

- [21] *Pastejřík, J.: Přírodopis pro měšťanské školy: pro třídy měšťanských škol chlapec-
kých i dívčích.* J. Pastejřík, Praha, 1934.
- [22] *Pastejřík, J.: Přírodopis pro měšťanské školy: pro třídy měšťanských škol chlapec-
kých i dívčích.* J. Pastejřík, Praha, 1927.
- [23] *Kriebel, O.: Jak učíme na škole měšťanské reáliím metodami pracovními: Příro-
dozpyt.* Československá grafická Unie, Praha, 1935, 1 sv. (přeruš. str.).

Radioamatérské rádiové vysílání a výuka fyziky

RUDOLF BLÁHA

Olomouc

Dalo by se předpokládat, že v době moderních prostředků globální komunikace pozbývá radioamatérské rádiové vysílání na významu. Přesto se možnosti tohoto druhu spojení rozšiřují a poznatky o něm mohou být i motivačním prostředkem pro výuku fyziky. Historicky vzato, již německý fyzik *H. R. Hertz* byl vlastně prvním radioamatérem, když svými pokusy s anténami na ostrově Helgoland v roce 1887 potvrdil předpoklad vyslovený v roce 1872 *J. C. Maxwellem* o existenci elektromagnetických vln.

Bezdrátový přenos informací je ovšem výsledkem práce řady skvělých Hertzových následovníků. Na počátku dvacátého století se pokusy soustřeďovaly do oblasti dlouhých a středních vln a směřovaly ke komerčnímu využití. Dlouhé a střední vlny bylo v té době možno vysílat na vzdálenost i několika stovek kilometrů. Menší profesionální zájem byl o krátké vlny pro údajně jejich malý dosah a tyto vlny byly velkoryse dány k dispozici amatérským zájemcům o vysílání.

Zásadní změna nastala, když se podařilo amatérským operátorům uskutečnit v roce 1923 na kratších vlnách první transatlantické spojení. Toto se uskutečnilo mezi amatérskými stanicemi 1MO, 1XAM (USA) a 8AB (Francie) na vlnové délce 110 m.

Opakovanými pokusy se zjistilo, že na velmi velké vzdálenosti jsou pro přenos informace za jistých okolností lépe použitelné právě vlny kratší. Poté zájem o tyto vlny extrémně vzrostl. Bylo nebezpečí, že amatérští

zájemci a průkopníci dálkových spojení budou postupně vytlačeni profesionálními službami rozhlasovými, leteckými, námořními, vojenskými apod. Došlo však k dohodě, která se sice postupně měnila a třeba ani nedodržovala, a pro zájemce byly vyhrazeny výseky z celkového spektra rádiových vln. V současné době tyto intervaly garantuje ITU (*International Telecommunication Union*) a jejich hodnoty najdete na webu [1]. Uvedená pásma tak slouží k účelům vzdělávacím, společenským i sportovním a v rámci daných pravidel se mohou v těchto pásmech konat i experimenty.

Modulace rádiového vysílání

Pro přenos informací jsou povoleny všechny druhy modulací vysílaných signálů, avšak některé z nich mají dominantní postavení.

Telegrafie klíčováním nosné vlny označovaná CW je na ústupu. Jde v podstatě o přerušování jednoho kmitočtu vysílače v rytmu Morseových telegrafních značek definovaných *Samuelem Morse* už v počátcích používání telegrafu v 19. století. Jeho abeceda se přenesla i do bezdrátové telegrafie a je užívána dodnes. Oba dva operátoři, na vysílací straně i na straně přijímací, musejí znát tuto abecedu a s dostatečnou rychlostí ji vysílat i přijímat. Zvládnutí Morseovy abecedy byla dříve nutná podmínka pro získání soukromé vysílací koncese. Radiotelegrafní provoz CW má výhodu, že obsadí v pásmu jen malou šířku. Pro čitelnost značek postačí šíře pásma 100 Hz až 200 Hz. Minimální šíře pásma musí být zajištěna, i když se jedná o jeden kmitočet. Nevýhoda CW modulace je, že se nemůže používat u větších výkonů. Problémy mohou nastat už při výkony nad 1 kW. Vysílač vlastně zatěžuje napájecí síť v rytmu značek přerušované.

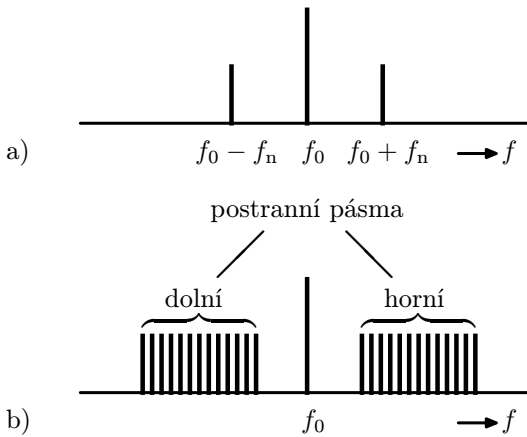
Amplitudová modulace (AM) je charakteristická tím, že nosné vysokofrekvenční kmitání o frekvenci f_0 modulované nízkofrekvenčním signálem o frekvenci f_n má dvě postranní pásma s frekvencemi $f_0 + f_n$ a $f_0 - f_n$ (obr. 1a). To snadno dokážeme i středoškolskými prostředky. Amplitudově modulovaný signál je součtem vysokofrekvenčního signálu $u = U_v \sin \omega_0 t$ a nízkofrekvenčního akustického signálu $u_n = U_n \sin \omega t$, kde $\omega_0 \gg \omega$. Výsledný modulovaný signál je popsán rovnicí

$$u_m = (U_v + U_n \sin \omega t) \sin \omega_0 t,$$

odkud po úpravě pomocí vzorce $2 \sin \alpha \sin \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$ dostaneme

$$u_m = U_v \sin \omega_0 t + \frac{1}{2} U_n \cos(\omega_0 - \omega)t - \frac{1}{2} U_n \cos(\omega_0 + \omega)t.$$

Rozšíření postranních pásem při modulaci vysokofrekvenční nosné frekvence (ν_f) f_0 nř signálem o zvukové frekvenci f_n , když je použit signál z mikrofonu, ukazuje obr. 1b. Protože veřkerou zvukovou informaci obsahují obě postranní pásma, využívá se způsob zvaný SSB (*Single Side Band*), kdy se k přenosu použije pouze jedno z postranních pásem. Nosný kmitočet f_0 a druhé postranní pásmo se při dalřím zpracování potlačí. K dostatečné srozumitelnosti není nutno přenášet celé akustické pásmo 20 kHz, postačí jeho část kolem 3,5 kHz. Tím se docílí podstatně větřířho dosahu vysílače.

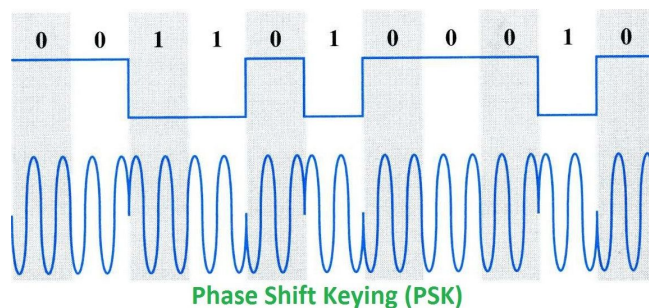


Obr. 1

Modulace fázová PSK (*Phase Shift Keying*) se stále více uplatňuje při přenosu signálů v binárním kódu. Spočívá v tom, že délka kódování znaků je stanovena podle četnosti jejich výskytu v textu. Nejkratří jsou kódována pířmena, která se v textu vyskytují nejčastěji. Každé pířmeno, znak začíná a končí 1. Dvakrát za sebou uvnitř nejsou 0 (00 se používá pro oddělení pířmen a znaků). Kódování se nazývá ASCII Varicode a tabulku kódů viz [2]. Přířklady: a – 1011, b – 1011111, e – 11, i – 1101. Na obr. 2 je vyznačen modulační signál 00110100010 a vlastní modulace je založená na změně fáze o 180° při přechodu z 1 na 0 a naopak. Modulace PSK zabírá na pásmu neobyčejně úzkou část (30 Hz) a je velmi odolná proti ruření.

Modulační signál se generuje ve zvukové kartě počítače po stisknutí přířslušné klávesy. V počítači musí být samozřejmě nainstalován přířslušný program, který to dovede. Modulační signál se potom přivede ze zvukové karty počítače do modulačního bodu vysílače, např. mikrofonních zdířek a

vyšle. Demodulace proběhne tak, že rádiovým přijímačem zachycený signál se ze sluchátkového výstupu přijímače přivede do mikrofonního vstupu počítače a po vyhodnocení se fázově upravený signál se srovná se sinusovým a zobrazí se na obrazovce.



Obr. 2

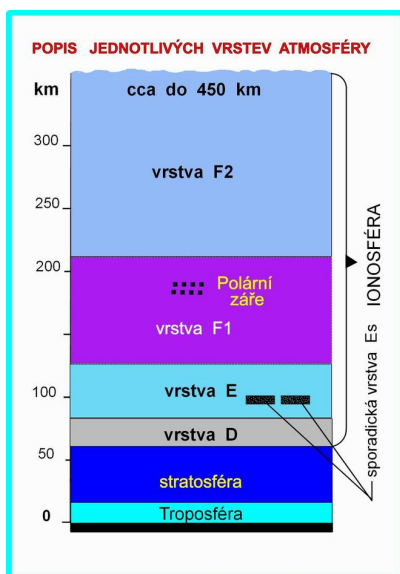
Při amatérském používání rádiových vln se profilují některé další obory činnosti. Stavba technických zařízení se zaměřuje spíše na doplňková zařízení k *transceiveru*, což je vysílač i přijímač konstruovaný v jedné jednotce. Konstruují se vhodné antény a měřidla jejich vyzařovaného výkonu. Pozornost je věnována výkonovému zesilovači i přizpůsobovací jednotce vsazované mezi transceiver a anténu. Při přenosu zpravidla malých výkonů zde platí zvlášť požadavek přizpůsobení, tzn. srovnání impedancí mezi vysílačem a anténou.

Dálkový přenos radioamatérského vysílání

Jednou z hlavních činností amatérů vysílačů je dosažení oboustranného spojení na co největší vzdálenosti. Pomineme-li kontakty sestávající jen ze vzájemného klábosení, lze spojení uskutečnit dvěma způsoby. Obvyklé je, že stanice odpoví na volání výzvy a při uskutečnění v první části si vymění reporty o slyšitelnosti, poloze a jméno. V druhé části se sdělují zpravidla technické údaje a údaje o počasí apod. Až do zakončení kontaktu je vše doplňováno častými zdvořilostními frázemi. Platí zde etický kodex zvaný *ham spirit*. Druhým způsobem jsou kontakty závodní. Jde zde o co nejkratší oboustranné předání kódu, o co největší počet kontaktů. Závodní vyhlášení zpravidla národní radiokluby. Během roku jich bývá vyhlášeno

na stovky. Doba jejich trvání je hodiny až dny. Výhoda je, že se do závodu může bez ohlášení předem kdykoliv vstoupit i vystoupit. Podmínka pro hodnocení je zaslání deníku ze závodu.

Dálkové přenosy na krátkých vlnách (KV) se uskutečňují odrazem rádiových vln od ionosféry. Ionosféra je rozvrstvena do vrstev: D, E, F1 a F2 (obr. 3). Vznik vrstev je důsledkem exponenciálního rozvrstvení atmosféry, které má vliv na průnik slunečního záření. Uplatňuje se také energie pro ionizaci různých atmosférických částic. Pro dálkové přenosy jsou důležité vrstvy E, F1 a F2. Vrstvy F1 a F2 mohou za jistých podmínek splývat v jednu vrstvu označovanou F. Rekombinací elektronů s ionty v nepřítomnosti slunečního záření se ve vrstvách D, E a F1 snižuje hustota elektronů a pro jisté časové úseky vrstvy z hlediska šíření vln zanikají. Zánik vrstvy po západu Slunce a přerušení ionizace se počítá v minutách či desítkách minut. Ale zeslabená vrstva F2 zbývá přes noc. To umožňuje spojení na KV, a tím, že je položena nejvýše, má pro tato spojení největší význam.



Obr. 3

Všechny ionosférické vrstvy jsou velmi dynamické útvary a jejich fyzikální konstanty (hustota ionizace, relativní permitivita) se značně mění. Zvláštním ionizovaným útvarem je sporadická vrstva Es.

Uspořádání vrstev

vrstva	$\frac{\text{výška}}{\text{km}}$	$\frac{\text{hustota}}{\text{cm}^{-1}}$	$\frac{\text{kritický kmitočet}}{\text{MHz}}$	$\frac{\text{původ ionizace}}{\text{nm}}$
D	60–90	10^3	0,1–0,7	RTG záření tvrdší
E	90–120	$2,5 \cdot 10^5$	4,5	RTG záření měkčí
F1	180–240	$6 \cdot 10^5$		
F2	220–450	$2 \cdot 10^6$		
F	spojení F1 a F2		5–15	UV záření

Pro index lomu v ionosféře byl teoreticky odvozen vztah

$$n = \sqrt{\varepsilon_i} = \sqrt{1 - 80,6 \frac{N(z)}{f^2}},$$

kde ε_i je relativní permitivita ionizovaného plynu (pro ionizovaný plyn je vždy $\varepsilon_i < 1$), $N(z)$ je koncentrace volných elektronů v uvažovaném místě atmosféry ve výšce z (m^{-3}), f je frekvence dopadající vlny (Hz).

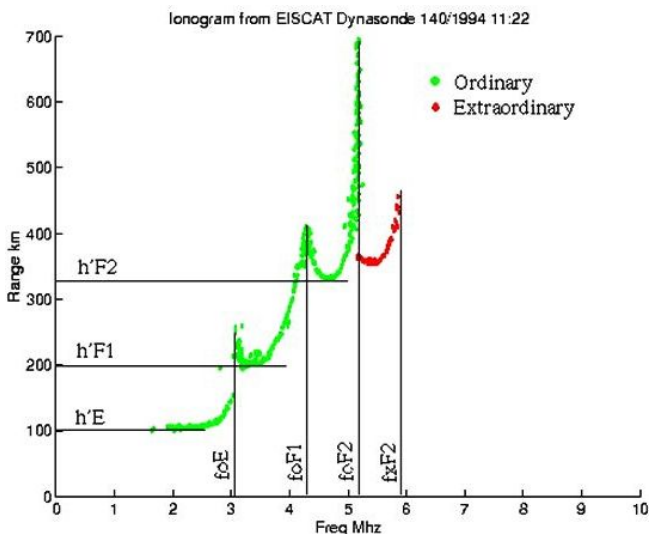
Po vstupu elektromagnetické vlny do ionosféry mohou nastat pro danou frekvenci tři případy: relativní permitivita $\varepsilon_i = 0$, nebo $\varepsilon_i > 0$, popř. $\varepsilon_i < 0$. Připomeňme, že relativní permitivita vakua i neutrálního vzduchu se rovná 1.

Podle velikosti relativní permitivity mohou nastat případy:

- Jsou-li hodnoty $N(z)$ a f takové, že $\varepsilon_i < 0$, je n imaginární, vlna se do prostředí nedostane a odráží se zpět.
- Jsou-li hodnoty $N(z)$ a f takové, že $\varepsilon_i > 0$, vlna ionosférou projde dále, třeba i značně utlumená.
- Zvláštní případ nastane dosažením hodnot $n = 0$, $\varepsilon_i = 0$. K tomu dojde při frekvenci $f = \sqrt{1 - 80,6N(z)}$. Pro danou výšku z o příslušné koncentraci $N(z)$ nastává odraz.
- Jestliže odpovídá tato hodnota frekvence f (ad C) současně i maximální ionizaci vrstvy N_{\max} , označujeme tento kmitočet jako kritický ($f_{\text{kr}} = \sqrt{1 - 80,6N_{\max}}$), kde N_{\max} je maximální koncentrace elektronů. Rádiové vlny o vyšší frekvenci než f_{kr} vrstvou projdou.

Stav ionosféry sledují ionosférické stanice rozmístěné po celé zeměkouli. Ionosféra se sonduje tak, že se kolmo vzhůru vysílá elektromagnetická vlna

o proměnném kmitočtu. Pokud se vlna odrazí, zaznamená se tento odraz na grafu. Výsledkem sondování je sestavení a zveřejnění ionogramu. U nás sleduje ionosféru Ústav fyziky atmosféry v Průhonících a v několikaminutových intervalech údaje zveřejňuje. Příklad spíše idealizovaného ionogramu je na obr. 4 (zdroj [4]).

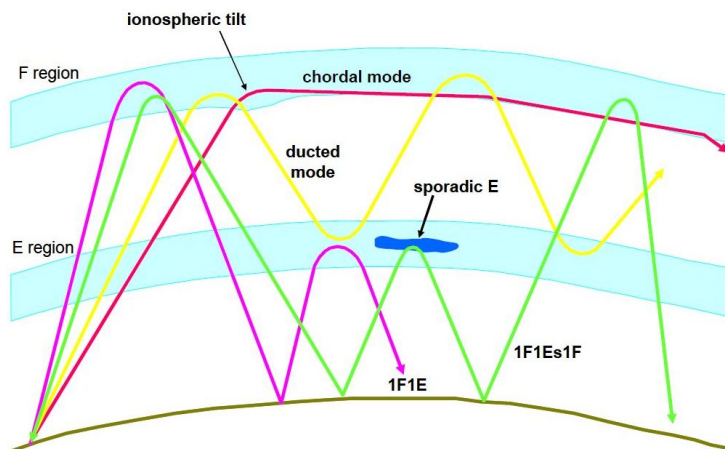


Obr. 4

Na grafu jsou na vodorovné ose vyznačeny kritické kmitočty f_oE , f_oF1 , f_oF2 , f_xF2 . Jsou to hraniční kmitočty vln, které se jsou ještě schopné odrazit od dané vrstvy. Vyšší kmitočty vrstvou projdou, třeba i s nezanedbatelným útlumem. Na svislé ose jsou vyznačeny efektivní výšky. Vzhledem k tomu, že odraženou vlnu od ionosféry přijímá zařízení s časovým odstupem a nezkoumá proměnnou rychlost vlny v ionosféře, je tato efektivní výška určena, jakoby se vlna pohybovala rychlostí světla c .

Na obr. 5 (zdroj [3]) jsou znázorněny způsoby dálkového šíření elektromagnetických vln více odrazy od vrstev E a F a zemského povrchu. Je zřejmé, že při šikmém dopadu se použitelný kmitočet může i několikanásobně zvýšit, než je kmitočet kritický. Pravděpodobnost, že dojde k odrazu od ionosféry, je ovlivněna denní a roční dobou a sluneční činností. Právě sluneční činnost vnáší do prognózy dálkového spoje nejistotu, a proto každý, kdo se dálkovými spojeními zabývá, musí sluneční činnost

sledovat. V současné době máme výhodu, že parametry, které vyjadřují sluneční vlivy na atmosféru, jsou k dispozici bezprostředně. Mailem je možno získat data i několikrát denně od SWPC (*Space Weather Prediction Center*), včetně varování před možnými důsledky nejen v oboru šíření vln. (viz <http://www.swpc.noaa.gov/>). Pětistupňovou klasifikací jsou ohodnoceny především tři události. Narušení magnetického pole Země. Bombardování vrchních vrstev atmosféry částicemi ze Slunce. Vliv slunečního záření v oblasti rentgenového záření.



Obr. 5

Šíření rádiových vln ovlivňuje také zvláštní útvar – *sporadická vrstva* E_s (viz obr. 5). Vyskytuje se ve výšce řádné vrstvy E. Na rozdíl od vrstev E a F, jak už z názvu vyplývá, se nedá předpovídat a její příčina není dost dobře známá. Protože se vyskytuje především v letních měsících, spekuluje se o tom, že příčinou jsou bouřky v nižších vrstvách. Vrstva E_s se vyznačuje vysokou koncentrací elektronů, takže je schopná odrážet i VKV vlny a umožnit na omezenou dobu jejich dálkové přenosy. O její existenci se mohli přesvědčit v dřívějších dobách i televizní diváci, sledující program v I. TV pásmu (Stanice Praha a Ostrava). Stávalo se, že v letních měsících jejich přijímaný obraz byl přerušen a vystřídán třeba obrazem španělským či ruským. Dosáhnout dálkových spojení na VKV prostřednictvím této anomálie je v centru zájmu mnoha radioamatérů. Proto je vrstva E_s soustavně sledována a její výskyt je oznamován (např.: <http://www.dxmaps.com/spots/map.php?Lan=S&Frec=50&Map=EU>).

Dalšími experimenty, kterými se dá docílit spojení na velké vzdálenosti použitím VKV, je použití odrazu elektromagnetické vlny od ionizovaných stop po průchodu meteoritu atmosférou. Vlivem rychlé rekombinace však musí být spojení uskutečněno během velmi krátké doby. Operátoři, zajímající se o tento způsob komunikace, se tak stávají doslova lovci dálkových spojení.

Dálkové spojení na VKV se dá uskutečnit také odrazem elektromagnetických vlny od Měsíce. Způsob se nazývá EME (*Earth-Moon-Earth*). Je pochopitelné, že na tak velkou vzdálenost s použitím malých výkonů vysílačů musejí být použity vysoce směrové antény. Protože vědecký výzkum v USA probíhá souběžně se vzdělávací činností, může být používán pro zájmovou činnost zaměřenou na přenos EME třeba i gigantický radar observatoře Arecibo (průměr antény 305 m) v Portoriku. První spojení odrazem při použití antény tohoto radaru navázaly stanice W6DNG (USA) a OH1NL (Finsko) v dubnu 1964 v pásmu 2 m. Dnes jde o velmi zajímavý způsob experimentů s elektromagnetickými vlnami, spojený s amatérskou astronomií i na podstatně kratších (UKV) vlnách.

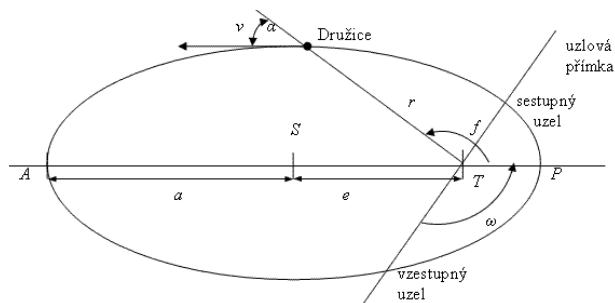
Sledování a komunikace se satelity

V prostoru kolem naší Země se pohybuje spousta satelitů. Vznikl i obor pro zájemce o tuto problematiku, který se zabývá jejich sledováním. Dokonce jsou vypouštěny satelity, které mají na palubě doplňky určené pro rádiové kontakty. Pro zájemce je v současné době dostatek informací a také prostředků pro tuto činnost. Není proto divu, že se o tuto problematiku zajímá stále více amatérských účastníků. Vznikla rovněž organizace AMSAT, která toto úsilí koordinuje.

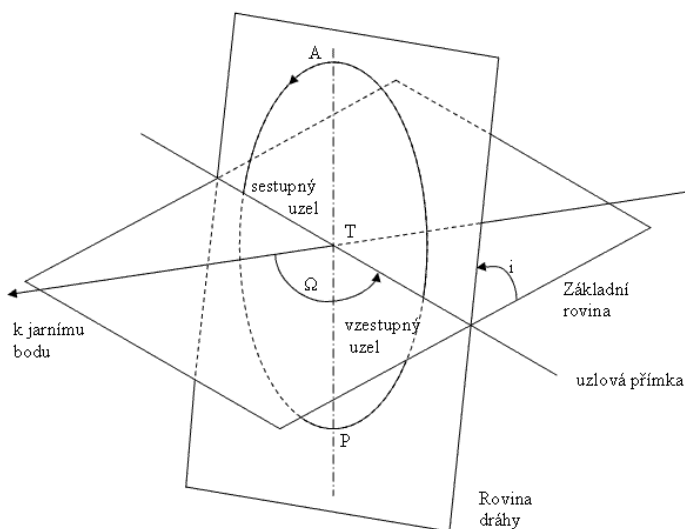
Kromě vizuálního pozorování je možno se satelity i komunikovat prostřednictvím rádia. Buď jednostranně, kdy jen přijímáme satelitní signály, nebo oboustranně, když přes satelit můžeme uskutečňovat dálková spojení. Vyvrcholením této komunikace je bezesporu oboustranná komunikace s posádkou lodi ISS. Ve svém volném času si jeden z kosmonautů vyhradí čas, ve kterém odpovídá na otázky školních dětí.

Pro vizuální, stejně jako pro rádiové pozorování je potřeba znát polohu satelitu. Ta se stanoví z Keplerových elementů. Keplerovy elementy lze zjistit na internetu, ale výpočet pozice satelitu z těchto elementů bez počítačového programu je zdlouhavý a pro bezprostřední sledování satelitu nepoužitelný.

Keplerovy elementy tvoří soubor šesti údajů a je vhodné, aby se s nimi žáci v návaznosti na výklad Keplerových zákonů seznámili. Připomeňme si je (obr. 6 a 7, zdroj [5]):



Obr. 6



Obr. 7

Vnitřní: a – délka hlavní poloosy elipsy, e – excentricita elipsy, t_p – okamžik průchodu perigeem

Vnější: i – inklinace (sklon dráhy družice vzhledem k rovníkové rovině), Ω – rektascenze (délka) výstupního (vzestupného) uzlu T , ω – parametr (argument) perigea (úhlová vzdálenost perigea od vzestupného uzlu).

Základní souřadnou soustavou pro výpočty polohy je soustava odvozená od roviny zemského rovníku a od zemské osy, která je současně souřadnicí Z mířící na sever. Souřadnice X v rovině rovníku míří k jarnímu bodu. Souřadnice Y je kolmá k oběma a leží rovněž v rovině rovníku.

Keplerovy elementy lze dekodovat z údajů, které satelit vysílá, nebo se získají na některé webové stránce. Dále uvedené údaje jsou převzaty z [6]:

Dvouřádkový formát NASA

1 07530U 74089B 13241.54020365 -.00000047 00000-0 -21869-4 0 7642

2 07530 101.4393 228.4011 0012261 142.9920 328.4528 12.53597962774970

Formát AMSAT

Catalog number	07530	Arg of perigee	142.9920 deg
Epoch time	13241.54020365	Mean anomaly	328.4528 deg
Element set	764	Mean motion	12.53597962 rev/day
Inclination	101.4393 deg	Decay rate	4.7e-07 rev/day ²
RA of node	228.4011 deg	Epoch rev	77497
Eccentricity	0.0012261	Checksum	291

Tyto údaje slouží pro výpočet postavení družice na dráze.

Požadavky na základní vybavení pro rádiové pozorování satelitu:

1. Transceiver vybavený příslušnými kmitočty, odpovídajícími alespoň vlnovým délkám 2 m a 70 cm. Transceiver musí mít schopnost být ovládán počítačem.
2. Nejlépe směrová anténa schopná pomocí rotátoru řízeného počítačem měnit úhly azimutální i elevační.
3. Počítač s příslušným programem ovládajícím frekvence (uplink, downlink), které se mění v důsledku Dopplerova efektu. Příčinou posunu je radiální složka pohybu satelitu vůči pozemské stanici a projevuje se tak, že při přeletu se pracovní frekvence na stupnici mění i o několik kHz, na vyšších kmitočtech i o desítky kHz.
4. Příslušné povolení k vysílání od ČTÚ.

Přímá účast na konferenci s některým z kosmonautů se uskutečňuje prostřednictvím amatérského rádia. Žáci mohou některému z kosmonautů ISS pokládat otázky týkající se života ve vesmíru a činnosti posádky na stanici. Konference trvá zhruba 10 minut, což je doba přeletu od výstupu satelitu nad horizont do sestupu pod něj. Aby bylo možno realizovat tento kontakt, je zapotřebí splnit mnoho požadavků stanovených organizací NASA. Pro tuto přípravnou činnost NASA pověřila dobrovolnou organizaci ARISS, která představuje veřejnosti tento vzdělávací projekt. Mohou se zúčastnit školy z celého světa, splní-li dané

podmínky projektu. Pro přímý kontakt s kosmonautem si škola musí zajistit radioklub, který se postará o technickou stránku. Škola musí do svého vzdělávacího programu také zařadit učební témata týkající se kosmonautiky. ARISS posoudí program a technické zajištění a jsou-li podmínky splněny, zařadí školu s radioklubem na seznam čekatelů.

Na seznam NASA se podařilo dostat Gymnázium, Olomouc, Čajkovského a ČRK – Hanácký radioklub OK2KYJ (viz [7]). Jsme zařazeni pod číslem 303 v evropské oblasti a stali jsme se čekateli.

Stanice s mezinárodní posádkou má následující parametry:

Číslo v katalogu: 25544

Datum startu: 20. 10. 1998

Rádiové přijímací frekvence:

145,990 MHz FM, 145,200 MHz FM, 144,490 MHz FM

Rádiové vysílací frekvence:

145,800 MHz FM, 145,800 MHz FM, 145,800 MHz FM

Uplink převaděče: 437,800 MHz FM

Downlink převaděče: 145,800 MHz FM

Mód a polarizace antén: lineární

Na stanici jsou umístěny amatérské rádiové stanice s volacími znaky RS0ISS, RZ3DZR (Rusko), NA1SS (USA).

Závěr

Není potřeba zdůrazňovat, že pokusy tohoto typu jsou ve školní praxi velmi náročné. NASA počítá i s tím, že se spojení s posádkou kosmické lodi ISS nemusí podařit. Stačí, kdyby se v blízkosti pozemského stanoviště vyskytla obyčejná bouřka nebo se neodhadnutou sluneční činností narušila ionosféra. V každém případě však stojí za to, využít možnost nabízenou NASA k motivaci zájmu žáka o fyziku, astronomii a kosmonautiku.

Literatura

- [1] http://cs.wikipedia.org/wiki/Radioamatérská_pásma
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/Varicode>
- [3] <http://www.ips.gov.au/Educational/5/2/2>
- [4] http://www.wdc.rl.ac.uk/ionosondes/ionogram_interpretation.html
- [5] Kovář, J., Kasal, M.: Automatická kompenzace Dopplerova posunu frekvence při komunikaci s družicemi na negeostacionárních drahách. Elektrověue – Internetový časopis <http://www.elektrověue.cz>, roč. 2008, č. 1/08, s. 1–8.
- [6] <http://www.amsat.org/amsat/ftp/keps/current/nasa.all>
- [7] <http://www.gcajkol.cz/web-aktuality/2013-09-06-konference-iss.html>