

Současné radioamatérské technologie

*Ing. Vladimír Mašek, OK1DAK,
Český radioklub – radioklub OK1KIR*

*Ing. František Karel Janda, OK1HH,
Český radioklub – radioklub OK1KYU, Rada SysOpů*

Řada radioamatérů se k rádiové komunikaci poprvé dostala na vojně.



Radioamatérská škola HOLICE 2008



Radioklub OK1KSO na hřebenu Krušných hor





73
Jiri

HHRR
HAM Heaven Radio Ranch

Stanoviště OL4K v Krkonoších





Udělalí
byste si
kvůli
vysílání díru
do střechy?
OK1CS ano!

Joe Taylor K1JT s manželkou Mariettou

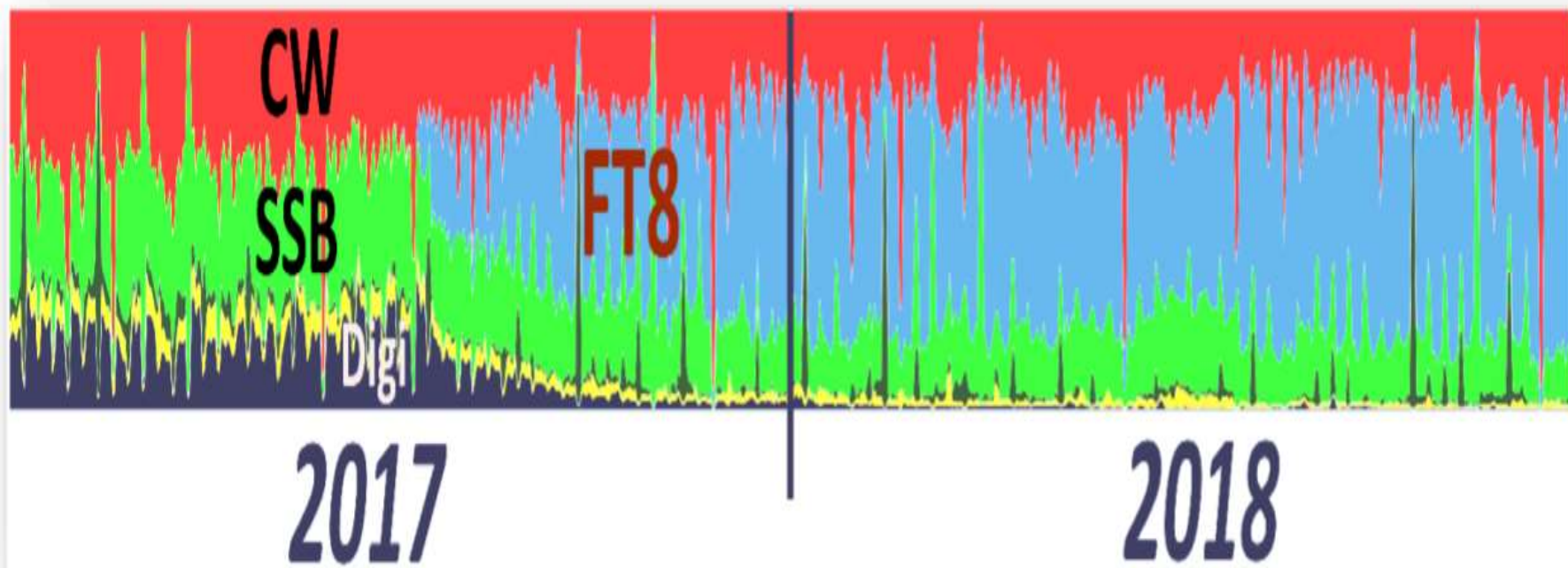


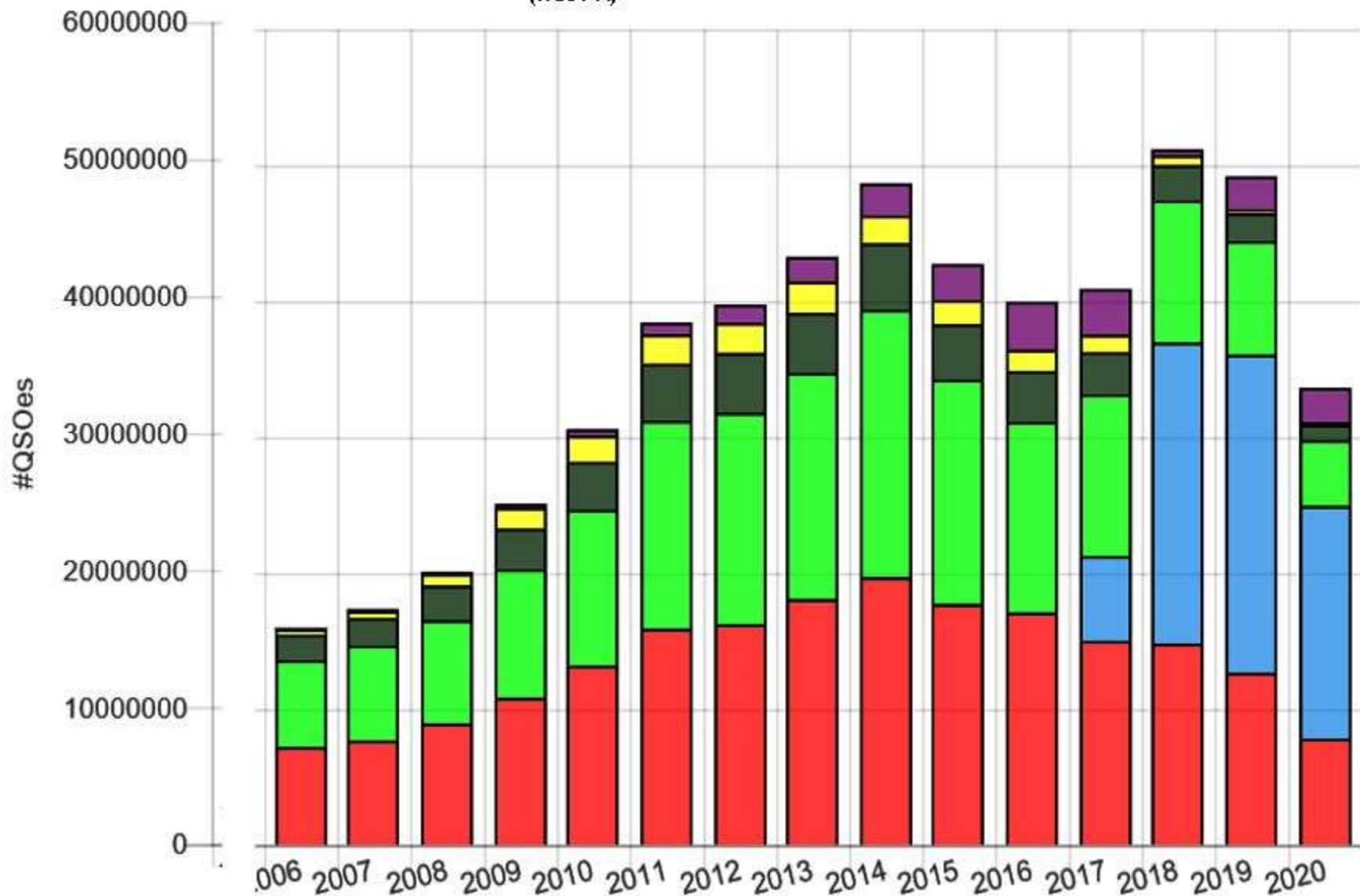
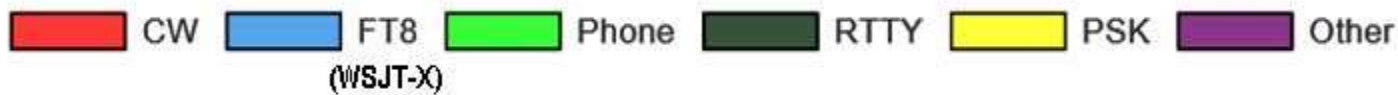
Portoriko, kráter Arecibo

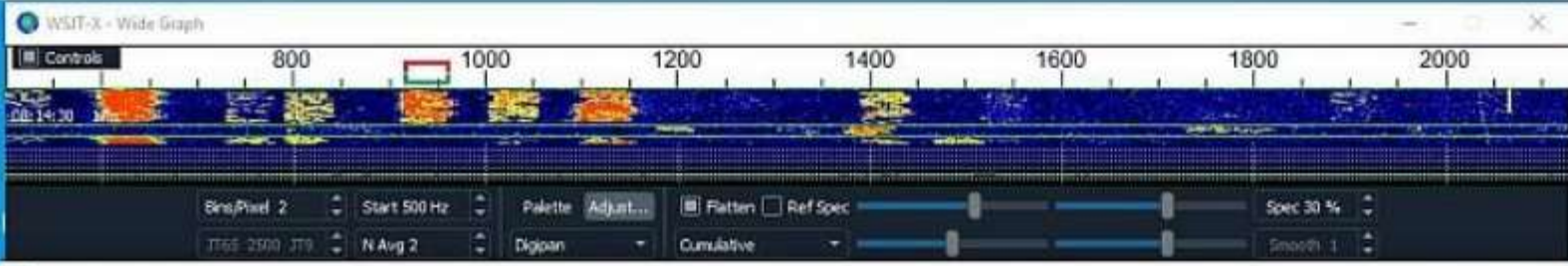


Joe Taylor, K1JT; Stan Franke, K9AN and Bill Somerville, G4WJS developed a new mode for WSJT-X, FT8 (Frankie-Taylor design, 8 FSK modulation)

[Data](#) z Club Logu, [grafika](#) LA8AJA







WSJT-X v2.2.2 by K1UT, G4WIS, and K9AN

File Configurations View Made Decode Save Tools Help

Band Activity					Rx Frequency				
UTC	dB	DT	Freq	Message	UTC	dB	DT	Freq	Message
081345	-5	0.1	1176	OK2PAD GVBHI R-06	080830	0	0.0	1394	OK2PAD UR5ZD RR73
081345	-18	0.0	1972	CQ SP9KR J090 Poland	080845	Tx		916	UR5ZD OK2PAD 73
081345	-15	0.0	2088	SP6AXW SA3CFY RR73	080900	2	-0.1	1394	SP6AXW UR5ZD -04
081345	-18	0.1	1306	CQ DX DL2IAU JN49 Germany	080930	-1	0.0	1394	SP6AXW UR5ZD -04
081345	-18	0.7	1782	CQ MI0JLC I064 N. Ireland	080945	-12	0.1	1580	CQ LY1CZ K014 LIT
081345	-22	0.1	1882	CQ UT7IN KN88 Ukraine	081002	Tx		916	LY1CZ OK2PAD JN89
081400	15	0.6	606	CQ EA3A JN01 Spain	081015	-10	0.1	1580	CQ LY1CZ K014 LIT
081400	3	0.4	1103	LY1CZ G0BLB R+14	081030	Tx		916	LY1CZ OK2PAD JN89
081400	-7	-0.1	1394	CQ UR5ZD KN58 Ukraine	081045	-16	0.1	1579	OK2PAD LY1CZ -17
081400	-7	0.2	501	LY1CZ IK2UCK JN45	081100	Tx		916	LY1CZ OK2PAD R-16
081400	-5	0.1	1470	CQ OZ7DK J065 Denmark	081115	-16	0.1	1579	OK2PAD LY1CZ -17
081400	-11	0.1	1007	CQ JA G0JTB I082 England	081130	Tx		916	LY1CZ OK2PAD R-16
081400	-10	0.2	733	CQ IK8I00 JH88 Italy	081145	-4	0.1	1579	CQ LY1CZ K014 LIT
081430	4	0.1	916	OK2PAD OZ7DK -14	081200	Tx		916	LY1CZ OK2PAD R-16
081430	7	0.5	1103	LY1CZ G0BLB 73	081215	-7	0.1	1732	OK2PAD LY1CZ RR73
081430	13	0.6	606	DF9ML EA3A +23	081230	Tx		916	LY1CZ OK2PAD 73
081430	-6	-0.1	1394	CQ UR5ZD KN58 Ukraine	081245	-21	0.1	1732	CQ LY1CZ K014 LIT
081430	-8	-0.0	793	DL5ZM EW8DU K052	081315	-14	0.1	1732	CQ LY1CZ K014 LIT
081430	-4	0.2	1007	CQ JA G0JTB I082 England	081345	-19	0.1	1732	G0BLB LY1CZ +15
081430	-9	0.2	733	CQ IK8I00 JH88 Italy	081400	-5	0.1	1470	CQ OZ7DK J065 Denmark
081430	-12	0.4	501	LY1CZ IK2UCK JN45	081418	Tx		916	OZ7DK OK2PAD JN89
081430	-21	0.1	1882	CQ UT7IN KN88 Ukraine	081430	4	0.1	916	OK2PAD OZ7DK -14
					081445	Tx		916	OZ7DK OK2PAD R+04

CQ only Log QSO

17m ● 18,100 000

Tx event/list Hold Tx Freq

Tx 916 Hz Rx 916 Hz Auto Seq Call list

DX Call: OZ7DK DX Grid: J065 Az: 342 747 km

2020 srp 07 08:14:59

Next Now

OZ7DK OK2PAD JN89	<input type="radio"/>	Tx 1
OZ7DK OK2PAD +04	<input type="radio"/>	Tx 2
OZ7DK OK2PAD R+04	<input checked="" type="radio"/>	Tx 3
OZ7DK OK2PAD RR73	<input type="radio"/>	Tx 4
OZ7DK OK2PAD 73	<input type="radio"/>	Tx 5
CQ OK2PAD JN89	<input type="radio"/>	Tx 6

Logger2

Scouber Nastroje Zobrazeni

Logbook page (C:\LOGS)

DATUM	TIME	Call
03.08.2020	16:04	DL35SDR
03.08.2020	16:26	SV35FH
06.08.2020	12:41	DJ0ADM
06.08.2020	12:44	DN4MDW
07.08.2020	03:42	WG0Y
07.08.2020	07:29	UR5YVK
07.08.2020	07:44	HA1ZW
07.08.2020	07:58	DK0KG
07.08.2020	08:03	SN100PB
07.08.2020	08:07	UR5ZD
07.08.2020	08:10	LY1CZ



Rok 2020 - TU5PCT – Pobřeží slonoviny





Contest CQWW SSB 2016 z Maroka - CN2R





Příprava
Davida
Berana
OK6DJ
& spol.
před
odjezdem.





Sbaleno, odlétáme.

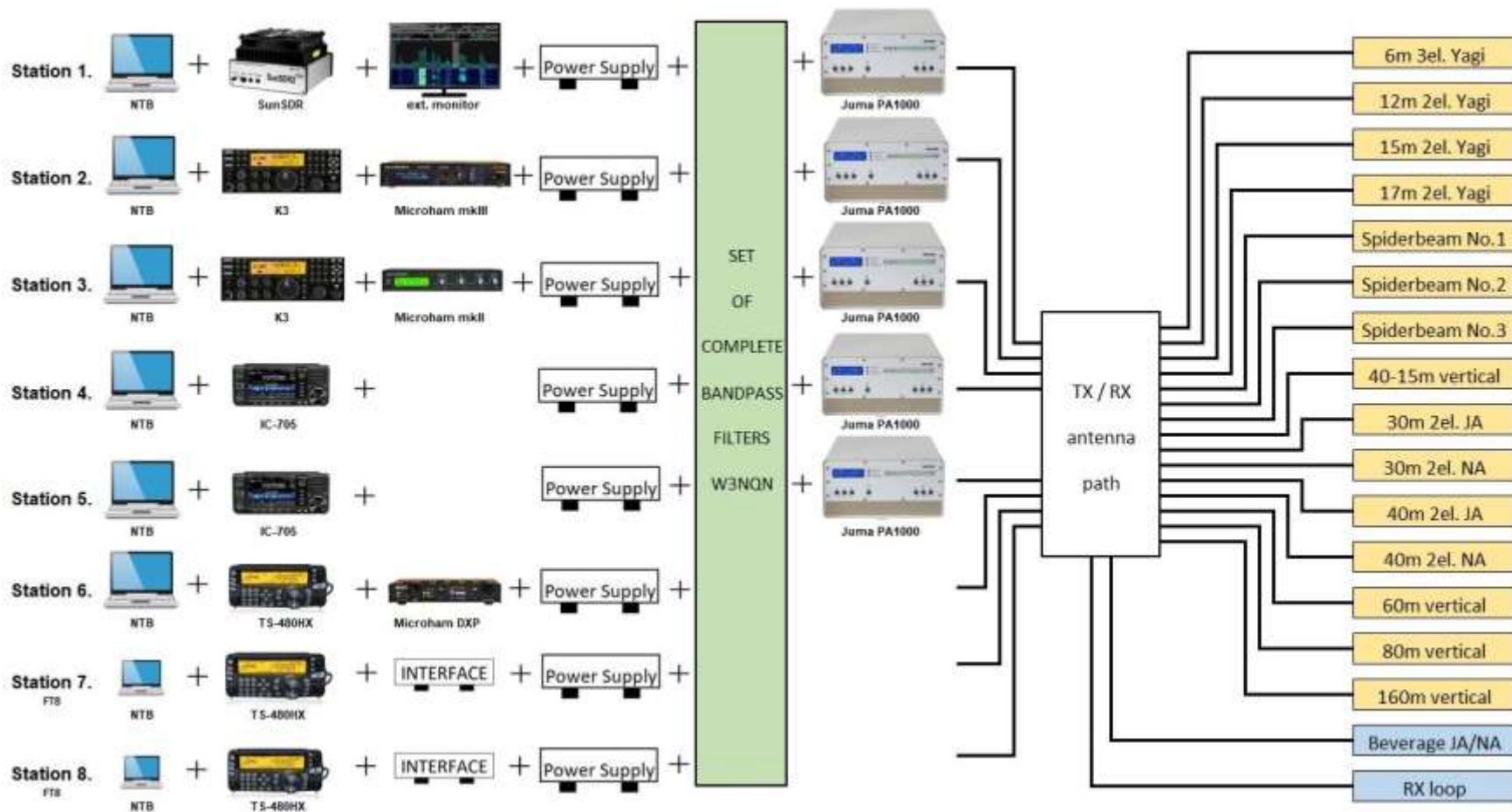


Montáž směrové antény na ostrově sv. Tomáše





S90K – ostrov sv. Tomáše



Staniční deník na internetu.



S9OK online log

CLUBLOG		Worked	Confirmed	Log Search	
S9OK		155		<input type="text"/>	Go
DX Call	Date	Band	Mode	Entity	
JE8CLT	2021-10-15	12M	CW	JAPAN	
EA6AJ	2021-10-15	30M	Data	BALEARIC ISLANDS	
VK5CE	2021-10-15	20M	CW	AUSTRALIA	
OK1UBB	2021-10-15	30M	Data	CZECH REPUBLIC	
SV1JMC	2021-10-15	12M	CW	GREECE	

Czech DXpedition group link on Facebook

Sponsors 2021

Staniční deník na Clublogu.

CLUBLOG
S90K

11:18:18

100864 QSOs

Rate: 9.5 QSOs/min

	160	80	60	40	30	20	17	15	12	10	6	4	2	70
Phone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CW	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Data	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

30:	12M	24.923	FT4	ON7KEC
29:	12M	24.923	FT4	OK1UDZ
28:	17M	18.108	FT4	OH5D
27:	15M	21.080	FT4	JH1SOD
26:	12M	24.923	FT4	RW3DW
25:	15M	21.080	FT4	JH1FYC
24:	17M	18.108	FT4	JA1ILA
23:	10M	28.080	FT4	OK1MY
22:	12M	24.923	FT4	PY2WAS
21:	17M	18.108	FT4	OH5D
20:	15M	21.080	FT4	JP7EIP
19:	10M	28.080	FT4	DJ5AM
18:	17M	18.108	FT4	DL9GTB
17:	10M	28.080	FT4	RK4FF
16:	17M	18.108	FT4	US0YA
15:	17M	18.108	FT4	OE1EQW
14:	15M	21.080	FT4	JA7RRU
13:	17M	18.108	FT4	RA3LAL
12:	10M	28.080	FT4	LA9DAA
11:	12M	24.923	FT4	F5LVR
10:	17M	18.108	FT4	OH8SR
09:	10M	28.080	FT4	HB9FMT
08:	15M	21.080	FT4	EA4EER
07:	17M	18.108	FT4	IW1DQS
06:	10M	28.080	FT4	DL9GTB
05:	15M	21.080	FT4	JR7IWL
04:	17M	18.108	FT4	R9SY
03:	15M	21.080	FT4	JH7IMX
02:	17M	18.108	FT4	DJ5AM
01:	17M	18.108	FT4	OE1EQW

First QSO: 2021-10-03 00:00


Last QSO: < 10 mins

Map pins: 30 Update rate: 3s
Heartbeat: 11:18:17 ♥

Log Search

DX Spots

Live Stream by Club Log
[Documentation](#) | [Wrong locator?](#)



**Rádiová komunikace
odrazem od povrchu Měsíce (EME)
na MW kmitočtech**

Ing. Vladimír Mašek, Český radiokub – radioklub OK1KIR

EME (Earth-Moon-Earth) komunikace při malých anténách obou stanic.

Platí radarová rovnice:

$$P_{RX} = P_{TX} * G_{TX} * \sigma_0 * G_{RX} * \Lambda^2 / ((4\pi)^3 r^4),$$

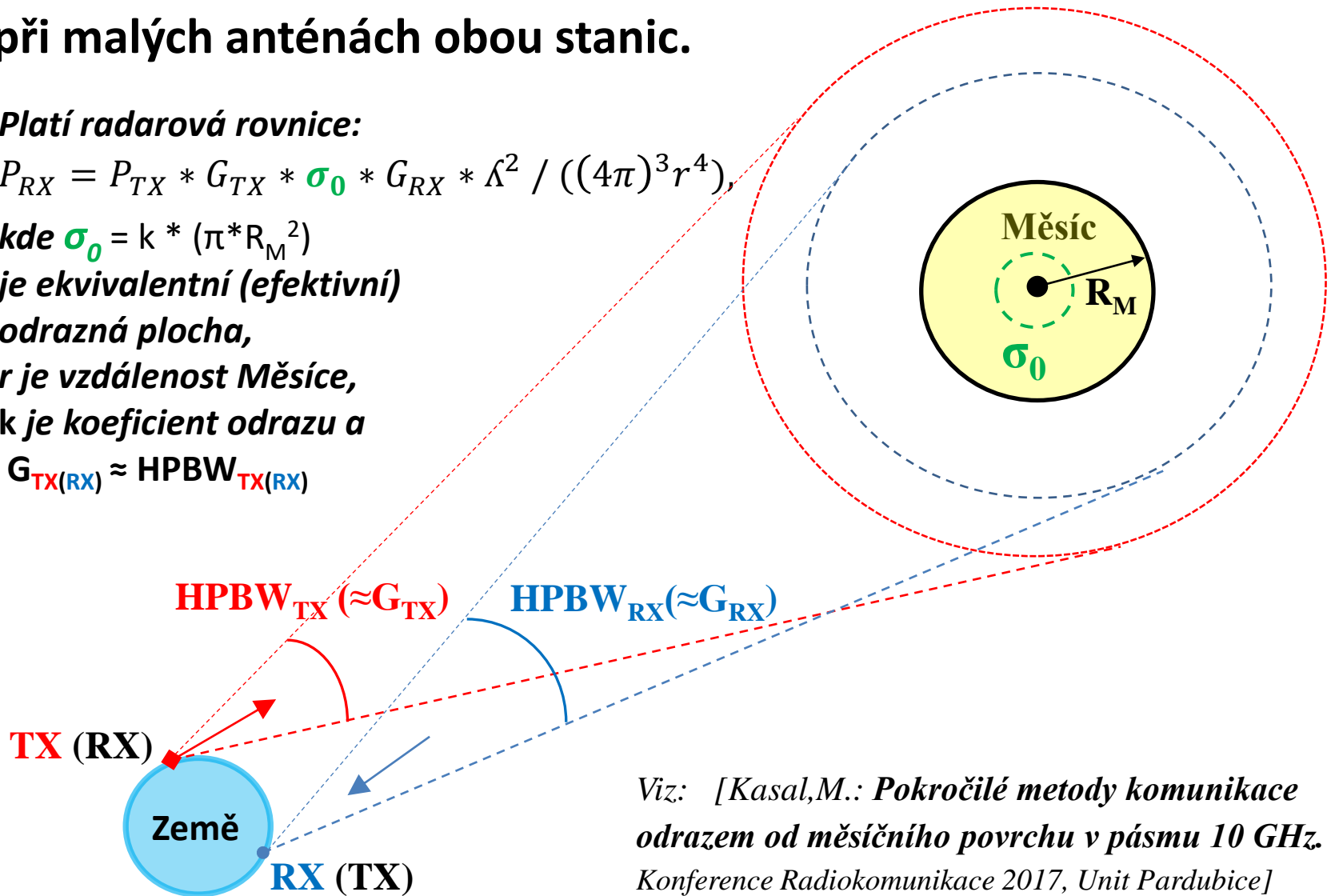
kde $\sigma_0 = k * (\pi * R_M^2)$

je ekvivalentní (efektivní) odrazná plocha,

r je vzdálenost Měsíce,

k je koeficient odrazu a

$$G_{TX(RX)} \approx \text{HPBW}_{TX(RX)}$$



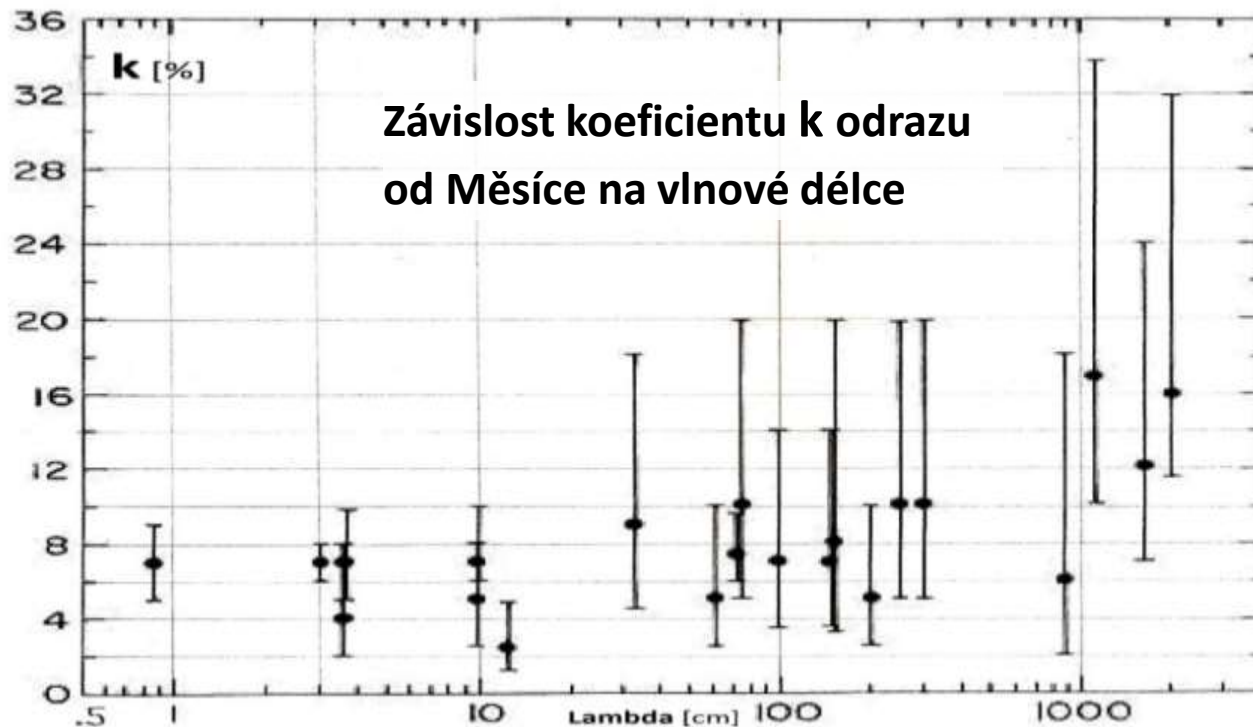
Viz: [Kasal, M.: Pokročilé metody komunikace odrazem od měsíčního povrchu v pásmu 10 GHz. Konference Radiokomunikace 2017, Unit Pardubice]

Veličiny v radarové rovnici - koeficient k odrazu

➔ Koeficient k je v podstatě dynamický faktor, závislý především na kmitočtu.

Je odvozován z výsledků mnoha radarových měření, prováděných v minulých desítkách let, ale byly vypracovány i modely měsíčního povrchu.

Jak je vidět z obrázku, výsledky jednotlivých měření mají poměrně značný rozptyl.

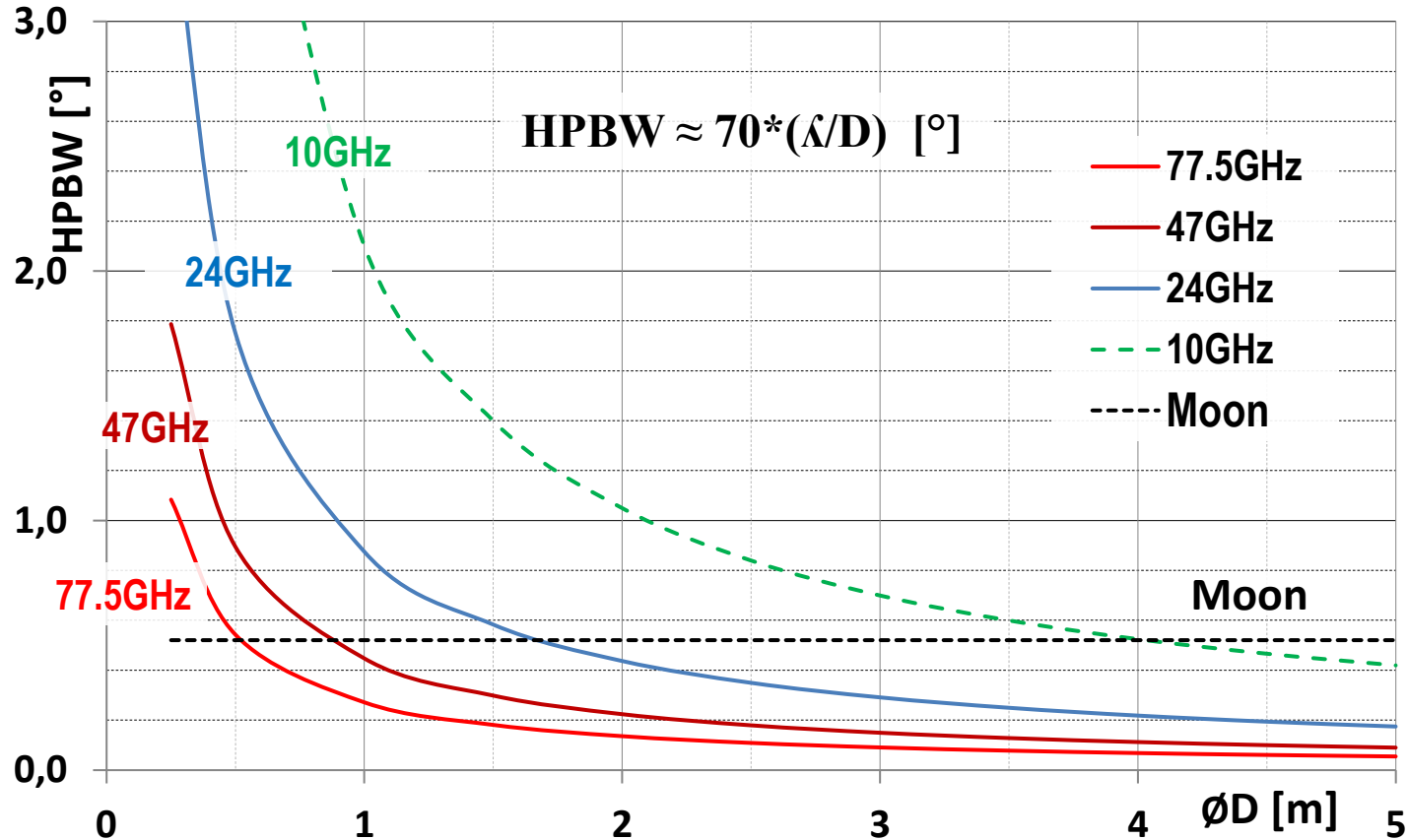


J.V.Evans: Radar Studies of the Moon. Lincoln Laboratory, MIT, Massachusetts]

Šířka svazku (HPBW) parabolické antény o $\varnothing D$ vs kmitočet

Grafy ukazují, že i relativně malé antény mají na vyšších MW pásmech šířku svazku HPBW (-3dB) menší než úhel Měsíce.

➔ Vliv na komunikaci EME ?



Průměrná úhlová velikost Měsíce $0,52^\circ$ ($0,56^\circ$ v perigeu, $0,49^\circ$ v apogeu)

EME (Earth-Moon-Earth) komunikace při velkých anténách obou stanic.

*(pro ideální vyzařovací diagramy obou antén,
koncentrické navzájem a vůči středu Měsíce)*

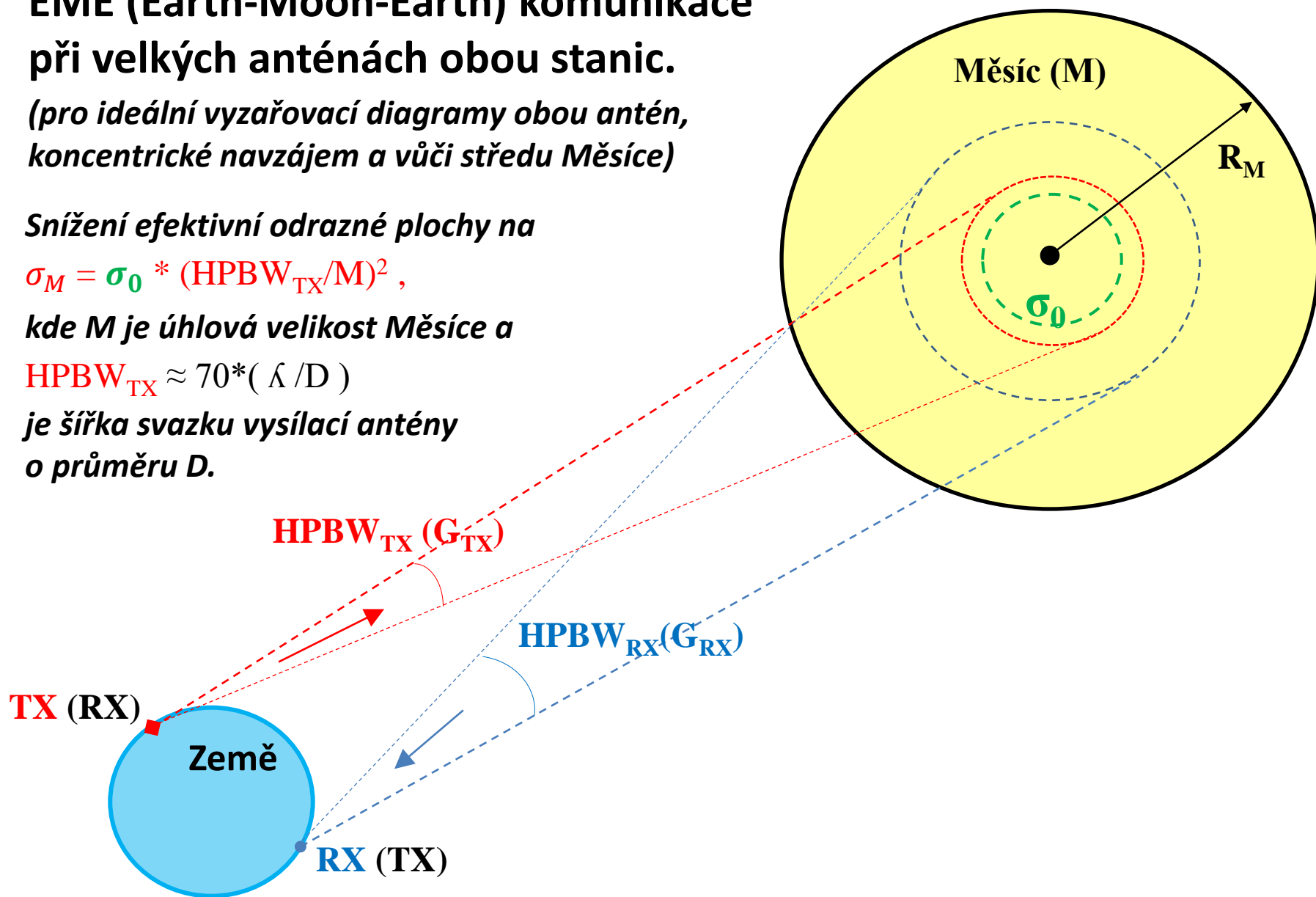
Snížení efektivní odrazné plochy na

$$\sigma_M = \sigma_0 * (\text{HPBW}_{\text{TX}}/M)^2 ,$$

kde M je úhlová velikost Měsíce a

$$\text{HPBW}_{\text{TX}} \approx 70 * (\lambda / D)$$

je šířka svazku vysílací antény
o průměru D .



Zisk parabolické antény vs šířka (HPBW) a tvar svazku

Izotropní zisk G_i dobře ozářené parabolické antény o průměru D (při η ozáření $\approx 66\%$)

$$G_i \approx 6.5 \cdot (D/\lambda)^2, \text{ resp. } G_i \approx 6.5 \cdot (70/\text{HPBW})^2 \quad [-; m; m; ^\circ]$$

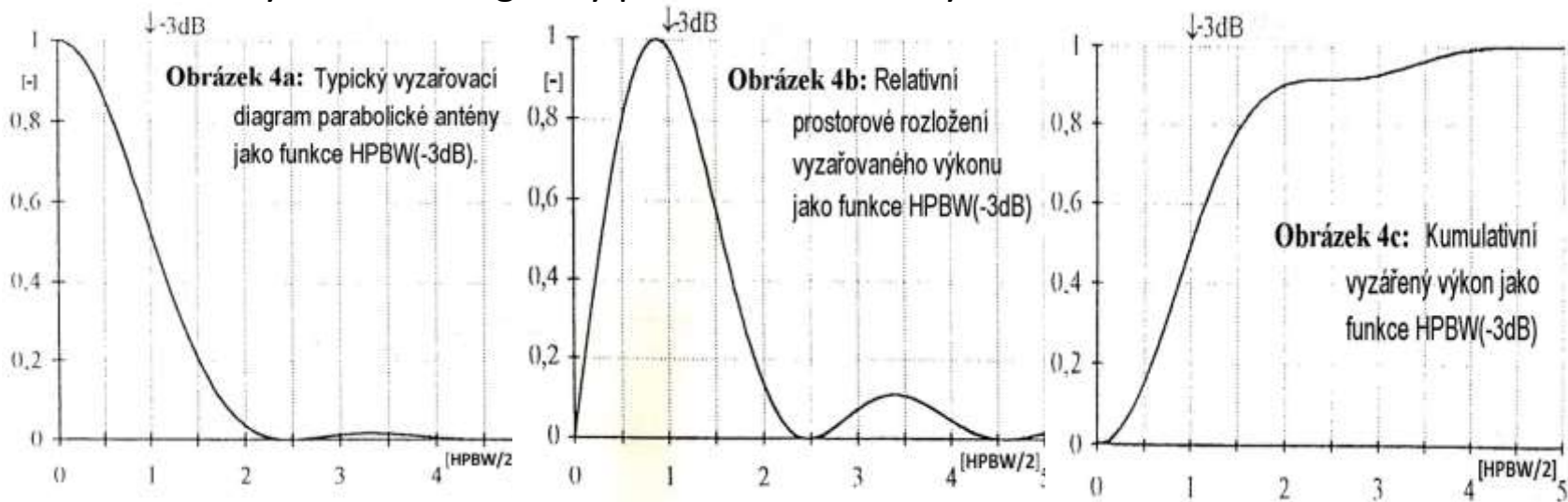
Zisk vůči dipólu

$$G_d \approx G_i - 2,13 \text{ [dB]}, \text{ tj. } G_d \approx 4 \cdot (D/\lambda)^2 \quad [-; m; m]$$

➔ Optimalizace ozáření **RX** (šum antény) vs **TX** (zisk antény)!

➔ **Přesnost tvaru** antény → pokles zisku na MW

Praktické vyzářovací diagramy parabolické antény:



Fehrenbach, J., DJ7FJ: 10GHz-EME-Grundlagen und Erkenntnisse. UKW-Berichte 1&2/1995

MW EME komunikace pro ideální vyzařovací diagramy $< M$

1. $HPBW_{TX} < HPBW_{RX} < M$, ve stručnosti $TX < RX < M$.

Do radarové rovnice místo σ_0 dosadíme $\sigma_{TX} = \sigma_0 * (HPBW_{TX} / M)^2$:

$$P_{RX} = (P_{TX} * G_{TX} * \sigma_{TX} * G_{RX} * \Lambda^2) / ((4\pi)^3 r^4).$$

Označíme-li $G_M = 6.5 * (70/M)^2$ jako zdánlivý „zisk“ Měsíce, dostaneme po úpravě

$$P_{RX} = (P_{TX} * G_M * \sigma_0 * G_{RX} * \Lambda^2) / ((4\pi)^3 r^4).$$

Vidíme, že v případě $TX < RX < M$ lze v radarové rovnici zisk G_{TX} nahradit zdánlivým ziskem G_M úhlu M Měsíce.

→ Přijímaný výkon bude **růst se** ziskem G_{RX} přijímací antény v podstatě bez ohledu na případné další zvětšování TX antény, dokud se $HPBW_{RX}$ nepřiblíží $HPBW_{TX}$.

2. $HPBW_{RX} < HPBW_{TX} < M$, ve stručnosti $RX < TX < M$.

Do radarové rovnice místo σ_0 dosadíme $\sigma_{RX} = \sigma_0 * (HPBW_{RX} / M)^2$:

$$P_{RX} = (P_{TX} * G_{TX} * \sigma_{RX} * G_{RX} * \Lambda^2) / ((4\pi)^3 r^4).$$

Zvolíme opět $G_M = 6.5 * (70/M)^2$ jako zdánlivý „zisk“ Měsíce a po úpravě dostaneme

$$P_{RX} = (P_{TX} * G_M * \sigma_0 * G_{TX} * \Lambda^2) / ((4\pi)^3 r^4).$$

Vidíme, že v případě $RX < TX < M$ lze v radarové rovnici zisk G_{RX} nahradit zdánlivým ziskem G_M úhlu M Měsíce.

→ Přijímaný výkon bude **růst se** ziskem G_{TX} vysílací antény v podstatě bez ohledu na případné další zvětšování RX antény, dokud se $HPBW_{TX}$ nepřiblíží $HPBW_{RX}$.

MW EME komunikace pro ideální vyzařovací diagramy < M

3. $HPBWRX = HPBW_{TX}$, ve stručnosti $RX=TX$.

Jedná se zejména o případ vlastního odrazu („own echo“), kdy je použita tatáž anténa pro TX i RX a tedy $\sigma_{TX} = \sigma_{RX}$. Označíme-li $G_{TX} = G_{RX} = G$, bude

$$P_{RX} = (P_{TX} * G_M * \sigma_0 * G * \Lambda^2) / ((4\pi)^3 r^4).$$

→ **Přijímaný signál** (úroveň vlastních odrazů) bude růst s průměrem antény bez ohledu na poměr úhlové šířky anténního svazku vůči úhlové velikosti M Měsíce, jsou-li TX a RX svazky **koncentrické** (pozor na samostatný TX a RX ozařovač).

Reálné vyzařovací diagramy parabolických antén ([Obr.4 výše](#)) se ale výrazně liší od idealizovaného kuželovitého svazku o šířce HPBW (-3dB).

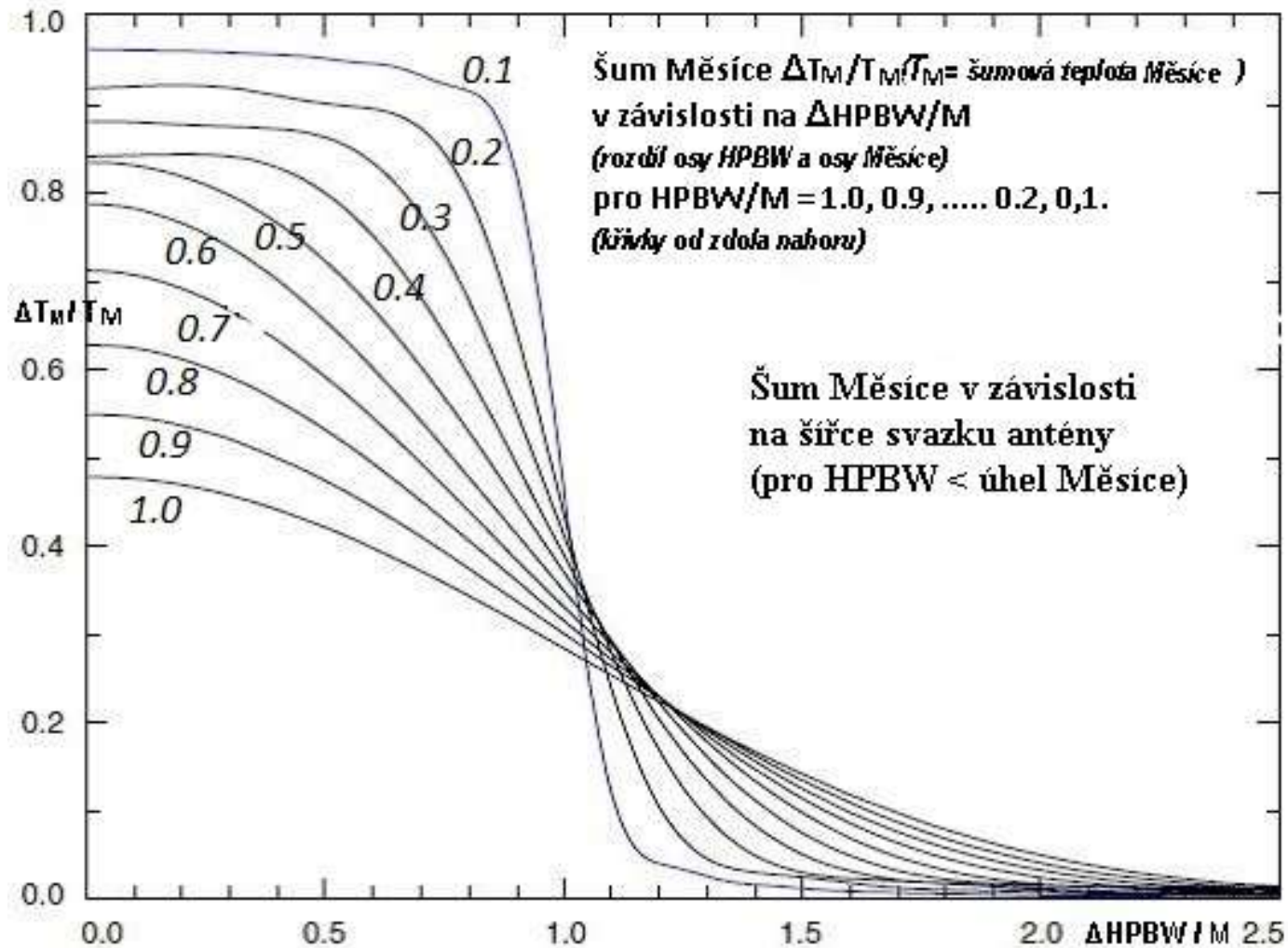
Proto budou přechody mezi uvedenými případy pozvolné a také přijímaný výkon P_{RX} bude tím nižší, čím více se budou reálné svazky antén lišit od ideálního kužele.

Vliv reálného tvaru vyzařovacích diagramů lze demonstrovat na příjmu šumu Měsíce nebo Slunce, které jsou na rozdíl od antén ostře ohraničenými zdroji šumu.

Šum Měsíce logicky slouží jako indikátor správnosti nasměrování antény na Měsíc, snažíme se o jeho maximalizaci, ačkoliv je zároveň při EME komunikaci významným limitujícím faktorem.

→ **Šum Měsíce vs maximum signálu ?**

Šum Měsíce, přijímaný parabolickou anténou s $HPBW \leq M$



[C.Ho,A.Kantak,S.Slobin,D.Morabito: Link Analysis of a Telecommunication System on Earth, in Geostationary Orbit, and at the Moon: Atmospheric Attenuation and Noise Temperature Effects. IPN Progress Report 42-168, 2007.]

Příjem šumu Měsíce reálnou anténou na MW pásmech

Vezměme např. **parabolickou anténu** o průměru **1.7m**.

Na **24GHz** bude **HPBW** $\approx 0.5^\circ$ a tedy $\text{HPBW}/M = 0.5^\circ/0.5^\circ = 1.0$.

Při nasměrování na Měsíc ($\Delta\text{HPBW}/M = 0$) bude z [grafu](#) $\Delta T_M / T_M = 0.48$ (**-3.2dB**).

- Anténa má **HPBW=M**, ale bude ze šumu Měsíce $T_M \approx 240\text{K}$ přijímat jen $\Delta T_M \approx 116\text{K}$.
Při šumové teplotě přijímacího systému $T_S \approx 200\text{K}$ změříme zvýšení šumu „jen“
o $\approx 2.0\text{dB}$ oproti okolní obloze. Proč „jen“ ?

Kdyby anténa měla **ideální kuželový svazek** s $\text{HPBW} \approx 0.5^\circ$, „viděla“ by v celém svazku $T_M \approx 240\text{K}$ a změřili bychom zvýšení šumu až o $\approx 3.4\text{dB}$ oproti okolní obloze !

Větší anténa, např. **4.5m**, bude mít **HPBW** $\approx 0.2^\circ$, $\text{HPBW}/M = 0.2^\circ/0.5^\circ = 0.4$.

Z [grafu](#) odečteme $\Delta T_M / T_M = 0.84$ (**-0.76dB**) a pro $T_M \approx 240\text{K}$ bude $\Delta T_M \approx 200\text{K}$.

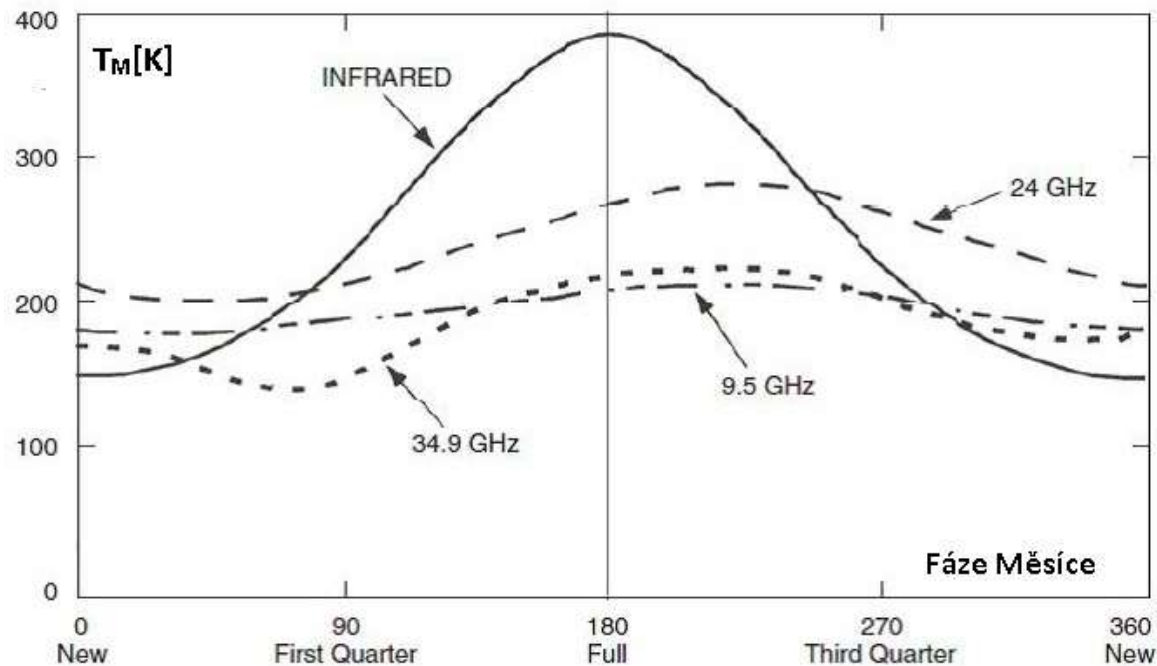
- Anténa bude přijímat ze šumu Měsíce již 200K a při $T_S \approx 200\text{K}$ změříme zvýšení šumu již o $\approx 3.0\text{dB}$ vůči okolní obloze oproti teoretickému maximu $\approx 3.4\text{dB}$.
- Pro **maximalizaci šumu Měsíce** musíme tedy zmenšit **HPBW** reálné antény na **méně než polovinu úhlu M** Měsíce, tedy na **méně než 0.25°** !
- Při **HPBW < M/2** ovšem dochází ke „**zploštění**“ maxima šumu Měsíce a tedy k nežádoucímu zhoršení přesnosti směřování na střed Měsíce.

Šum Měsíce jako parametr kvality EME příjmu

→ Šumová teplota (šum) Měsíce se v čase mění a je závislá nejen na kmitočtu, ale i na datu měření podle aktuální fáze Měsíce – viz obrázek.

→ Maximum šumu na MW pásmech nastává několik dní po úplňku.

→ **Vzájemné i absolutní porovnávání kvality příjmu** jednotlivých EME stanic na MW pásmech dále komplikují především parametry konkrétní EME trasy v okamžiku měření (*útlum a šum atmosféry, vlhkost vzduchu, interference aj.*).



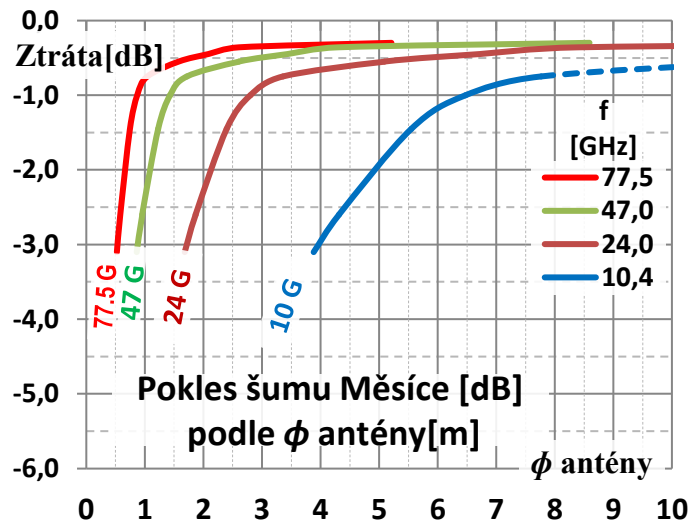
[J.V.Evans: Radar Studies of the Moon. Lincoln Laboratory, MIT, Massachussetts]

MW EME a velikost antény

Co největší anténa ? ANO či NE ?

Mezní citlivost EME příjmu na MW je omezena šumem Měsíce a celkovou šumovou teplotou přijímacího systému (*ta je proměnná podle na nasměrování antény a podle momentálních atmosférických podmínek a případné interference*).

→ Maximalizace poměru šumu Měsíce vůči šumu oblohy na daném MW pásmu určuje potřebnou velikost antény. Lze říci, že čím vyšší kmitočet, tím stačí menší anténa.



Smysluplné HPBW, resp. ϕ parabolické antény						
Úhel Měsíce M [°]	0,52			Chyba tvaru paraboly [Ruhe: $\Delta G \approx -686 * (\Delta r_{ms} / \lambda)^2$]		
Max. HPBW/M	0,50	0,33	0,25			
Loss [dB]	-0,75	-0,55	-0,45			
HPBW _{-3dB} [°]	0,26	0,17	0,13	Δr_{ms} [mm]	Δr_{ms} [mm]	Δr_{ms} [mm]
BW _{-1dB} [°]	0,15	0,10	0,07	0,20	0,40	0,50
f [GHz]	ϕ_{Ant} [m]	ϕ_{Ant} [m]	ϕ_{Ant} [m]	ΔG_{ANT} [dB]	ΔG_{ANT} [dB]	ΔG_{ANT} [dB]
10,4	7,8	11,8	15,5	0,0	-0,1	-0,2
24,0	3,4	5,1	6,7	-0,2	-0,7	-1,1
47,0	1,7	2,6	3,4	-0,7	-2,7	-4,2
77,5	1,0	1,6	2,1	-1,8	-7,3	-11,4

→ **Optimum:**

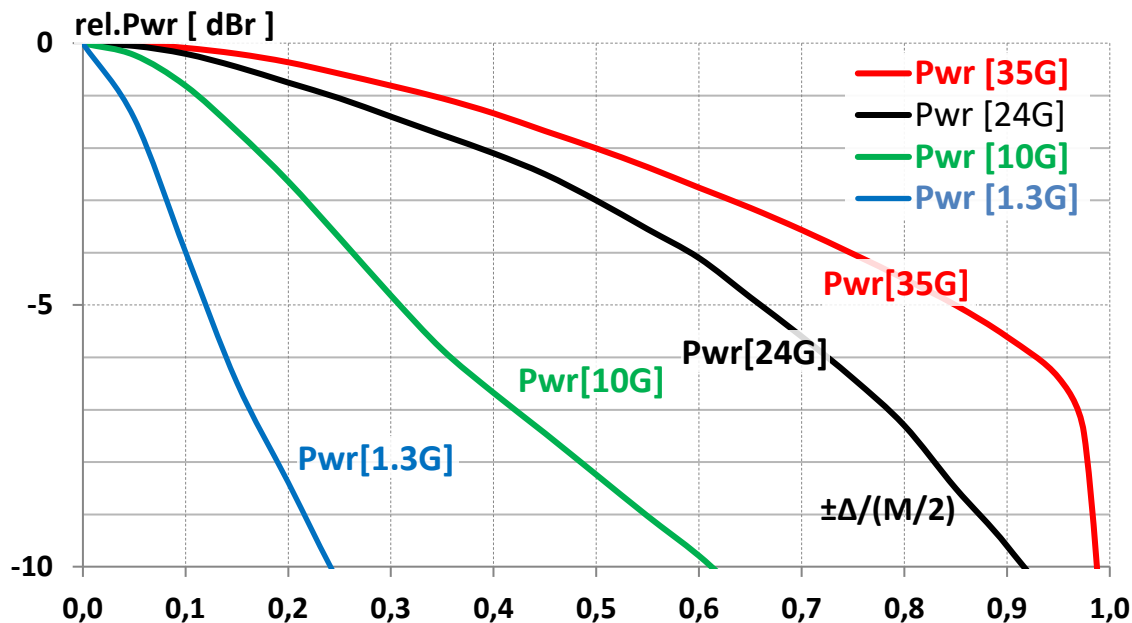
ϕ RX antény \geq ϕ TX antény !

→ **Pozor na směřování a**

přesnost tvaru u větších antén !

Úroveň EME odrazu - relativní rozložení na ploše Měsíce

→ Závislost výkonu odrazu na odchylce $\pm\Delta/(M/2)$ od středu Měsíce



ukazuje na **MW** pásmech podstatně **pomalejší pokles** než na nižších kmitočtech. To zejména na vyšších MW pásmech snižuje negativní vliv nepřesnosti směřování.

→ **Přesnost směřování** ($<$) $< \pm (\text{HPBW}/3)$ pro ztrátu $< 1\text{dB}$ (pro vlastní odraz) !

Totéž platí pro celkovou vůli v převodech a odchylku roviny Az a osy El !

Např. u antény o $\varnothing 1.7\text{m}$ je $\text{HPBW} \approx 0.5^\circ$ → přesnost směřování $< \pm 0.15^\circ$!

→ **Důsledky nepřesnosti směřování ?**

Pohyb Měsíce a přesnost směřování

- ➔ **Měsíc** se na obloze pohybuje v rovině ekliptiky (\pm deklinace) s úhlovou rychlostí $\approx 15^\circ/\text{hod}$, tj. $\approx 0.25^\circ/\text{min}$.
- ➔ **Sledování Měsíce:** Požadavek na přesnost směřování (\angle) $< \pm (\text{HPBW}/3)$!
Anténa \varnothing 1.7m (HPBW $\approx 0.5^\circ/24\text{GHz}$) \rightarrow korekce polohy nejméně každých < 40 sec !
Anténa \varnothing 4.5m (HPBW $\approx 0.2^\circ/24\text{GHz}$) \rightarrow korekce každých < 15 sec !
 - ➔ **Minimalizace vůlí** v převodech **EL** a **Az**
(vítr, překmity - motor \rightarrow *krokové motory?*, ...)
 - ➔ **svislost osy** otáčení Az
 - ➔ **vodorovnost osy** otáčení EL
- ➔ Montáž antény **typicky Az/EL**
výjimečně polární (paralaktická) \rightarrow
1993: OK1KIR první EME CW spojení na 10GHz
(s kruhovou polarizací: TX pravotočivá, pro příjem levotočivá, hodinový úhel polo-automaticky, deklinace a Doppler ručně, kontrola směřování kukátkem aj.)
 $< \text{www.ok1kir.cz} >$



Parametry komunikace EME na MW

Dopplerův jev

Doppler-ův posun kmitočtu ($\Delta f = f \cdot v/c$) na MW pásmech a rychlost jeho změny nabývá na MW extrémních hodnot, na pásmu 78 GHz špičkově až okolo $\pm 200\text{kHz}$ (+ při východu Měsíce, - při západu) a jeho změna až mnoha set kHz/min.

Vlastní EME odraz bude na kmitočtu $f_{RX} = f_{TX} \pm 2 \cdot \Delta f$.

Vzájemný (mutual) EME Doppler je Σ Dopplerů obou EME cest:

$\Delta f = f_1 \cdot (v_1/c) + f_2 \cdot (v_2/c)$, obvykle $f_1 = f_2 = f_{TX}$ a tedy $\Delta f = f \cdot (v_1 + v_2)/c$.

Kompenzace Dopplera (provozní uzus):

f_{TX} tak, aby own echo bylo na F_{RX} , kde slyším protistanici (vzájemný Doppler).

Vysílám-li, ladím RX o vlastní Doppler od f_{TX} .

→ Na MW při ručním ladění je CW velmi náročné, o digi provozu ani nemluvě.

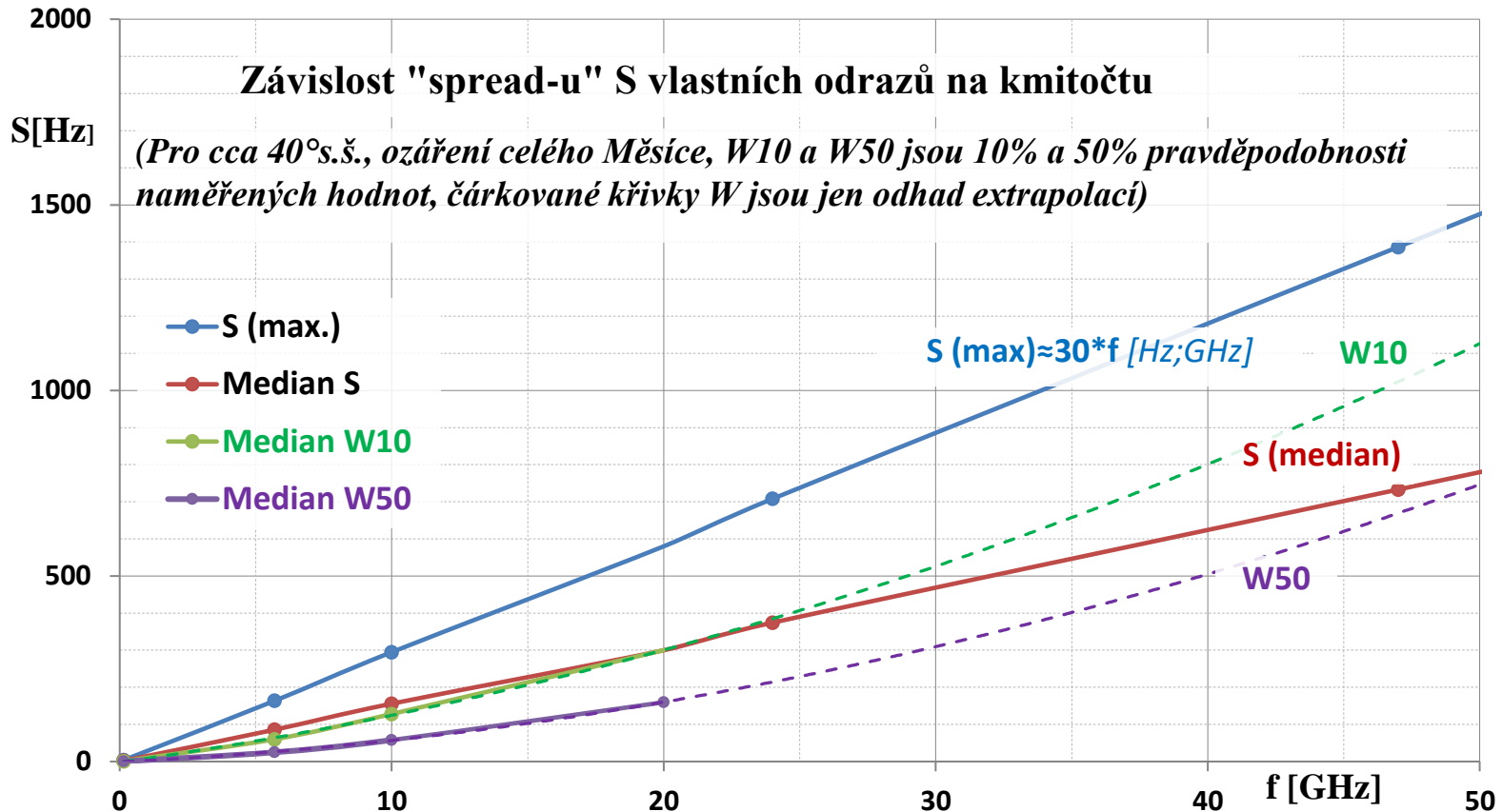
→ Dnešní digi provoz:

WSJT programy umožňují automatickou kompenzaci Dopplera řízením kmitočtu RX-u i TX-u transceivrů přes CAT (*Computer Aided Transceiver*) přes RS232 (*dnes už i Bluetooth*). Problémem je veliká rozmanitost transceivrů různých výrobců a nejednotnost v možnostech jejich ovládání počítačem.

Parametry komunikace EME na MW

Spektrum EME signálu (spread)

→ librace Měsíce, vliv šířky anténního svazku (HPBW)

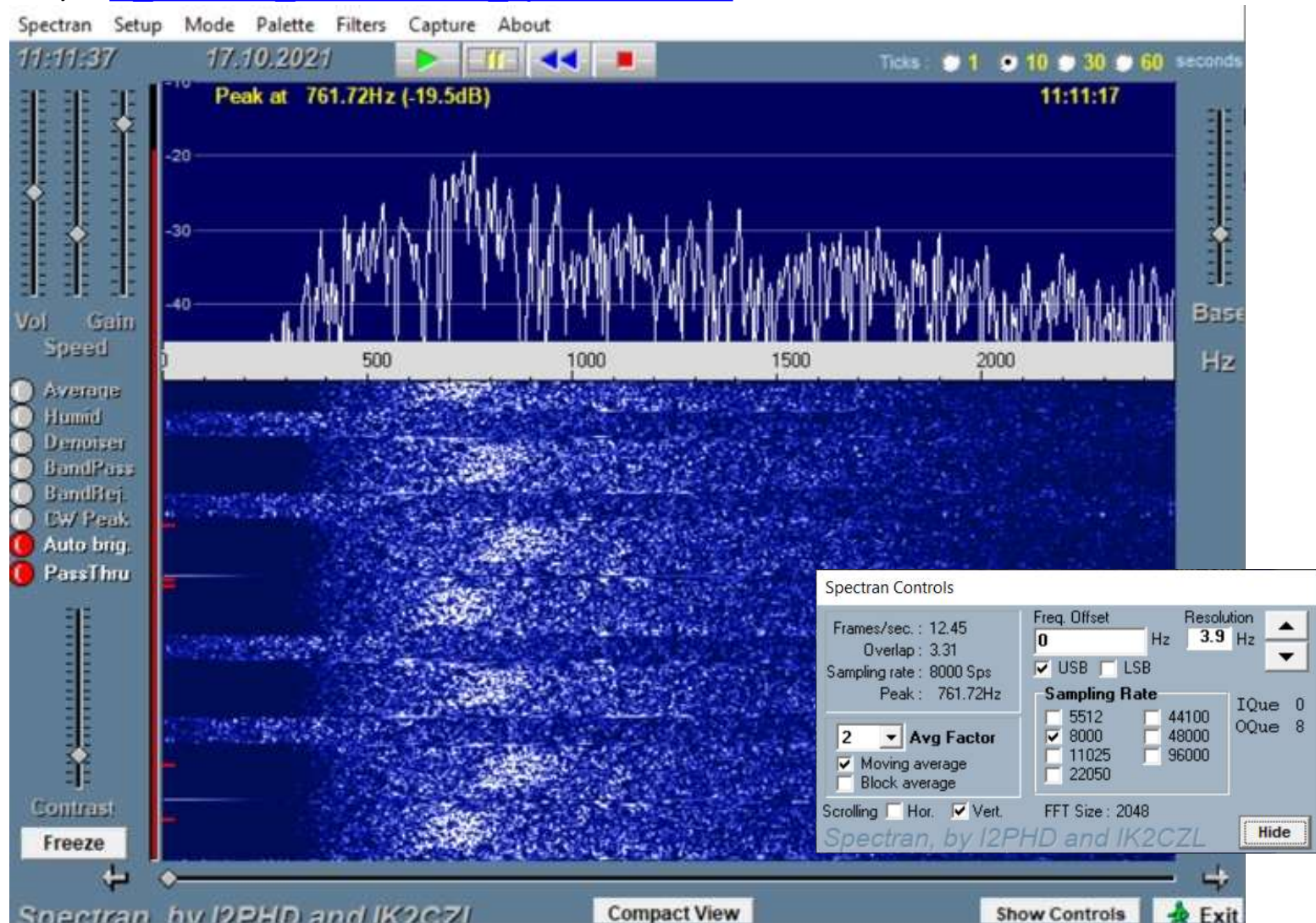


www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/EME2010_K1JT.pdf

Vliv spread-u na EME MW komunikaci

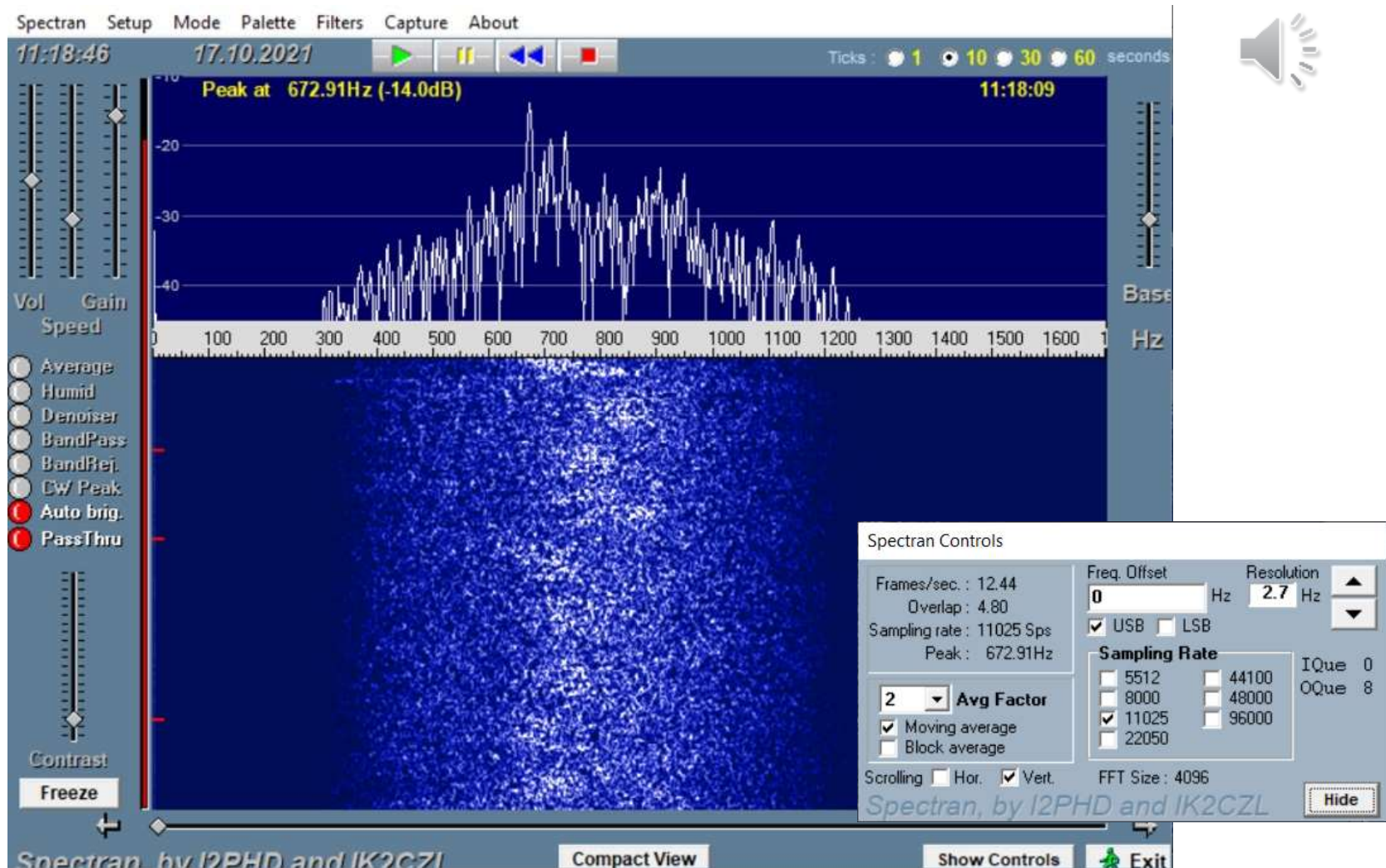


A (3.9Hz) [A OK1KIR echoes 24G spread 300Hz](#)



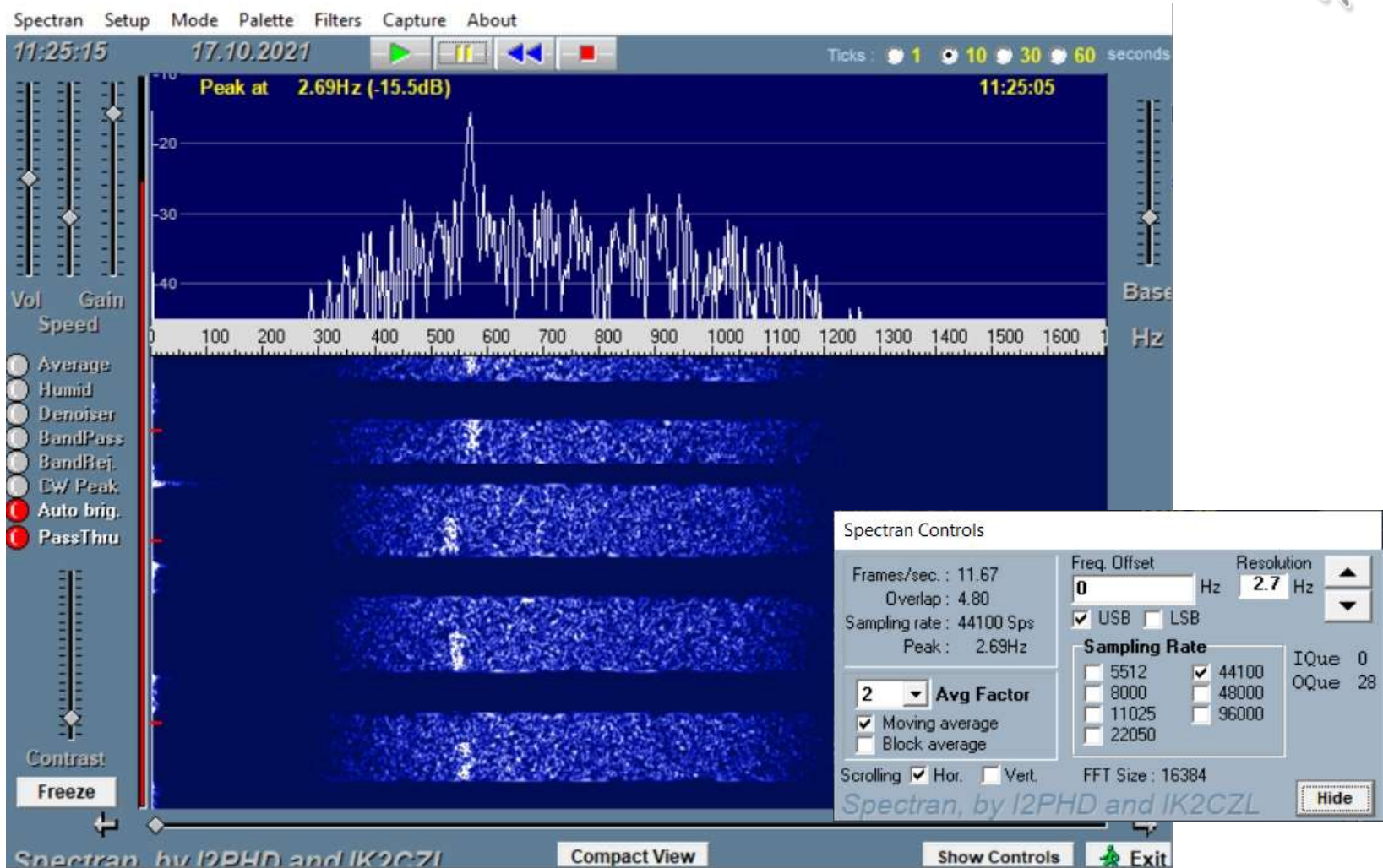
Vliv spread-u na EME MW komunikaci

B (2.7Hz) [B_dk7lj-ok1kir_24G_CW_echo_O-O_15.03.2008_21.43UT_spread_350Hz_1](#)



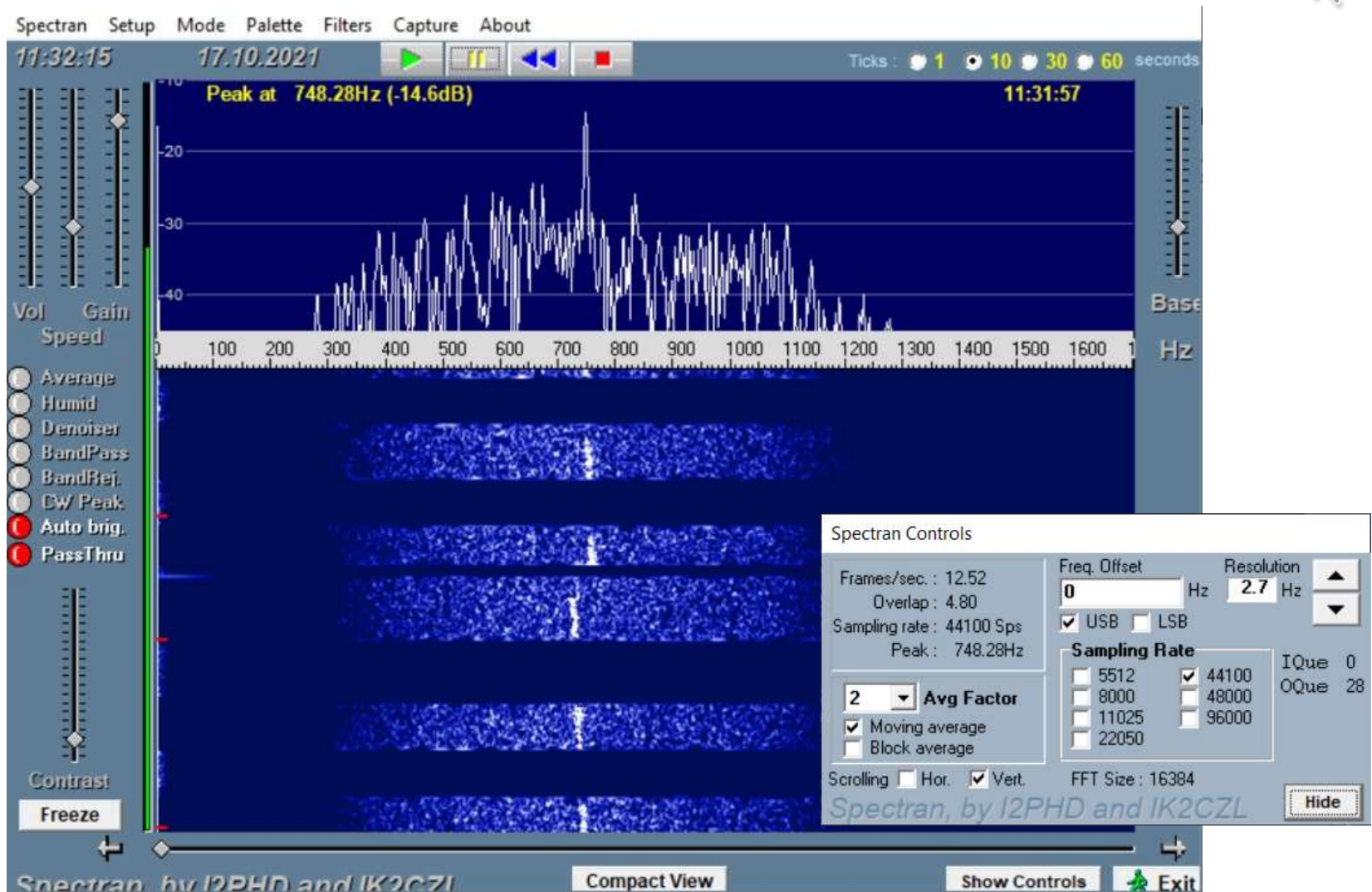
Vliv spread-u na EME MW komunikaci

C (2.7Hz) [C OK1KIR echo 13.05.2011 23.55 UT spread 26 Hz el 11deg LP](#)



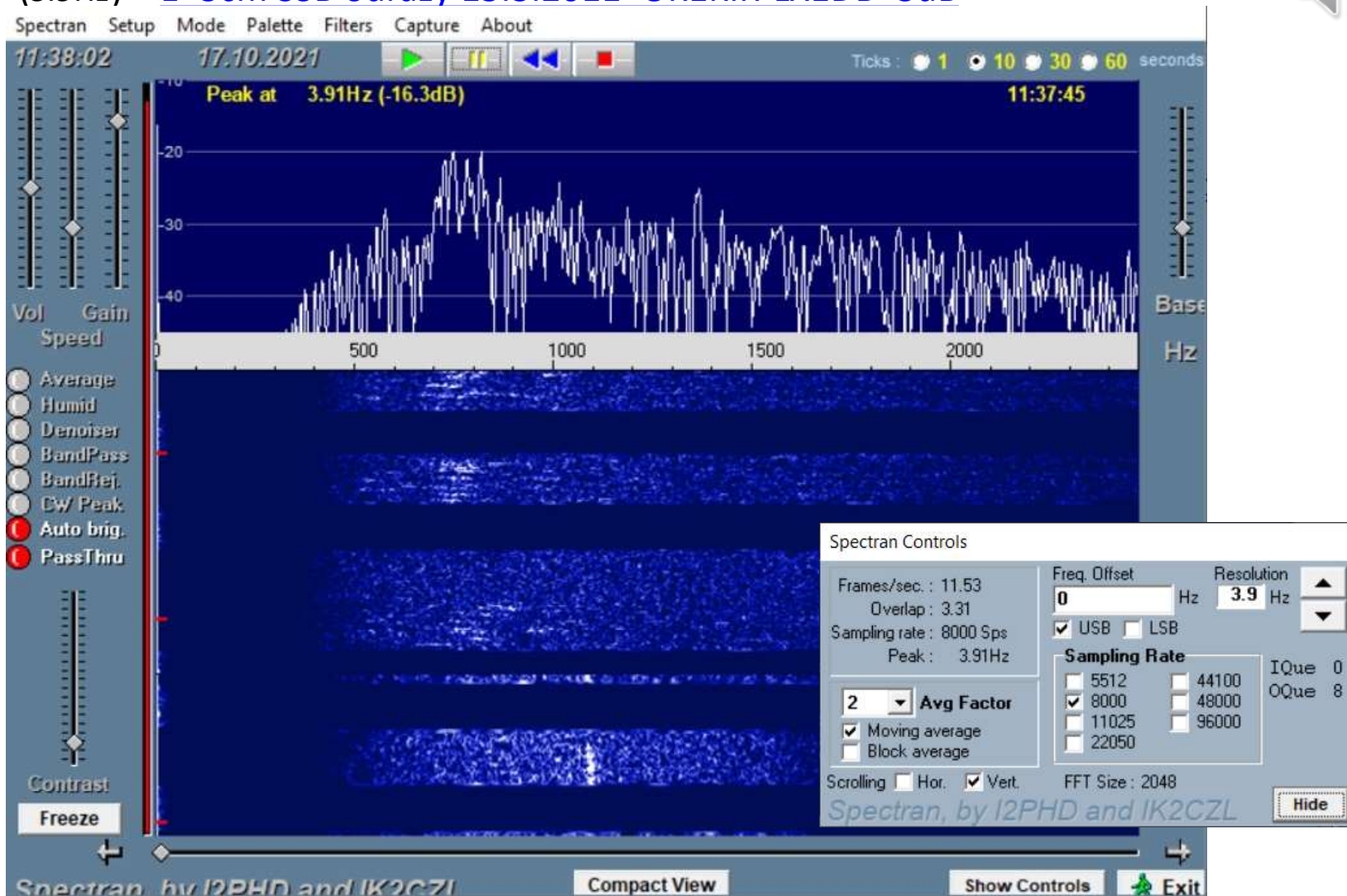
Vliv spread-u na EME MW komunikaci

D (2.7Hz) [D OK1KIR echo 14.05.2011 00.14 UT spread 14 Hz el 9deg LP](#)



Vliv spread-u na EME komunikaci 10GHz vs 24GHz (κvýše)

E (3.9Hz) E 3cm SSB odrazy 15.3.2011 OK1KIR-LX1DB 3dB



Digitální EME komunikace 24GHz - WSJT-X

The screenshot displays the WSJT-X software interface during a 24GHz EME QSO. The main window is titled "WSJT-X v2.5.0 by K1JT, G4WJS, K9AN, and IV3NWW".

Wide Graph (Left Panel): Shows a waterfall plot with a frequency range from 800 to 2200 kHz. The time displayed is 21:36. The mode is set to Q65-60D. The graph shows a signal at 24048.1 MHz.

Decode Tables (Top Right):

Single-Period Decodes					Average Decodes				
UTC	dB	DT	Freq	Message	UTC	dB	DT	Freq	Message
2132	-15	2.6	958	: OK1KIR OK1DFC -17 q0	2132	-15	2.6	958	: OK1KIR OK1DFC -17 q0
2134	-15	2.6	963	: OK1KIR OK1DFC RRR q0	2134	-15	2.6	963	: OK1KIR OK1DFC RRR q0
2136	-16	2.3	956	: TNX QSO 73 q0					

Control Panels (Bottom):

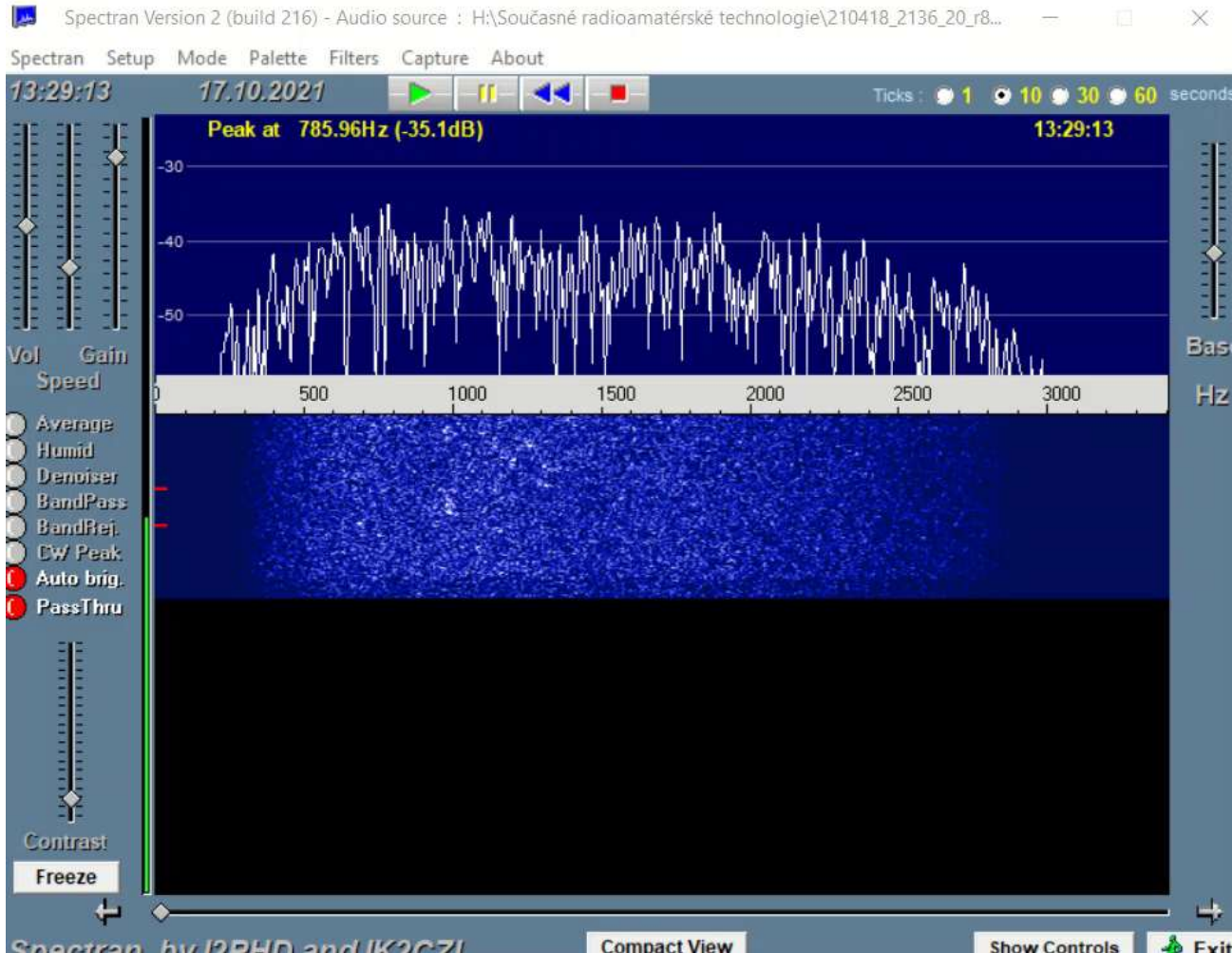
- Frequency:** 24 048,100 000 MHz
- Mode:** Q65-60D
- Call Sign:** WSLUA (DX Call), EM13 (DX Grid)
- Time:** 2021 říj 17 10:37:06
- Buttons:** Log QSO, Stop, Monitor, Erase, Clear Avg, Decode, Enable Tx, Halt Tx, Tune, Menus.
- Generate Std Msgs:** WSLUA OK1KIR JN79, WSLUA OK1KIR -15, WSLUA OK1KIR R-1, WSLUA OK1KIR RRR, WSLUA OK1KIR, CQ OK1KIR JN79.

Astronomical Data (Bottom Left):

2021 říj 17
 UTC: 10:39:17
 Az: 41.7
 El: -43.3
 SelfDop: 16829
 Width: 315
 Delay: 2.63
 DxAz: 266.6
 DxEI: -13.2
 DxDop: -23776
 DxDop: 186
 Dec: -10.1
 SunAz: 177.5
 SunEl: 30.6
 Freq: 24048.1
 Tasky: 3
 Dpol: -83.5
 MNR: 0.2
 Dist: 393903
 Dged: -1.9

Příklad z 18.4.2021: 24GHz digi EME QSO, mód WSJT-X Q65-60D
Q65 protokol - odolný proti spreadu a únikům
 (65 FSK tónů s roztečí 13.33Hz, synchro nejnižší tón, šíře pásma 867Hz, relace 60sec)
Signál od OK1DFC má úroveň cca -15dB / 2500Hz – průběh relace a zvuk ↓

Příklad: 24GHz digi EME QSO módem WSJTX Q65-60D



Spektrum a zvuk

24GHz signálu
WSJTX Q65-60D
od OK1DFC
(20W/2.7m), přijímaný
u OK1KIR
(1.5dB/4.5m).

Moon EL=24°,
dgr 1.9dB
Spread ≈ 60Hz
(max.spread ≈ 155Hz)
CW šance ?

Digitální EME komunikace 24GHz - WSJT-X

Další funkce WSJT-X pro MW:

Astro modul:

2020 7 31

UTC: 06:03:23
Az: 305.3
El: -54.1
SelfDop: -27644
Width: 397
Delay: 2.56
DxAz: 216.9
DxEl: 22.4
DxDop: -33194
DxWid: 62
Dec: -23.7
SunAz: 88.1
SunEl: 22.4
Freq: 24048.1
Tsky: 3
Dpol: 1.8
MNR: 0.0
Dgrd: -1.4

Doppler tracking

- Full Doppler to DX Grid
- Own Echo
- Constant frequency on Moon
- On DX Echo
- Call DX
- None

Sked frequency

Rx: 24 048.100 000
Tx: 24 048.100 000

Press and hold the CTRL key to adjust the sked frequency manually with the rig's VFO dial or enter frequency directly into the band entry field on the main window.

WSJT-X
"Astro Data" modul

Doppler tracking

Settings

General | Radio | Audio | Tx Macros | Reporting | **Frequencies** | Colors | Advanced

Frequency Calibration

Slope: 0,0000 ppm Intercept: 0,00 Hz

Working Frequencies

IARU Region	Mode	Frequency
All	All	10 368,100 000 MHz (3cm)
All	All	10 368,200 000 MHz (3cm)
All	All	24 048,100 000 MHz (1.25cm)
All	All	24 048,200 000 MHz (1.25cm)
All	All	47 088,076 620 MHz (6mm)
All	All	47 088,100 000 MHz (6mm)

Station Information

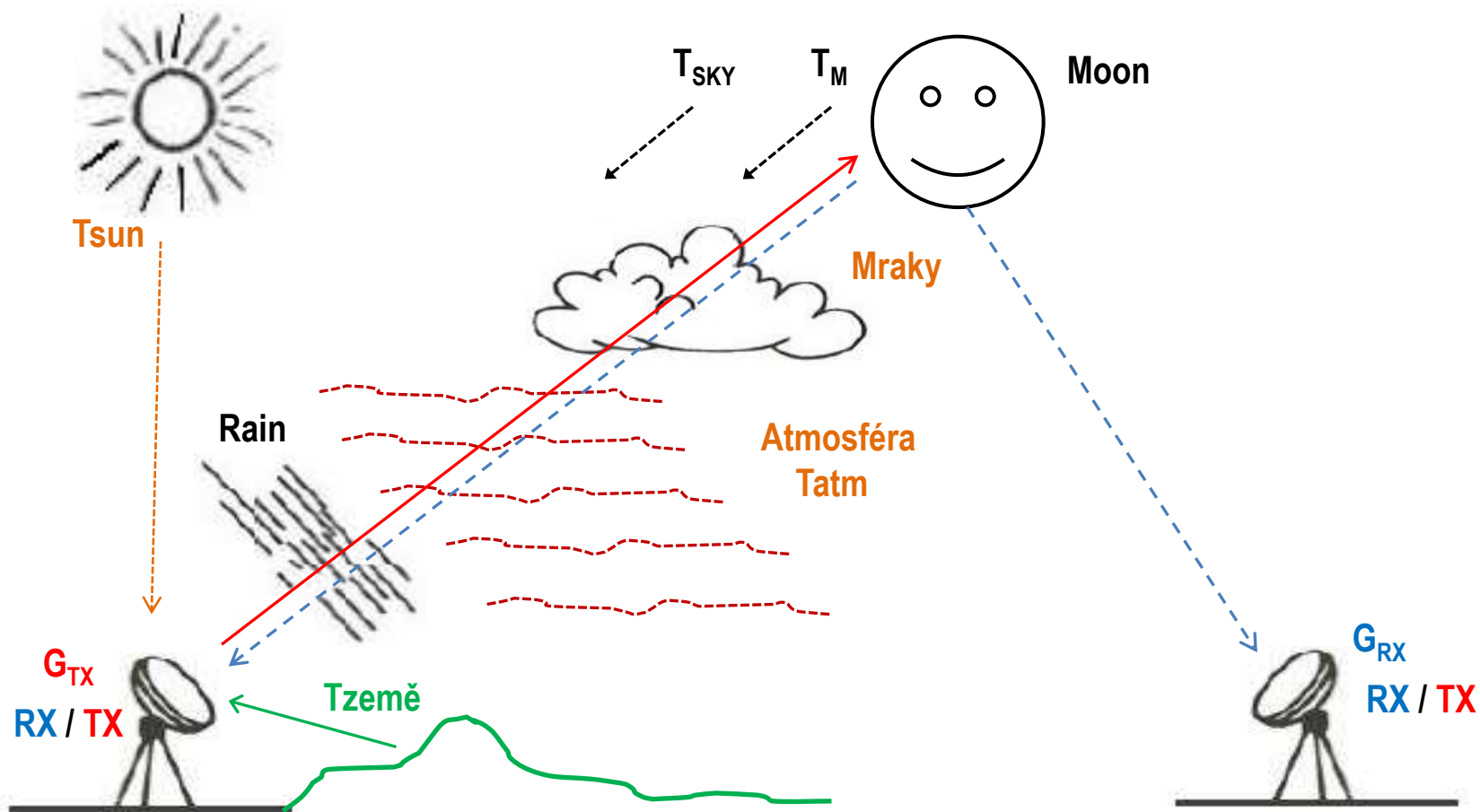
Band	Offset	Antenna Description
6cm	-5 615,000 000 MHz	
3cm	-10 223,000 000 MHz	
1.25cm	-23 903,000 000 MHz	
6mm	-46 943,000 000 MHz	

OK Cancel

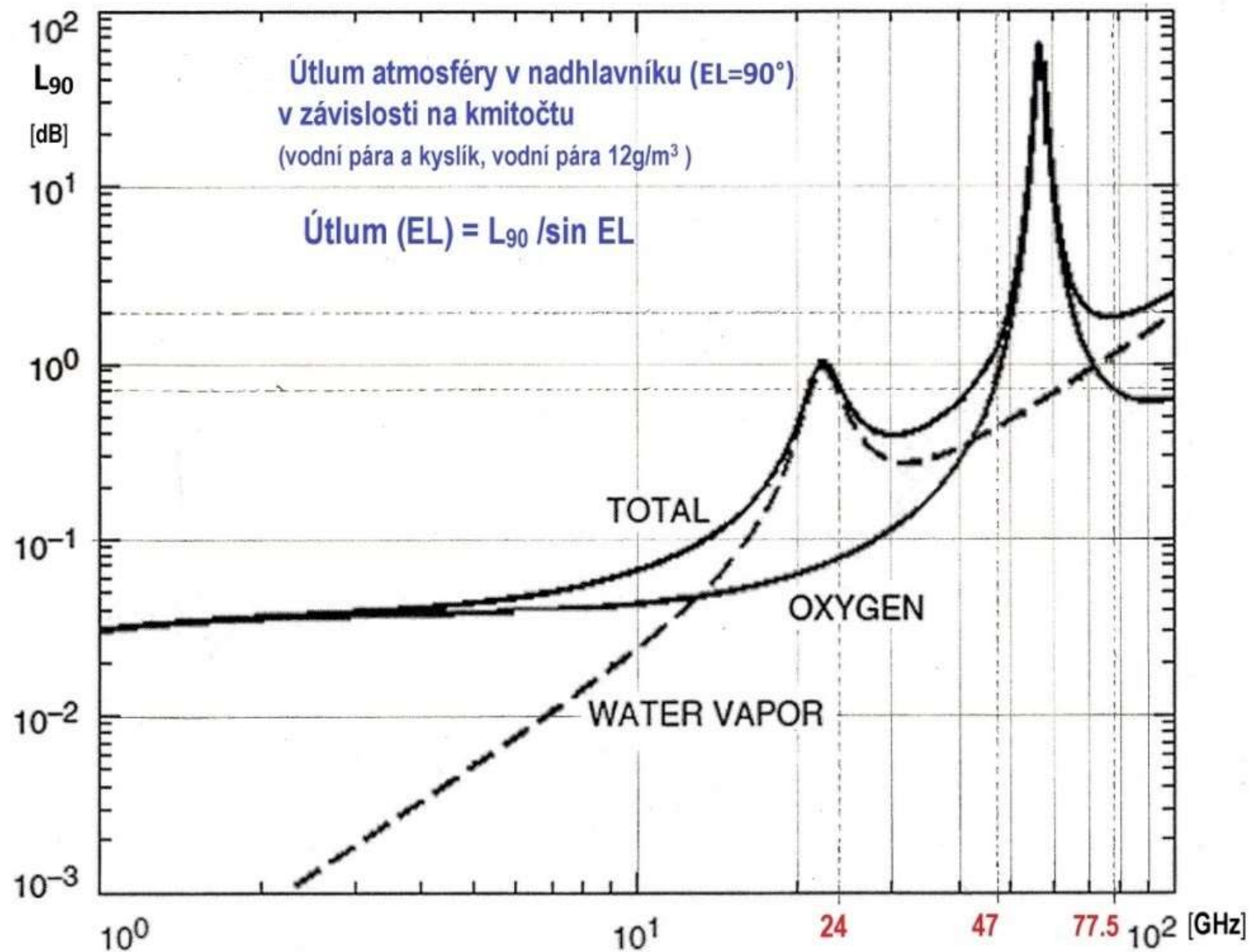
Nastavení libovolných kmitočtů MW pásem a transpozičních kmitočtů transvertorů → s přesností na 1 Hz (zde pro IF=145 Mhz)

Další parametry komunikace EME na MW

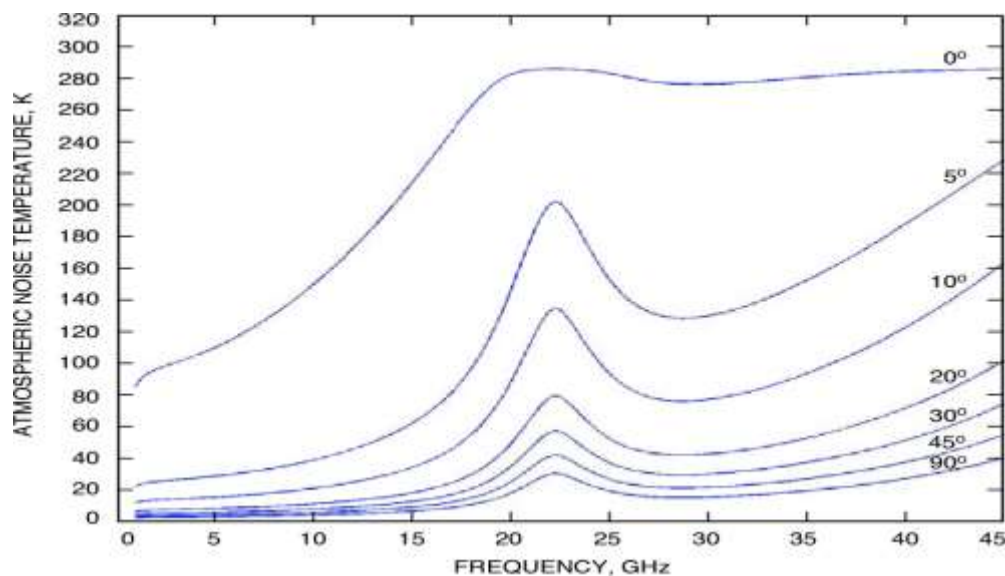
Útlum atmosféry a šumové teploty na EME trase.



Útlum atmosféry na EME trase.



Typické šumové teploty na EME trase.



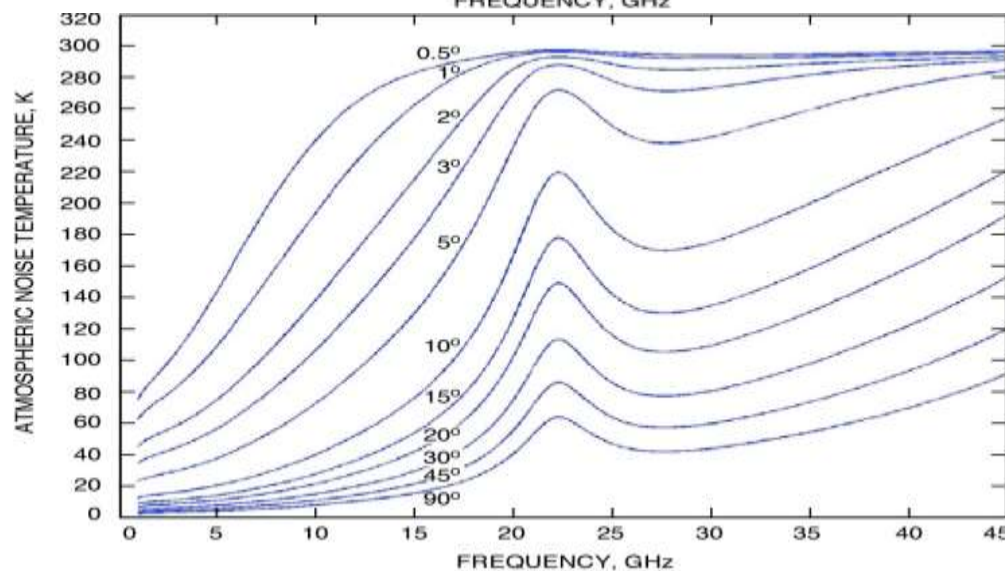
Typická šumová teplota atmosféry při jasné obloze v závislosti na kmitočtu a elevaci antény

pro vlhkost

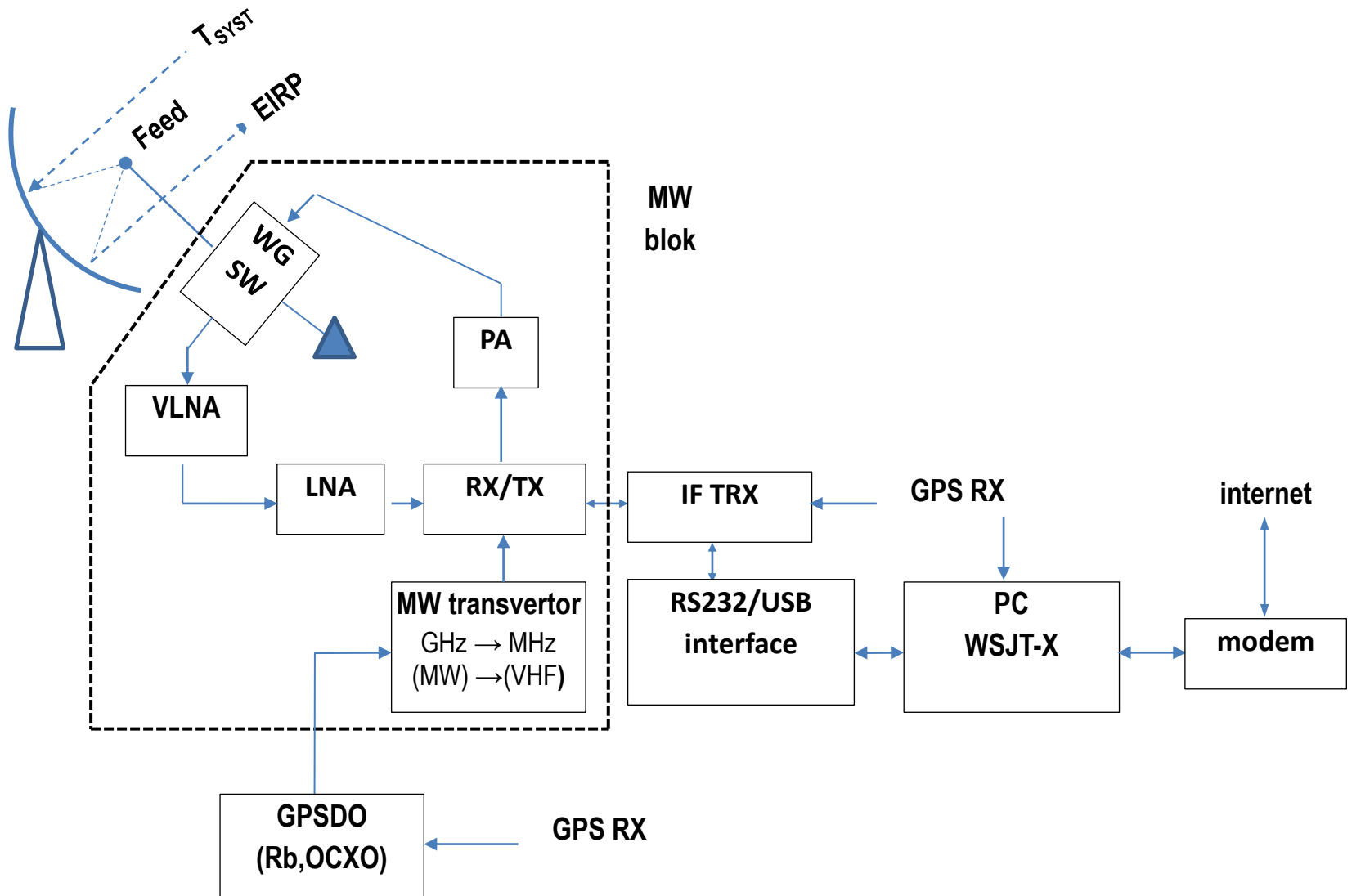
7.5g/m³ (horní grafy)

a

15g/m³ (dolní grafy).



Schema současné typické EME stanice pro 24GHz a výše



Shrnutí EME na MW 24GHz a výše

Souhrnně lze konstatovat, že zásadními EME parametry kromě antény je celková šumová teplota systému T_{SYST} a výkon **PA**, resp. vyzářený výkon **EIRP**.

Vůbec první EME spojení (na 23cm) se podařilo již před více než 60-ti lety, ale na pásmu 24GHz poprvé až v srpnu 2000 (W5LUA-VE4MA). Dnes je na 24GHz okolo 30 stanic ve 20 státech čtyř světadílů.

Na pásmu 47GHz až v lednu 2005 RW3BP-AD6FP, RW3BP-W5LUA a později i s VE4MA. Až v únoru 2020 přijímal 47GHz signál DL7YC a DC7KY a později i JA1WQF. Řada stanic dokončuje zařízení (u nás OK1DFC). Hlavním problémem zůstává potřebný výkon TX-u okolo 10+W.

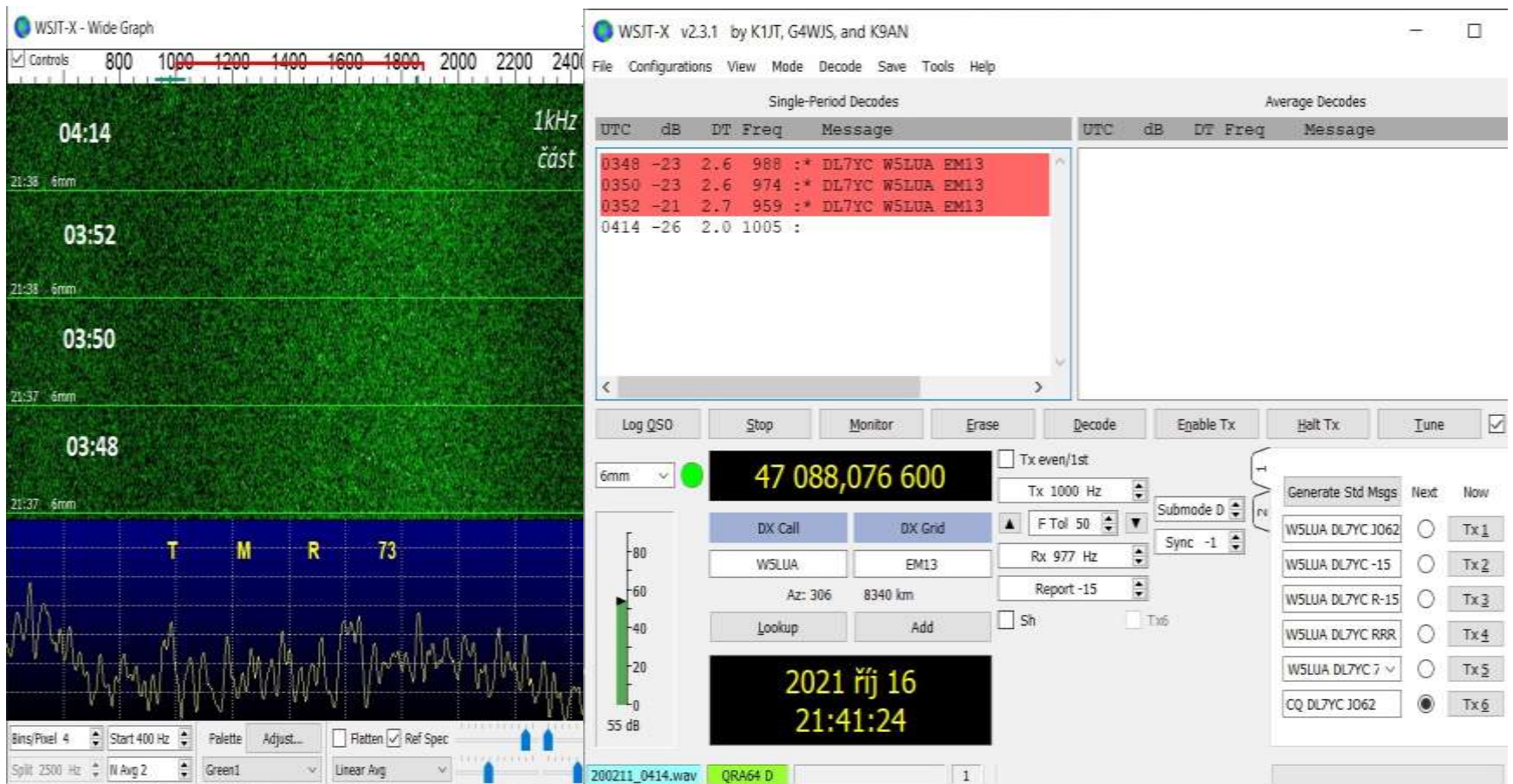
Na pásmu 77.5GHz se podařilo dosud jen RW3BP přijímat vlastní odrazy v únoru 2013 a v červnu 2013 je přijímal i W5LUA. Pásmo 77.5GHz tedy zatím zůstává výzvou a opět kvůli potřebnému výkonu TX-u nejméně několika desítek W.

Jak se zrychluje technologický pokrok, šumové teploty **VLNA** na vysokých MW kmitočtech neustále klesají. **Nejnovější** GaN technologie **umožňuje** zvyšovat výkon **SSPA** modulů, které je ale **zatím** nutno sdružovat až v počtu 8 kusů pro dosažení potřebného výkonu. Bohužel **jejich** dostupnost **je problematická, nehledě na jejich cenové relace**, a proto se dosud stále vyhledávají a modifikují vhodné staré výkonové zesilovače s postupnou vlnou (**TWTA**) pro vyšší MW pásma.

EME 47 GHz W5LUA(TX) → JA1WQF (RX) 10.2.2020

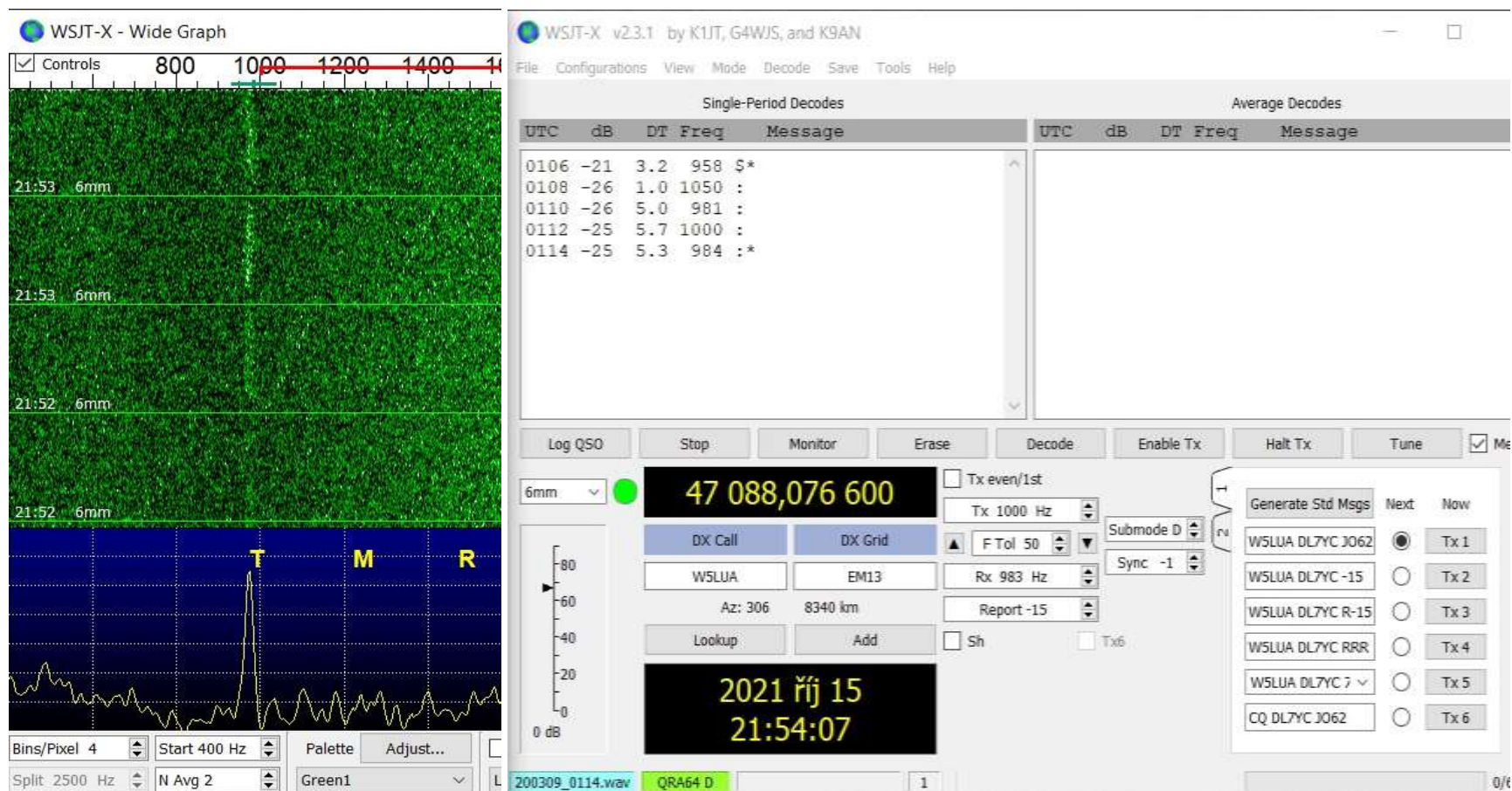


EME 47 GHz W5LUA(TX) → DL7YC (RX) 11.2.2020



11.2.2020: 03:48 ... 03:52UTC, WSJT-X, CFOM, QRA64D, spread≈40(70)Hz, dgr≈0.2dB.
W5LUA: 2.4m OF dish, TX≈25W, EL_{TX}≈21°. 04:14 část 1kHz
DL7YC: 2.4m PF dish, LNA NF=5.5dB, SN≈6.8dB, MN≈0.51dB, EL_{RX}≈35°.

EME 47 GHz W5LUA(TX) → DL7YC (RX) 9.3.2020

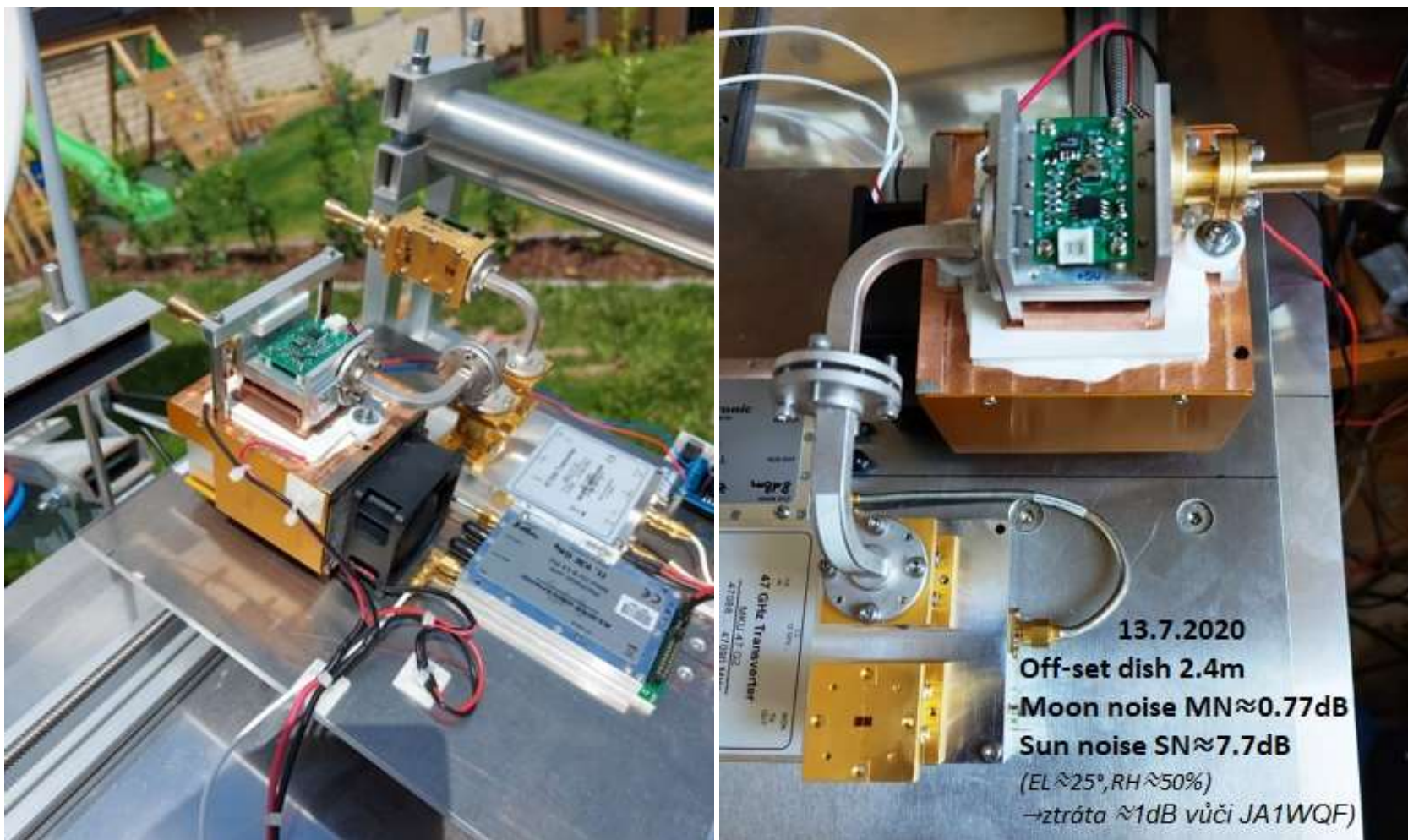


9.3.2020: 01:06 01:14UTC, WSJT-X, CFOM, tón 1kHz, spread≈20(35)Hz, dgr≈0.1dB.

W5LUA: 2.4m OF dish, TX≈25W, EL_{TX}≈20°

DL7YC: 2.4 m PF dish, RX: LNA NF=5.5dB, SN=6.8dB, MN=0.51dB, EL_{RX}≈40°.

OK1DFC 47GHz 2.4m offset dish, VLNA (JA8CMY) 2.45/24dB (+Peltier cooling ?)



<http://www.vhf.cz/text-priprava-a-test-zarizeni-pro-47-ghz-eme/>

RW3BP 77.5GHz 2.4m offset dish s korekční ptfe čočkou



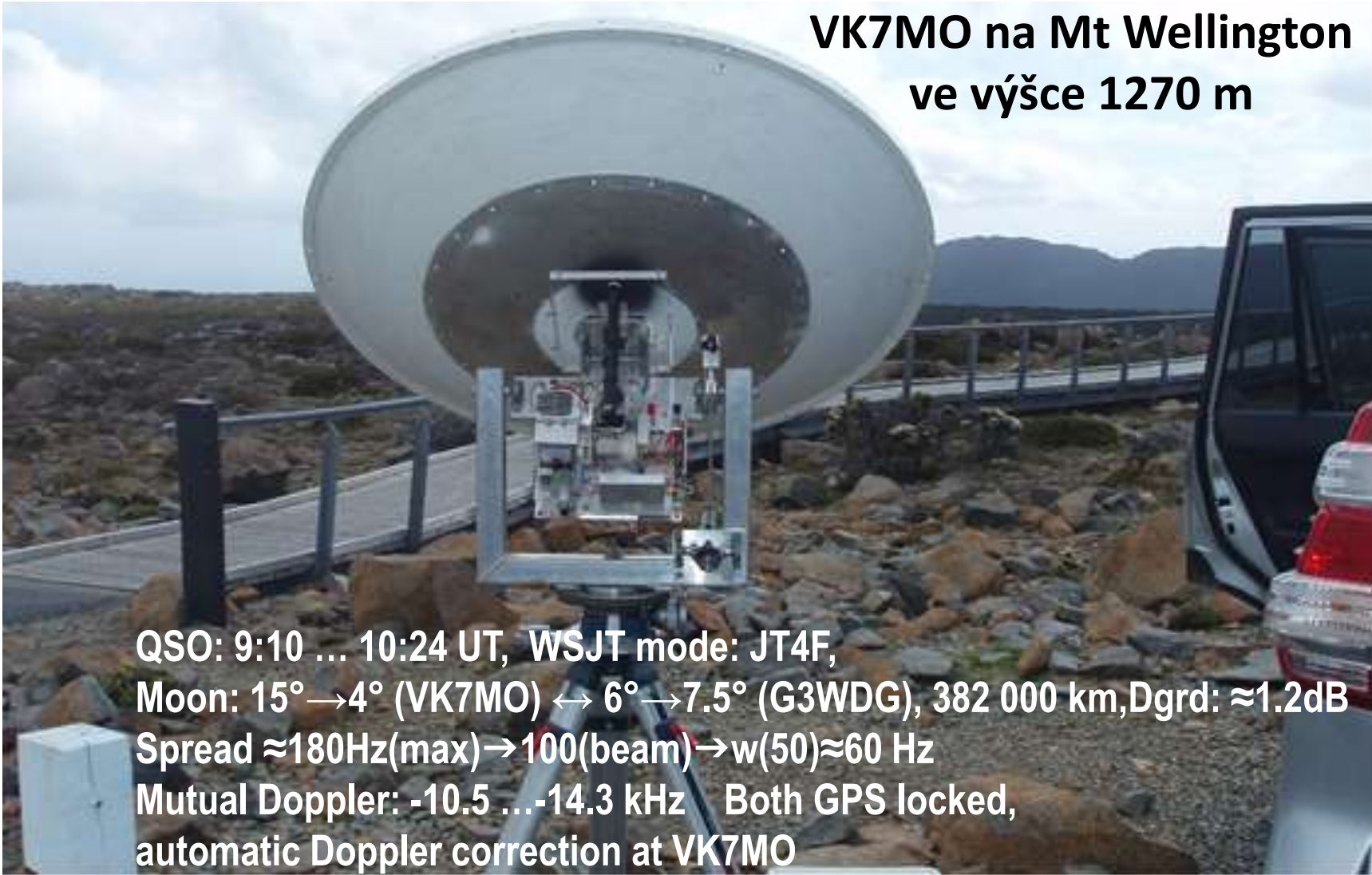
↖ Test
vlastních odrazů
únor 2013
(-7° / RH=85%)

TX=60 W
RX ≈ 6 dB

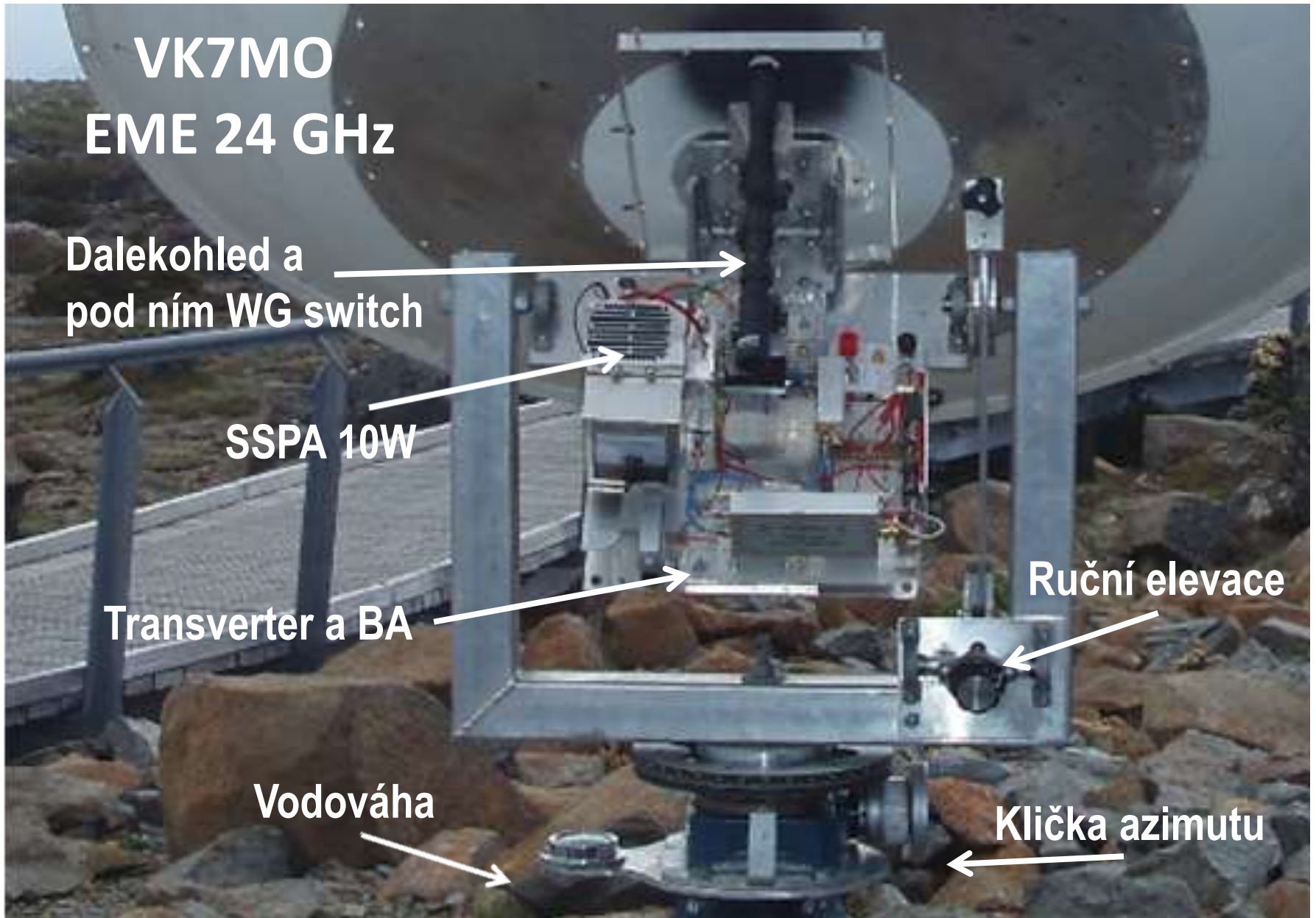
24 GHz WR 17403km VK7MO-G3WDG on 5.3.2014

VK7MO 1.14m, $\approx 10\text{W}$, LNA DB6NT $\approx 1.5\text{dB}$; G3WDG: 3m, 10W

VK7MO na Mt Wellington
ve výšce 1270 m



QSO: 9:10 ... 10:24 UT, WSJT mode: JT4F,
Moon: $15^\circ \rightarrow 4^\circ$ (VK7MO) $\leftrightarrow 6^\circ \rightarrow 7.5^\circ$ (G3WDG), 382 000 km, Dgrd: $\approx 1.2\text{dB}$
Spread $\approx 180\text{Hz}$ (max) $\rightarrow 100$ (beam) $\rightarrow w(50) \approx 60\text{ Hz}$
Mutual Doppler: $-10.5 \dots -14.3\text{ kHz}$ Both GPS locked,
automatic Doppler correction at VK7MO



Konference Radiokomunikace 2021_sborník: str.249_Obr.22 oprava

Kalkulace pro "own echo" a $HPBW_{RX}=HPBW_{TX} < M$										$P_{RX}=P_{TX} * G_M * \sigma_0 * G_{RX} * \lambda^2 / ((4\pi)^3 r^4)$ viz odst.3.1.3																			
										f [MHz] 10368 24048 47088 77500																			
										Max.spread [Hz] 50 120 65 800																			
										Tamb 295 K Tmoon [K] 215 240 235 220																			
										Tsun [K] 10000 8000 7000 6000																			
										B [Hz] 2500																			
										(Spectran)																			
Příklad	ϕ_{Ant} [m]	f [MHz]	λ [m]	HPBW [°]	HPBW to M	Ptx [W]	Gtx [dBi]	Grx [dBi]	r [tis.km]	k [-]	σ_0 [m ²]	Útlum EME [dB]	PrxM [dBW]	Útlum atm [dB]	Tatm [K]	RX [dB]	RX [K]	Tsys [K]	T _M [K]	MN [dB]	Tsun [K]	SN [dB]	Zo [dB]	Prx [dBW]	No [dBW/(Hz*K)]	N [dBW] in B [Hz]	S/N [dB] in B [Hz]	Eff.spread width [Hz]	S/N [dB] in spread width
A	4.5	10368	0.0289	0.45	0.87	50	52.0	52.0	356	0.065	6.154E+11	287.9	-170.4	0.1	6	0.7	48	103	123	3.34	5700	17.4	5.3	-170.6	-228.6	-171.1	0.5	43	18.1
					(0.57)		156 803	156 803	407			290.2	-172.7	0.1	5.7	0.7	48	103	123					-172.9	-228.6	-171.1	-1.8	43	15.8
B	4.5	24048	0.0125	0.19	0.37	20	59.1	59.1	356	0.065	6.154E+11	295.2	-174.5	1.0	51	1.5	122	223	204	2.37	6800	14.0	3.2	-176.5	-228.6	-168.3	-8.2	45	9.3
					(0.85)		816 147	816 147	407			297.5	-176.8	1.0	51	1.5	122	223	204					-178.8	-228.6	-168.3	-10.5	45	7.0
C	2.4	24048	0.0125	0.36	0.70	20	53.7	53.7	356	0.065	6.154E+11	295.2	-180.0	1.0	51	1.5	122	223	154	1.90	5720	13.3	3.2	-182.0	-228.6	-168.9	-13.1	84	1.6
					(0.72)		232 149	232 149	407			297.5	-182.3	1.0	51	1.5	122	223	154					-184.3	-228.6	-168.9	-15.4	84	-0.7
D	2.4	47088	0.0064	0.19	0.36	10	59.0	59.0	356	0.065	6.154E+11	301.1	-183.5	2.0	92	3.0	294	436	200	1.10	5950	9.8	1.9	-187.5	-228.6	-166.6	-20.9	23	-0.6
					(0.85)		793 338	793 338	407			303.4	-185.8	2.0	92	3.0	294	436	200					-189.8	-228.6	-166.6	-23.2	23	-2.9
E	2.4	77500	0.0039	0.11	0.22	60	62.2	62.2	356	0.065	6.154E+11	305.4	-176.8	3.0	125	6.0	879	1054	201	0.40	5490	5.6	0.9	-182.8	-228.6	-163.6	-19.2	174	-7.6
					(0.92)		1 647 098	1 647 098	407			307.7	-179.2	3.0	125	6.0	879	1054	201	0.40	5490	5.6	0.9	-185.2	-228.6	-163.6	-21.5	174	-9.9

ATM teplota atmosféry v [K]
 Tamb teplota okolí v [K]
 T_{ANT} šumová teplota antény [K] (závisí na elevaci EL)
 T_{sys} celková šumová teplota přijímacího systému [K]
 RX činitel šumu celého přijímače [dB], resp. jeho šumová teplota [K]
 T_{moon} šumová teplota Měsíce v [K] na daném pásmu (závisí na fázi Měsíce)
 D tis.km vzdálenost Měsíce v [km]
 T_M Ef.šumová teplota Měsíce v [K]
 MN Šum Měsíce v [dB] na výstupu přijímače
 T_{SUN} Ef.šumová teplota Slunce v [K]
 SN Šum Slunce v [dB] na výstupu přijímače

HPBW šířka svazku antény pro -3dB
 Ptx Výkon vysílače ve [W]
 Gtx Zisk vysílací antény [dBi]
 Grx Zisk přijímací antény [dBi] (vlastní odrazy G_{RX}=G_{TX})
 k ef.činitel odrazu povrchu Měsíce [-]
 σ_0 ef.plocha Měsíce (RCS) v [m²]
 Per/Apo Perigeum/Apogeum Měsíce v [km]
 Útlum EME útlum trasy v [dB] Země-Měsíc-Země
 Zo Šum zátěže Zo připojené místo antény na vstup
 VLNA
 PrxM Výkon odrazu od Měsíce v [dBW] na vstupu do atmosféry

Tatm šumová teplota útlumu atmosféry [K]
 Prx výkon na vstupu přijímače v [dBW]
 No základní šumový výkon v [dBW/(Hz*K)]
 N in B šumový výkon [dBW] v šíři pásma B=2500Hz
 S/N in B poměr signál/šum ve standardní šíři pásma 2500Hz
 Eff.spread ef.rozšíření spektra odrazu (librace Msíce)

Za pozornost děkuji

***Ing. Vladimír Mašek, OK1DAK,
Český radioklub – radioklub OK1KIR***

***Ing. František Karel Janda, OK1HH,
Český radioklub – radioklub OK1KYU,
Rada SysOpů***