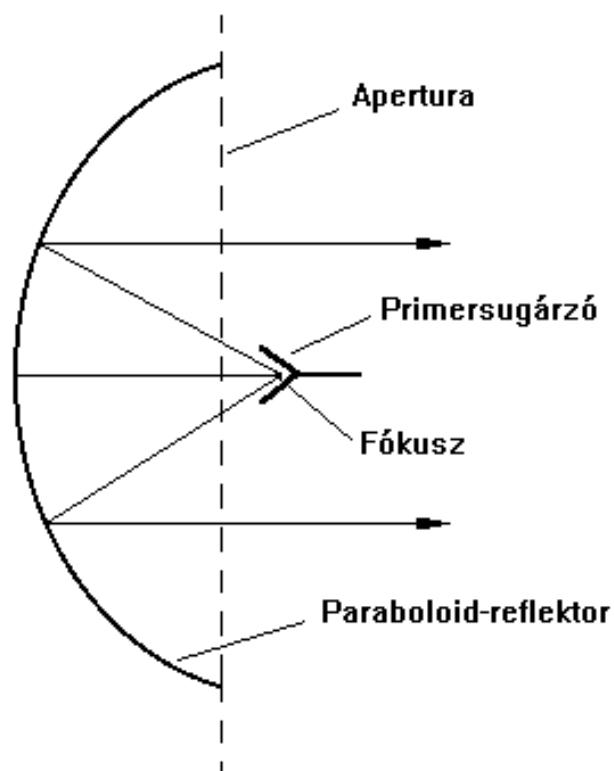


3.5. AZ APERTURAANTENNÁK

3.5.1. Az aperturaantennák főbb típusai

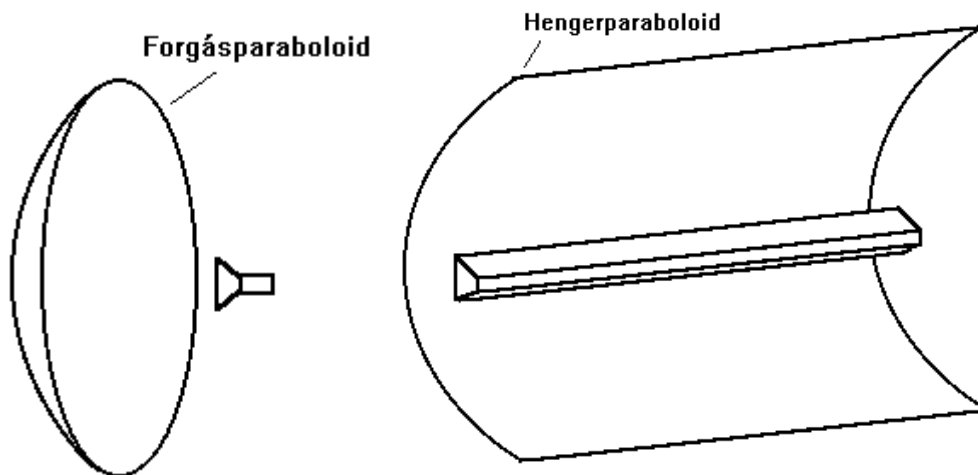
3.5.1.1. Parabolid-reflektor antenna

Az ismert optikai reflektorhoz hasonlóan ez az antenna parabola vezérgörbéjű reflektorból és a fókuszában elhelyezett primersugárzóból vagy tápfejből áll. (3.1. ábra)



3.1. ábra Parabolid reflektor

Ha a parabola vezérgörbét a fókuszon átmenő szimmetriatengely körül megforgatjuk, akkor forgásparaboloid reflektort kapunk. Ha a vezérgörbét egy vonal mentén végighuzzuk, akkor az hengerparaboloid reflektort eredményez. Az előbbit a fókuszpontból az utóbbit fókuszvonalból kell megvilágítani. (3.2. ábra)



3.2.a. ábra Forgásparaboloid reflektor

3.2.b. ábra Hengerparabola reflektor

Az eredmény mindkét esetben egy - a reflektor szélei által határolt - nagyméretű nyílásfelület, vagyis apertura, melyen meghatározott térerősségeloszlású síkhullám lép ki.

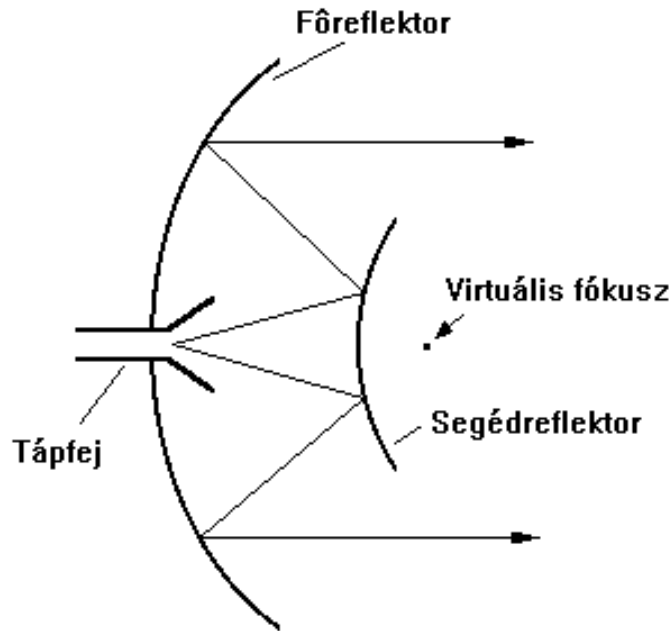
A paraboloid reflektor tehát a fókuszából kilépő gömbhullámot (forgásparaboloid) vagy hengerhullámot (hengerparabola) síkhullámmá alakítja át. Ez a parabolának abból a tulajdonságából következik, hogy a fókuszponttól az apertura síkjáig az egyes sugarak hossza azonos. Gömbhullámon vagy hengerhullámon itt azt értjük, hogy a primersugárzóból kilépő hullám fázisa egy gömb, illetve egy henger felületén állandó.

A paraboloid reflektor antenna máig a legelterjedtebb mikrohullámú antennatípus. Népszerűségét olcsóságának és robusztusságának köszönheti.

Hátránya, hogy a tápfejhez vezető tápvonal hosszú, valamint az, hogy a tápfej és tartószerkezete a kilépő hullámfront útjában van, ami nemkívánatos jelenségekre vezet.

3.5.1.2. Cassegrain reflektor antenna

A fókuszából táplált antenna néhány kedvezőtlen tulajdonságán javít a kétreflektoros vagy Cassegrain antenna. (3.3. ábra)



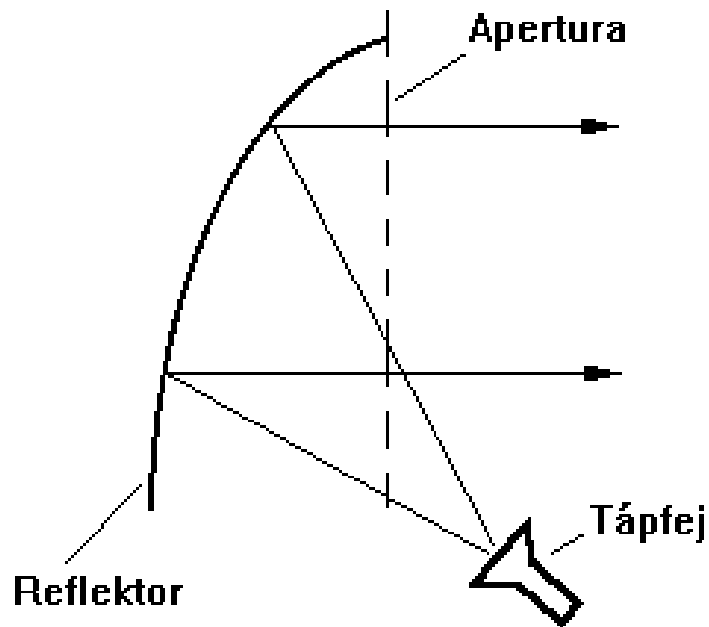
3.3. ábra Cassegrain reflektor antenna

Mint a 3.3. ábrán látható, a tápfej a paraboloid főreflektor közepén vágott nyíláson keresztül nyúlik be és a segédreflektort világítja meg. Ez hiperbola vezérgörbéjű és a hullámot a főreflektorra tereli. A kétreflektoros elrendezés virtuális fókusza a főreflektortól távolabb van, mint a főreflektor tényleges fókusza. Ennek eredménye, hogy a főreflektor megvilágítása egyenletesebb, mint a fókuszról táplált megoldásnál.

A Cassegrain reflektor további előnye, hogy a tápfej elhelyezése a hozzáférés szempontjából sokkal kedvezőbb. Megmarad viszont az a hátrány, hogy a segédreflektor a kilépő hullámfront útjában van, vagyis az apertúra egy részét takarja.

3.5.1.3. Eltolt fókuszú táplálás

Az apertúra takarása jórészt megszüntethető, ha a tápfejet a 3.4. ábra szerint helyezzük el.



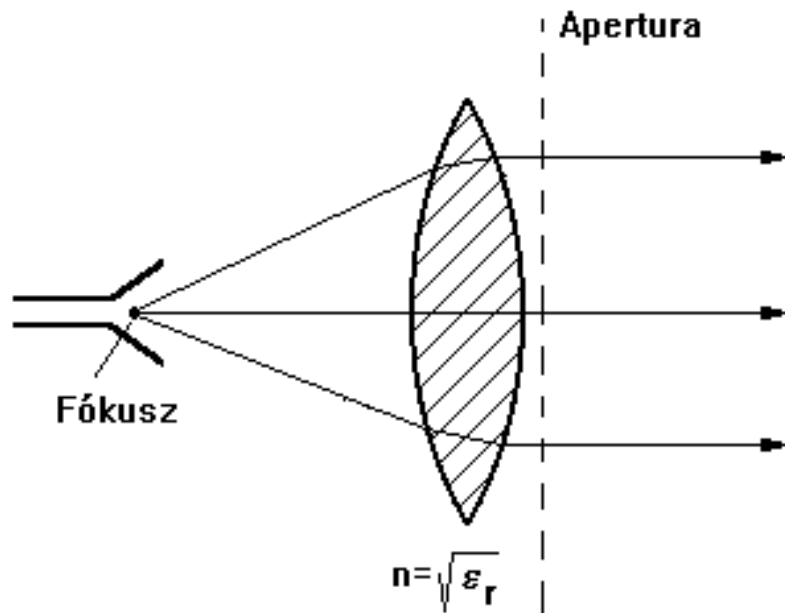
3.4. ábra Eltolt fókuszú táplálás

A primersugárzó ekkor is a parabola fókuszában van, de a forgáspároloid felületből csak akkora részt hagynak meg, hogy a primersugárzó a kilépő hullámfrontot ne takarja.

Az ilyen eltolt fókuszról táplált reflektor antennákat elterjedten használják. Hátrányuk, hogy az aszimmetrikus geometria miatt nagy a keresztpolarizációs terük.

3.5.1.4. Lencseantennák

Egy pontból kiinduló széles gömbhullámfront nyalábolására (adás) vagy a beeső síkhullám fókuszálására (vétel) a lencsék is alkalmasak. A mikrohullámú dielektromos lencseantenna (3.5. ábra) felépítése és működése azonos a fénytani lencsékével.

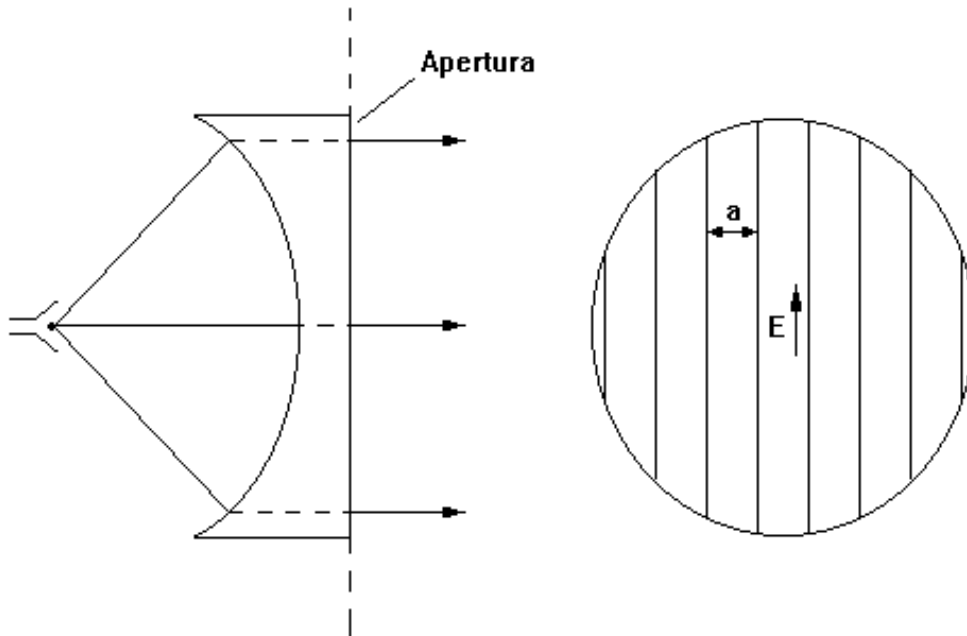


3.5. ábra Dielektromos lencse

Mint a 3.5. ábrán látható, ahol a fókuszpont és az apertura síkja között a geometriai uthossz rövidebb, ott a lencse vastagabb, ezért a lencsében kialakuló kisebb fázissebesség az uthosszkülönbségeket kompenzálja.

A gyakorlatban dielektromos lencseantennákat önállóan mégis igen ritkán alkalmaznak, mert a szükséges nagy aperturaméretetek nagy és nehézkes lencsét eredményeznének.

Mint látni fogjuk, kiegészítő eszközként tölcsérantennák szájnyílásában a dielektromos lencse gyakran használatos. A dielektromos lencse nehézkességén segít a fémlemez lencse, mely tipikus mikrohullámú eszköz. (3.6. ábra)



3.6. ábra Fémlemez lencse

A fémlemez lencse lineárisan polarizált hullámok fókuszálására alkalmas. Az egymástól a távolságra elhelyezett párhuzamos fémlemezek között a térerősség eloszlása a négyszög csőtápvonal TE_{n0} módusának megfelelő lesz. Ha $0.5 \leq a/\lambda \leq 1.0$ akkor csak a TE_{10} módus tud terjedni és a hullámhossz a lemezek között a következő

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}} \quad (3.1)$$

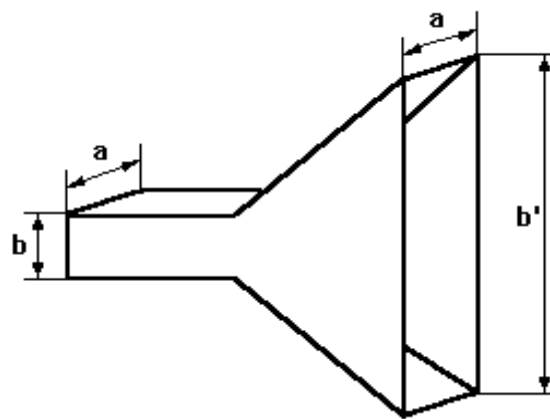
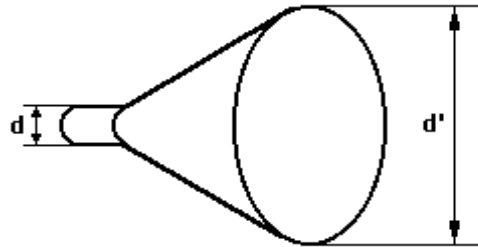
Mivel dielektromos közegben $\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$, ezért a fémlemezek közötti közeg "törésmutatója" egynél kisebb. Ilyen törésmutatóval a 3.6. ábra szerinti lencseprofil nyalából.

Vagyis ahol a geometriai úthossz nagyobb, ott a lencse vastagabb, mert a nagyobb fázissebesség így kompenzálja az úthossz-különbséget.

A mikrohullámú fémlemez-lencsék önállóan vagy tölcserrel kombinálva széles körben használatosak. Előnyük az olcsóság, a robosztus kivitel és a viszonylag kis súly.

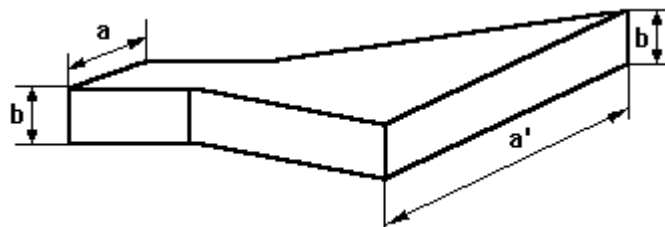
3.5.1.5. Tölcserantennák

Ahogy a dipólantennát a végén nyitott Lecher vezetékből levezettük, úgy vezethetők le a mikrohullámú tölcsérantennák a csőtápvonalakból. Mivel az antenna átalakító a tápvezeték és a szabad tér között, ezért az átalakítás annál tökéletesebb, minél simább az átmenet a vezetett hullám és a kisugárzott hullám között. Ezt a sima átmenetet valósítják meg a tölcsérek (3.7. ábra).

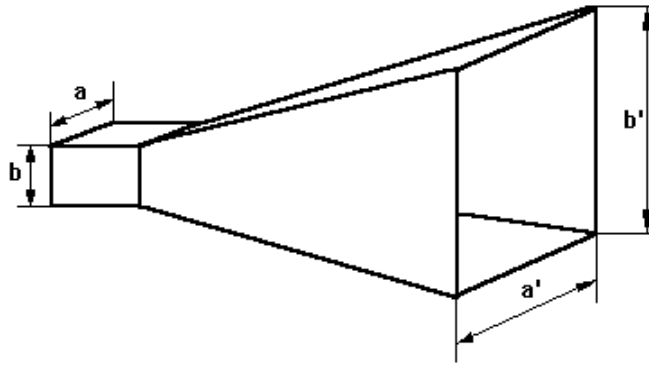


3.7.a. ábra

3.7.b. ábra



3.7.c ábra

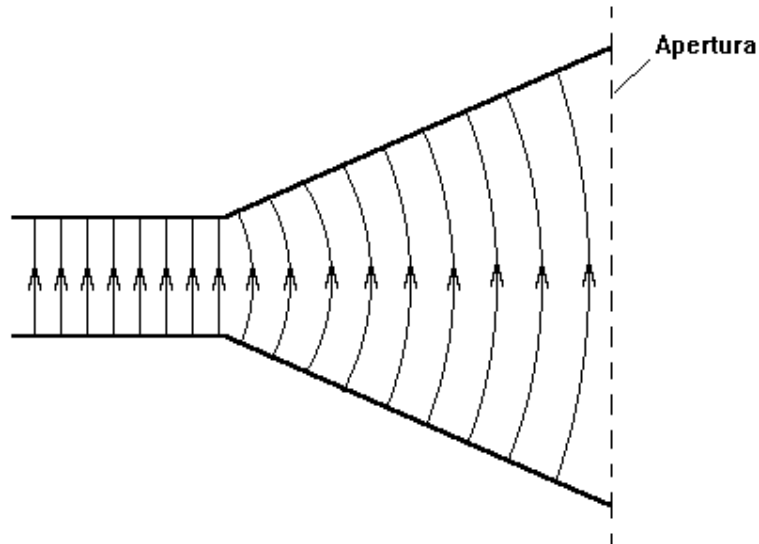


3.7.d. ábra

A 3.7.a. ábra körkeresztmetszetű csőtápvonalból kialakított kúpos tölcsért mutat. A körkeresztmetszetű csőtápvonalat és a kúpos tölcsért főleg ott használják, ahol körösen polarizált hullámot, vagy kettős ortogonális lineáris polarizációt kell átvinni. Kedvelt típus úrtávközlő rendszerek földi állomásainak parabola antennáinál, mint tápfej.

A 3.7.b. ábrán olyan tölcsér látható, mely a négyszögletes csőtápvonal elektromos erővonalait nyújtja meg, ez az E-síkú szektorális tölcsér. A 3.7.c. ábra H-síkú szektorális tölcsért mutat. Ezekben a csatlakozó csőtápvonalhoz képest a mágneses erővonalak nyúlnak meg. Ha a négyszögletes csőtápvonal mindkét méretét egyszerre kiterjesztjük, akkor a 3.7.d. ábrán látható piramidális tölcsért kapjuk.

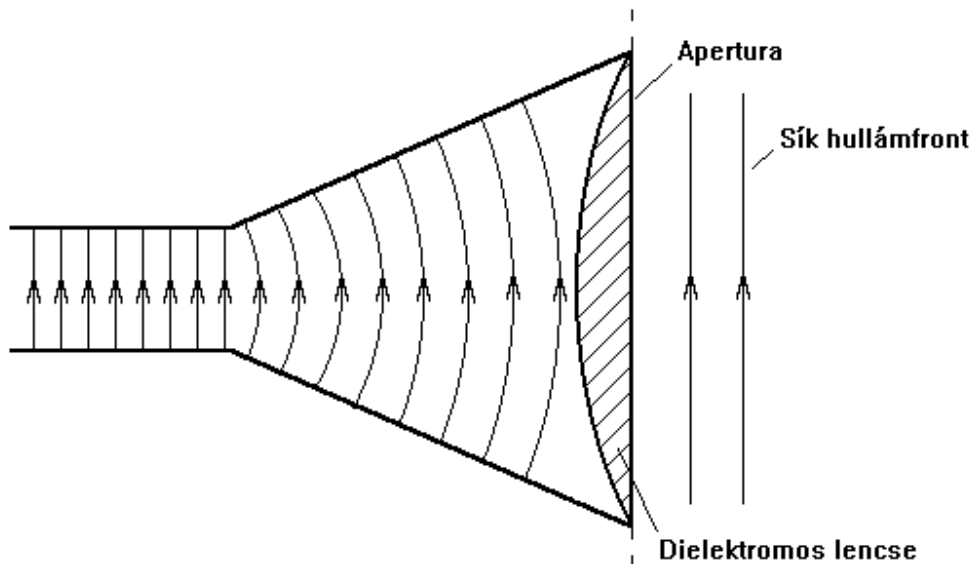
A tölcsérek szájnyílásában kialakuló teret vizsgálva első közelítésben úgy vehetjük, hogy ez a tápvonal keresztmetszetében lévő téreloszlás kinagyított mása, azzal a különbséggel, hogy a fázisfront görbült (szektorális tölcsérnél hengeres, piramidálisnál és kúposnál gömbüvegszerű) és nem sík (3.8. ábra).



3.8. ábra A tölcsérantennából kilépő hullámfront

A görbült fázisfront azt jelenti, hogy az apertura síkjában a térerősség fázisa nem állandó, hanem az elemi hullámfrontok a szélek felé fokozatosan növekvő fáziskésést szenvednek. Mivel az apertura távoltéri térerőssége az apertúrára merőleges irányban akkor maximális, ha a fázisfront sík, mert ekkor összegződnek a rész-hullámfrontok azonos fázisban, ezért a görbült fázisfront fázishibát jelent. A fázishiba tehát nyereségcsökkentést okoz.

A tölcsérantenna fázishibáját a szájnyílásba helyezett lencsével korrigálni lehet. E célra dielektromos- és fémlemez lencse egyaránt használatos. A 3.9. ábra dielektromos lencsés megoldást mutat.



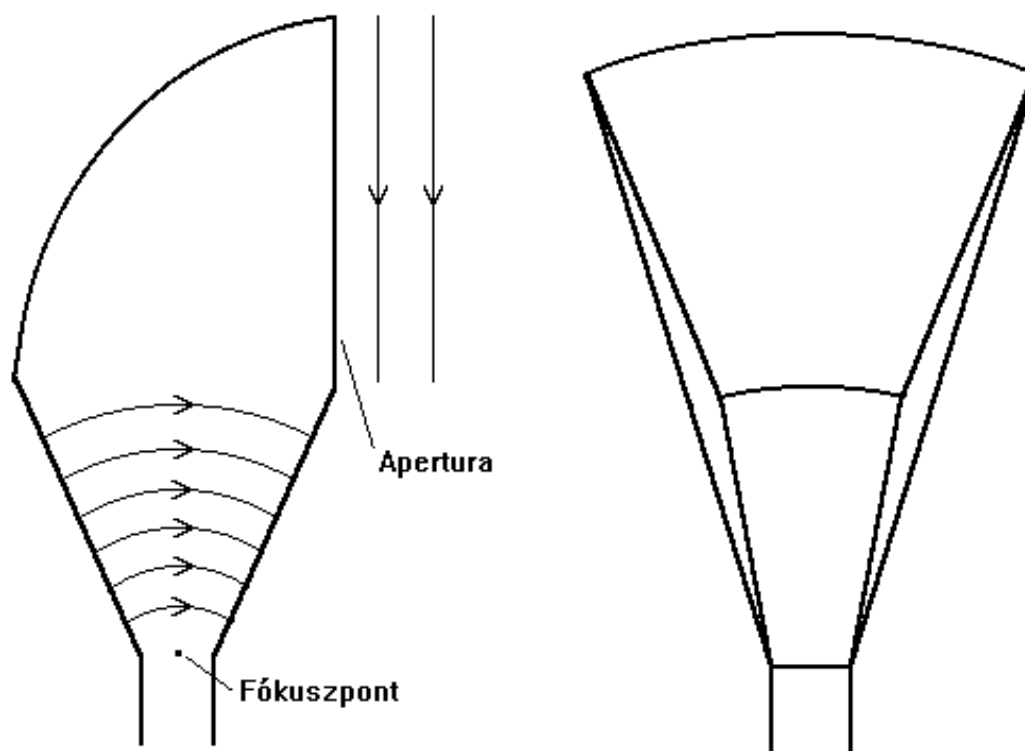
3.9. ábra A tölcsérantenna fázishibájának kompenzálása dielektromos lencsével

A 3.9. ábra szerinti dielektromos lencse egyúttal megoldja a tölcsér szájnyílásának lezárását is, ami a nedvesség, por, stb. behatolása ellen mindenképpen szükséges.

A lencsével korrigált tölcsérek hátránya a kis sáv szélesség, amely abból adódik, hogy a lencséről a hullámok egy része visszaverődik, és ezt a reflexiót egyszerű eszközökkel csak keskeny sávban lehet kihangolni.

3.5.1.6. Tölcsér-paraboloid antenna

A korrigált tölcsérek említett hátrányát kiküszöböli a tölcsér és a paraboloid reflektor összeházasításából született kissé szokatlan szerkezet, melyet a 3.10. ábra mutat.



3.10. ábra Tölcsér-paraboloid antenna

A 3.10. ábra szerint a tölcsér szájához egy paraboloid reflektor szegmensét hegesztik, úgy, hogy a tölcsér fázisközéppontja - ami a gömbhullámok kiindulási pontjának tekinthető - egybeessen a paraboloid fókuszpontjával. Mivel a forgáspareboloid éppen gömbhullám és síkhullám közötti átalakító, ezért a kilépő hullámfront már sík lesz.

A tölcsérparaboloid antenna jellegzetessége, hogy igen kicsi a hátrasugárzása (az előre-hátra arány 60-65 dB), és elfogadható a keresztpolarizációs csillapítása is (35-40 dB). E tulajdonságok ezt az antennt nagy méretei ellenére különösen alkalmassá tették analóg mikrohullámú rádiórelé rendszerekhez. Az antenna nyílása egy kisveszteségű szigetelő lemezzel viszonylag egyszerűen lezárható, így az időjárás elleni védelem is megoldható.

3.5.2. Apertúrák sugárzási terének kiszámítása

3.5.2.1. Az apertúra , mint fizikai modell

Mint a 3.1. pontból látható, az ismertetett antennák közös jellemzője, hogy a sugárzás jól definiált nyílásfelületen - az apertúrán - lép ki. Az itt következő tárgyalás során

célunk az iránykarakterisztika, és az ezzel összefüggő jellemzők (nyereség stb.) meghatározása.

Az egyes antennákat külön-külön szemlélve a sugárzási tér kiszámítására többféle megoldás is kínálkozik. Parabola antennák esetén például a teret a paraboloid felületén folyó árameloszlásból is meghatározhatnánk. Mi itt most az ismertetett antennák közös tulajdonságát kiemelve az apertúra-modellt választjuk, mert az ebből következő egységes tárgyalásmód jó áttekintési lehetőséget ad.

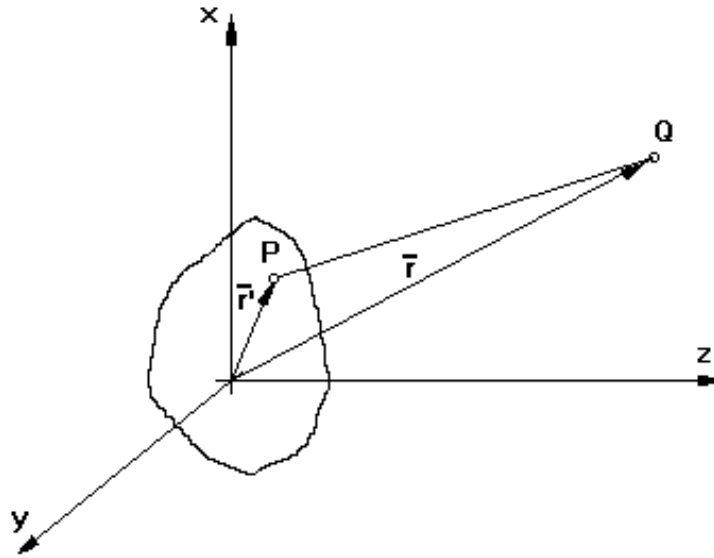
Az apertúra-antennák analízise ezekután két fázisban történik. Először meghatározzuk az $\mathbf{E}(\mathbf{r}')$ térerősségeloszlást az apertúra síkjában az antennatípusra legalkalmasabb módszerrel. Tölcsér antenna esetén például a csatlakozó csőtápvonal módusai segítségével, reflektor- és lencseantennák esetén pedig optikai analógiák felhasználásával, geometriai optikai módszerekkel. Ez az ún. "belső probléma" melynek megoldása után a sugárzási tér kiszámítása következik, mostmár az antennatípustól függetlenül az apertúra-tér módszerével.

Mivel e tárgyban nem célunk az antennák méretezése, hanem beérjük általános tulajdonságaik meghatározásával, ezért itt csak a sugárzási tér kiszámításával foglalkozunk.

3.5.2.2. A sugárzási tér kiszámítása

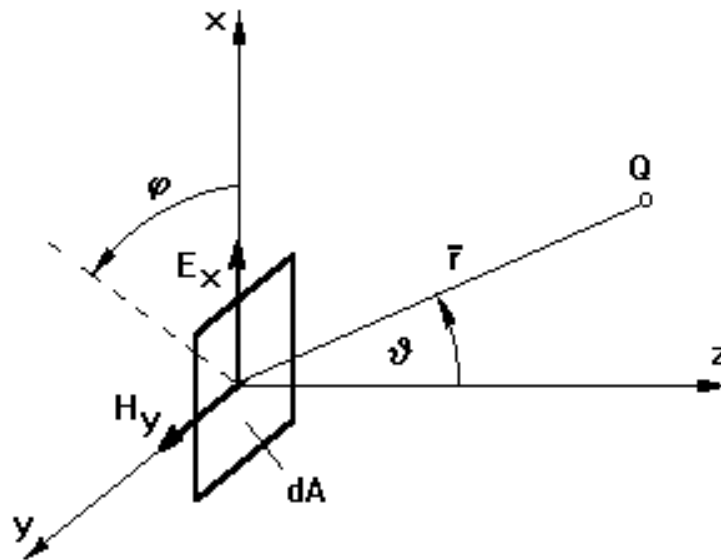
Vegyük fel az aperturát a 3.11. ábra szerinti kordinátarendszerben.

Bontsuk fel az aperturát dA elemi felületekre és egy elemi dA felületű apertúra - a Huygens féle felületelem - tere ismert.



3.11. ábra Az apertúra koordinátarendszere

A felületelem terét a 3.12. ábra szerinti koordinátarendszerben adjuk meg.



3.12. ábra Huygens féle felületelem

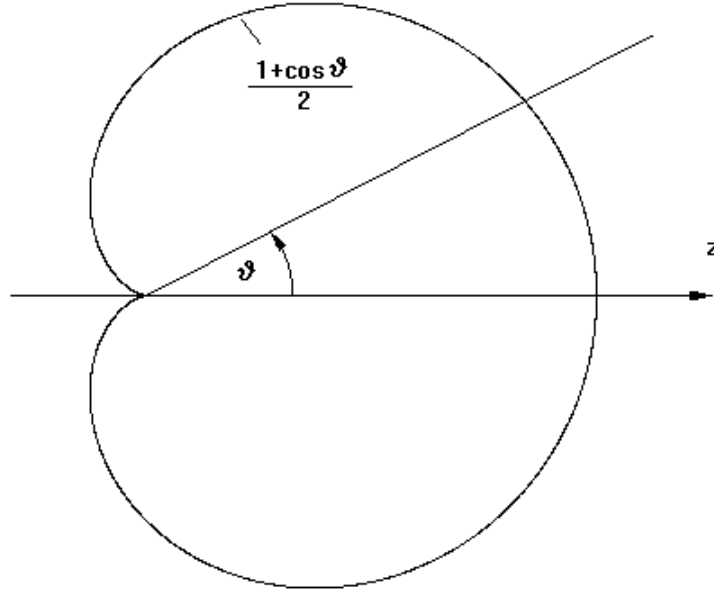
$$dE_{\theta} = E_x \frac{dA}{\lambda} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \frac{1 + \cos\theta}{2} \cos\phi \quad (3.2)$$

$$dE_{\phi} = E_x \frac{dA}{\lambda} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \frac{1 + \cos\theta}{2} \sin\phi \quad (3.3)$$

A távoltéri térerősség amplitudója

$$dE = \left\{ |dE_{\vartheta}|^2 + |dE_{\varphi}|^2 \right\}^{1/2} = E_x \frac{dA}{\lambda} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \frac{1 + \cos \vartheta}{2} \quad (3.4)$$

Az $\frac{1 + \cos \vartheta}{2}$ függvény a jól ismert kardioid görbét (3.13. ábra) írja le. Ennek mintegy $\pm 30^\circ$ -os szakasza jó közelítéssel egységnyi



3.13. ábra **Kardioid görbe**

Mivel az apertura antenna olyan fizikai modell, amelyet az ismertett antenntípusokból, számos (fizikai) közelítéssel alakítottunk ki, ezért e közelítések miatt nem várható, hogy a sugárzást a Z tengelytől nagyon távol is pontosan leírja. Különösen nagy a modell hibája a hátrasugárzás leírásában (pl. reflektor antennáknál a tápfej a reflektor mellett elsugározva a főiránnyal ellenkező irányba sugároz). Nincs tehát értelme a matematikai pontosságot kb. $\pm 30^\circ$ -on túl is megkívánni, ezért az

$$\frac{1 + \cos \vartheta}{2} \cong 1 \text{ közelítéssel élünk.}$$

E közelítéssel egy tetszőleges \mathbf{r}' helyen lévő felületelem sugárzási tere a következő

$$dE = E_x \frac{dA}{\lambda} \frac{e^{-j\beta |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \quad (3.6)$$

Az apertura teljes sugárzási tere tehát a következő

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\lambda} \iint_{A'} \mathbf{E}(\mathbf{r}') \frac{e^{-j\beta |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} dA' \quad (3.7)$$

3.5.2.3. Aperturaantennák közeli és távoli tere

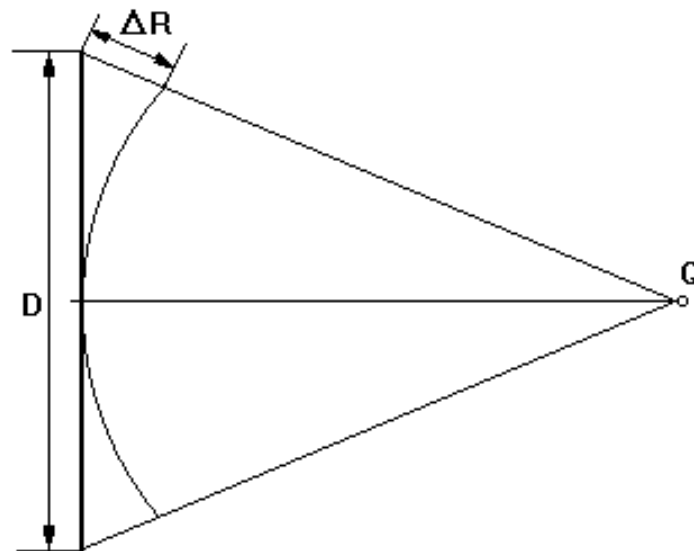
Ha a $Q(\mathbf{r})$ megfigyelési pont az aperturától elegendően távol van, akkor $|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|$ közelíthető. Mégpedig a nevezőben $|\mathbf{r} - \mathbf{r}'| = r$, a kitevőben $|\mathbf{r} - \mathbf{r}'| = r - \mathbf{r}' \cdot \mathbf{e}_r$ vehető. A távolféteri térerősség tehát a következő

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{e^{-j\beta r}}{\lambda r} \iint_{A'} \mathbf{E}(\mathbf{r}') e^{j\beta \mathbf{r}' \cdot \mathbf{e}_r} dA' \quad (3.8)$$

A (3.8) képlet alkalmazhatósága szempontjából fontos tudni, hogy hol van az antenna közeltere és távolttere.

Az aperturát körülvevő azon térrészt, ahol ez a közelítés érvényes távolféternak vagy Fraunhofer zónának nevezzük. Ezen belül van közeletér vagy Fresnel zóna.

A Fresnel zóna az antennához olyan közel van, hogy a megfigyelési pontba az apertúra különböző pontjaiból nagy fáziskülönbséggel jutnak a hullámok. (3.14. ábra)



3.14. ábra

Ezért az R távolság változtatásával a térerősség gyorsan változik, az interferenciaképnek megfelelően és nem $1/r$ szerint. Ha $\Delta R \leq \lambda / 16$, akkor e gyors változás kisimul és a térerősség távolságfüggése $1/r$ szerinti lesz.

A közeletér és távolféteri határát az apertúra legnagyobb (D) lineáris méretéből a $\Delta R = \lambda / 16$ kritériummal határozzuk meg, eszerint

$$R_{\min} = 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (3.9)$$

A (3.9) képlet szerinti előírás betartása különösen antennaméréseknél nagyon fontos, bár nem könnyű.

1. Gyakorló feladat

Egy $D = 4$ m átmérőjű parabolaantennát $f = 7.5$ GHz frekvencián akarunk bemérni. Számítsuk ki a minimális mérési távolságot.

Megoldás

$f = 7.5$ GHz-nek $\lambda = 4$ cm hullámhossz felel meg. A (3.9) képlet alapján a minimális mérési távolság $R_{\min} = 2 \cdot 16 / 0.04 = 800$ m.