

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

PROJEKT Č. 2

Ionosférický spoj

Vypracoval: Jan HLÍDEK

V rámci předmětu: Šíření vln a kmitočtové plánování (X17SIR)

Odevzdání k: 30. 4. 2008

Cvičení: čtvrtek od 9:15 do 10:45

1. CÍL ÚLOHY

Předpokládejme, že jste specialista na šíření elektromagnetických vln a Váš nadřízený Vám uložil, abyste naplánoval ionosférické spojení mezi Prahou (50.10N, 14.43 E) a pracovištěm jeho kolegy, které se nachází na osamělé radiové stanici na jiné části zeměkoule:

46	Omsk	Rusia	55,00N 73,40E	Hlídek Jan
----	------	-------	---------------	------------

Tento spoj by měl být provozován s EIRP = 15 dBW v období března 2008. Úkolem je:

- určit zeměpisné parametry spoje, polohy míst odrazu od ionosféry a stanovit možné módy šíření
- nalézt časové závislosti hodnot kritických kmitočtů jednotlivých vrstev ionosféry pro dané virtuální body odrazu (tento bod zadání je upraven – závislosti děláme jen pro vrstvu F2)
- stanovit provozní MUF celého spoje a FOT (OWT), pokud máte možnost během celého dne provozovat spojení na třech různých kmitočtech
- určit útlum celého spoje v závislosti na denní době

2. ZMĚŘENÉ VÝSTUPY

Následují vyhodnocené hodnoty dle zadání prostřednictvím Matlabu. Jednotlivé vzorce jsou uvedeny právě níže ve zdrojovém kódu Matlabu. Snaha je také o krátké komentáře právě ve zdrojovém kódu. Časová závislost je tvořena tak, že jsou do tohoto programu postupně zadávány hodnoty z programu womap.exe a následně jsou zaznamenávány.

a) Zeměpisné parametry spoje

Celková délka spoje je cca 3904 km. Je třeba uvažovat minimálně dva odrazy od vrstvy F2, protože se zde výrazně blížíme vzdálenosti 4000 km.

K odrazům dojde v následujících bodech:

Zeměpisná šířka 1. odrazu: 54,00N

Zeměpisná délka 1. odrazu: 27,25E

Bod 1

Zeměpisná šířka 2. odrazu: 56,65N

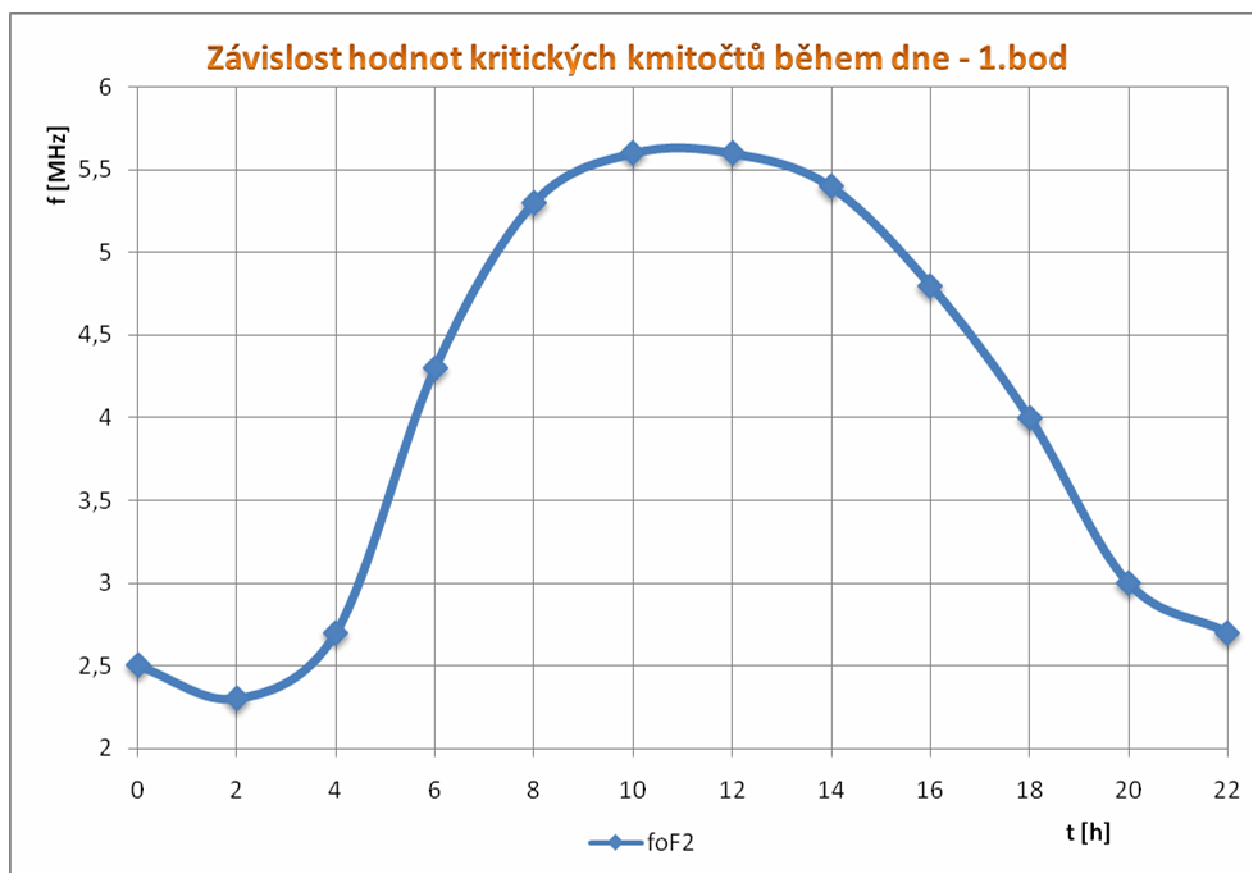
Zeměpisná délka 2. odrazu: 58,02E

Bod 2

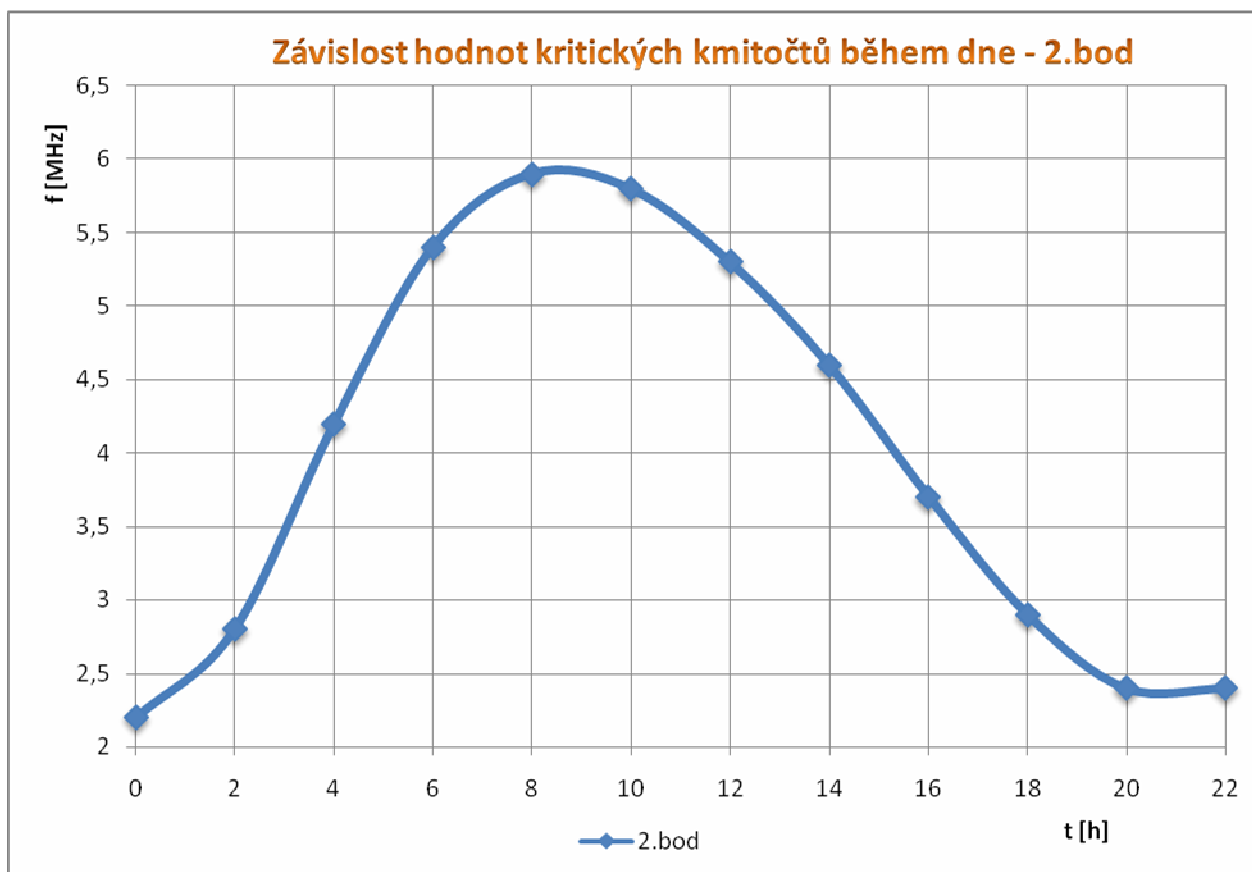
b) Časové závislosti hodnot kritických kmitočtů vrstvy F2

Byly zjištěny z programu womap.exe. Pro jednoduchost uvažujme v celém příkladě datum 1. března a zpracování po dvou hodinách.

čas (UT) [h]	1. bod odrazu:		2. bod odrazu:	
	foF2 [MHz]	M(3000)F2	foF2 [MHz]	M(3000)F2
0	2,5	2,9	2,2	2,9
2	2,3	2,9	2,8	3
4	2,7	3,1	4,2	3,2
6	4,3	3,3	5,4	3,3
8	5,3	3,35	5,9	3,25
10	5,6	3,25	5,8	3,25
12	5,6	3,3	5,3	3,35
14	5,4	3,4	4,6	3,35
16	4,8	3,35	3,7	3,2
18	4	3,15	2,9	3
20	3	2,95	2,4	2,9
22	2,7	2,9	2,4	2,85



Obr. 1 Graf pro první bod odrazu od ionosféry. Zobrazuje závislost zvýrazněnou v tabulce.



Obr. 2 Graf pro druhý bod odrazu od ionosféry. Zobrazuje závislost zvýrazněnou v tabulce.

Kvůli problémům a chybám, které se vyskytly v pro vypracování úlohy a již tak dosti složitém vypracování uvádím hodnoty pro ostatní vrstvy ionosféry bez zpracování jejich závislosti na čase.

Pro čas 10h tedy platí:

1. bod:

Kritický kmitočet vrstvy E1 pro kolmý dopad:	$f_{0E} = 0.1305 \text{ MHz}$
MUF E1:	$MUF_{1E} = 0.4631 \text{ MHz}$
Kritický kmitočet vrstvy F1:	$f_{0f1} = 3.9386 \text{ MHz}$
	$MUF_{f1} = 9.2255 \text{ MHz}$

2. bod:

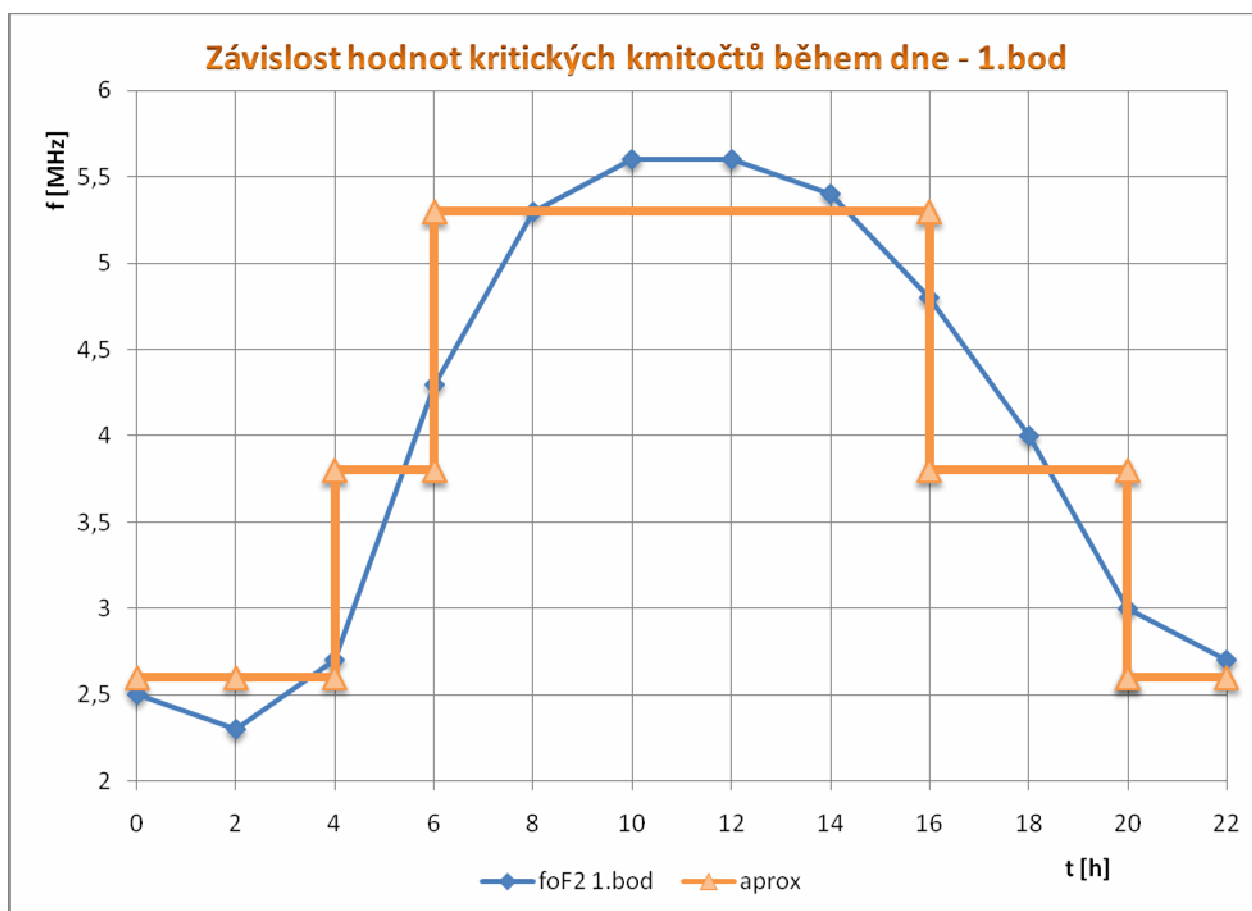
Kritický kmitočet vrstvy E1 pro kolmý dopad:	$f_{0E} = 0.1373 \text{ MHz}$
MUF E1:	$MUF_{1E} = 0.4871 \text{ MHz}$
Kritický kmitočet vrstvy F1:	$f_{0f1} = 3.8984 \text{ MHz}$
	$MUF_{f1} = 9.1313 \text{ MHz}$

c) Stanovení provozního MUF a FOT spoje

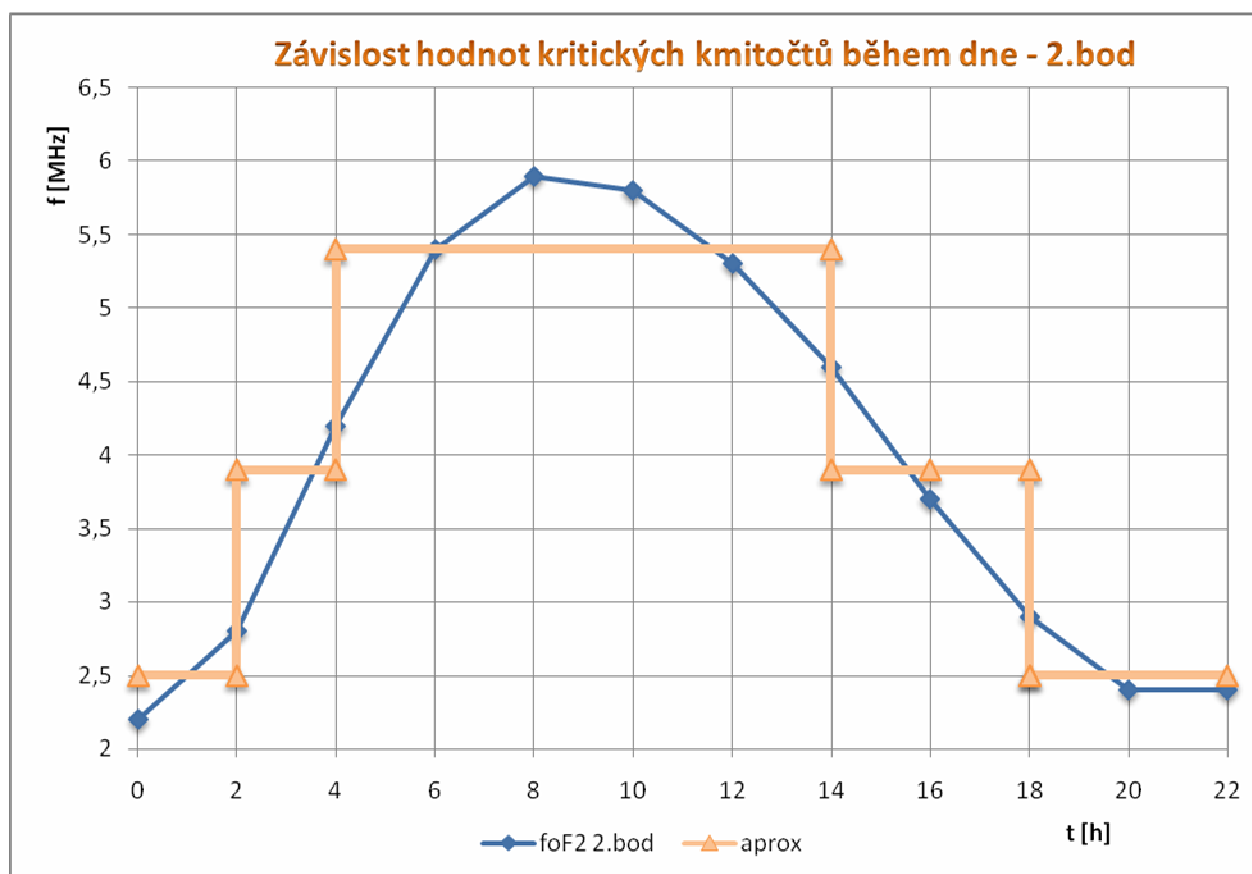
Spoj chceme provozovat na třech frekvencích. Podle výše uvedených grafů tedy aproximujeme určité úseky. Jejich návrh nyní ukazují následující obrázky.

Navržené 3 kmitočty:

čas (UT) [h]	1. bod:	2. bod	
	foF2 [MHz]	čas (UT) [h]	foF2 [MHz]
0	2,6	0	2,5
2	2,6	2	2,5
4	2,6	2	3,9
4	3,8	4	3,9
6	3,8	4	5,4
6	5,3	14	5,4
16	5,3	14	3,9
16	3,8	16	3,9
20	3,8	18	3,9
20	2,6	18	2,5
20	2,6	18	2,5
22	2,6	22	2,5



Obr. 3 Kmitočty vybrané jako vstup u počítání FOT a provozního MUF pro bod 1



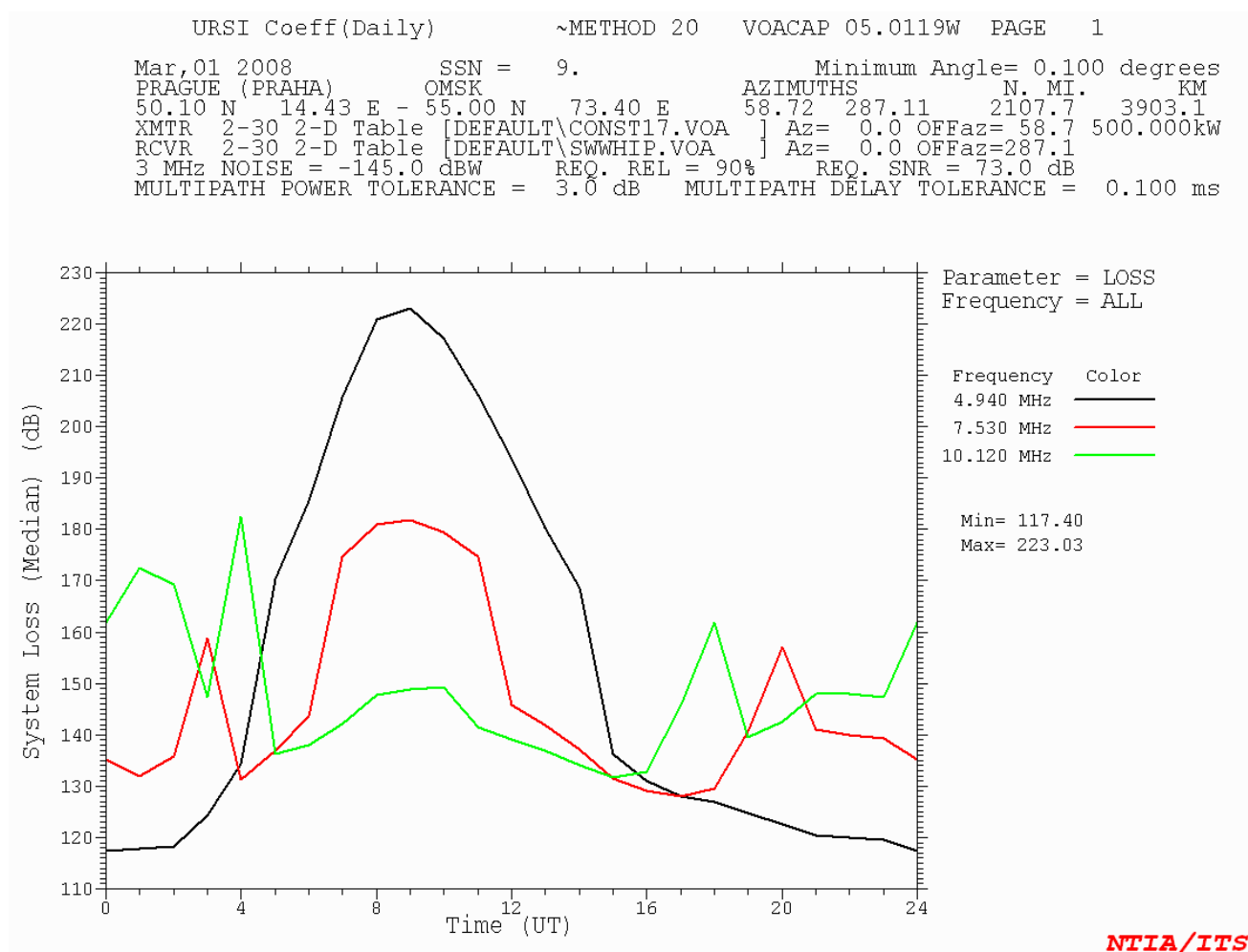
Obr. 4 Kmitočty vybrané jako vstup u počítání FOT a provozního MUF pro bod 2

Na základě nyní známých faktů pak dojdeme k aproximaci, která má již praktické použití. Jednotlivé hodnoty samozřejmě nejsou přesné a vyjadřují pouze určité přiblížení problému. Pro skutečně přesný návrh bychom museli uvažovat i trochu rozdílné charakteristiky v různých bodech odrazu atd. a také celkově užít jemnější členění (např. po 30 minutách).

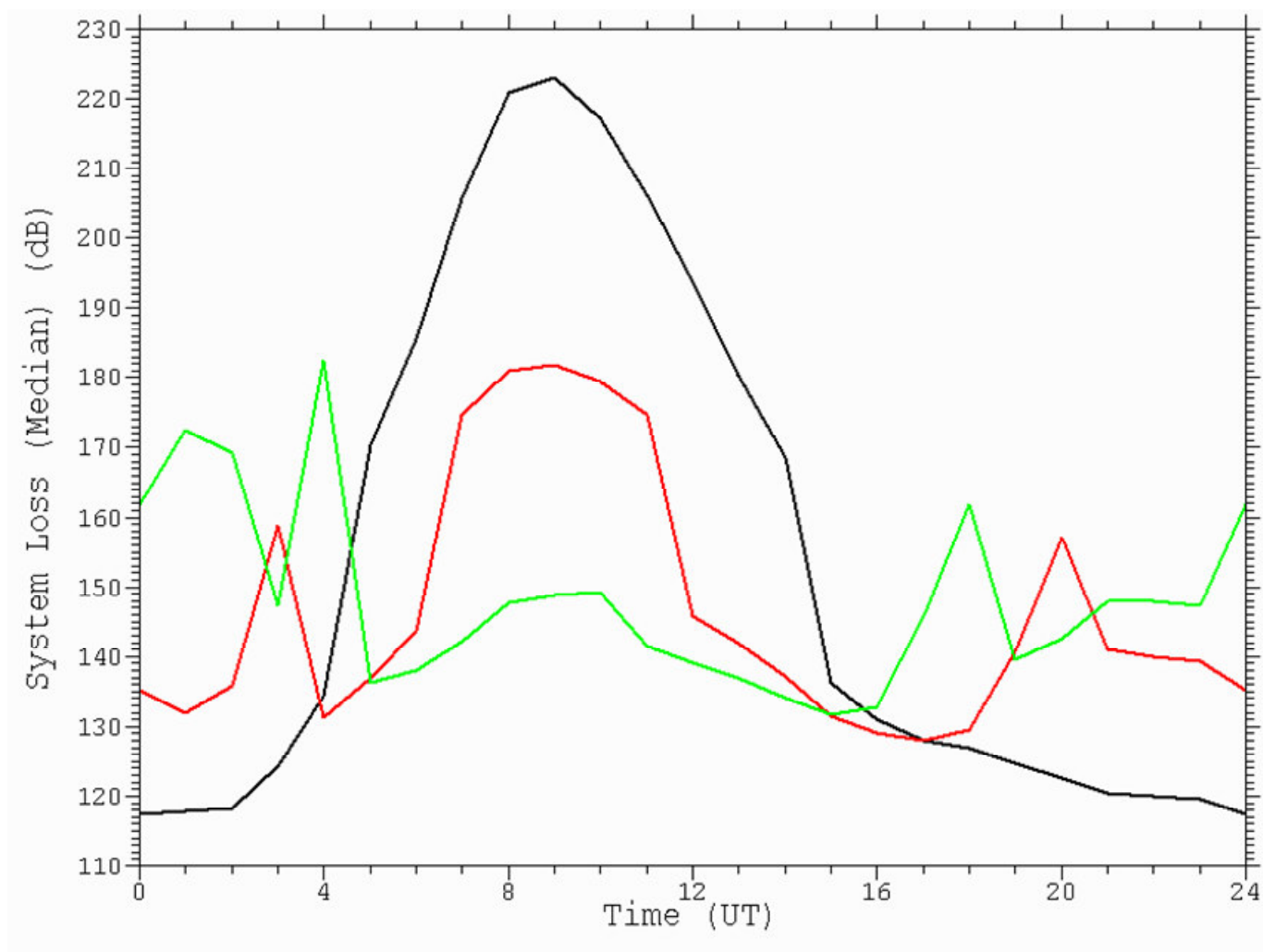
Navržené 3 kmitočty:

čas (UT) [h]	1. bod:			provozní MUF [MHz]	FOT [MHz]
	foF2 [MHz]	přepočt. čas	koef. FOT		
0	2,6	3	0,78	6,5894	4,9420
2	2,6	5	0,78		
4	2,6	7	0,8		
4	3,8	7	0,8	10,0357	7,5268
6	3,8	9	0,8		
6	5,3	9	0,8		
16	5,3	19	0,81	12,9711	10,1175
16	3,8	19	0,73		
20	3,8	23	0,73		
20	2,6	23	0,73	10,0357	7,5268
20	2,6	23	0,73		
22	2,6	1	0,73		
				6,5894	4,9420

d) Útlum spoje v závislosti na denní době



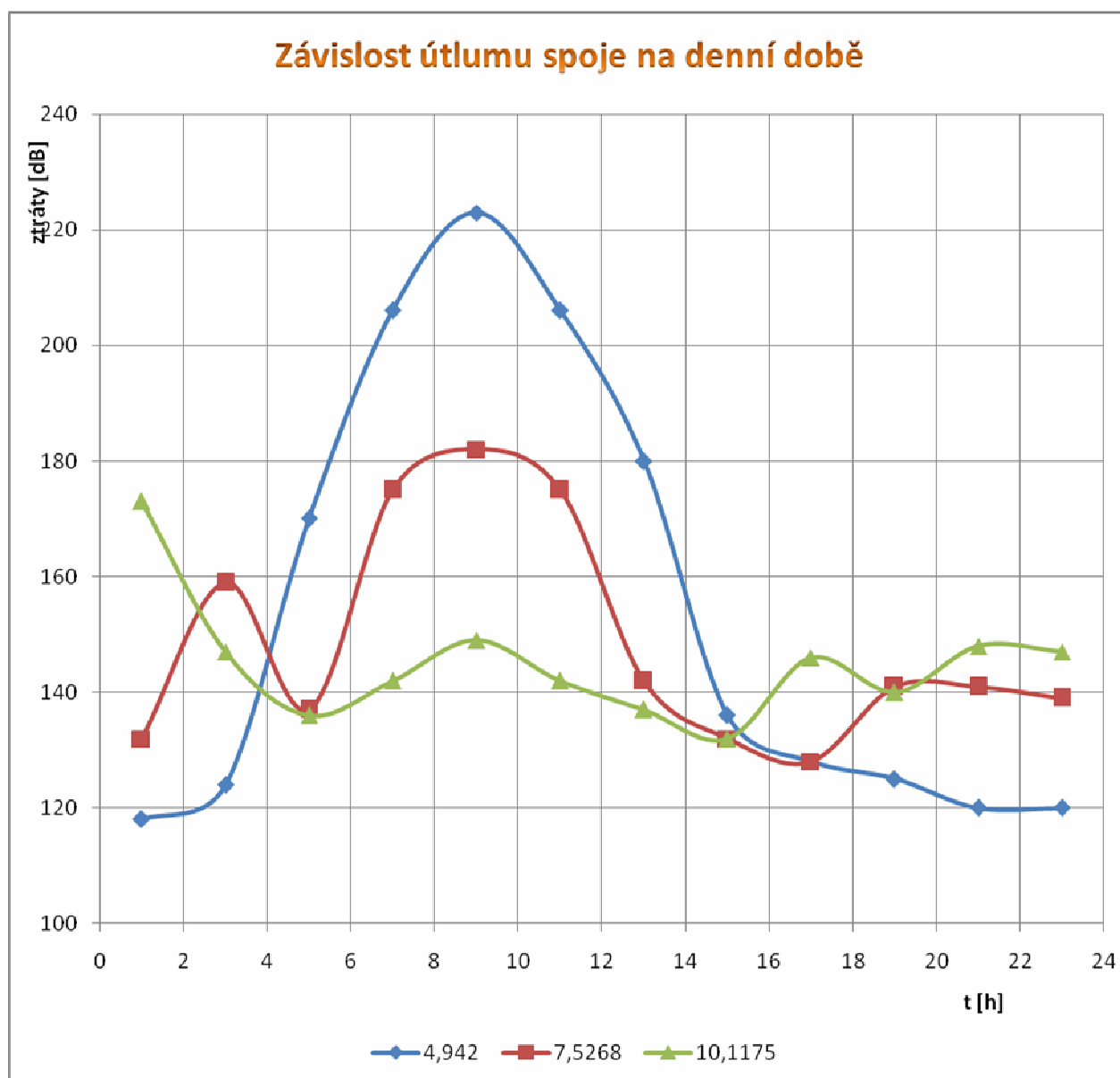
Obr. 5 Graf vytvořený programem VOACAP pro závislost LOSS na čase - celek



Obr. 6 Graf vytvořený programem VOACAP pro závislost LOSS na čase – detail

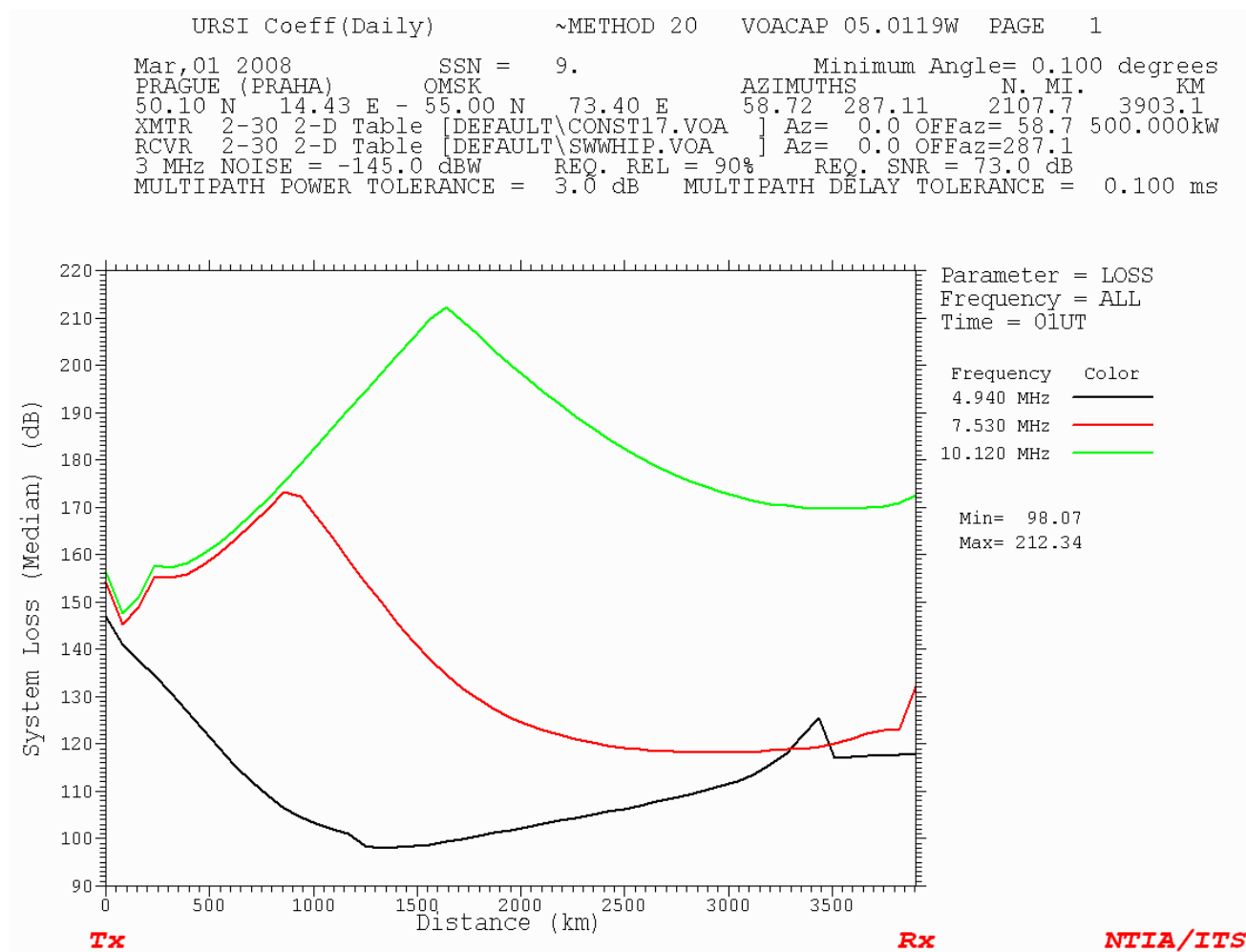
Tabulka ukazuje, jaké jsou jednotlivé útlumy pro různé časy na daných frekvencích:

	FOT [Hz]	FOT [Hz]	FOT [Hz]
UT čas [h]	4,942	7,5268	10,1175
1	118	132	173
3	124	159	147
5	170	137	136
7	206	175	142
9	223	182	149
11	206	175	142
13	180	142	137
15	136	132	132
17	128	128	146
19	125	141	140
21	120	141	148
23	120	139	147



Obr. 7 Graf závislosti útlumu na denní době

Z tohoto grafu je vidět, že předchozí kroky byly provedeny správně. Přenášet něco v 10 hodin dopoledne na nízké frekvenci by bylo kvůli obrovskému útlumu v podstatě nemožné. Proto zde musí být zvolena jiná – vyšší frekvence. Na druhou stranu v nočních hodinách mají nejmenší útlum zase nízké frekvence.



Obr. 8 Závislost ztrát na vzdálenosti

3. ZDROJOVÝ KÓD Z MATLABU

Contents

- [stredovy uhel mezi konc. body:](#)
- [pozemska vzdalenost:](#)
- [azimut \(a\) prijimace vzhledem k vysilaci \[°\], y2>y1:](#)
- [zkusime dvema odrazy...](#)
- [Vypocet kritickeho kmitoctu vrstvy E a MUF1E](#)
- [Vypocet kritickeho kmitoctu vrstvy F1 a MUF_F1](#)
- [Maximalni delka skoku pro odraz od F2](#)

```
close all
clear all
clc;

R12 = 9.3 % Sunspot number SNN v breznu 2008
R = 6371; % polomer zeme [km]
x1 = 50.1; % zemepisna sirka vysilace
y1 = 14.43; % zemepisna delka vysilace
x2 = 55; % zemepis. sirka prijimace
y2 = 73.4; % zemepis. delka prijimace
```

```
R12 =
    9.3000
```

stredovy uhel mezi konc. body:

```
gama = acos(sin(x1*pi/180)*sin(x2*pi/180)+cos(x1*pi/180)*cos(x2*pi/180)*cos((y1 - y2)*pi/180));
```

pozemska vzdalenost:

```
r = gama*R
```

```
r =
    3.9037e+003
```

azimut (a) prijimace vzhledem k vysilaci [°], y2>y1:

```
a = (180/pi)*acos((sin(x2*pi/180)-sin(x1*pi/180)*cos(gama))/(cos(x1*pi/180)*sin(gama)))
```

```
a =
    58.7186
```

zkusime dvema odrazy...

```
k = 2; % pocet skoku
% stredovy uhle mezi vysilacem a prvnim bodem odrazu:
n = 1;
gamagama = (r*(2*n-1))/(R*k*2)
% zemepisna sirka 1. odrazu:
xx_1 = 90 - (180/pi)*acos(cos(gamagama)*sin(x1*pi/180)+sin(gamagama)*cos(x1*pi/180)*cos(a*pi/180))
% zemepisna delka 1. odrazu:
spodek_zlomku = cos(xx_1*pi/180)*cos(x1*pi/180);
vrsek_zlomku = cos(gamagama)-sin(xx_1*pi/180)*sin(x1*pi/180);
zlomek = vrsek_zlomku/spodek_zlomku;
yy_1 = y1 + (180/pi)*acos(zlomek)

% stredovy uhle mezi vysilacem a druhym bodem odrazu:
n = 2;
gamagama = (r*(2*n-1))/(R*k*2)
% zemepisna sirka 2. odrazu:
xx_2 = 90 - (180/pi)*acos(cos(gamagama)*sin(x1*pi/180)+sin(gamagama)*cos(x1*pi/180)*cos(a*pi/180))
% zemepisna delka 2. odrazu:
spodek_zlomku = cos(xx_2*pi/180)*cos(x1*pi/180);
vrsek_zlomku = cos(gamagama)-sin(xx_2*pi/180)*sin(x1*pi/180);
zlomek = vrsek_zlomku/spodek_zlomku;
yy_2 = y1 + (180/pi)*acos(zlomek)

% Hodnoty kritickych kmitoctu
f_0f2 = 2.6;
M3000_f2 = 2.9;
koef_MUF = 1.25; % noc: 1.25
koeficient_FOT = 0.75
tg = 2 % cas
%druhy bod:
% f_0f2 = 5.8;
% M3000_f2 =
```

```
gamagama =
    0.1532
```

```
xx_1 =
    53.9986
```

```
yy_1 =
    27.2474
```

```
gamagama =
    0.4595
```

```
xx_2 =
    56.6475
```

```

yy_2 =
    58.0180

koeficient_FOT =
    0.7500

tg =
    2

```

Vypocet kritického kmitoctu vrstvy E a MUF1E

radiovy sum

```

fi = 63.7 + 0.728*R12 + 8.9*(10.^(-4))*R12.^2;
A = 1+ 0.0094*(fi-66)

% J-ty den v roce (pro 1. brezen):
J = 61;

x = xx_2; %% !!! UPRAV pro ziskani druhe frekvence
y = yy_2;

delta = 23.45*sin((360*(284+J)*(pi/180))/365)
rozdil = abs(x - delta);
if (rozdil < 80)
    N = x - delta;
else
    N = 80;
end;
abs_x = abs(x);
if (abs_x < 32)
    m = -1.93 + 1.92*cos(x*pi/180); %????
    X = 23;
    Y = 116;
else
    m = 0.11 - 0.49*cos(x*pi/180); %????
    X = 92;
    Y = 35;
end;
B = (cos(N*pi/180)).^m
C = X + Y*cos(x*pi/180)

% Vliv denni doby
M = 3; % M-ty mesic v roce

sx = 23.45*cos(30*(M - 6.2)*pi/180);
sy = 15*tg - 180;
chy = (180/pi)*acos(sin(x*pi/180)*sin(sx*pi/180) + cos(x*pi/180)*cos(sx*pi/180)*cos((sy + y))) %????
delta_x = 6.27*10.^(-13)*(chy - 50).^8;
if (abs_x <= 12)
    p = 1.31;
else
    p = 1.2;
end;
if ( chy <= 73 )
    D = (cos(chy*pi/180)).^p
elseif ( (chy > 73) && (chy < 90) )
    D = cos((chy - delta_x)*pi/180).^p
else
    D = (0.072.^p)*exp(25.2 - 0.28*chy)
end;

% Kriticky kmitocet vrstvy E pro kolmy dopad:
f_0E = (A*B*C*D).^(1/4)
% Vypocet max. pouzitelneho kmitoctu:
D = 1000;
xx = (D - 1150)/1150;
ME = 3.94 + 2.8*xx - 1.7*xx.^2 - 0.6*xx.^3 + 0.96*xx.^4;
MUF_1E = f_0E * ME

```

```

A =
    1.0427

delta =
    -7.9149

B =
    1.1442

C =
    111.2426

chy =
    112.7984

D =
    7.1855e-005

f_0E =
    0.3125

MUF_1E =
    1.1086

```

Vypocet kritického kmitoctu vrstvy F1 a MUF_F1

```

xg = (180/pi)*asin(sin(78.3*pi/180)*sin(x*pi/180) + cos(78.3*pi/180)*cos(x*pi/180)*cos((69-y)*pi/180)) % ??abs hodnota?

```

```

n = 0.093 + 0.00461*xg - 0.000054*xg.^2 + 0.00031*R12;
fs100 = 5.35 + 0.011*xg - 0.00023*xg.^2;
fs0 = 4.35 + 0.0058*xg - 0.00012*xg.^2;
fs = fs0 + 0.01*(fs100 - fs0)*R12;
% nekde je chybka, uvadim dale jako abs hodnotu:
f_0f1 = fs * (abs(cos(chy*pi/180))).^n;
f_0f1 = abs(f_0f1)

chy_0 = 50 + 0.384*xg;
chy_100 = 38.7 + 0.509*xg;
chy_s = chy_0 + 0.01*(chy_100 - chy_0)*R12;

% Max pouzitelny kmitocet pro dany skok (nekolmy dopad na F1)
J0 = 0.16 + 2.64*10^(-3)*D - 0.4*10^(-6)*D.^2;
J100 = -0.52 + 2.69*10^(-3)*D - 0.39*10^(-6)*D.^2;
MF1 = J0 - 0.01*(J0 - J100)*R12
MUF_f1 = f_0f1 * MF1

```

```

xg =
    68.0327

f_0f1 =
    3.6685

MF1 =
    2.3423

MUF_f1 =
    8.5929

```

Maximalni delka skoku pro odraz od F2

Delka skoku:

```

D = r/3;
podil_f2 = f_0f2/f_0E;
if (podil_f2 > 2)
    x_2 = podil_f2;
else
    x_2 = 2;
end;
B = M3000_f2 - 0.124 + (M3000_f2^2 - 4)*(0.0215 + 0.005*sin((7.854/x_2 - 1.9635)*pi/180));
D_max = 4780 + (12610 + (2140/x_2^2) - (49720/x_2^4) - 688900/x_2^6)*(1/B - 0.303)

% max. pouzitelna frekvence:
Z = 1 - 2*(D/D_max);
C_d = 0.74 - 0.591*Z - 0.424*Z^2 - 0.09*Z^3 + 0.088*Z^4 + 0.181*Z^5 + 0.096*Z^6;
Z_3000 = 1 - 2*(3000/D_max);
C_3000 = 0.74 - 0.591*Z_3000 - 0.424*Z_3000^2 - 0.09*Z_3000^3 + 0.088*Z_3000^4 + 0.181*Z_3000^5 + 0.096*Z_3000^6;
MUF_f2 = (1 + (C_d/C_3000)*(B - 1))*f_0f2 + (1.4/2)*(1 - D/D_max)
MUF_f2_min = MUF_f2; % DOSAD nejmensi hodnotu z muf bodu (pro moje zemepisne pomery ale vpadstate nedochazi k odchylkam - je to stejne na nekolik
zakladni_MUF = MUF_f2_min;
%koef_MUF = 1.15;
provozni_MUF = zakladni_MUF * koef_MUF

FOT = koeficient_FOT * provozni_MUF% !!!!!!!!!!!!! koeficient men dle hodin

```

```

D_max =
    5.3531e+003

MUF_f2 =
    5.1016

provozni_MUF =
    6.3769

FOT =
    4.7827

```