

Umělé zátěže 250, 800 a 3000 W

Ing. Tomáš Kavalír, OK1GTH kavalir.t@seznam.cz, <http://ok1gth.nagano.cz>

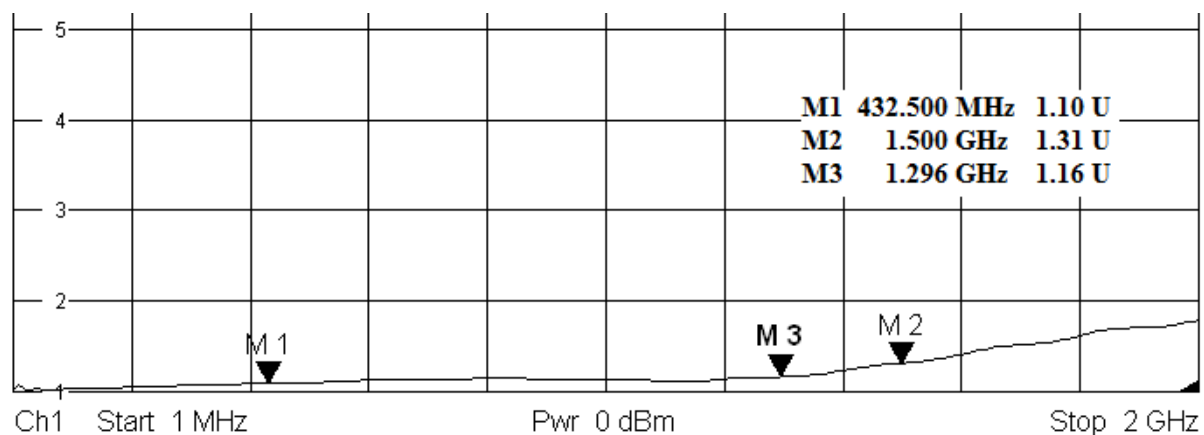
Zde uvedený článek popisuje, jak je možné i v amatérských podmínkách realizovat umělé zátěže poměrně jakostních parametrů až do 1,7 GHz. První dvě umělé zátěže jsou klasického provedení, které využívají stripline bezindukční odpory 50 Ω a třetí popisovaná zátěž je řešena poměrně netradičně a umožňuje dosáhnout vysokého krátkodobého zatížení až kolem 3000 W.

Umělé zátěže 250 W a 800 W

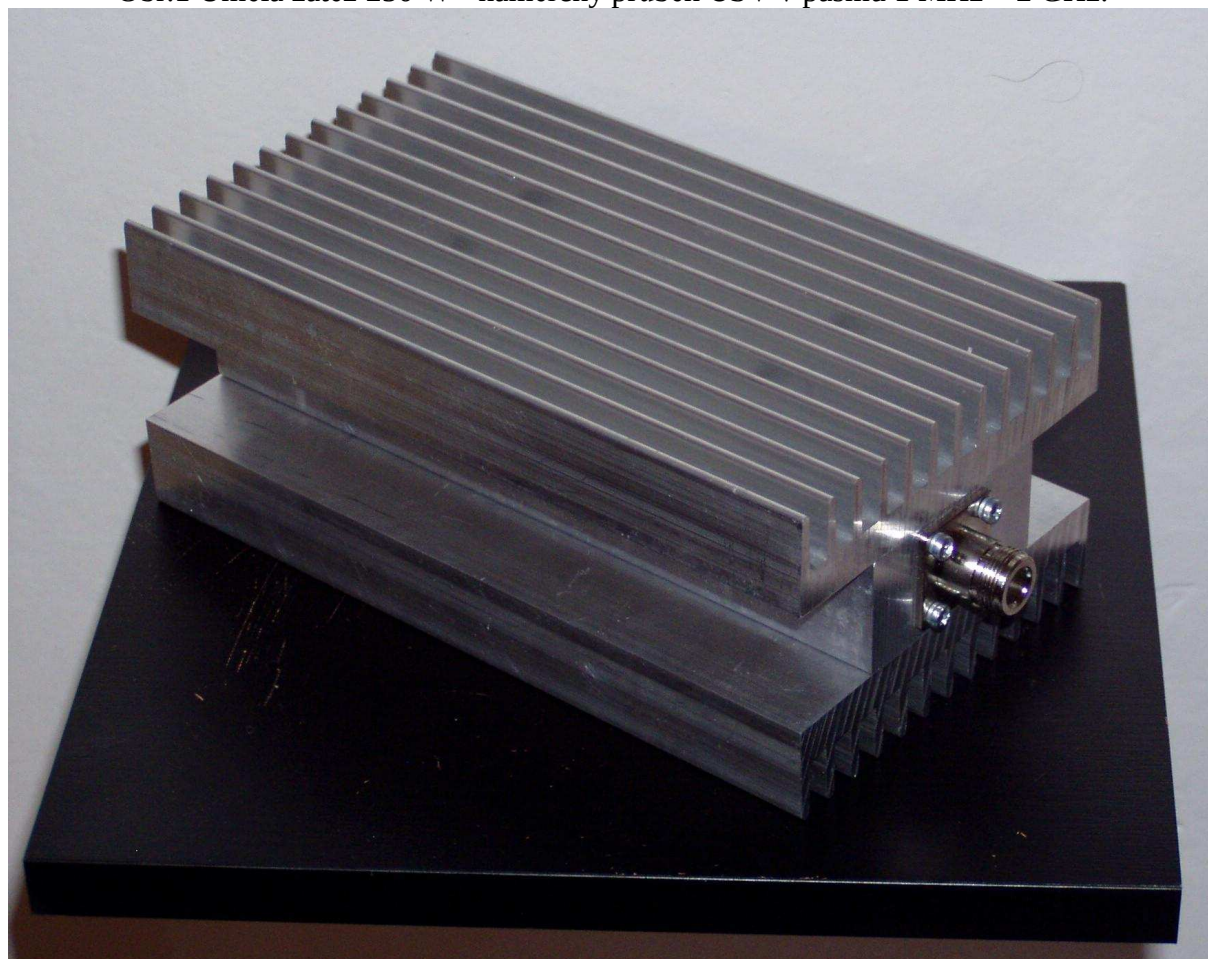
Obě umělé zátěže jsou klasické konstrukce využívající speciální bezindukční (Flange) terminátory se zatížitelností 250 a 800 W. Světových výrobců je několik (Johanson, RF Florida, Bourns atd.) a v ČR je možné tyto terminátory zakoupit například zde [1]. K dispozici jsou i jiné hodnoty odporů a odlišná provedení ztrátových výkonů, pouzder, materiálů, vývodů atd. Pozor, nejčastěji jsou k dispozici pouzdra tvořená BeO keramikou, která je při poruše (broušení, prasknutí pouzdra) silně toxická [2]. Mezní dostupné ztrátové výkony na jedno pouzdro se pohybují přibližně do 1 kW. Je možné použít pouzdra s vývody na obě strany a při vhodném sério - paralelním řazení se dostat až na ztrátové výkony kolem 3 kW. Ovšem pozor, tyto výkony jsou spíše teoretické a vyžadují velmi účinné chlazení, aby takto vysoký ztrátový výkon bylo možné z relativně malé plochy účinně odvézt. Osobně doporučuji se k hornímu ztrátovému limitu nepřibližovat, protože i při účinném chlazení došlo k poruše 800 W odporu po dvou sekundách zatížení cca 900 W, takže přetížitelnost je velmi malá. Stejnou zkušenost (a také poměrně drahou) prodělali i někteří moji kolegové, takže pokud chcete, aby tento druh umělé zátěže Vám spolehlivě fungoval po delší dobu, jako vhodný kompromis doporučuji tyto odpory zatěžovat maximálně polovinou jejich výkonové ztráty. Dále platí, že čím vyšší ztrátové výkony na jedno pouzdro, tím se i zvyšuje parazitní kapacita, která nám následně degraduje použitelnost na vyšších kmitočtových pásmech. Při použití čtyřech odporů 800 W v sério - paralelním řazení jsem se dostal kmitočtově řádově do 100 MHz (pro ČSV menší než 1,5), přičemž jakékoliv pokusy o kompenzaci této rozptylové kapacity pro rozšíření horní kmitočtové hranice skončily nezdarem, protože se sice zlepšila použitelnost v horním segmentu, ale úměrně se zhoršilo ČSV ve spodní části.

Ve verzi umělé zátěže se ztrátovým výkonem 250 W byl použit terminátor TF250BB12 určený do cca 3 GHz a verze 800 W byla osazena TF800BB14 do cca 1,5 GHz. Oba terminátory vyrábí firma Johanson. Obě zátěže jsou po elektrické stránce poměrně jednoduché a účelem článku je spíše ukázat, jak je možné realizovat celou zátěž po mechanické stránce. Oba terminátory jsou umístěné v hliníkovém profilu o rozměru 60 x 30 x 200 mm, ve kterém je vyfrézovaná komůrka vhodných rozměrů pro daný terminátor. Přívodní konektor je umístěn na čelní straně hliníkového profilu a přívod k samotnému čipu je proveden vedením s definovanou impedancí 50 Ω . Toto vedení je provedeno vyvrtáním otvoru daného rozměru, do kterého je vložen vnitřní vodič s dielektrikem z 50 Ω koaxiálního kabelu. Otvor pro vložení středního vodiče koaxiálního kabelu doporučuji udělat poměrně přesně, aby nedošlo k porušení definované impedance 50 Ω . Z vlastní zkušenosti vím, že vzduchová mezera cca 1mm mezi středním vodičem s dielektrikem a vlastní vyvrtanou dutinkou způsobila výrazné zhoršení použitelnosti umělé zátěže a zhoršení ČSV až na hodnotu kolem 2. Více je patrné z následujících obrázků. Ve verzi 250 W umělé zátěže byly použity dva chladiče s označením 0610 o rozměrech 25 x 111 x 200 mm. Verze 800 W používá pro chlazení opět dva chladiče symetricky přimontované z obou stran hliníkového profilu s terminátorem, označení chladiče

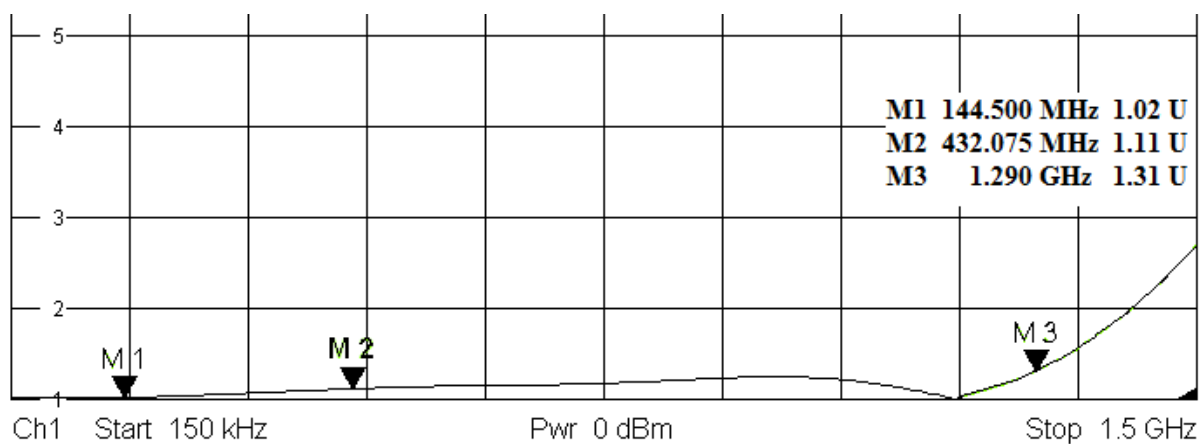
je 2838 a jeho rozměr je 100 x 100 x 200. Oba typy hliníkových chladičů a i hliníkový profil je možné zakoupit zde [3].



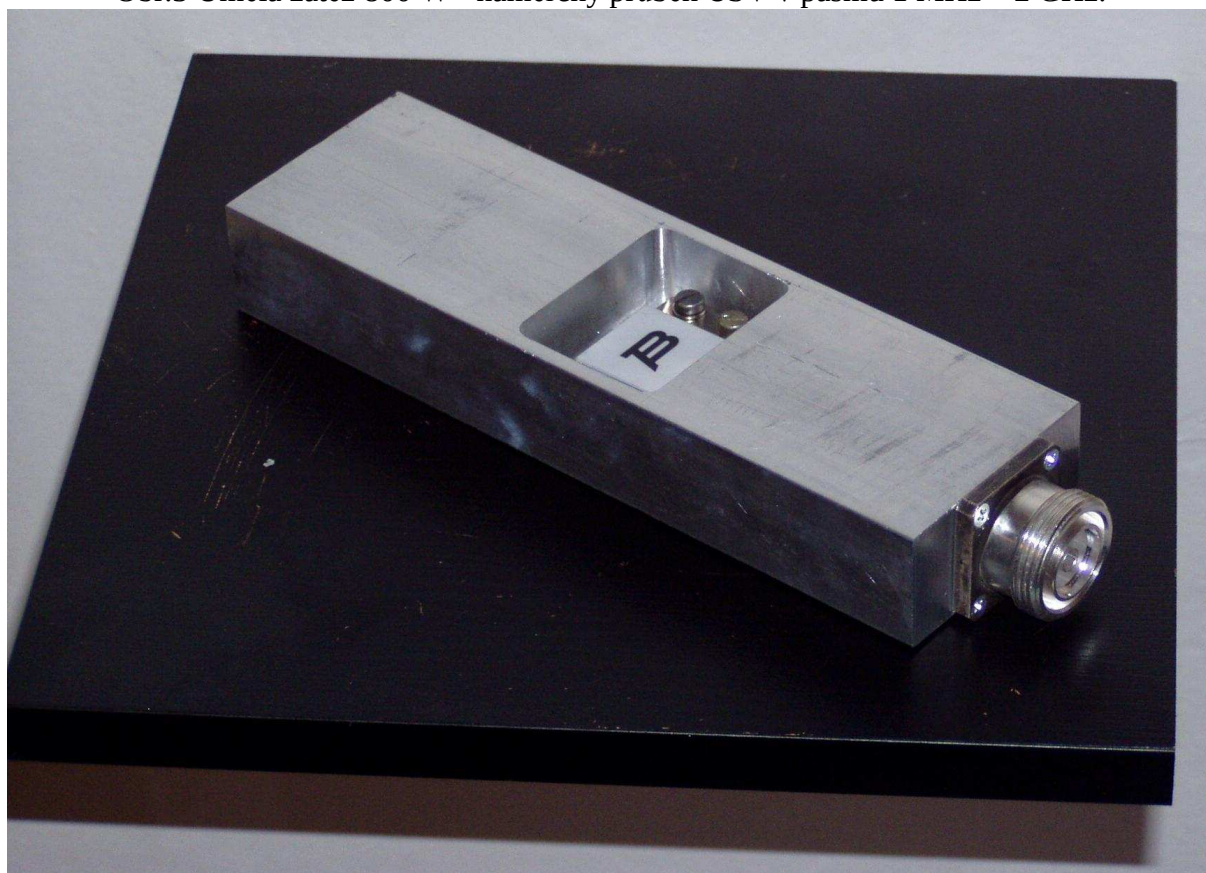
Obr.1 Umělá zátěž 250 W - naměřený průběh ČSV v pásmu 1 MHz – 2 GHz.



Obr.2 Finální mechanické provedení umělé zátěže 250 W do 1.7 GHz.



Obr.3 Umělá zátěž 800 W - naměřený průběh ČSV v pásmu 1 MHz – 2 GHz.



Obr.4 Provedení hliníkového profilu s usazeným terminátorem 800 W.



Obr.5 Finální mechanické provedení umělé zátěže 800 W do 1.296 GHz.

Umělá zátěž se ztrátovým výkonem trvale 1kW, krátkodobě 3 kW do 432 MHz

Tento typ umělé zátěže vzniknul spíše jako experiment a výsledky z tohoto experimentu jsou poměrně zajímavé, proto jsem se toto konstrukční řešení rozhodnul zveřejnit. Vše začalo tím, že se mi povedlo sehnat válcový bezindukční odpor $50\ \Omega$ o vnějším průměru 60 mm a délce 450 mm, tvořený keramickou trubkou, na které je nanášena definovaná vrstva uhlíkového materiálu. V té samé době jsem potřeboval při ožiování nového KV PA osazeného GU78b dostatečně dimenzovanou umělou zátěž, která by byla schopna třeba jen krátkodobě vyzářit výkon až kolem 3kW. Uvedený odpor původně pocházel z rezonanční umělé zátěže TV vysílače, která byla chlazena vodou a byla určena pro ztrátový výkon trvale okolo 20kW. V této zátěži byly použity čtyři kusy těchto odporů a zátěž byla optimalizována pro relativně úzké kmitočtové pásmo.

Pro mé pokusy s koncovými stupni jsem nutně potřeboval dostatečně dimenzovanou umělou zátěž pro kmitočtové pásmo od 1 MHz ideálně do 144 MHz a rozhodl se tak pro použití tohoto válcového odporu. Vzhledem k rozměrům daného odporu bylo od počátku jasné, že jediná šance, jak tuto umělou zátěž realizovat, aby fungovala i na 144MHz, musí být založena na principu souosého vedení s exponenciálním průběhem. Předlohou mi byl především tento článek [4], který vyšel v AR 1985/E s názvem: Zatěžovací odpory pro souosá vedení. Zde autor popisuje menší verzi umělé zátěže, kde je válcový bezindukční odpor vložen do

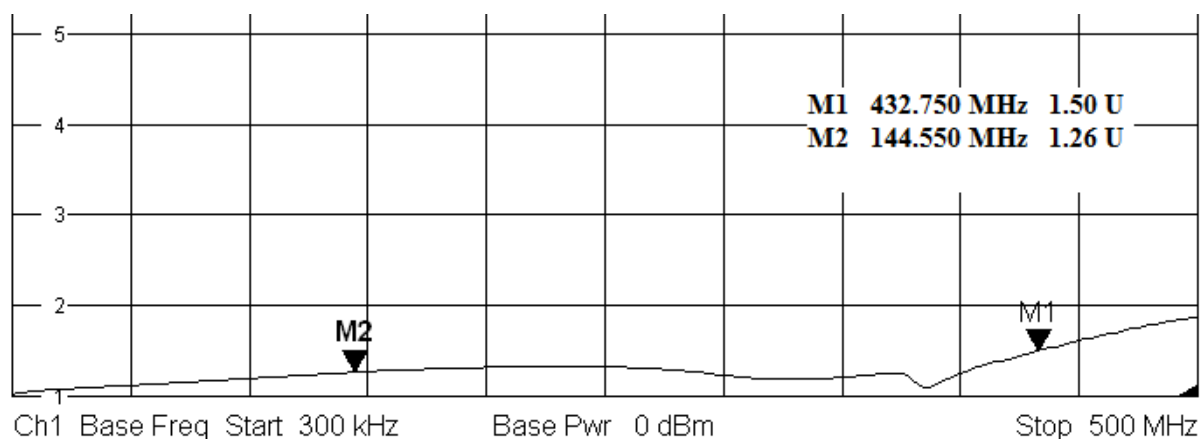
vysoustružené hliníkové dutiny, jejíž stěny mají tvar exponenciály. Vzhledem k rozměrům mého odporu toto řešení z finančních důvodů nepřicházelo k úvahu. Rozumný kompromis se nakonec ukázal ve variantě, že odpor bude umístěn ve čtvercové dutině z hliníkových plechů o rozměrech 130 x 130 x 505 mm a ze dvou stran budou umístěna dvě exponenciální vedení tvořená opět hliníkovým plechem, které budou simulovat potřebný exponenciální průběh vedení. Před vlastní stavbou jsem poprosil kolegu Ing. J.Mráze, Ph.D. z katedry, který se zabývá elektromagnetickým polem a simulacemi v této oblasti a za pomoc mu tímto velice děkuji. Povedlo se tak vytvořit poměrně přesný elektrický model uvažovaného řešení umělé zátěže, u které bylo následně možné numericky modelovat šíření elmag. vlny, vstupní impedanci, rozložení hustoty výkonu podél odporu a mnoho dalších parametrů. Díky tomuto modelu se tak povedlo nalézt poměrně vhodné řešení tvaru exponenciálních vedení, jejich rozměrů a rozměrů dutiny. Přesný matematický popis výsledného tvaru vedení je obsáhlý a složitý a je nad rámec tohoto článku. Na obrázku 7 je zobrazena odvozená rovnice pro exponenciální vedení, ale výsledný tvar vedení vzniklý simulací pro optimální hodnoty ČSV se mírně od tohoto průběhu liší. V praxi se ukázalo, že je výhodnější obrácený postup, tedy, že vytváříme vedení podél odporu na nejlepší hodnoty vstupního ČSV. Na dutině je výhodné vytvořit ve správné vzdálenosti ladící vymežovací šroubek se závitem, kterým měníme mechanický tvar vedení a tím nastavíme optimální hodnoty ČSV.

Jak bylo řečeno výše, celá zátěž je tvořena čtvercovou dutinou tvořenou hliníkovými plechy o rozměru 130 x 130 x 505 mm. Ve středu této dutiny je umístěn vlastní odpor 50 Ω , který je vymezen pomocí teflonových sloupků na střed. Ze dvou stran jsou umístěny dva hliníkové plechy stejné šířky, jako je šířka dutiny a tyto plechy se exponenciálně přibližují ke konci odporu, kde jsou elektricky spojeny s koncem odporu a zároveň dobře vodivě spojeny se zemí. Více je patrné z přiložených obrázků. Ve výsledném prototypu se povedlo dostat až do pásma 432 MHz, a v celém rozsahu 300 kHz – 432 MHz bylo ČSV menší než 1,5.

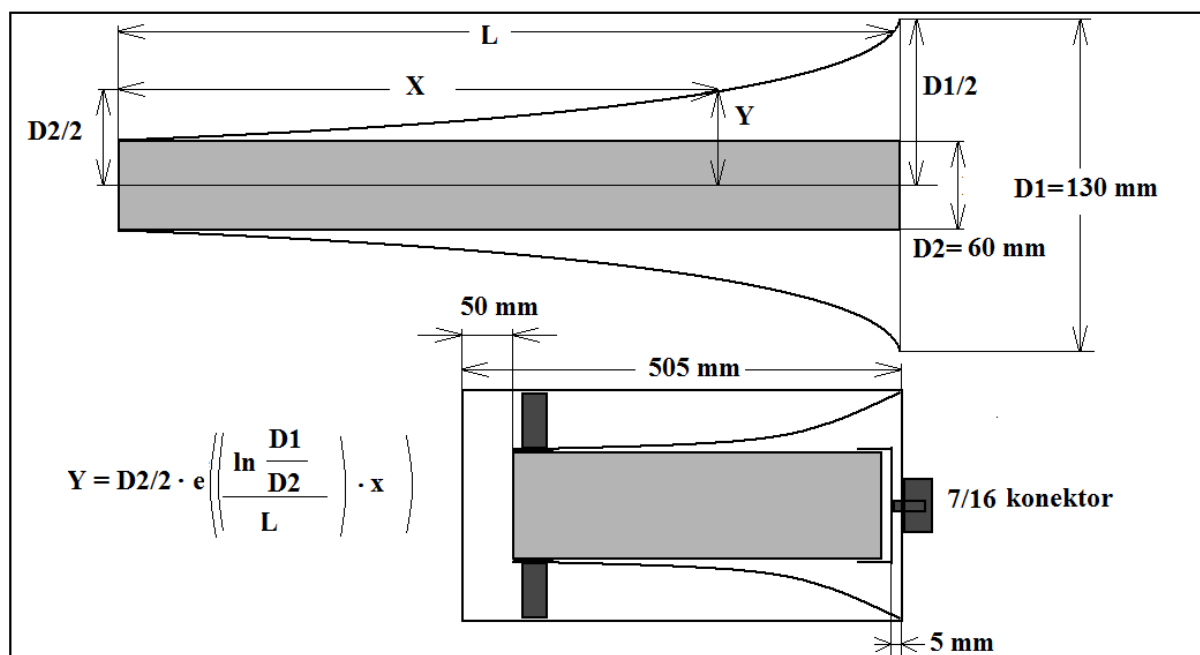
Aby bylo možné využít plné výkonové ztráty umělé zátěže je celá dutina profukována vzduchem. Na jednom konci umělé zátěže jsou umístěny dva paralelně spojené axiální ventilátory, které pro vyšší účinnost chlazení vzduch z dutiny odsávají. Musíme použít kovové typy s kovovými lopatkami, které mají vyšší provozní teplotu a zároveň musíme hlídat teplotu vzduchu vycházejícího z umělé zátěže, aby nedošlo k poškození ventilátorů nebo keramického odporu. Zátěž byla opakovaně použita při oživování koncového stupně s GU78b, jehož výstupní výkon byl okolo 3 kW a zátěž po dobu několika desítek sekund byla schopna tento výkon absorbovat. Pro dlouhodobá měření mám vyzkoušeno, že je limitní výkon zde popisované umělé zátěže cca 1 kW. Vstupní konektor byl pro robustnost zvolen 7/16. Problém může nastat se sháněním vhodného rezistoru, ale po zadání „tubular non inductive resistors“ mi internetový vyhledávač nabídnul několik odkazů a podobné odpory jsem našel například u tohoto výrobce [5]. Všem kdo se pustí do stavby výše uvedených umělých zátěží držím palce při stavbě. 73! de OK1GTH

Odkazy:

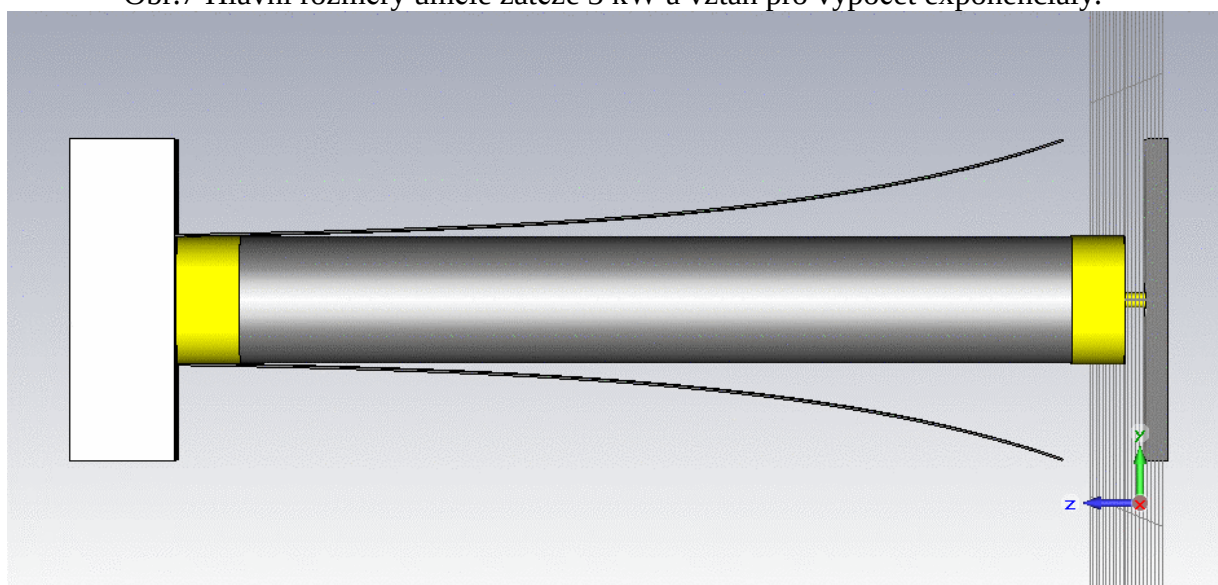
- [1] <http://cz.farnell.com/>
- [2] http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_berylnat%C3%BD
- [3] <http://www.alupa.cz>
- [4] STROUHAL, M. *Zatěžovací odpory pro souosá vedení*. Amatérské rádio. 1987/E.
- [5] <http://www.kanthal.com/>



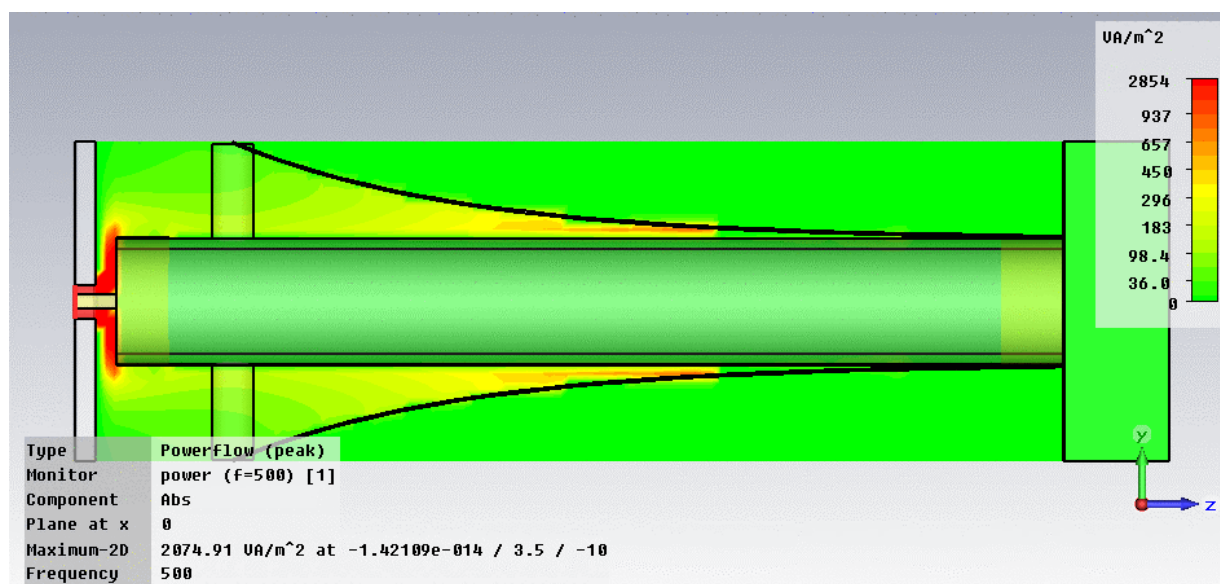
Obr.6 Umělá zátěž 3 kW - naměřený průběh ČSV v pásmu 300 kHz – 500 MHz.



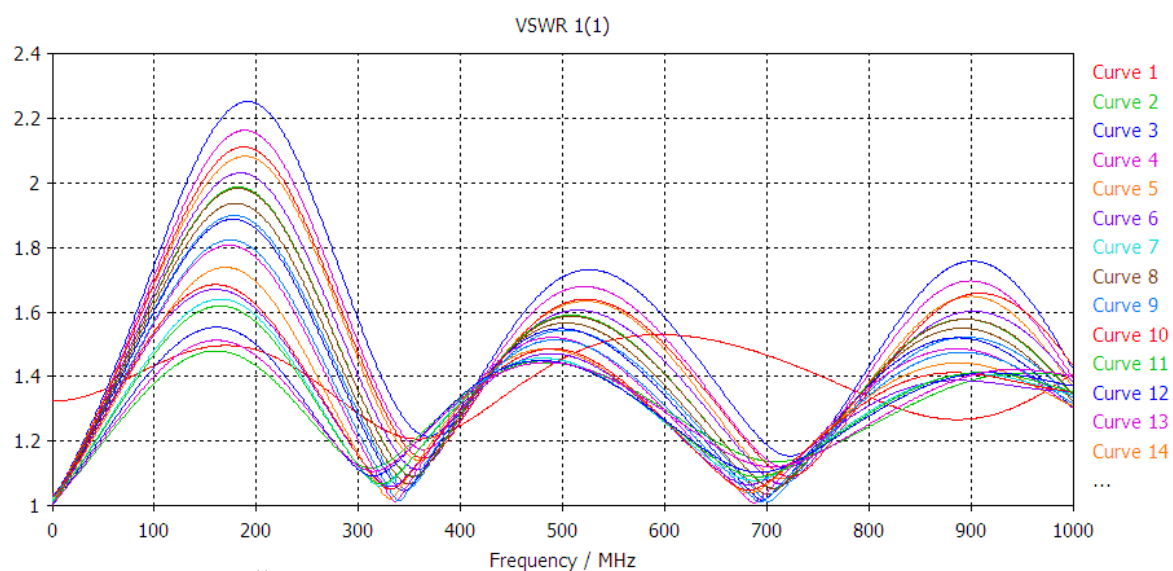
Obr.7 Hlavní rozměry umělé zátěže 3 kW a vztah pro výpočet exponenciály.



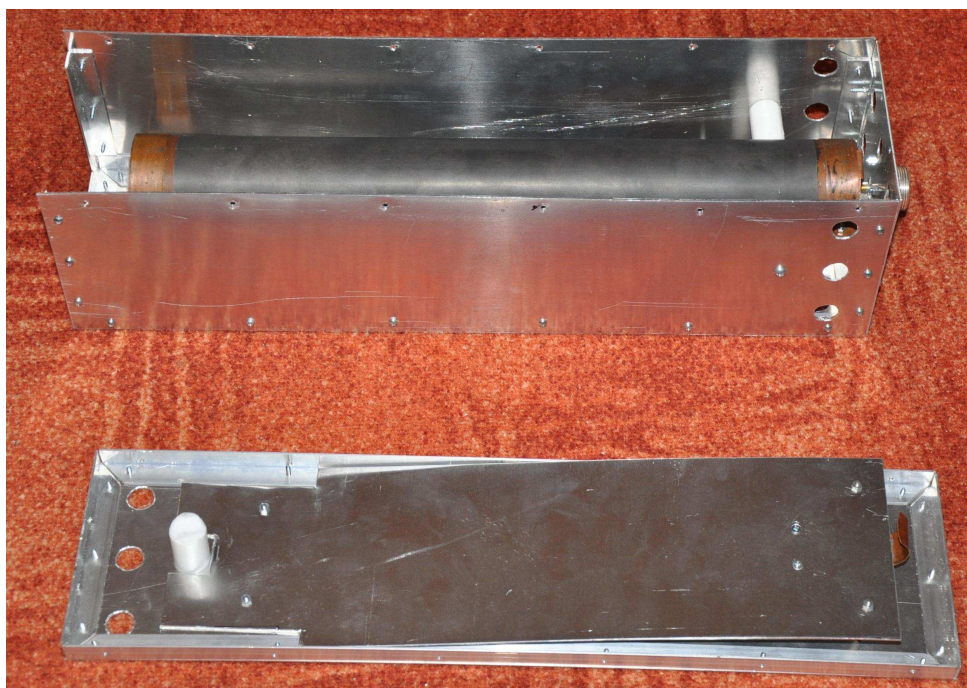
Obr.8 Simulace v 3D EM simulátoru pole – zadání a okrajové podmínky.



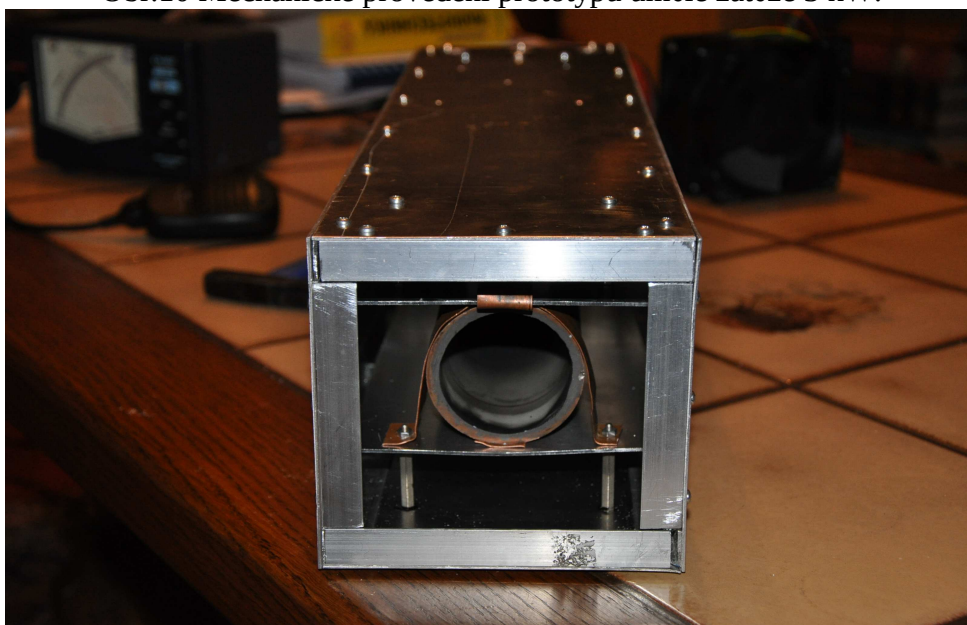
Obr.8 Rozložení intenzity pole VA/m² při 1 kW.



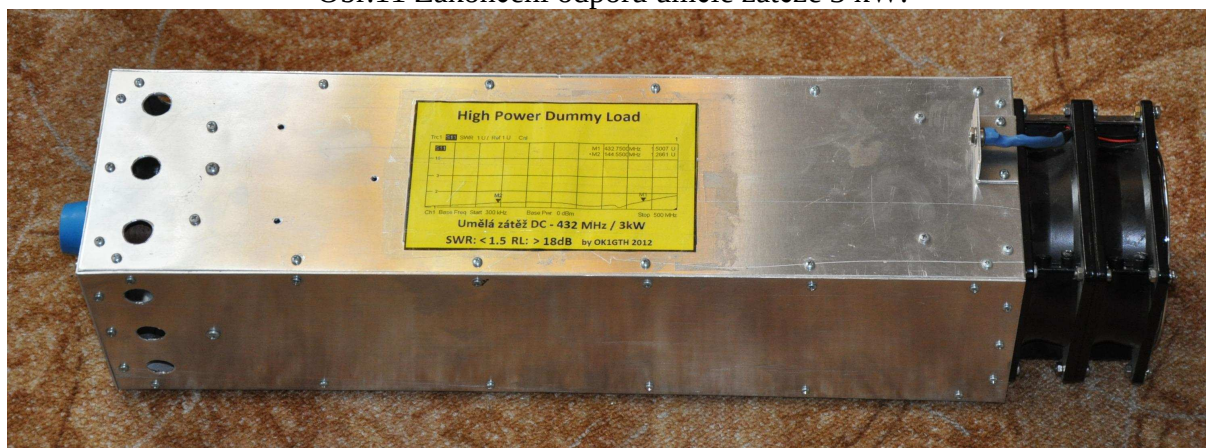
Obr. 9 Průběhy ČSV pro různé tvary (konstanty) exponenciálního vedení – simulace.



Obr.10 Mechanické provedení prototypu umělé zátěže 3 kW.



Obr.11 Zakončení odporu umělé zátěže 3 kW.



Obr.12 Finální provedení umělé zátěže 3 kW do 432 MHz.