

Az orgona sípjai lehetnek zártak vagy nyíltak, illetve nyelv- vagy ajaksípok. Többnyire nyílt ajaksípokat használnak. Ilyen síp alaphangjának frekvenciája $f = c/(2L)$, ahol c a hangsebesség, L a nyílt rezonátor hossza.

A hőmérséklet megváltozásával a síp hossza is más lesz. Ha csak a rézsíp hőmérsékletcsökkenés hatására történő összehúzódását vennénk figyelembe, akkor a lineáris hőtágulási tényező és Δt hőmérsékletváltozás mellett az új frekvencia

$$f' = \frac{c}{2L(1 + \alpha\Delta t)}$$

lenne. Numerikusan ($\alpha = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, $\Delta t = -20^\circ\text{C}$):

$$f' = c/(2L) \cdot 1,0003 = 1,0003 \cdot f.$$

Mivel abszolút hallású ember is csupán 0,005 pontossággal képes egy hang magasságát megállapítani (l. Budó: Kísérleti fizika I., 356. o.), a síp hosszváltozásából származó frekvenciaváltozást, s ezért magát a hosszváltozást is elhanyagolhatjuk.

A hang terjedési sebessége a levegőben azonban függ a levegő hőmérsékletétől:

$$c = \sqrt{\kappa p / \varrho(T)},$$

ahol $\kappa = c_p/c_V$ a kétféle fajhő hányadosa, p a levegő nyomása, $\varrho(T)$ a sűrűsége. Tegyük fel, hogy a nyomás állandó. Kis hőmérsékletváltozások során κ -t is állandónak tekintjük, ϱ viszont megváltozik. Gay-Lussac I. törvénye alapján

$$\varrho = \frac{\varrho_0}{1 + \beta t},$$

ahol ϱ_0 a 0°C -hoz tartozó sűrűség, t a $^\circ\text{C}$ -ban mért hőmérséklet. Az abszolút hőmérsékleti skálára áttérve, a hangsebességre a

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p \beta T}{\varrho_0}} = c_0 \sqrt{\beta T}$$

kifejezéshez jutunk, ahol c_0 a 0°C -on mért hangsebesség (331,5 m/s). Ha $T = 303$ K hőmérsékleten a frekvencia

$$f = \frac{c_0 \sqrt{\beta T}}{2L},$$

akkor $T' = 283$ K-en az új rezgésszám

$$f' = c_0 \frac{\sqrt{\beta T'}}{2L} = f \sqrt{\frac{T'}{T}} \approx f \cdot 0,966.$$

Ez 3,4%-os frekvenciacsökkenést jelent. Abszolút hallású ember az f' frekvenciájú hangot már másnak hallja.

Eredetileg normálhangú síp esetén az új hang frekvenciája 425 Hz lesz.

Vegyük észre, hogy az orgona összes ajaksípjának ugyanolyan arányban csökken a frekvenciája. A különböző sípok hangjainak egymáshoz viszonyított aránya ezért változatlan marad. Ha tehát kísérlet nélkül vagy az orgonára hangolt kísérettel játszanak, újrhangolás nem feltétlenül szükséges, jó zenei hallású közönség sem fogja a hangzást hamisnak tartani.

Ha az orgonát mégis át kívánjuk hangolni, a síp rezonátorának hosszát annyival kell megváltoztatnunk, hogy a frekvencia állandó maradjon:

$$f'' = c_0 \frac{\sqrt{\beta T'}}{2L[1 + (\Delta L/L)]} = f = c_0 \sqrt{\beta T}/2L.$$

A rezonátor eredeti L hosszát az

$$L = c_0 \sqrt{\beta T}/2f$$

egyenletből határozhatjuk meg. Ezt az előző képletbe behelyettesítjük, ΔL -et kifejezzük:

$$\Delta L = \frac{c_0 \sqrt{\beta T}}{2f} \left(\sqrt{\frac{T'}{T}} - 1 \right).$$

Számadatokkal:

$$\Delta L = \frac{331,5 \text{ m/s} \sqrt{303/273}}{2 \cdot 440 \text{ 1/s}} \left(\sqrt{\frac{283}{303}} - 1 \right) = -1,3 \text{ cm}.$$

Az orgona rezonátorának hosszát tehát csökkentenünk kell, ha újra a „normál a”-ra kívánjuk hangolni.

Megjegyzés. Zárt síp alaphangja $f = c/(4L)$. Azonos frekvenciánál ez feleakkora rezonátort jelent; a számításokat hasonlóképpen elvégezve azt kapjuk, hogy a nyílt sípnál szükséges hosszcsökkentésnek a felével kell a sípot megrövidíteni.

Eddig a sípok alaphangjával számoltunk. Ha azonban a levegőt elegendően erőteljesen fúvatják a sípba, az első felharmonikust fogjuk a legerősebben hallani. Ez kétszer olyan hosszú rezonátort igényel azonos hangokhoz, mint gyengébb befúvás esetén.

Fémnyelvű sípoknál a hangmagasságot elsősorban a nyelv sajátfrekvenciája szabja meg. A hőmérsékletváltozás hatására a frekvenciák az ajaksípokéitól eltérő arányban változnak, ezt a jó zenei hallásúak észrevehetik. Mivel azonban az orgonán kevesebb nyelvsíp van, azokat hangolják az orgona ajaksípjaihoz. Az ajaksípokat ritkán kell hangolni, egyrészt aránytartó elhangolódásuk miatt, másrészt azért, mert az orgonák általában kis hőmérséklet-ingadozásnak vannak kitéve.

A sípok többnyire nem rézből, hanem valamilyen cinkötvözetből vagy ritkábban fából készülnek.

Hajdú Csaba (Budapest, Fazekas M. Gyak. Gimn., III. o. t.)