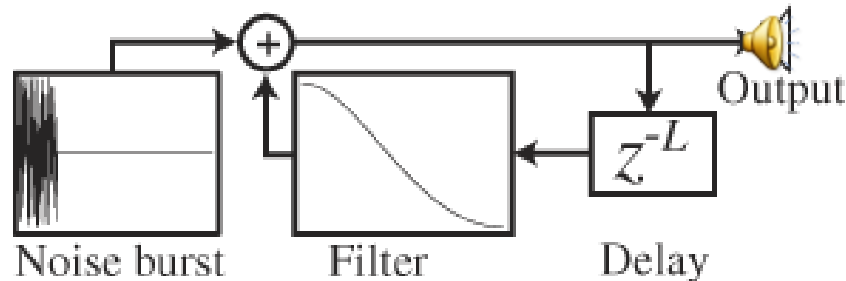
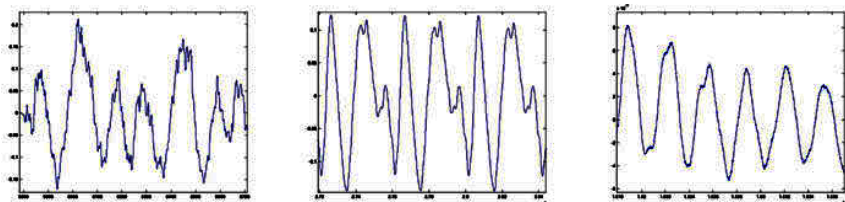


- Fyzikální modelování:



11. týden – Úvod do fyzikálního modelování

• Karplusův – Strongův alg.



Kytara



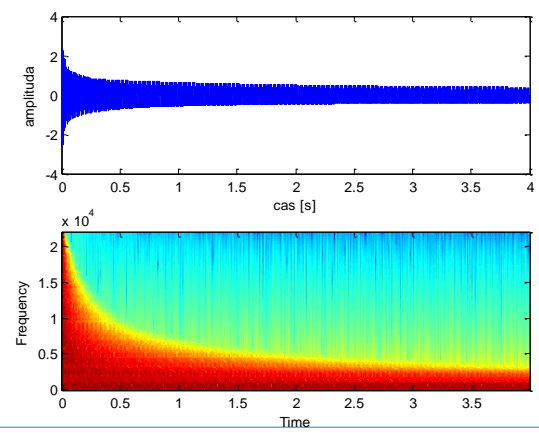
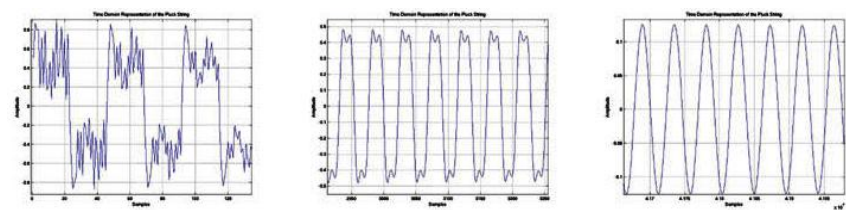
El.kytara



Klavír



Harfa





11. týden – Úvod do fyzikálního modelování

Ukázky semestrálních prací

Juras Marek



"Jeux interdits - romance"

Karplusův-Strongův algoritmus kytary (MathWorks)

Ženíšek Michal



House of the rising sun od skupiny Animals

Karplusův-Strongův algoritmus



12. týden – Sonifikace

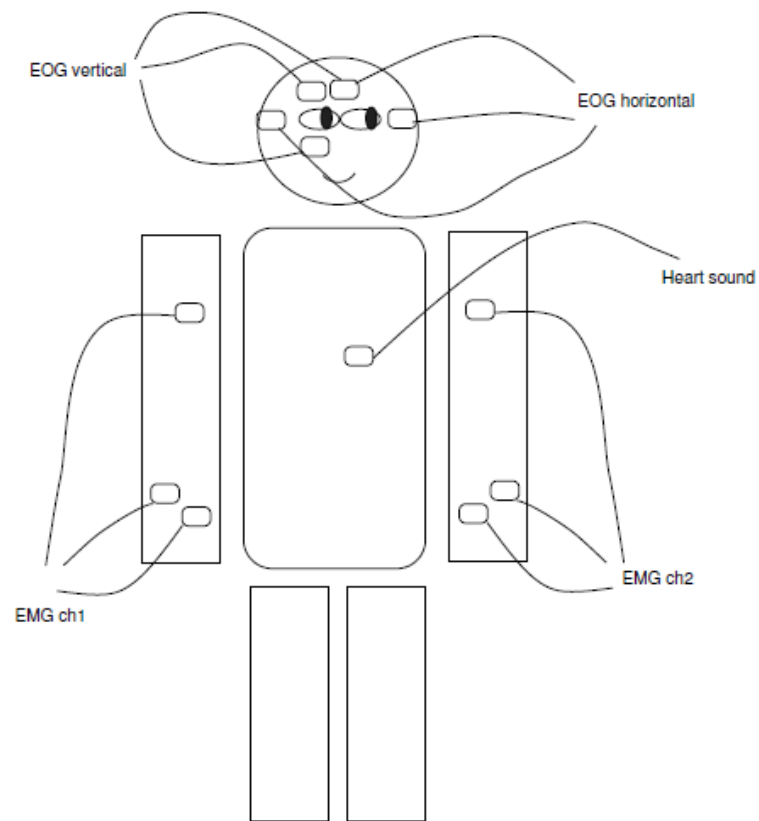
- **Sonifikační techniky**
- **Aplikace sonifikace**



12. týden – Sonifikace

- Sonifikací se rozumí transformace nejrůznějších dat na audio signál za účelem poskytnutí informace, snazší komunikace, lepší interpretace, či uměleckého ztvárnění.
- **Asistivní technologie**
- **Monitorování procesů v reálném čase**
- **Rozhraní člověk-stroj (zvukové ikony)**
- **Alarmy**
- **Navigace**
- **Hry, umění**
- **Analýza dat**
- **Sonifikace v medicíně**

- Aplikace



<https://www.youtube.com/watch?v=mHiUGaByFF8>

<https://www.youtube.com/watch?v=tqKtA9nu20w>



13. týden – Zakončení předmětu

- **Prezentace semestrálních prací**

- 8. ledna 2026

- **Zkouška**





- Písemný test (2 x 10 otázek po max 2 bodech = 40 bodů)
- Ústní zkouška (diskuse k hodnocení)

- **Termíny zkoušky**

- 1. termín 8. ledna 2026
- 2. termín 29. ledna 2026

• SYNTH CHALLENGE



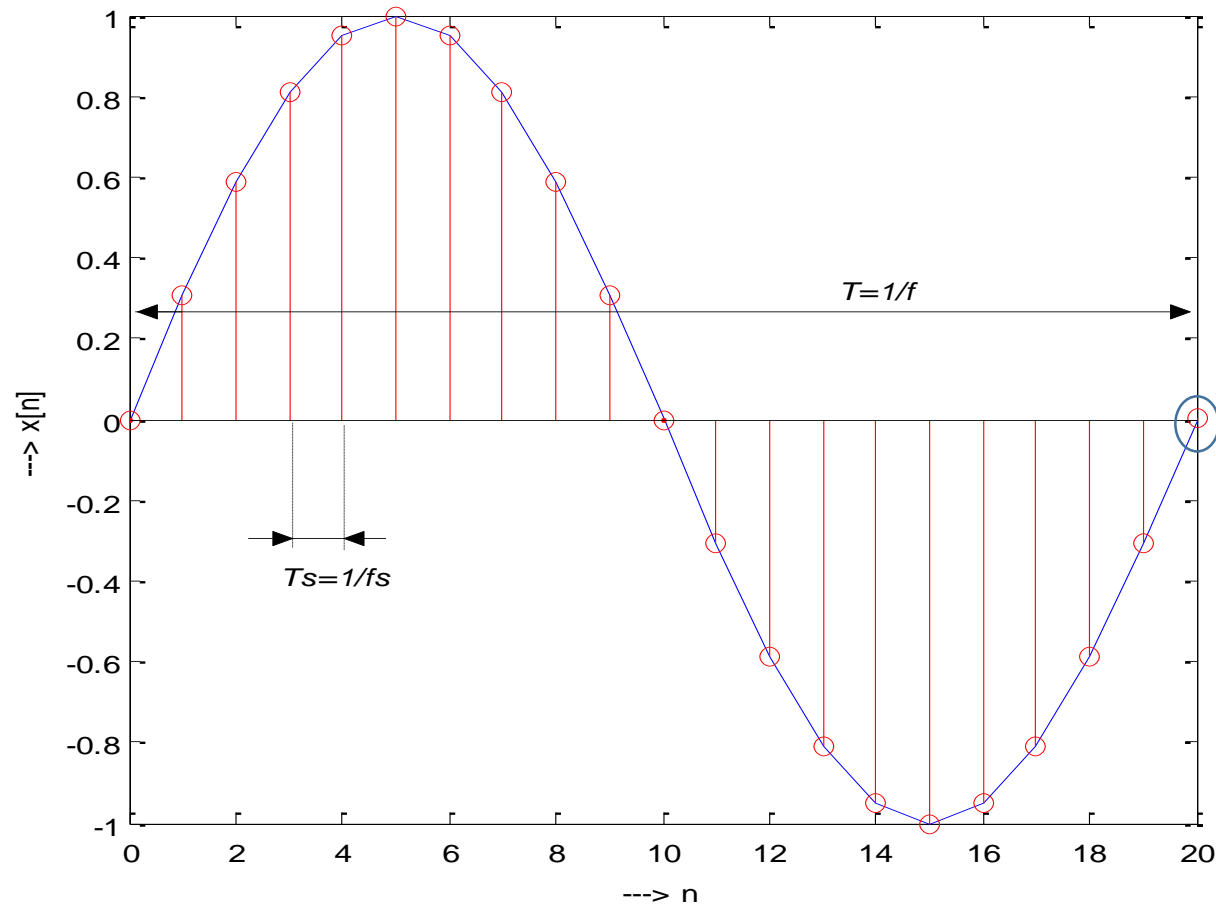
- Paul McCartney a John Lennon "[Yellow Submarine](#)" – Polášek *vibrafon*, *akustické kytary s ocelovými a nylonovými strunami*, *pizzicato na kontrabas*, *tuba*, *pozoun*, *trumpeta*, *příčná flétna*, *13 různých doprovodných bicích nástrojů*, *sbor zpívající samohlásku /a/ a mořský příboj* 
- Jim Parker ústřední melodie ze seriálu "[Vraždy v Midsomeru](#)" – Melechovský, *píšťalka (theremin)*, *piano*, *basklarinet*, *violoncello a kontrabas* 
- Antonín Dvořák "[Symphony No.9](#) in E mol, Op.95 (B.178) (Novosvětská)" – Hlušička, *piano*, *flétna*, *Violins (2)*, *cello*, *a klarinet* 
- Julius Fučík "[Vjezd gladiátorů](#)" – Klimeš, *smyčcové soubory*, *žestové dechové nástroje (žestové sekce, trubka, pozoun a tuba)*, *dřevěné nástroje (příčná flétna a klarinet)* *a bicích nástrojů (tympány, zvonkohra, kopák, virbl, kotel a crash činel)* 



1. týden – Základy audio DSP

- **Analogově-číslicový převod**
- **Aliasing**
- **Kvantování**
- **Časové obálky**

Analogově-číslicový převod



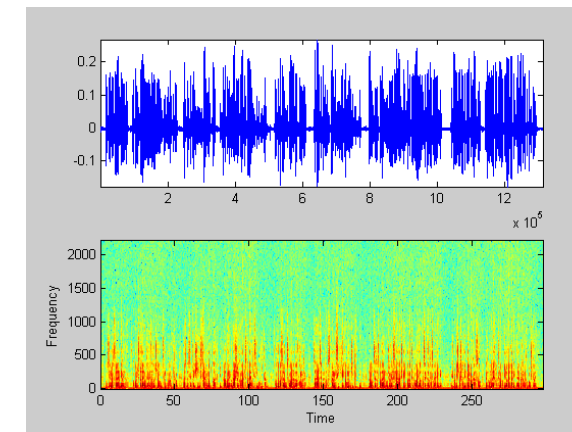
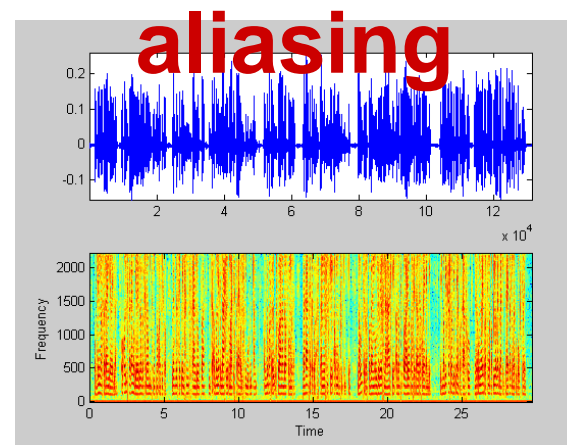
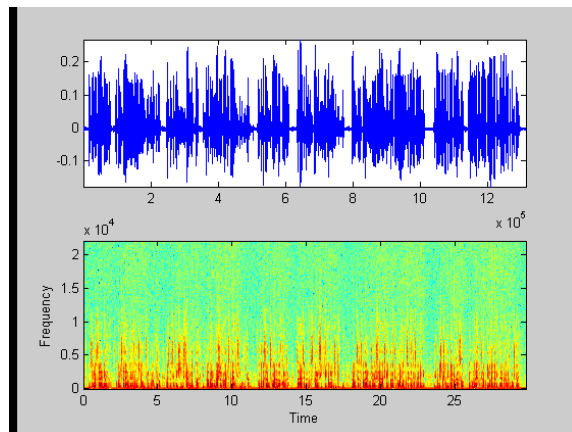
Analogově-číslicový převod

- **Vzorkovací teorém**

- Vzorkovací frekvence musí být alespoň dvojnásobkem nejvyšší frekvence obsažené v signálu

- **Volba vzorkovací frekvence**

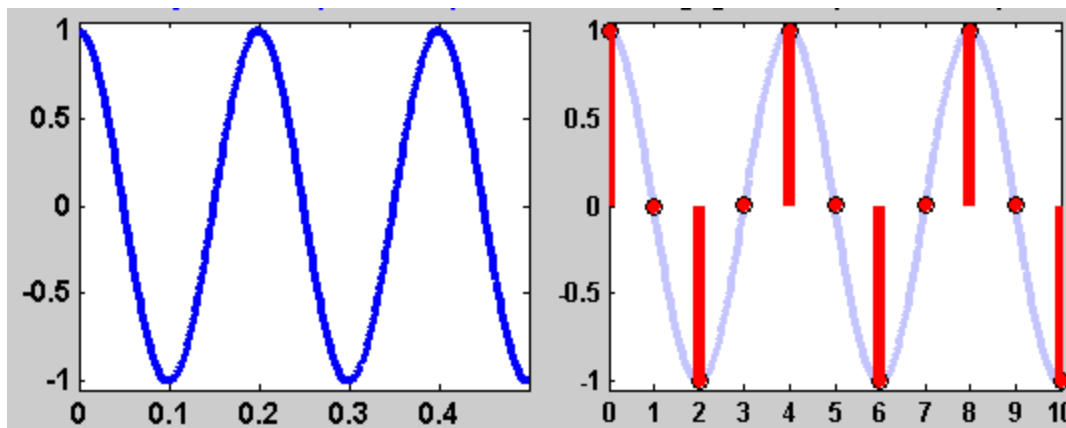
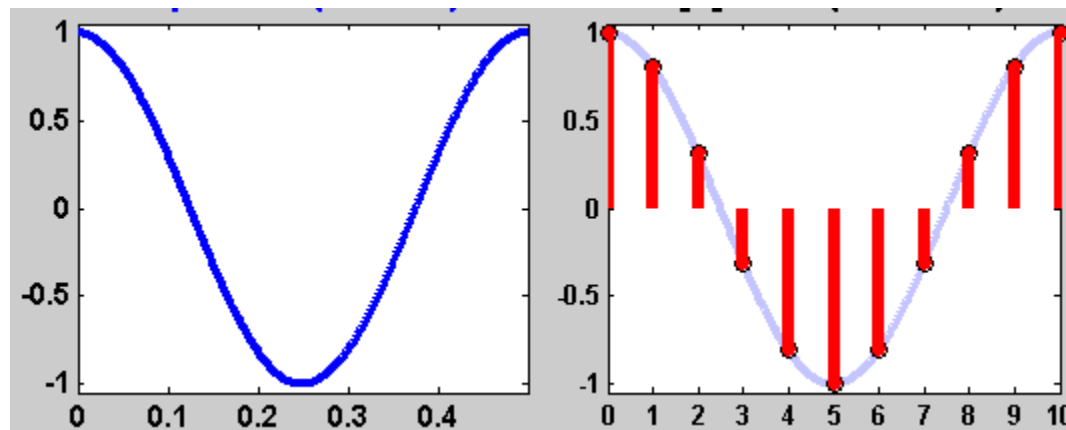
- vzorkovací teorém: $f_s > 2 f_{\max}$
- běžné analýzy řeči: $f_s = 8 \text{ kHz}$
- náročnější analýzy: $f_s > 20 \text{ kHz}$
- CD: $f_s = 44,1 \text{ kHz}$





Aliasing

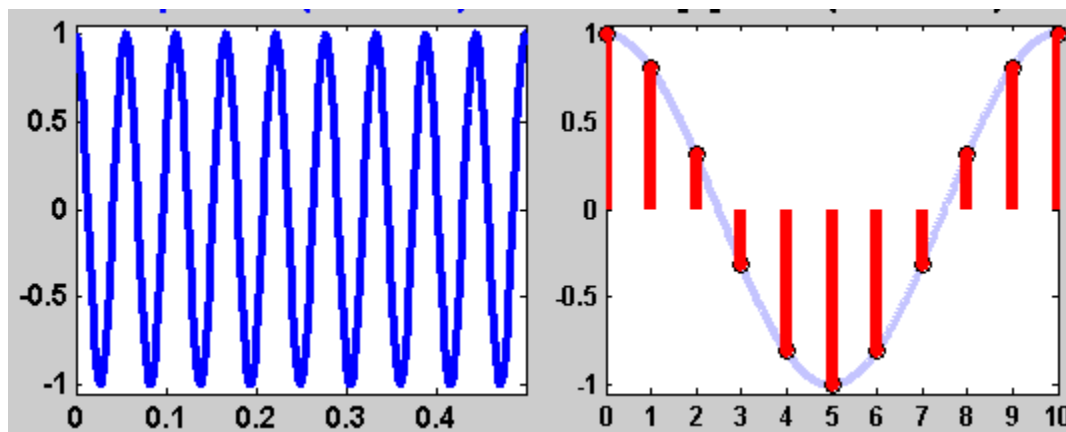
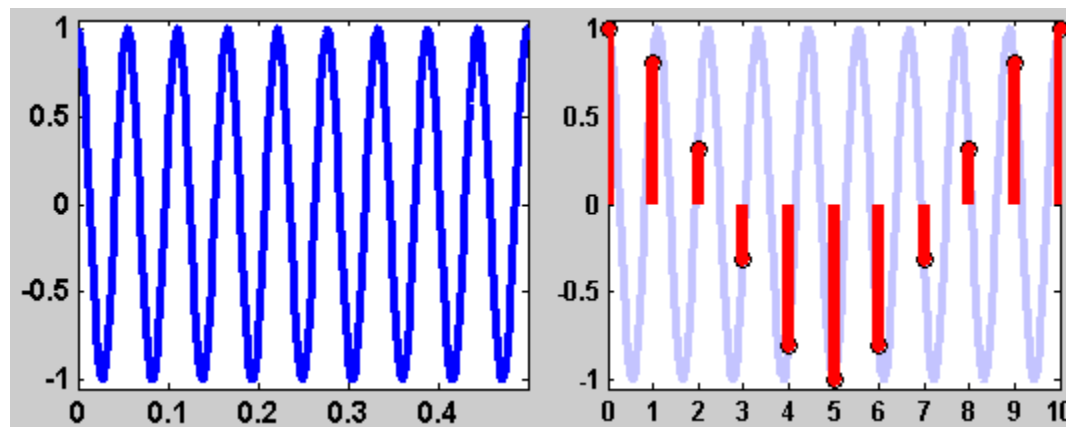
$$f < \frac{f_s}{2}$$



Aliasing

(alias = jinak zvaný), překrývání, překládání

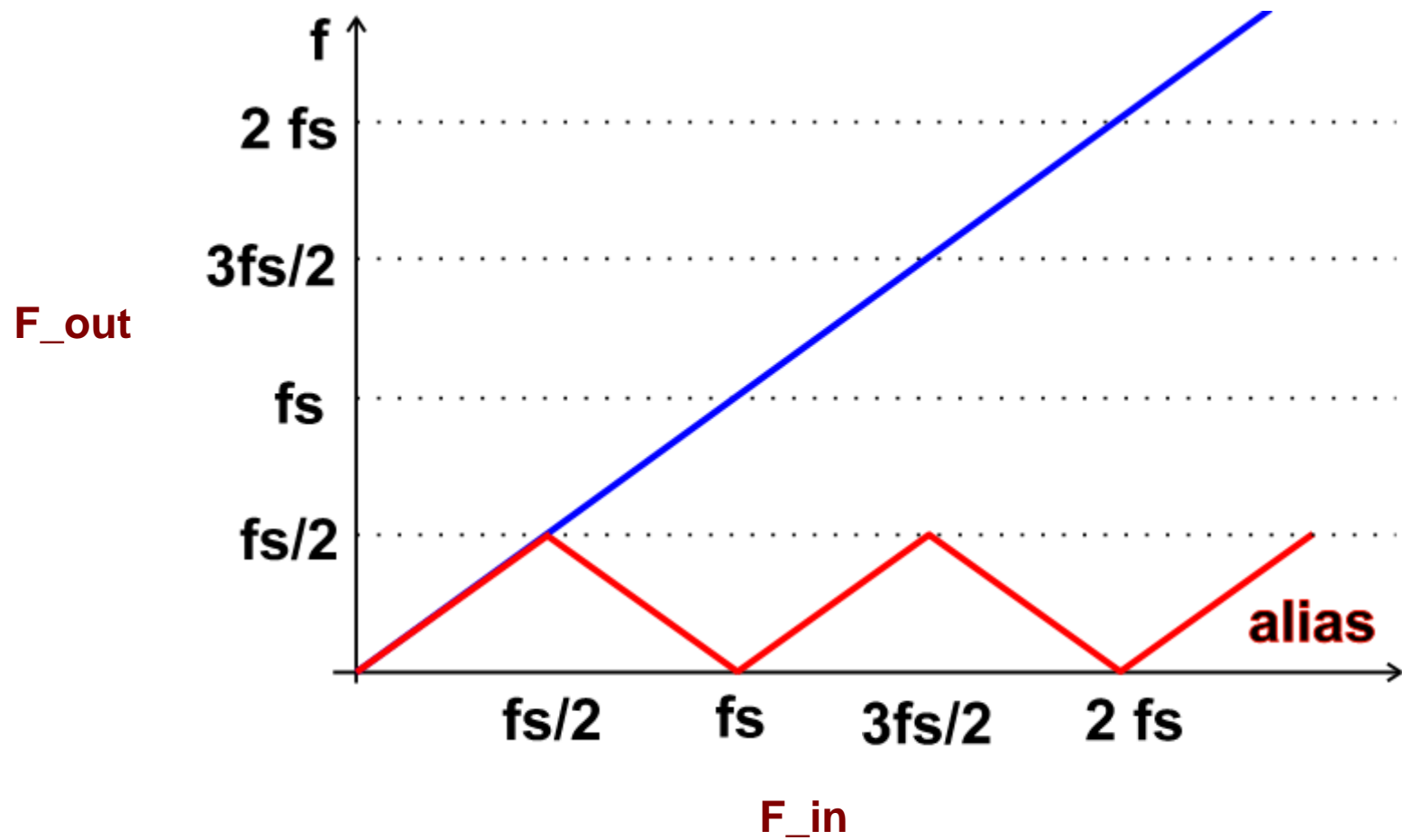
$$f > \frac{f_s}{2}$$



vlivem „pomaleho“ vzorkování bude mít číslicový signál „jinou“ (alias) frekvenci



Aliasing

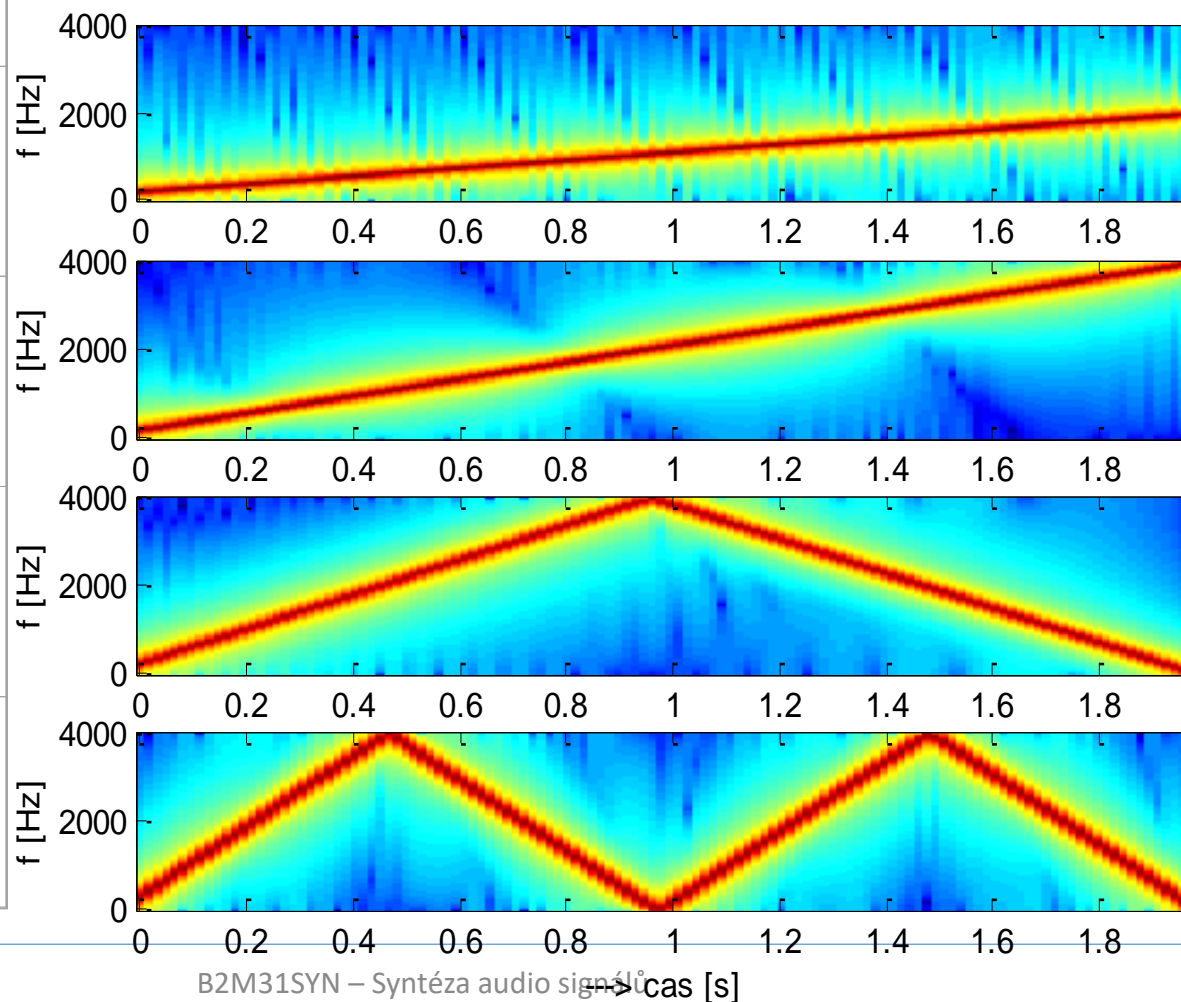




Aliasing

f1 [Hz]	f2 [Hz]
200	2000
200	4000
200	8000
200	16000

$f_s = 8000 \text{ Hz}$





Aliasing

- Signály o frekvencích f jsou vzorkovány frekvencí $f_s = 1280$ Hz. Určete „alias“ frekvence:

f [Hz]	<i>alias</i> f [Hz]
300	?
1300	?
700	?
1280	?



Aliasing

- Signály o frekvencích f jsou vzorkovány frekvencí $f_s = 1280$ Hz. Určete „alias“ frekvence:

f [Hz]	<i>alias</i> f [Hz]
300	300
1300	?
700	?
1280	?



Aliasing

- Signály o frekvencích f jsou vzorkovány frekvencí $f_s = 1280$ Hz. Určete „alias“ frekvence:

f [Hz]	<i>alias</i> f [Hz]
300	300
1300	20
700	?
1280	?



Aliasing

- Signály o frekvencích f jsou vzorkovány frekvencí $f_s = 1280$ Hz. Určete „alias“ frekvence:

f [Hz]	<i>alias</i> f [Hz]
300	300
1300	20
700	580
1280	?



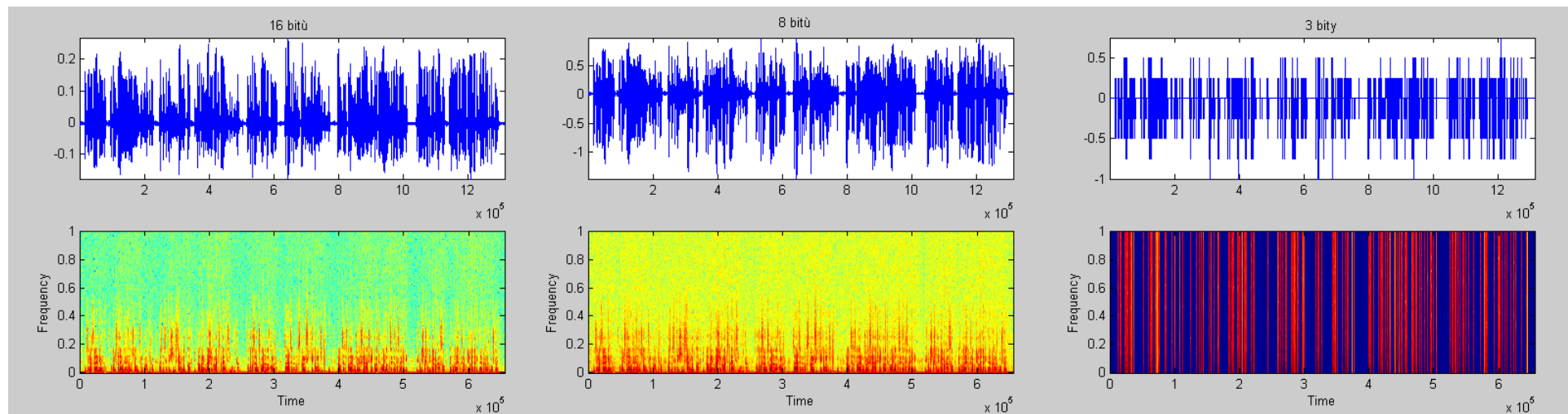
Aliasing

- Signály o frekvencích f jsou vzorkovány frekvencí $f_s = 1280$ Hz. Určete „alias“ frekvence:

f [Hz]	<i>alias</i> f [Hz]
300	300
1300	20
700	580
1280	0

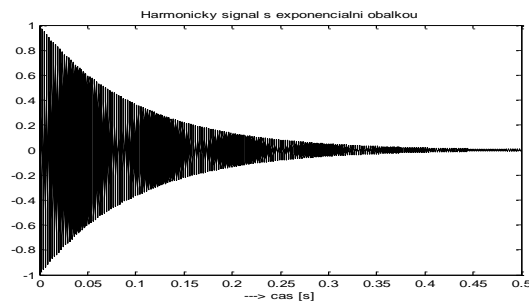
Kvantování

- Volba počtu bitů
 - $SNR \approx 6 \cdot b - 7,2$ [dB]
 - řeč 60 dB => 12 bitů



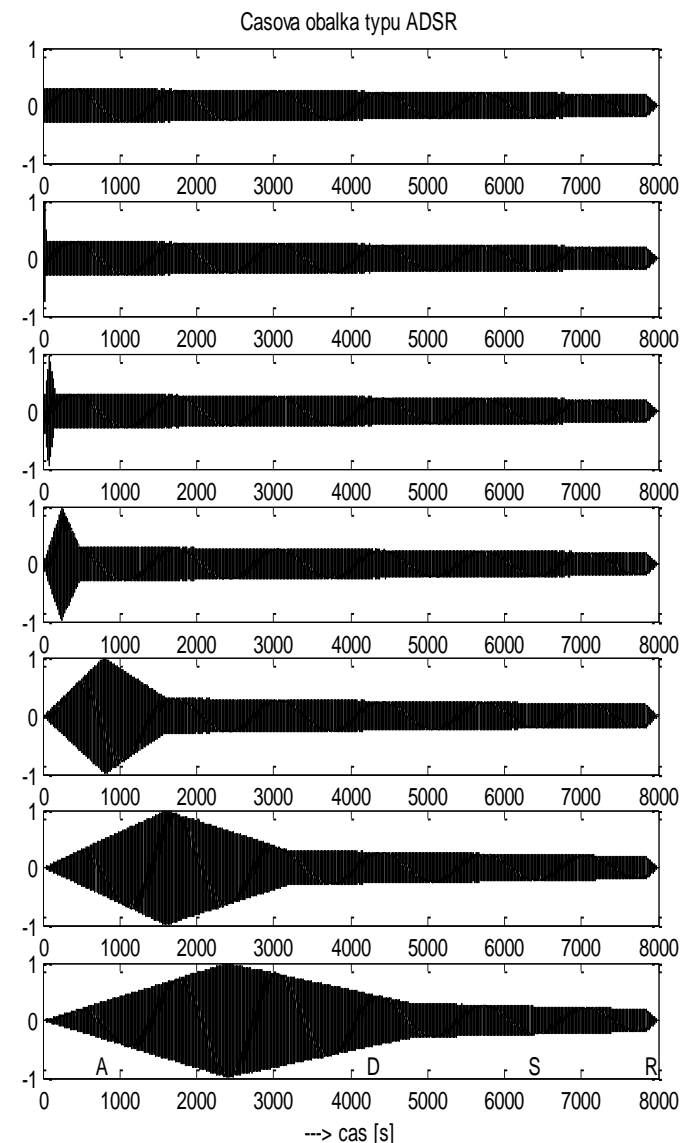
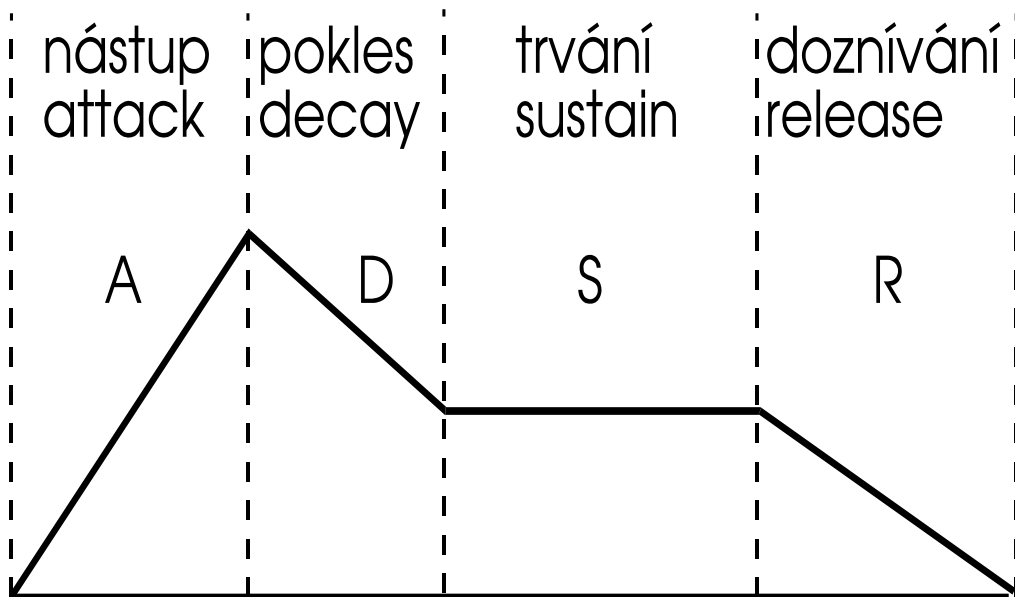


- **Exponenciální obálky** - časová konstanta, f_0
 - Zvony, perkuse



• ADSR obálky

- Tradiční hudební syntéza, např. MIDI
 - Velmi krátký A – strunný nástroj
 - Pozvolný A – dechový nástroj
- Klavír, žestě, smyčce, dechové nástroje, bicí



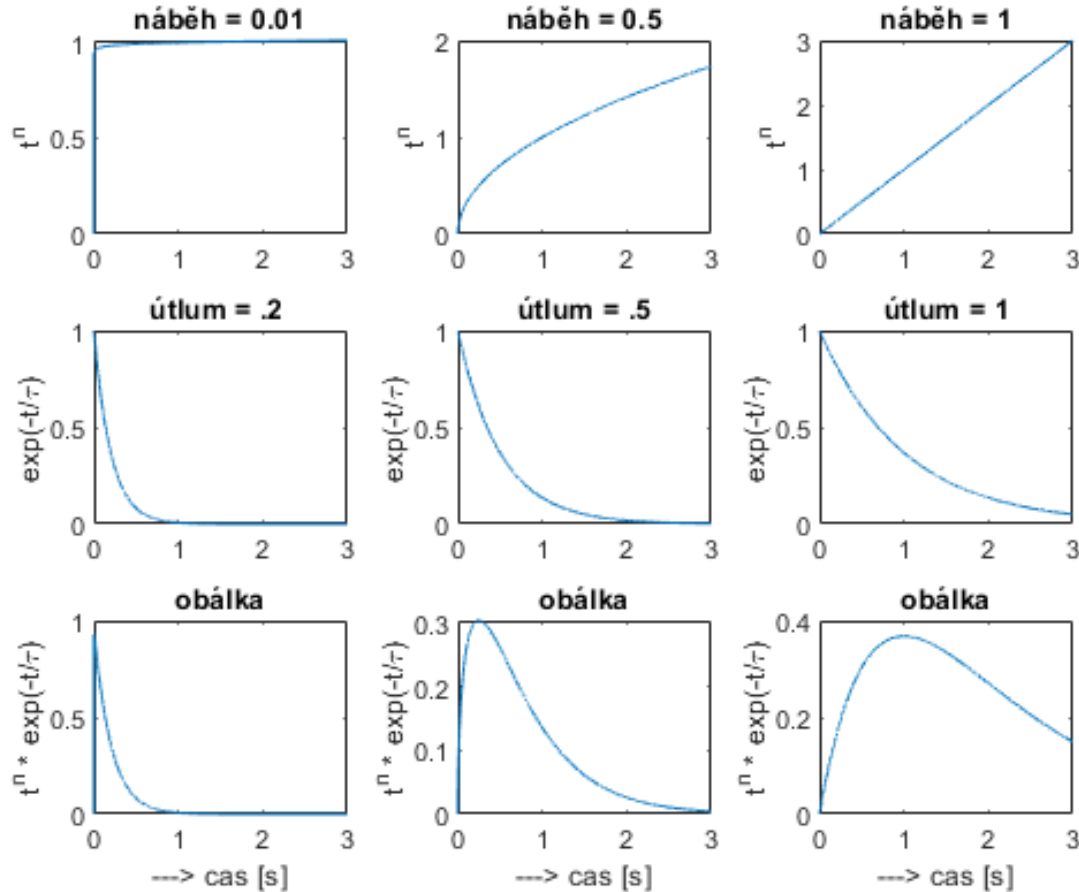


Časové obálky

- Implementace časových obálek v MATLABu

```
X=[0 .02 .2 2.2];  
Y=[0 1 .5 0];  
o=interp1(X,Y,t);  
x=o.*x;
```

• Obálky typu náběh – útlum



frekvenční složka = $k \cdot f_0$

$$\text{obálka} = A \cdot t^n \cdot \exp(-t/\tau)$$

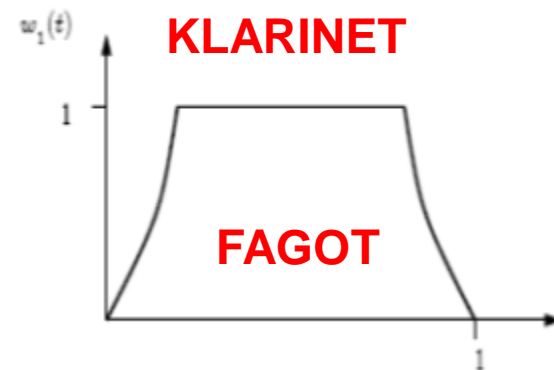
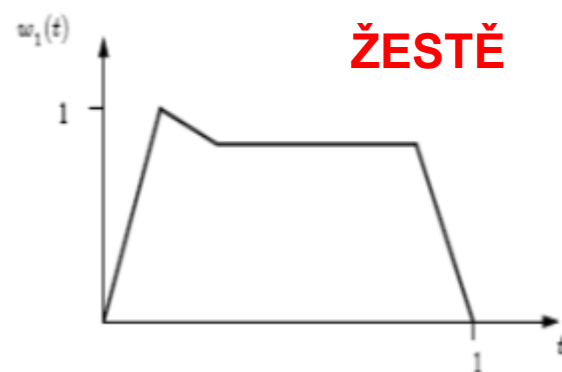
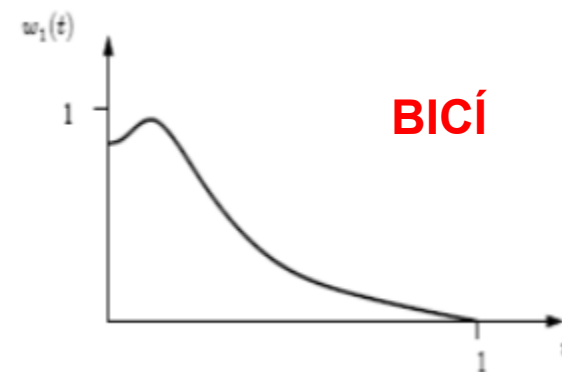
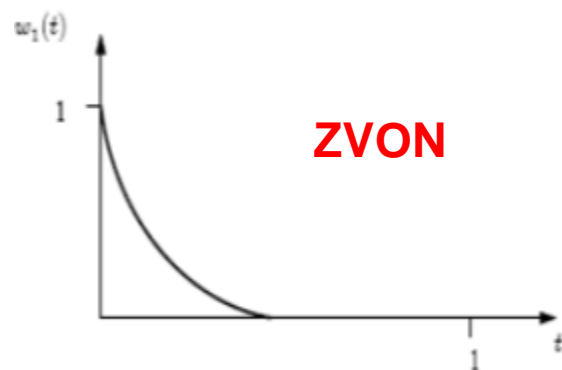
KLARINET

$f_0 = 400 \text{ Hz}$

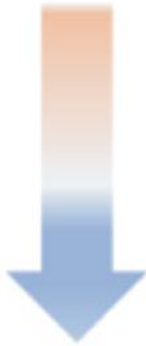
k	A	n	tau
1.0000	1.0000	0.7500	0.7000

Časové obálky

- Příklady časových obálek



Varovné zvuky

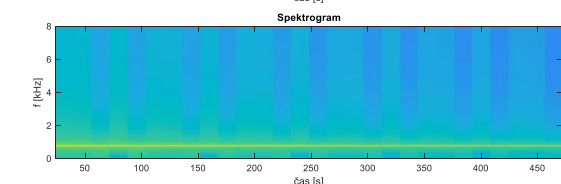
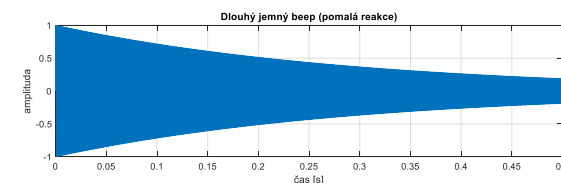
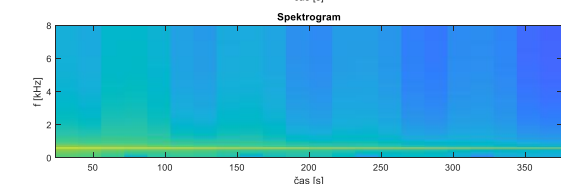
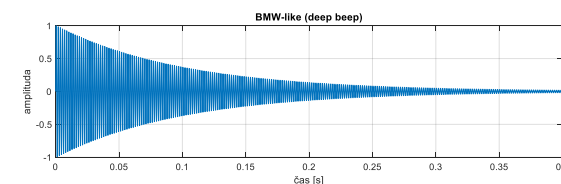
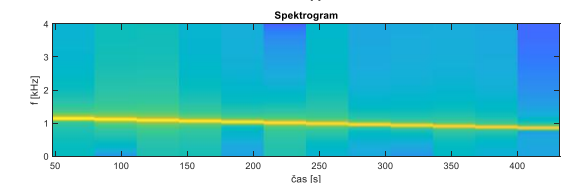
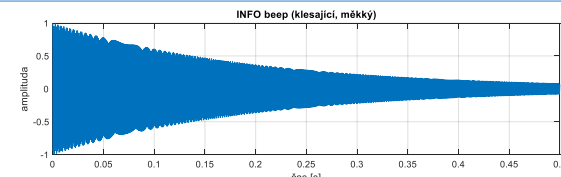
High urgency  Low urgency	Urgency	Sound Character
	Danger	<ol style="list-style-type: none">1. Sweeping (sliding frequency sound)2. Bursts (quick-pulses sound)3. Alternating (stepwise sequency sound)
Caution	Short sound	
Normal condition	Prolonged sound	

Normy ISO doporučují různé charakteristiky pro zvýšení rozlišitelnosti a minimalizaci chyb v interpretaci.

Charakteristiky INFO zvuků:

- Jemné potvrzení, nenarušující notifikace
- Delší attack, delší decay
- Klesající trend frekvence (chirp dolů)
- Malý frekvenční rozsah (100–500 Hz)

Typické použití: blinkr, potvrzení akce.



Charakteristiky URGENT zvuků:

- Přísný alarm, okamžitá pozornost
- Krátký, ostrý attack
- Stoupající trend frekvence (chirp nahoru)
- Větší frekvenční rozsah (500–1500 Hz)

Typické použití: couvání, varování, brzdy.

