

Návrh a Konstrukce Antén

A0M17NKA

Trychtýřové antény a širokopásmové trychtýřové antény

Zdeněk Hradecký
ČVUT v Praze, FEL
B2: 901, linka: 2910
hradecz@fel.cvut.cz





Trychtýřové antény a širokopásmové trychtýřové antény



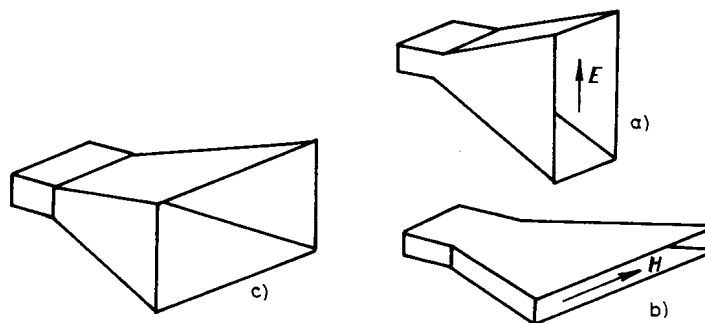


Trychtýřové antény

- Vycházejí z vlnodů
- Šířka pásma 2:1 (reálně o 10-15% menší)
- Velké výkonové zatížení
- Kalibrační antény
- Otevřený konec vlnovodu – H-rovina 80°, E-rovina 140°, $G \sim 8 - 10$ dB, špatné přizpůsobení $|\Gamma|=0,28$

$$|\Gamma| = \frac{1 - \lambda/\lambda_g}{1 + \lambda/\lambda_g}$$

- Ploché trychtýř E (a), ploché trychtýř H (b), jehlanový trychtýř (c)

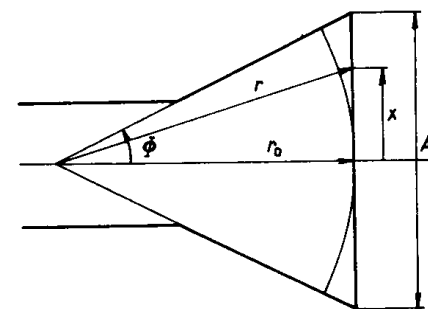




Trychtýřové antény

- Řeší se z určení pole v ústí trychtýře
- Pole v ústí trychtýře nemá konstantní fázi

$$r - r_0 = \sqrt{(r_0^2 + x^2)} - r_0 = r_0 \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{x}{r_0}\right)^2} - 1 \right\}$$



- Největší rozdíl fáze je na krajích

Fázová chyba

$$r - r_0 \approx \frac{A^2}{8r_0}$$



$$\Delta\psi = k(r - r_0) = \frac{\pi A^2}{4\lambda r_0}$$

$$\Delta\psi = \frac{2\pi r_0(1 - \cos\Phi)}{\lambda \cos\Phi}$$

- Maximální dovolená fázová chyba je $3\pi/4$

$$r_{0\text{opt}} = \frac{A^2}{3\lambda}$$

- Elektrické pole v ústí trychtýře

$$E_y = Ck^2 e^{-j\frac{\pi x^2}{\lambda r_0}} \cos \frac{\pi x}{A}$$



Trychtýřové antény

- Vyzážené vlnění z trychtýře pak je

$$\text{Rovina } \mathbf{H} (\varphi = 0) \quad E_{\vartheta} = 0 \quad E_{\vartheta} = -\frac{jk e^{-jkr}}{4\pi r} \left(\cos \vartheta + Y \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \right) \int_{-A/2}^{A/2} \int_{-B/2}^{B/2} C k^2 e^{-j\frac{\pi x^2}{\lambda r_0}} \cos \frac{\pi x}{A} e^{jkx \sin \vartheta} dy dx$$

$$\text{Rovina } \mathbf{E} (\varphi = \pi/2) \quad E_{\varphi} = 0 \quad E_{\vartheta} = \frac{jk e^{-jkr}}{4\pi r} \left[1 + Y \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \cos \vartheta \right] \int_{-A/2}^{A/2} \int_{-B/2}^{B/2} C k^2 e^{-j\frac{\pi x^2}{\lambda r_0}} \cos \frac{\pi x}{A} e^{jkx \sin \vartheta} dy dx$$

- Integrály pro složky pole vedou na integrály Fresnelovy - tabelovány

$$\int_0^u e^{j\frac{\pi t^2}{2}} dt = \text{Ci}(u) + j \text{Si}(u)$$

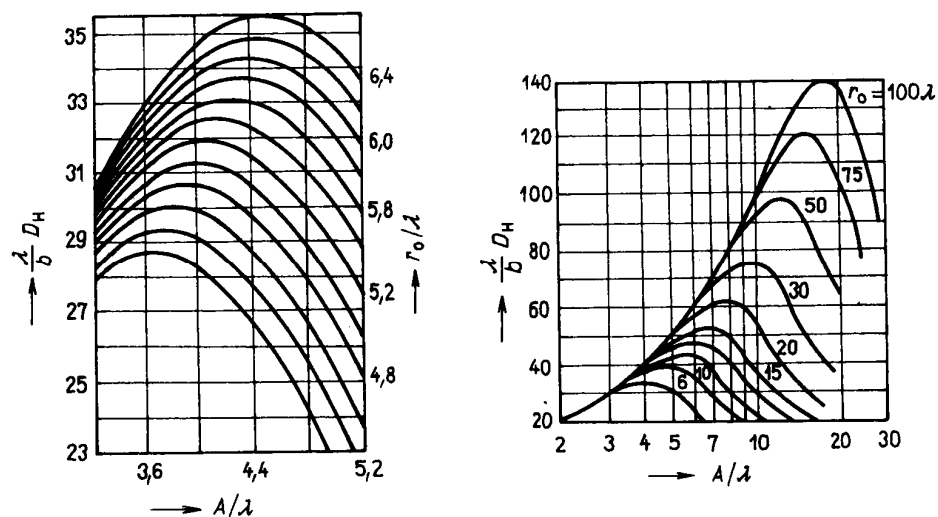
- Směrovost trychtýře

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\left| \int_s E_y dS \right|^2}{\int_s |E_y|^2 dS} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\left| \int_{-A/2}^{A/2} E_0 \cos \frac{\pi x}{A} e^{-j\frac{\pi x^2}{\lambda r_0}} dx \int_{-B/2}^{B/2} dy \right|^2}{\int_{-A/2}^{A/2} E_0^2 \cos^2 \left(\frac{\pi x}{A} \right) dx \int_{-B/2}^{B/2} dy}$$

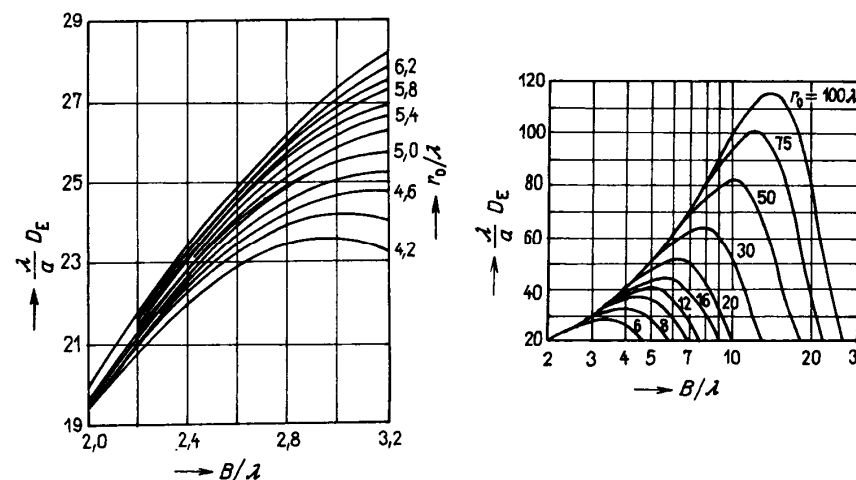


Trychtýřové antény

Křivky směrovosti plochého trychtýře H



Křivky směrovosti plochého trychtýře E



➤ Maxima křivek nastávají při

$$\frac{r_0}{\lambda} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{\lambda} \right)^2 \rightarrow r_{0 \text{ opt}} = \frac{A^2}{3\lambda}$$



$$D = 0,64 \frac{4\pi S}{\lambda^2}$$

$$r_{0 \text{ opt}} = \frac{B^2}{2\lambda}$$





Trychtýřové antény

- Optimální délka trychtýře z hlediska směrovosti

$$\frac{A^2}{3\lambda} \leq r_0 \leq 0,8 \frac{A^2}{\lambda}$$

- Celková směrovost jehlanového trychtýře

$$D_{jeh} = \frac{\pi^2}{32} \left(\frac{\lambda}{A} D_E \right) \left(\frac{\lambda}{B} D_H \right)$$

- Při návrhu trychtýře je třeba určit:
 - velikost ústí trychtýře **A** x **B**
 - délku trychtýře **r₀**
- Výchozí veličiny
 - vlnová délka
 - šířky svazku v obou rovinách - zisk

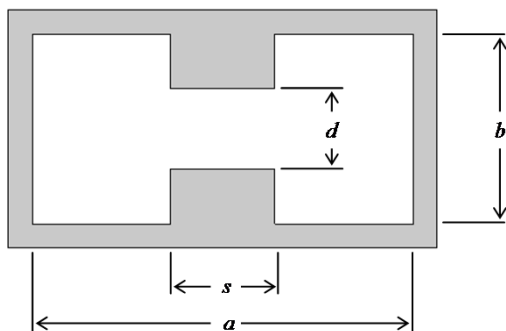


Hřebenové vlnovody

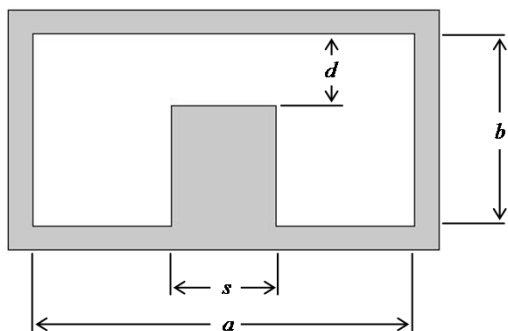
Metoda příčné rezonance

(J.S.Cohn – 1945, S. Hopfer - 1955)

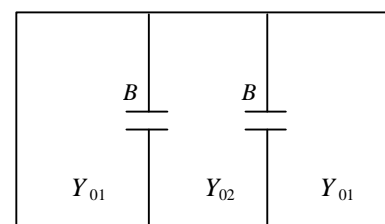
H-vlnovod



π-vlnovod



Náhradní obvod



$$\frac{b}{d} \operatorname{tg} \theta_2 - \cotg \theta_1 + \frac{B}{Y_{01}} = 0 \quad \text{liché vidy}$$

$$\frac{b}{d} \cotg \theta_2 + \cotg \theta_1 - \frac{B}{Y_{01}} = 0 \quad \text{sudé vidy}$$

$$\theta_1 = \frac{360}{\lambda_c} \left(\frac{a-s}{2} \right) \quad \theta_2 = \frac{360}{\lambda_c} \left(\frac{s}{2} \right)$$

Charakteristické admittance

$$Y_{01} = \frac{\kappa_x}{\omega \mu} \frac{1}{b} \quad Y_{02} = \frac{\kappa_x}{\omega \mu} \frac{1}{d}$$

Konstanta šíření ve směru x

$$\kappa_x = \frac{2\pi}{\lambda_c}$$



Hřebenové vlnovody

Vyjádření normované susceptance
(Marcuvitze - 1951)

$$\frac{Y_{01}}{Y_{02}} = \frac{d}{b} = \alpha = 1 - \delta$$

$$\frac{B}{Y_{01}} = \frac{2b}{\lambda_g} \left[\frac{\ln \left(\frac{1-\alpha^2}{4\alpha} \right) \left(\frac{1+\alpha}{1-\alpha} \right)^{\frac{1}{2} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)} + 2 \frac{A + A' + 2C}{AA' - C^2} + \right. \\ \left. + \left(\frac{b}{4\lambda_g} \right)^2 \left(\frac{1-\alpha}{1+\alpha} \right)^{4\alpha} \left(\frac{5\alpha^2 - 1}{1-\alpha^2} + \frac{4}{3} \frac{\alpha^2 C}{A} \right)^2 \right]$$

$$\frac{B}{Y_{01}} \approx \frac{2b}{\lambda_g} \left[\ln \left(\frac{1-\alpha^2}{4\alpha} \right) \left(\frac{1+\alpha}{1-\alpha} \right)^{\frac{1}{2} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)} + \frac{2}{A} \right]$$

$$\frac{B}{Y_{01}} \approx \frac{2b}{\lambda_g} \left[\ln \frac{e}{4\alpha} + \frac{\alpha^2}{3} + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{\lambda_g} \right)^2 (1-\alpha^2)^4 \right] \quad \alpha \ll 1$$

$$\frac{B}{Y_{01}} \approx \frac{2b}{\lambda_g} \left(\frac{\delta}{2} \right)^2 \left[\frac{2 \ln \frac{2}{\delta}}{1-\delta} + 1 + \frac{17}{16} \left(\frac{b}{\lambda_g} \right)^2 \right] \quad \delta \ll 1$$

$$A = \left(\frac{1+\alpha}{1-\alpha} \right)^{2\alpha} \frac{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{b}{\lambda_g} \right)^2}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{b}{\lambda_g} \right)^2}} - \frac{1 + 3\alpha^2}{1 - \alpha^2}$$

$$A' = \left(\frac{1+\alpha}{1-\alpha} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \frac{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{d}{\lambda_g} \right)^2}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{\lambda_g} \right)^2}} + \frac{3 + \alpha^2}{1 - \alpha^2}$$

$$C = \left(\frac{4\alpha}{1-\alpha^2} \right)^2$$

$$e = 2,718$$



Hřebenové vlnovody

Charakteristická impedance

$$Z_0 = \frac{U_0^2}{2P}$$

U_0 - špičkové napětí mezi žebry
 P - průměrný přenášený výkon vedením

Charakteristická impedance na nekonečné frekvenci pro vid TE_{10} (S. Hopfer - 1951)

$$Z_{0\infty} = 1/Y_{0\infty}$$

Admittance je výhodnější z hlediska vyjádření jako funkce geometrie

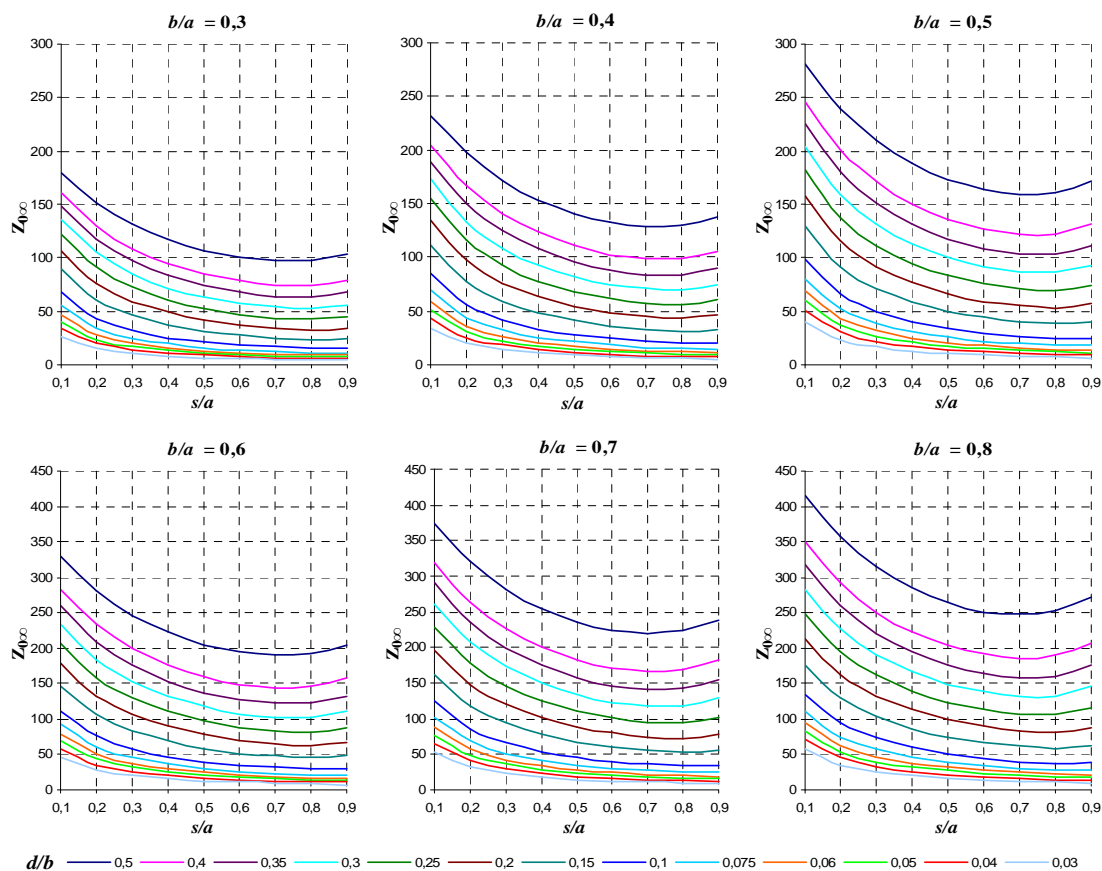
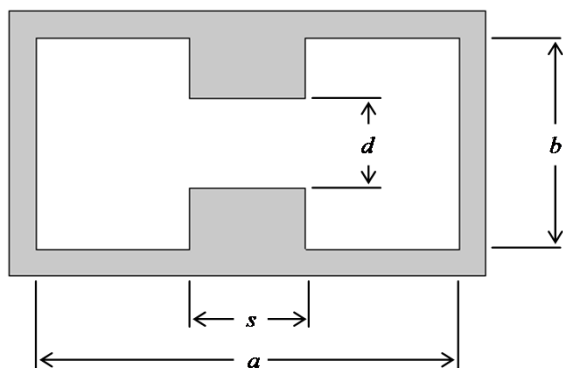
$$Y_{0\infty} = 2\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \frac{\lambda_c}{2\pi d} \left\{ \frac{2d}{\lambda_c} \cos^2\left(\frac{\pi s}{\lambda_c}\right) \ln\left(\sin\left(\frac{\pi d}{2b}\right)\right)^{-1} + \frac{\pi s}{2\lambda_c} + \frac{1}{4} \sin\left(\frac{2\pi s}{\lambda_c}\right) + \right. \\ \left. + \frac{d}{b} \frac{\cos^2\left(\frac{\pi s}{\lambda_c}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda_c}(a-s)\right)} \left[\frac{\pi(a-s)}{2\lambda_c} - \frac{1}{4} \sin\left(\frac{2\pi(a-s)}{\lambda_c}\right) \right] \right\}$$

$$Z_0 = Z_{0\infty} / \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$



Hřebenové vlnovody

Závislost charakteristické impedance $Z_{0\infty}$ na rozměrech H-vlnovodu pro vid TE_{10}





Hřebenové vlnovody

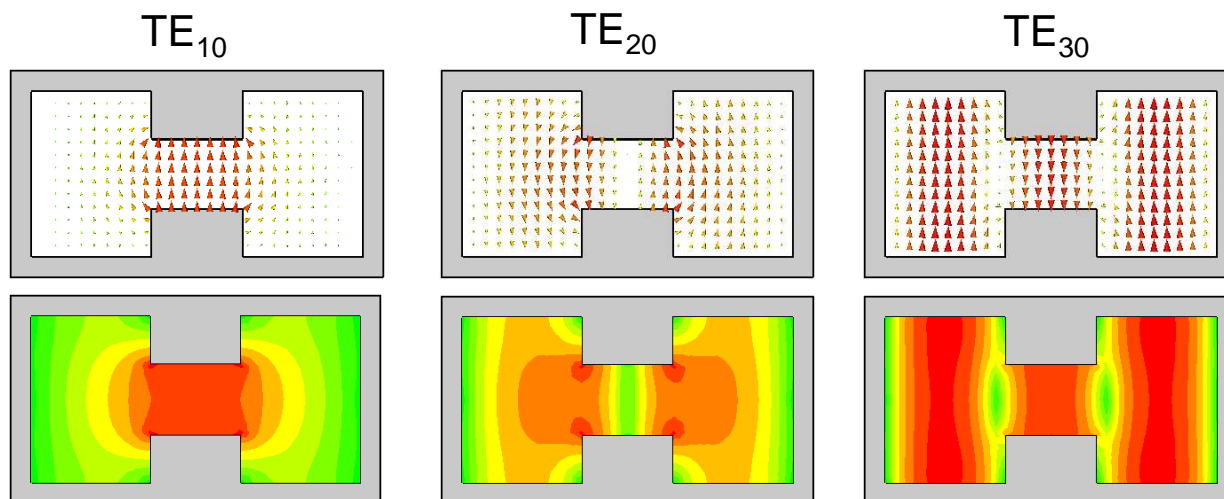
Šířka pásma

Poměr mezních vlnových délek vidů TE_{10} a TE_{30} $(\lambda_c^{10} / \lambda_c^{30})$

Definovaná na základě umístění budící sondy ve středu vlnovodu.



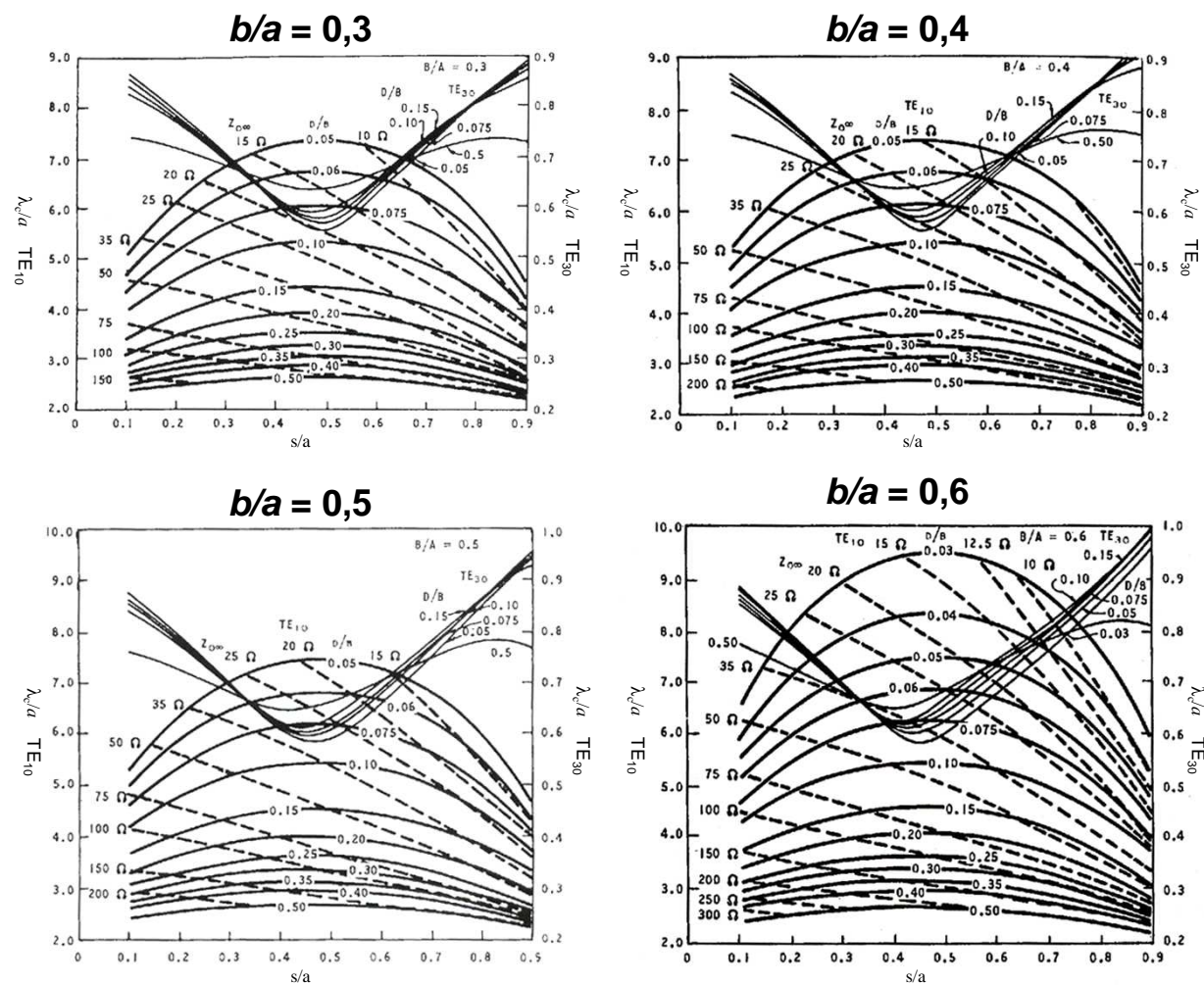
Potlačeno vybuzení vidu TE_{20}





Hřebenové vlnovody

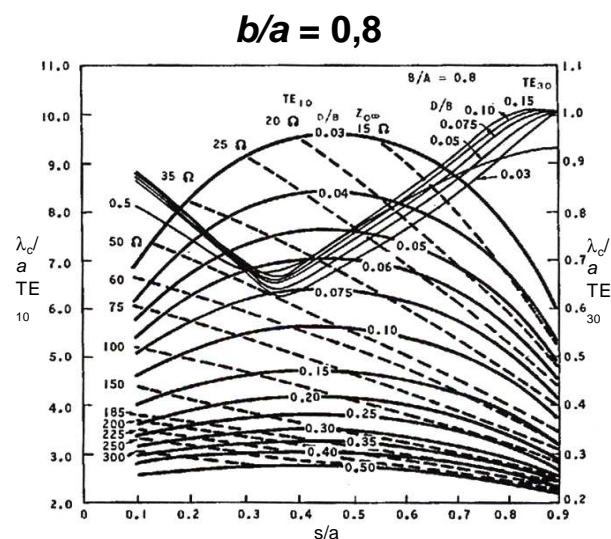
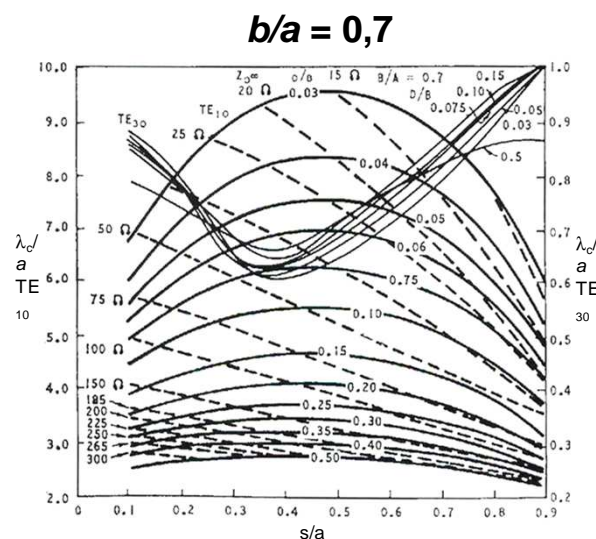
Mezní vlnové délky vidů TE_{10} a TE_{30} a impedance na nekonečné frekvenci $Z_{0\infty}$ pro různé poměry b/a – K.L. Walton, V.C. Sundberg (1964)





Hřebenové vlnovody

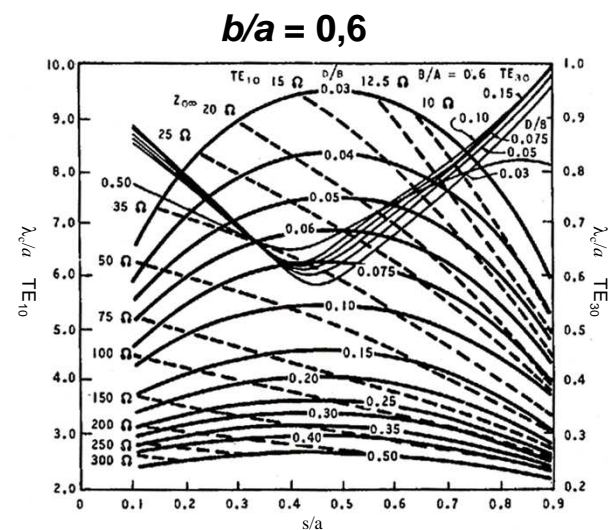
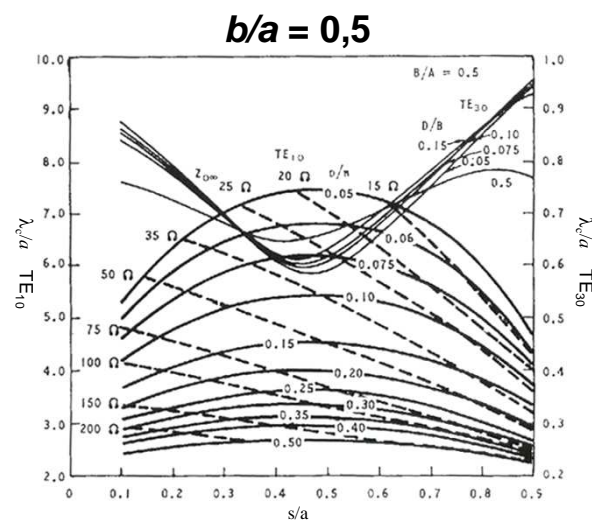
Mezní vlnové délky vidů TE_{10} a TE_{30} a impedance na nekonečné frekvenci $Z_{0\infty}$ pro různé poměry b/a – K.L. Walton, V.C. Sundberg (1964)



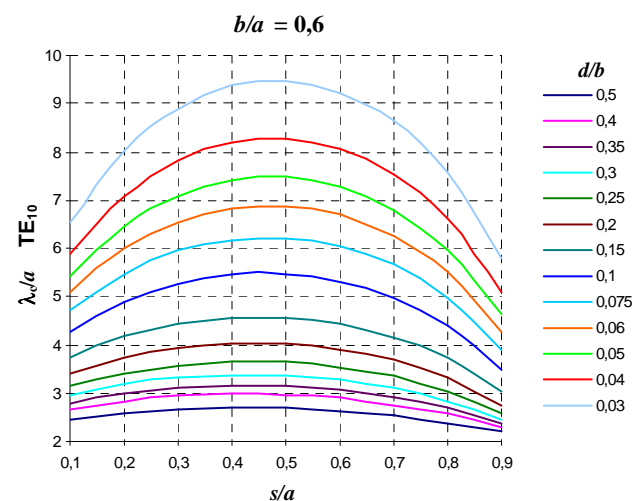
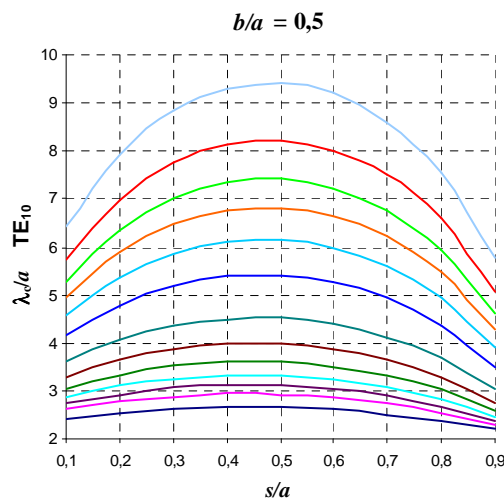


Hřebenové vlnovody

Walton,
Sundberg
(1964)



CST Studio
(FIT)





Hřebenové vlnovody

Studie vidů

- Není možné zcela jednoznačně označit vidy stejně jako u obdélníkového vlnovodu
- První, dominantní vid značený TE_{10} je možné považovat za regulérní z hlediska rozložení jeho intenzity elektrického pole pro všechny rozměry dané poměry b/a , s/a a d/b .
- Degenerace vidu TE_{30} pro určité poměry b/a , s/a a d/b
- Neexistence vidu TE_{30} pro určité poměry b/a , s/a a d/b
- Přeskočení vyššího vidu TE_{xx} s maximální intenzitou mezi žebry před vid TE_{30}



Nová definice šířky pásma

$$\lambda_C^{10} / \lambda_C^{X1}$$

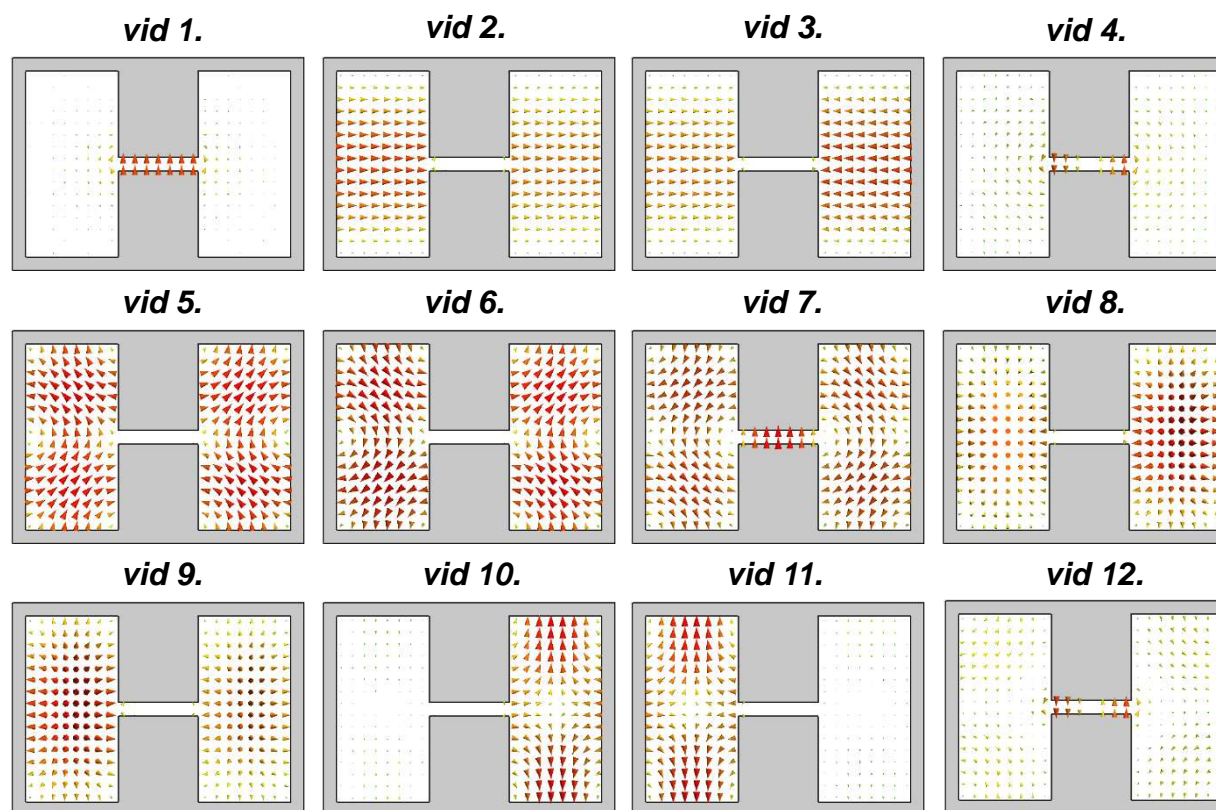


TE_{x1} první vyšší vid s maximální intenzitou ve středu vlnovodu mezi žebry



Hřebenové vlnovody

CST Microwave studio – $b/a = 0,7$ $s/a = 0,3$ $d/b = 0,075$





Hřebenové vlnovody

Neexistence vidu TE_{30}

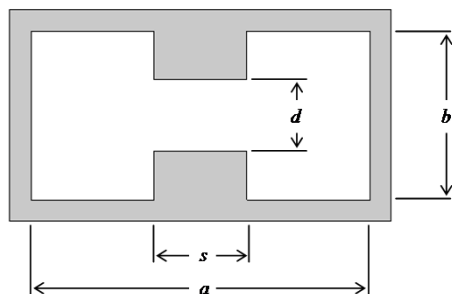
Za podmínky:

$$\frac{(a-s)/2}{b} = \frac{l_1}{b} = \frac{1}{2} \quad \text{a zároveň} \quad \frac{s}{b} < \frac{1}{2}$$



nastává pro $a/b > 0,5$

Rozložení intenzity elektrického pole vidu TE_{x1} a TE_{x2}



$$\underline{b/a = 0,6}$$

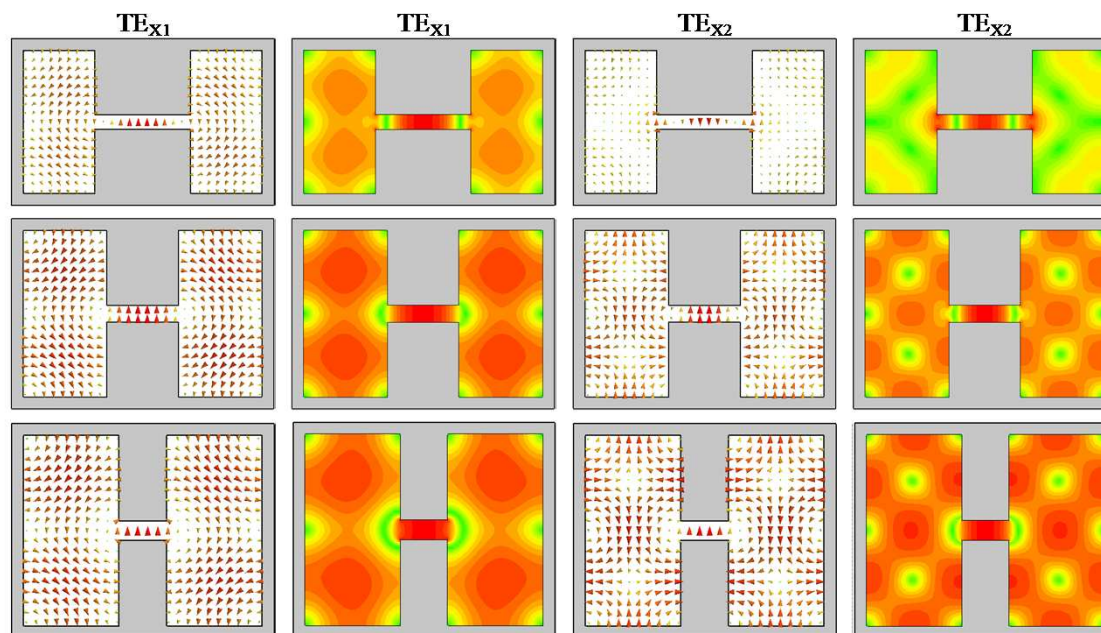
$$s/a = 0,4$$

$$\underline{b/a = 0,7}$$

$$s/a = 0,3$$

$$\underline{b/a = 0,8}$$

$$s/a = 0,2$$

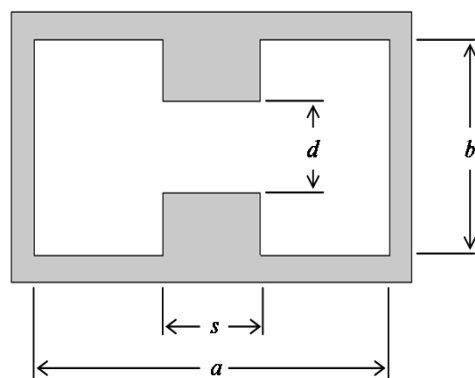




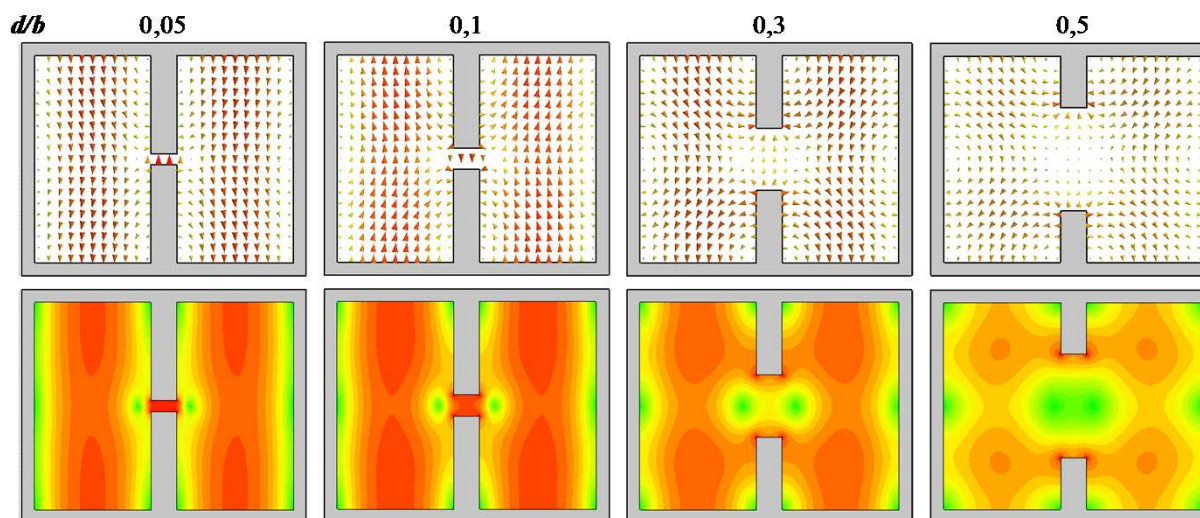
Hřebenové vlnovody

Degenerace vidu TE_{30}

Za podmínky: $b/a > 0,5$



Příklad degenerace vidu TE_{30} při změně poměru d/b pro $b/a = 0,8$ a $s/a = 0,1$





Hřebenové vlnovody

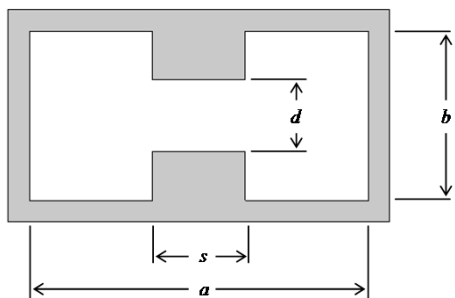
Přeskočení vyššího vidu TE_{x1} před vid TE_{30}

Za podmínky: $b/a > 0,6$ a $l_1/b < 1/2$ (vzdálenost mezi žebrem a boční stěnou je menší než polovina strany b)

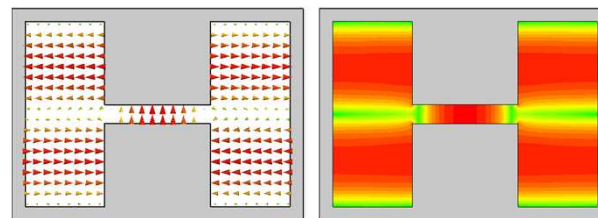
- Se zvětšováním poměru s/a a zároveň zmenšováním poměru d/b dochází k degeneraci vidu zobrazeném níže, který se v krajních případech transformuje do vidu TE_{30}



Zde právě nastává nejednoznačnost, kdy lze transformovaný vid již považovat za vid TE_{30}



Rozložení intenzity pole vyššího vidu TE_{xx}





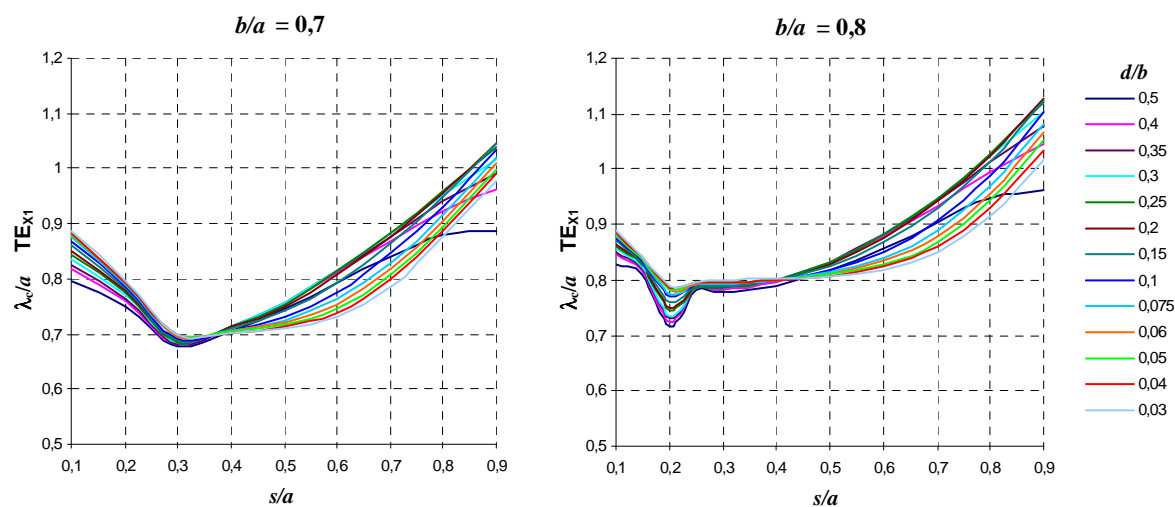
Hřebenové vlnovody

- Na základě předešlých poznatků byly přepočítány pomocí CST Microwave Studio mezní vlnové délky prvního vyššího vidu TE_{x1} normované ke straně a



CST Microwave Studio
x
data Walton a Sundberg

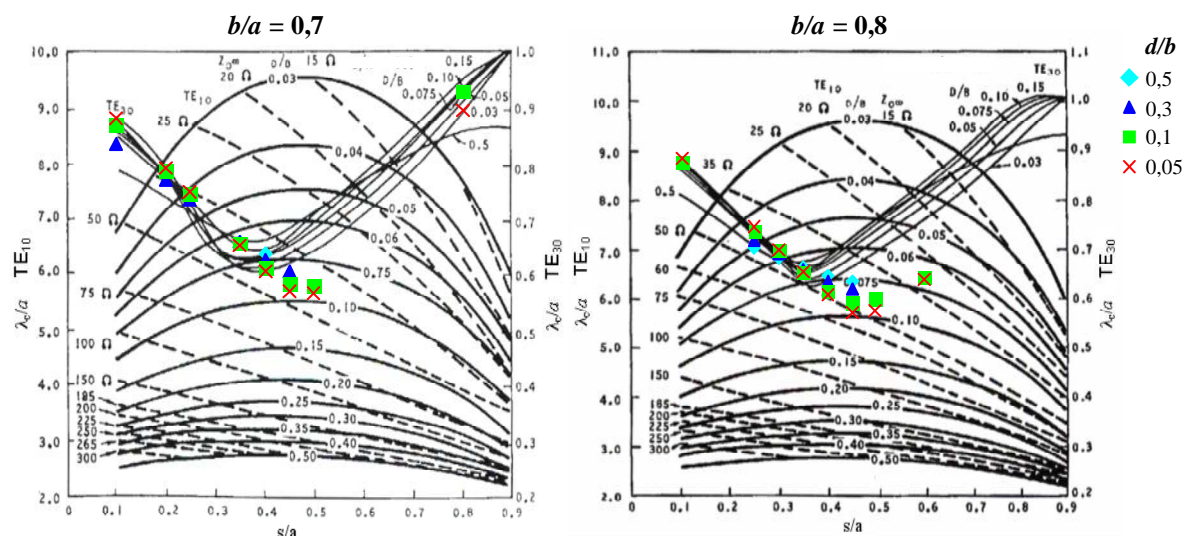
- Průběhy pro všechny poměry $b/a < 0,7$ jsou prakticky totožné
- Neshody nastávají pro poměry $b/a = 0,7$ a $b/a = 0,8$ (přeskočení vyššího vidu TE_{x1})





Hřebenové vlnovody

Porovnání mezní vlnové délky vidu TE_{30} vypočítané pomocí CST Microwave Studio



- hodnoty se shodují pro malé poměry s/a
- pro poměr s/a blížící se jedné polovině se hodnoty začínají značně lišit
- při dalším zvětšování poměru s/a již nelze jednoznačně určit vid TE_{30} (hodnoty nejsou uvedeny)
- Neshoda vzniká vzhledem k chybě výpočtu, která nastává díky omezení pro vyjádření normované susceptance B/Y_{01} (neplatí zcela podmínka $b/\lambda_g < 1$)



Přechody z koaxiálního vedení na H-vlnovod

Lze rozdělit na dva typy:

I. Přechody, jejichž rozměry vlnovodu jsou dány standardizovanou řadou

- určena především pro širokopásmová vlnovodová vedení
- maximální pracovní šířka pásma je 4:1 při $S_{11} < -10$ dB

II. Přechody, které jsou pevnou součástí antény

- extrémně širokopásmové
- návrh je velice komplikovaná záležitost, protože je závislý na mnoha faktorech
- lze navrhnout přechod a následně anténu se šířkou pásma až 20:1 pro přizpůsobení $S_{11} < -10$ dB



Standardní řada H-vlnovodů

Waveguide Size	MIL-W-23351 Dash #	Material	Freq Range (GHz)	Freq Cutoff (GHz)	Power (at 1 Atm)		Insertion Loss (dB/ft)	Dimensions (Inches)					
					CW	Peak		a	b	aa	bb	s	d
WRD250	-	Alum Brass Copper Silver Al	2.60 - 7.80	2.093	24	120	0.025 0.025 0.018 0.019	1.655	0.715	2	1	0.44	0.15
WRD350 D24	4-029 4-303 4-031	Alum Brass Copper	3.50 - 8.20	2.915	18	150	0.0307 0.0303 0.0204	1.48	0.688	1.608	0.816	0.37	0.292
WRD475 D24	4-033 4-034 4-035	Alum Brass Copper	4.75 - 11.00	3.961	8	85	0.0487 0.0481 0.0324	1.09	0.506	1.19	0.606	0.272	0.215
WRD500 D36	2-025 2-026 2-027	Alum Brass Copper	5.00 - 18.00	4.222	4	15	0.146 0.141 0.095	0.752	0.323	0.852	0.423	0.188	0.063
WRD650	-	Alum Brass Copper	6.50 - 18.00	5.348	4	25	0.106 0.105 0.07	0.720	0.321	0.820	0.421	0.173	0.101
WRD750 D24	4-037 4-038 4-039	Alum Brass Copper	7.50 - 18.00	6.239	4.8	35	0.0964 0.0951 0.0641	0.691	0.321	0.791	0.421	0.173	0.136
WRD110 D24	4-041 4-042 4-043	Alum Brass Copper	11.00 - 26.50	9.363	1.4	15	0.171 0.169 0.144	0.471	0.219	0.551	0.299	0.118	0.093
WRD180 D24	4-045 4-046 4-047	Alum Brass Copper	18.00 - 40.00	14.995	0.8	5	0.358 0.353 0.238	0.288	0.134	0.368	0.214	0.072	0.057



Přechody z koaxiálního vedení na H-vlnovod

Složení přechodu:

- koaxiální část navazující na konektor
- zadní rezonanční dutina
- odchozí H-vlnovod, na který navazuje trychtýř s ploutvemi nebo případně vlnovodové vedení

Obecný návrh přechodu:

- návrh rozměrů H-vlnovodu - vychází se z mezní frekvence vidu TE_{10} - určuje dolní frekvenční limit
- Horní frekvenční limit je závislý na typu přechodu

Přechod I. - mezní frekvence prvního vyššího vidu (TE_{30})

Přechod II. - nelze zcela jednoznačně určit maximální pracovní frekvenci na základě mezní frekvence vyššího vidu.

- maximální frekvence je závislá na konstrukci přechodu
- záleží do jaké míry jsou potlačeny vyšší vidy s maximální intenzitou mezi žebry
- jeden z obecných faktorů je minimalizace vzdálenosti mezi žebry d



Přechody z koaxiálního vedení na H-vlnovod

Faktory ovlivňující parametry přechodu:

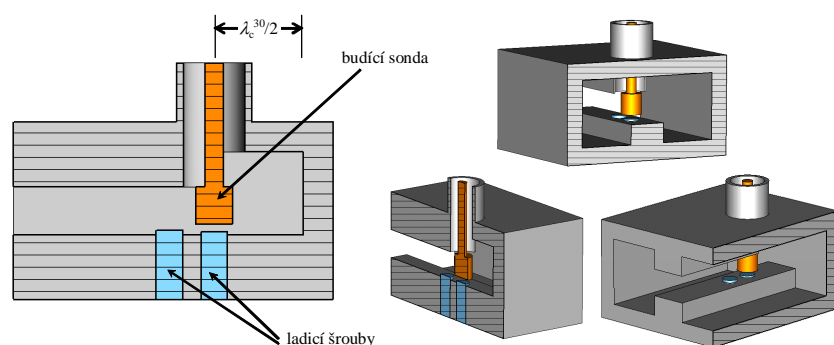
- **Koaxiální vedení** – obecně jakékoliv rozměry (50Ω). U praktických realizací jsme omezeni typem konektoru, nejčastěji N, SMA a K. Tyto standardní konektory v některých případech limitují parametry přechodu.
- **Šířka žebra s** – podmínka je, že žebra by měla být širší než vnější průměr přívodního koaxiálního vedení. Pokud je žebro výrazně širší, je možné rozšířit otvor v protějším žebro, do kterého vede budicí sonda. Tím lze dosáhnout zlepšení přizpůsobení
- **Vzdálenost mezi hřebeny d** – ovlivňuje mezní frekvenci H-vlnovodu a tím i dolní frekvenční limit, má vliv na maximální výkonové zatížení
- **Průměr a délka budicí sondy** – ovlivňuje šířku pásma přechodu, především horní frekvenční limit. Průměr sondy má vliv na maximální výkonové zatížení.
- **Velikost rezonanční dutiny** – má rozhodující vliv na frekvenční pásmo přechodu. Hloubka dutiny ovlivňuje převážně dolní frekvenční limit.



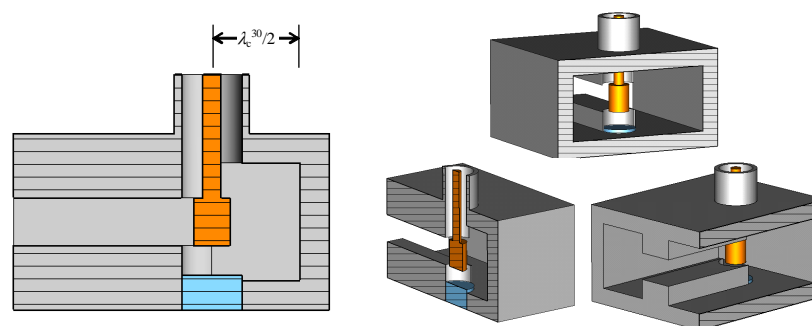
Přechody na standardní H-vlnovod

- Šířka pásma je pevně dána rozměry H-vlnovodu
- Zpravidla 2,4:1 nebo 3,6:1
- Šířka žebra a vzdálenost mezi žebry je navržena z hlediska šířky pásma, impedance, útlumu ve vlnovodu a možného přenášeného výkonu
- Magnetické buzení pomocí hrazdy se zde vzhledem ke geometrii vlnovodu nepoužívá.
- Doporučená vzdálenost budicí sondy od zadního zkratu je $\lambda_{c30}/2$
- Nejčastěji dva typy přechodu – liší se napájecí sondou a zadní šterbinou

Typ 1.



Typ 2.

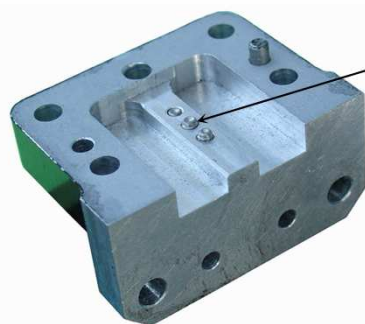
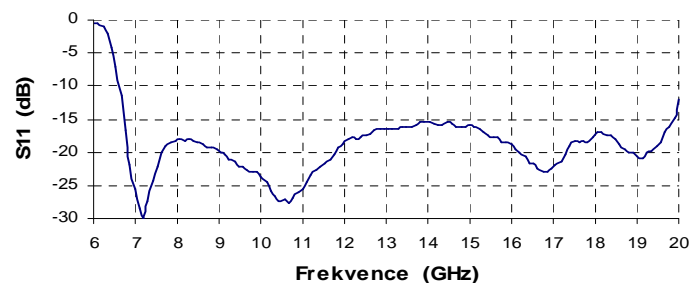




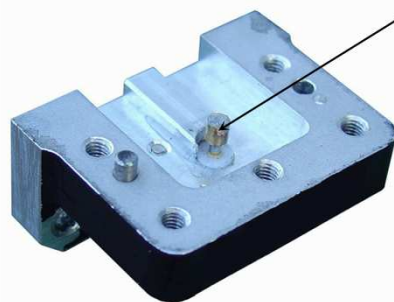
Přechody na standardní H-vlnovod

Typ 1.

- přechod z SMA konektoru na H-vlnovod WRD750
- frekvenční pásmo 7,5 – 18 GHz



ladicí šroubky



budicí sonda

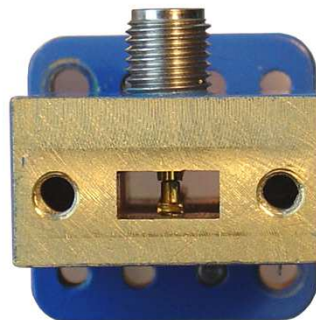
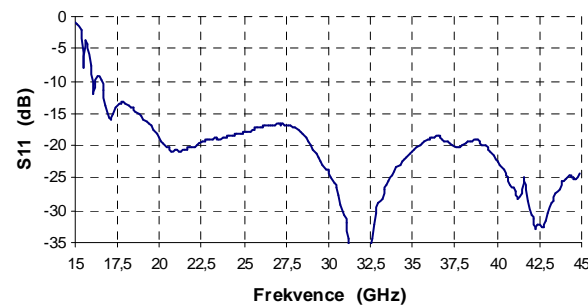




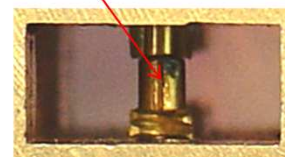
Přechody na standardní H-vlnovod

Typ 2.

- přechod z K konektoru na H-vlnovod WRD180
- frekvenční pásmo 18 – 40 GHz



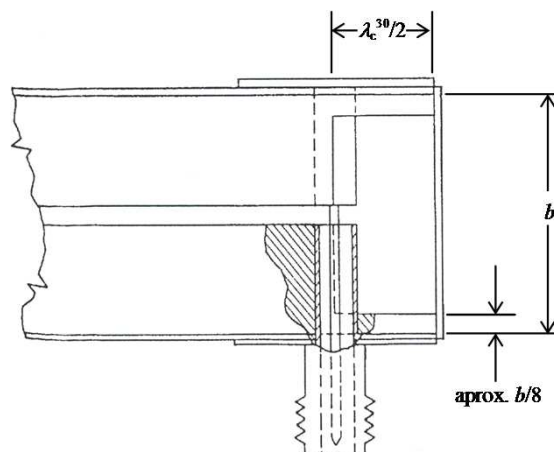
budící sonda





Přechody u trychtýřových antén s ploutvovým vedením

- V minulosti nebyla vytvořena žádná strategie návrhu
- Walton a Sundberg – doporučení, která vznikla na základě pokusů a omylů



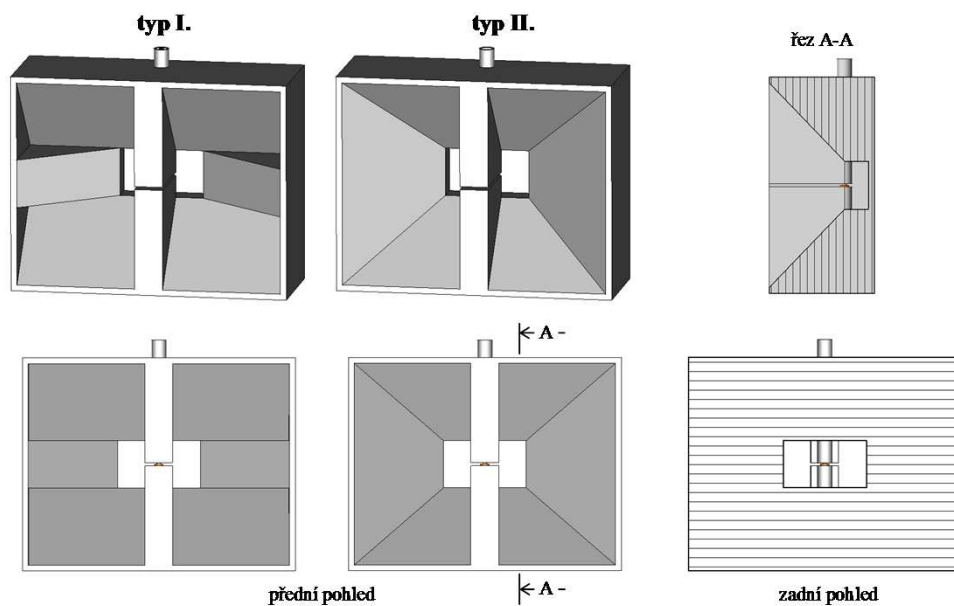
Doporučení:

- vzdálenost středu napájecího vedení od zadního zkratu by měla být rovna polovině mezní vlnové délky vidu TE_{30}
- tvar zadní rezonanční dutiny ve tvaru H
- vzdálenost mezi žebry v zadní dutině rovna $3/4$ výšky vlnovodu b .

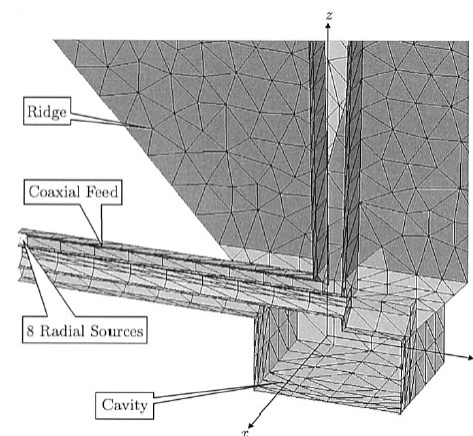


Přechody u trychtýřových antén s ploutvovým vedením

- Pro „běžné“ antény s ploutvovým vedením se používají tyto přechody



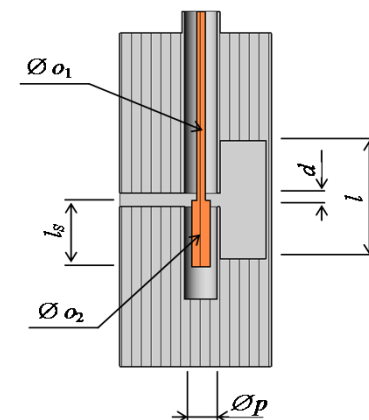
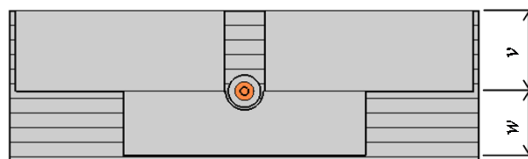
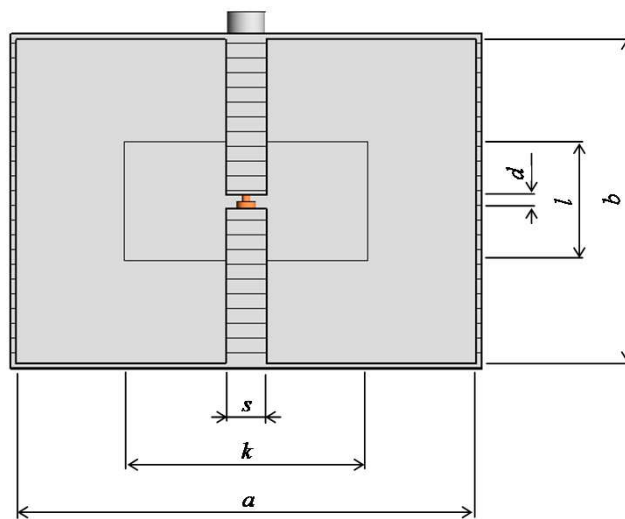
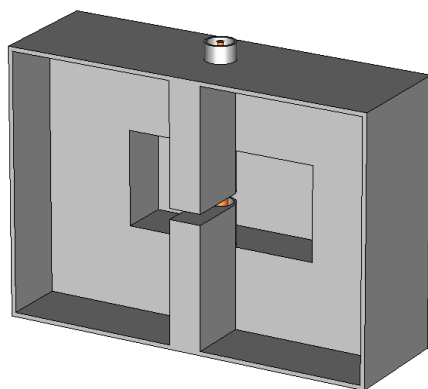
C. Burns (2003)





Tzv. „krátký“ přechod

- Pro dosažení co nejširšího frekvenčního pásma se volí hodnota $d/b < 0,1$
- Z hlediska chování vidů se volí poměry $b/a > 0,5$ a $s/a < 0,5$
- Minimální délka odchozího vlnovodu v





Návrh trychtýře s ploutvovým vedením

Trychtýř s ploutvovým vedením

- impedanční přechod mezi vedením a volným prostorem
- formuje vyzařovací charakteristiky
- neexistují žádné analytické vztahy k výpočtu jeho parametrů na základě rozměrů
- návrh je komplikovaná záležitost
- struktura se řeší numericky

Postup návrhu

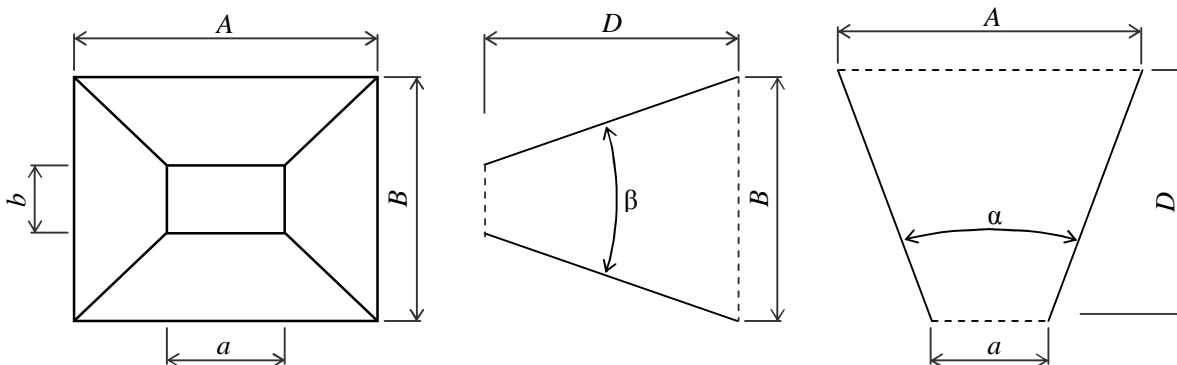
- návrh základních rozměrů trychtýře na základě vztahů pro klasický trychtýř
- návrh průběhů ploutví (žeber) v trychtýři
- optimalizace trychtýře s ploutvemi



Návrh trychtýře s ploutvovým vedením

Návrh základních rozměrů trychtýře

- Vychází se z rozměrů přechodu (odchozího H-vlnovodu)
- Rozměry ***a*** a ***b*** u přechodu určují vstupní rozměry trychtýře
- Délka trychtýře ***D*** > $\lambda_d/2$ - pro optimální transformaci impedance
- Velikost apertury trychtýře se určí na základě délky trychtýře a jeho úhlů rozevření ***α*** a ***β***
- Úhly rozevření se volí tak, aby šířky svazku v obou rovinách byly stejné (obecně, aby se strany trychtýře sešly ve vrcholu jehlanu)
- Pozor! - Při výpočtech parametrů klasického trychtýře aplikovaných na širokopásmový trychtýř s ploutvemi je dolní frekvence menší než je mezní frekvence obdélníkového vlnovodu daného rozměry ***a*** a ***b*** H-vlnovodu.





Návrh trychtýře s ploutvovým vedením

- Velikost apertury trychtýře musí být dostatečně velká k průchodu vlny na dolní frekvenci - $f_{\text{Caper.}} < f_d$
- Optimální volit úhel $\beta = 28^\circ - 32^\circ$ a tomu odpovídající úhel $\alpha = 35^\circ - 40^\circ$
- Ze známých úhlů a délky trychtýře je dána velikost apertury **A** x **B**

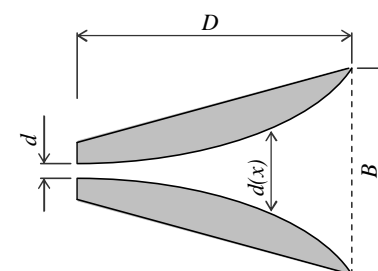
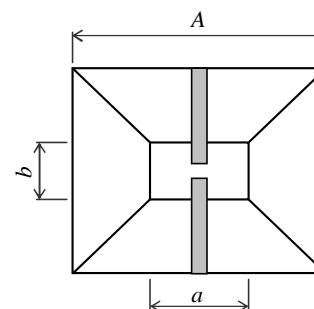


Návrh trychtýře s ploutvovým vedením

Návrh ploutví v trychtýři

- Musí být splněna podmínka, aby každý příčný řez trychtýře s ploutvemi byl po celé jeho délce dostatečně velký pro vedení módu TE_{10} na nejnižší pracovní frekvenci.
- Profil výšky a šířky žebra musí být takový, aby průběh impedance v trychtýři byl hladký přechod z impedance H-vlnovodu na impedanci volného prostoru
- Optimální je exponenciální průběh impedance od vlnovodu do apertury trychtýře

$$\begin{aligned} Z &= Z_{0\infty} e^{Kx} & 0 \leq x \leq \frac{D}{2} \\ Z &= 377 + Z_{0\infty} (1 - e^{K(D-x)}) & \frac{D}{2} \leq x \leq D \end{aligned}$$

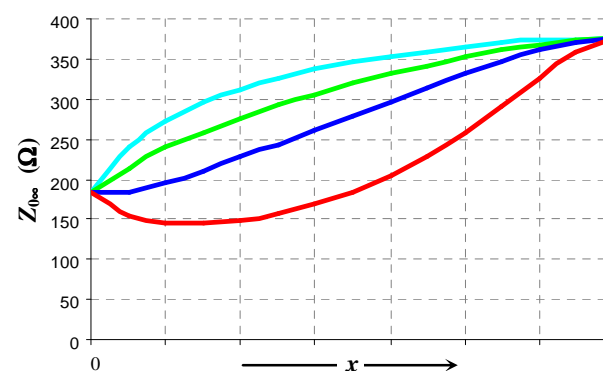
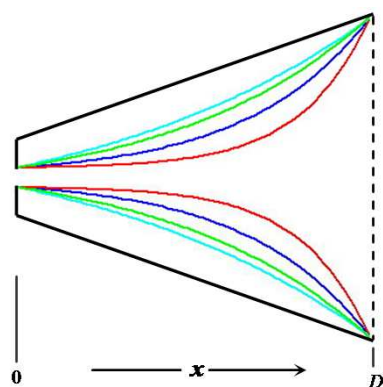




Návrh trychtýře s ploutvovým vedením

Příklad různých profilů ploutví v trychtýři – pro standardní H-vlnovod

- Ploutev má v celé své délce stejnou šířku
- Trychtýř vychází z H-vlnovodu WRD750 - $f_C = 6,1$ GHz a $Z_{0\infty} = 181,6 \Omega$
- Frekvenční pásmo 8 - 18 GHz
- Apertura trychtýře – $A \times B = 168,5 \times 84$ mm a $D = 142$ mm
- nejlépe odpovídá exponenciálnímu průběhu impedance průběh modré ploutve

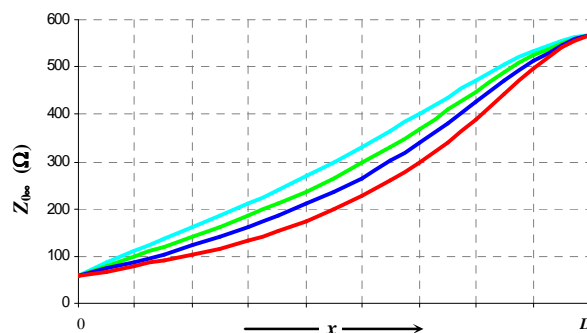




Návrh trychtýře s ploutvovým vedením

Vliv profilu ploutve na impedanční a vyřazovací parametry

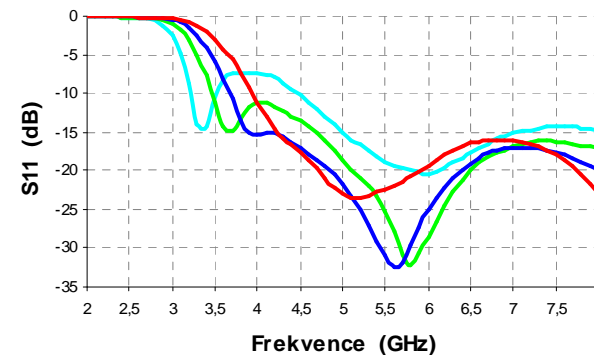
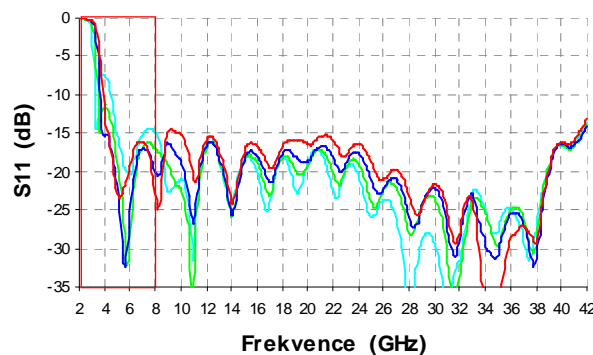
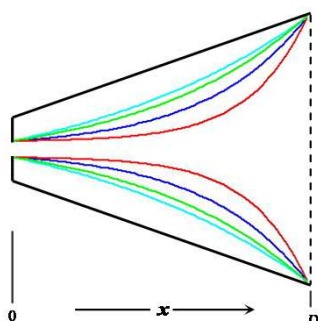
- Příklad – anténa s šířkou pásma 10:1 (4 - 40 GHz)
- H-vlnovod má malou mezeru mezi žebry - nízká impedance ($Z_{0\infty} = 60 \Omega$)
- Impedance v apertuře trychtýře $Z_{0\infty} = 565 \Omega$ - větší než impedance volného prostoru - způsobeno tím, že je poměr $B/A > 0,5$
- průběhy impedancí mají exponenciální (červený) až téměř lineární (světle modrý) průběh
- Není zde případ, že by hodnota impedance klesala pod hodnotu impedance v H-vlnovodu



Návrh trychtýře s ploutvovým vedením

Vliv profilu ploutve na impedanční přizpůsobení

- optimální je profil modré ploutve
- dolní frekvenční limit se snižuje se zmenšováním výšky žebra v trychtýři
- přizpůsobení ve středu pásma je nejhorší pro průběh červené ploutve
- Profil ploutve má zanedbatelný vliv na impedanci na horním konci frekvenčního pásma

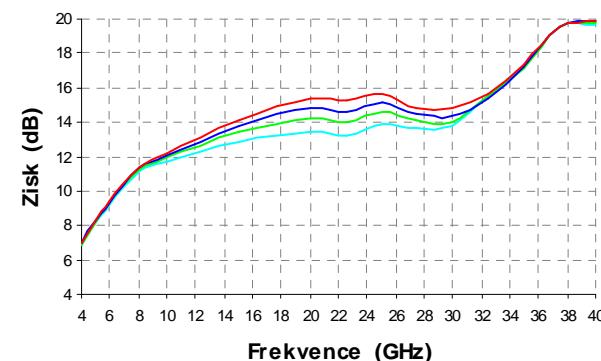
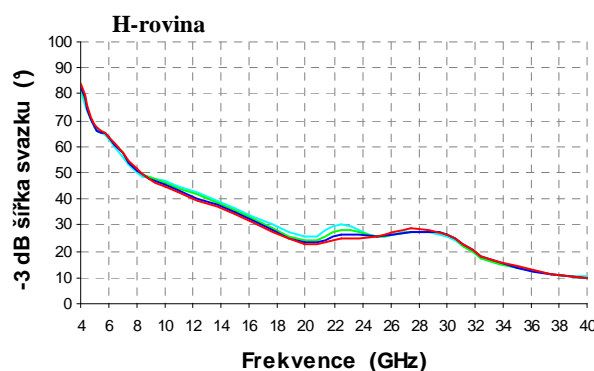
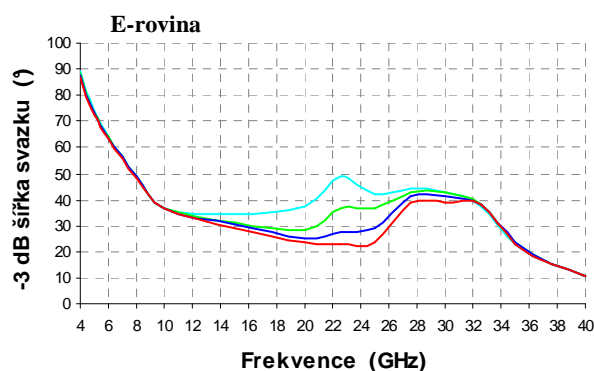




Návrh trychtýře s ploutvovým vedením

Vliv profilu ploutve na vyzařovací vlastnosti

- profil ploutve má zanedbatelný vliv na šířku svazku v H-rovině
- nejvýznamnější vliv má na šířku svazku v E-rovině - především na střední část frekvenčního pásma
- se zmenšující se výškou ploutve se zvětšuje šířka svazku a tím se zmenšuje zisk
- Na dolním a horním konci frekvenčního pásma je vliv výšky žebra na vyzařovací vlastnosti neznatelný



Trychtýřové antény s ploutvovým vedením

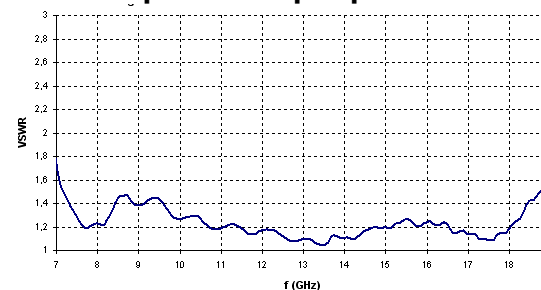
Lze rozdělit na dva typy:

I. Trychtýř, který je navržen s přírubou pro standardní H-vlnovod

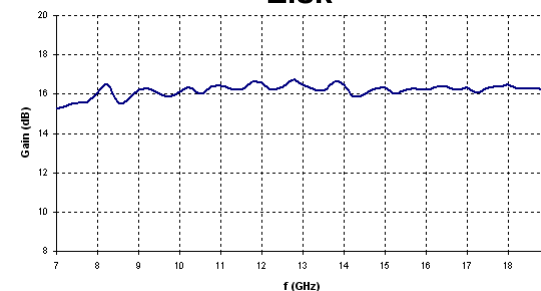
- šířka pásma závislá na šířce pásma vstupního vlnovodu (maximálně 4:1)
- v celém pásmu relativně vyrovnané vyzařovací vlastnosti
- „vyrovnaný“ zisk v celém frekvenčním pásmu antény



Impedanční přizpůsobení



Zisk





Trychtýřové antény s ploutvovým vedením

II. Trychtýř s přechodem jako jeden celek

- šířka pásma až 20:1 (pro $S_{11} < -10$ dB)
- z hlediska vyzařovacích vlastností lze dále rozdělit
 - antény se šířkou pásma do 10:1
 - antény se šířkou pásma větší než 10:1

Antény se šířkou pásma do 10:1

- lze splnit podmínku maximálního příjmu v ose antény
- Zisk těchto antén postupně narůstá s frekvencí, případně od určité frekvence se drží přibližně konstantní

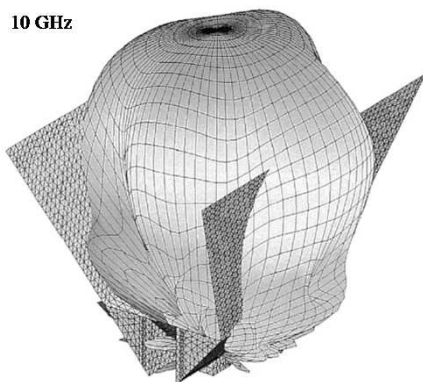
Antény se šířkou pásma větší než 10:1

- problém s udržení maxima zisku v ose antény
- na horním konci pásma se může hlavní svazek dělit do více směrů - redukce zisku v ose antény (propady zisku)
- Deformace hlavního laloku (maximum příjmu z více směrů) na horním konci pracovního pásma antény - způsobeno velkou fázovou chybou v apertuře antény

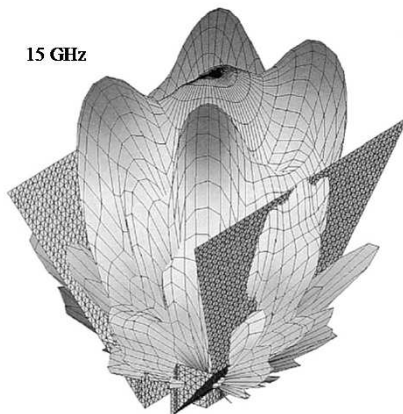
Trychtýřové antény s ploutvovým vedením

Příklady problémů s vyzařovacími vlastnostmi

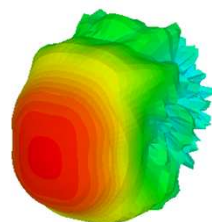
10 GHz



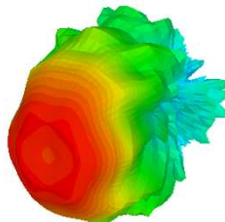
15 GHz



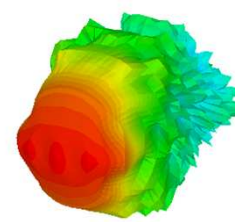
8 GHz



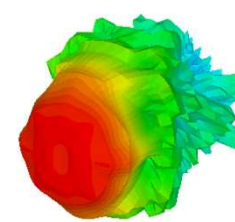
10 GHz



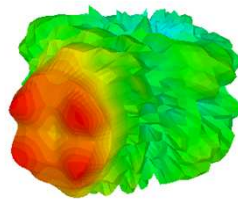
12 GHz



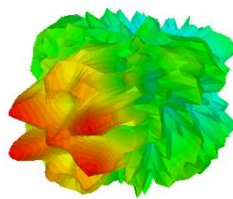
14 GHz



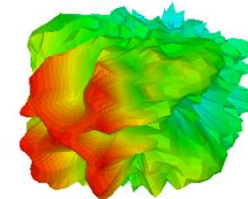
16 GHz



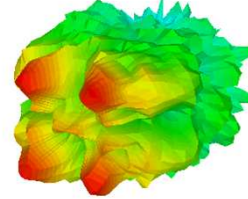
18 GHz



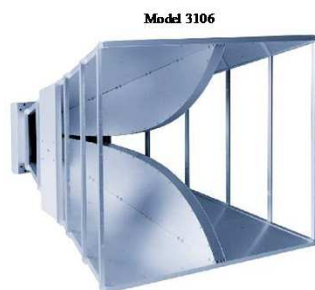
19 GHz



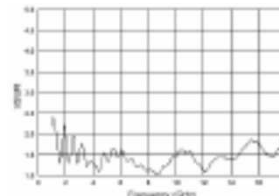
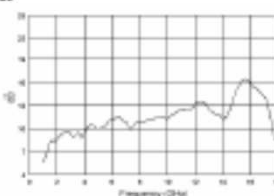
20 GHz



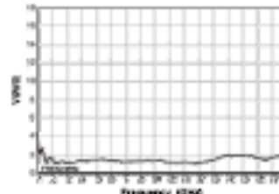
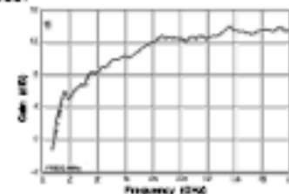
Trychtýřové antény s ploutvovým vedením



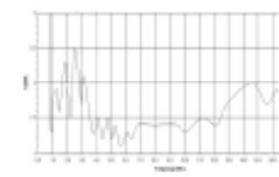
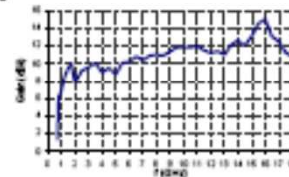
Model 3115



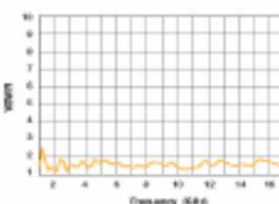
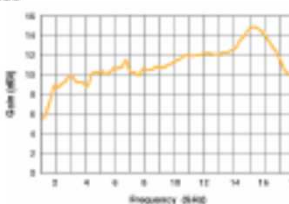
Model 3117



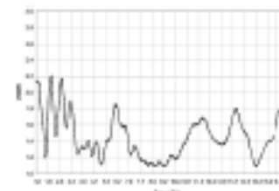
SAS-571



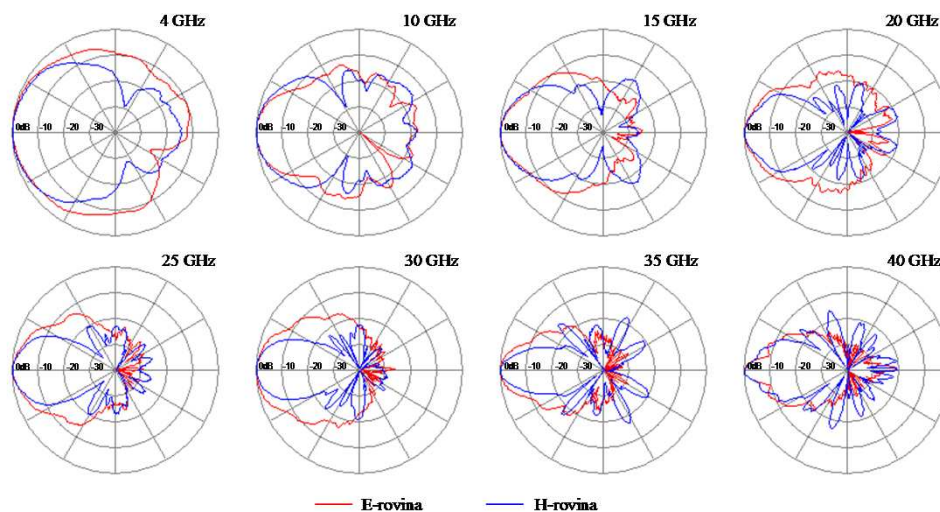
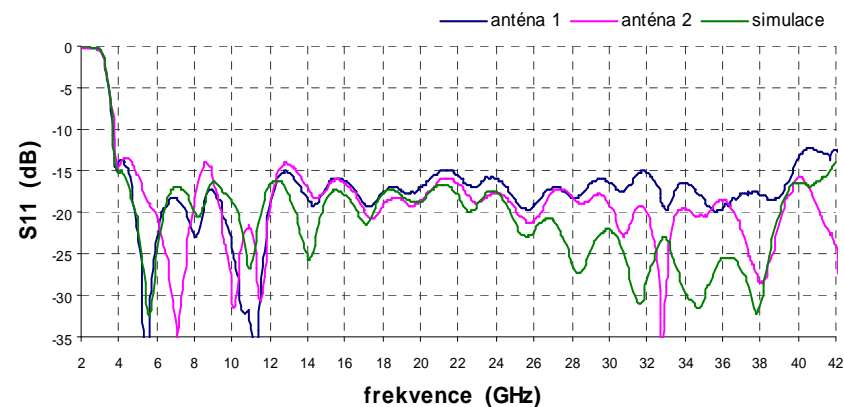
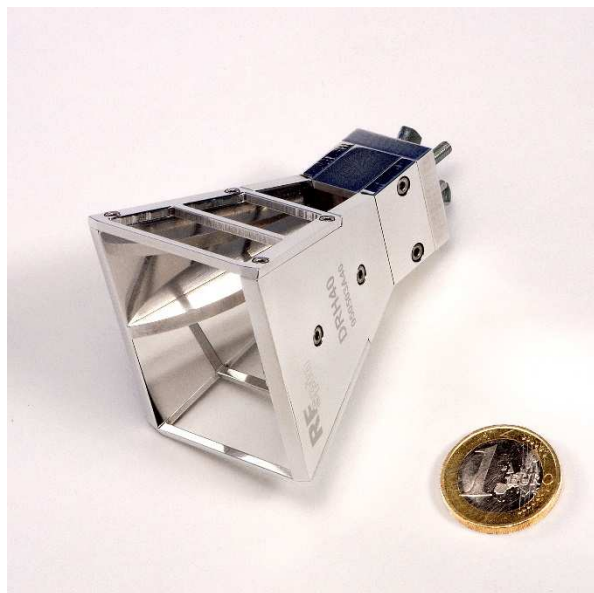
BHA 9118



HF 906



Antena 4 – 40 GHz (RF spin s.r.o.)





Trychtýřové antény s ploutvovým vedením

**Nutno optimalizovat jako jeden celek
trychtýř + přechod**



KONEC