

2.4.7 Teplotní roztažnost pevných látek

$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$ (přibližný vzorec, existují i přesnější ale složitější vyjádření)

Př. 1: Urči jednotku součinitele tepelné délkové roztažnosti.

Vyjádříme α ze vzorce: $\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$.

Dosadíme jednotky: $\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t} = \frac{1\text{m}}{1\text{m} \cdot 1\text{K}} = \frac{1}{1\text{K}} = \text{K}^{-1}$.

Př. 2: Odvoď vztah pro celkovou délku l tyče roztažené kvůli změně teploty z počáteční délky l_0 .

Celková délka roztažené tyče: $l = l_0 + \Delta l = l_0 + l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$.

$$l = l_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Hodnoty součinitele tepelné délkové roztažnosti pro některé prvky:

prvek	hliník	železo	iridium	měď	vápník
$\alpha [10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$	0,024	0,012	0,006	0,017	0,025

Př. 3: Proč je v tabulce zařazen málokdy zmiňovaný kov iridium?

Př. 4: Eiffelova věž má (včetně antény na vrcholu) výšku 324 metrů. Urči výšku této věže při teplotě -273°C (téměř absolutní 0 K). Předpokládej, že výška udávaná v literatuře byla naměřena při teplotě 30°C . Věž je vyrobena ze železa.

$$l_0 = 324\text{m}, t_1 = 30^\circ\text{C}, t_2 = -273^\circ\text{C}, \alpha = 0,012 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}, l = ?$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = -273 - 30\text{K} = -303\text{K}$$

$$l = l_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t) = 324 [1 + 0,012 \cdot 10^{-3} \cdot (-303)]\text{m} = 322,8\text{m}$$

Př. 5: Urči, o kolik se prodlouží hliníkový drát natažený mezi 2 stožáry vysokého napětí vzdálenými od sebe 60 m, jestliže se teplota se zvýší z -20°C na 30°C .

$$t_1 = -20^\circ\text{C}, t_2 = 30^\circ\text{C}, \Delta t = 30 - (-20)\text{K} = 50\text{K}, \alpha = 0,024 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}, l_0 = 60\text{m}, \Delta l = ?$$

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t = 60 \cdot 0,024 \cdot 10^{-3} \cdot 50\text{m} = 7,2 \cdot 10^{-2}\text{m} = 7,2\text{cm}$$

Př. 6: Urči sílu, kterou by stožáry vysokého napětí musely napínat hliníkový drát z minulého příkladu, pokud by byl natažen při venkovní teplotě 30°C a poté se ochladilo na -20°C . Průměr drátu je 2 cm. Předpokládej, že při natažení nebyl drát prověšen a jeho přímý vodorovný tvar se při ochlazení nemění.

$$\Delta l = 7,2\text{cm} = 7,2 \cdot 10^{-2}\text{m}, d = 2\text{cm} = 2 \cdot 10^{-2}\text{m}, E_{\text{Al}} = 67 \cdot 10^3 \text{MPa}, l_0 = 60\text{m}, F = ?$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{1}{E} \frac{F}{S} \quad F = \frac{ES\Delta l}{l_0} = \frac{E\pi \frac{d^2}{4} \Delta l}{l_0} = \frac{E\pi d^2 \Delta l}{4l_0}$$

$$F = \frac{E\pi d^2 \Delta l}{4l_0} = \frac{67 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 7,2 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 60} \text{N} = 25258 \text{N}$$

Př. 7: Za jaké venkovní teploty je možné napínat vedení na doraz (bez rezervy).

Při velmi nízkých teplotách je drát maximálně zkrácený a bude se pouze prodlužovat. Naopak při vyšších teplotách musíme počítat s ochlazením, zkrácením vedení a nechávat rezervu.

Když se mění rozměry, mění se i objem: $V = V_i (1 + \beta \cdot \Delta t)$.

β = koeficient objemové roztažnosti (není v tabulkách, protože platí: $\beta \doteq 3\alpha$)

Pedagogická poznámka: Pokud nejsou studenti dostatečně rychlí, nemusí je nechat odvozovat příklad samostatně (stejně dospějí maximálně ke vztahu před zanedbáváním). Stačí promítnout roznásobený výraz a probrat s nimi zanedbávání některých členů.

Př. 8: Na příkladu krychle odvod' vzorec pro objemovou roztažnost.

$$V = a^3 \quad (\text{použijeme } a = a_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t))$$

$$V = a^3 = [a_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t)]^3 = a_0^3 (1 + \alpha \cdot \Delta t)^3 = V_0 [1 + 3\alpha \cdot \Delta t + 3(\alpha \cdot \Delta t)^2 + (\alpha \cdot \Delta t)^3]$$

Výsledek moc nepřipomíná na vzorec $V = V_i (1 + \beta \cdot \Delta t)$.

Jak velký je člen $\alpha \cdot \Delta t$?

α - řádově 10^{-5} , Δt - maximálně 10^3 (při tisících stupňů i normálně pevné látky tají)

$\Rightarrow \alpha \cdot \Delta t < 10^{-2}$; $(\alpha \cdot \Delta t)^2 < 10^{-4}$; $(\alpha \cdot \Delta t)^3 < 10^{-6} \Rightarrow$ členy $(\alpha \cdot \Delta t)^2$ a $(\alpha \cdot \Delta t)^3$ můžeme ve výrazu zanedbat (úplně se ztratí v chybách α , které se s teplotou taky mění).

$$V = V_0 (1 + 3\alpha \cdot \Delta t)$$

Při zvyšování teploty se zvětšují rozměry těles $\Rightarrow$ zvětšuje se nejen jejich objem, ale i velikost dutin (například objem hrnku, do kterému můžeme nalít čaj).

Př. 9: Najdi způsob jak dostat zahřátou kuličku přes kroužek bez toho, abychom ji ochladili.

Kuličku můžeme dostat přes kroužek zahřáním kroužku.

Při zahřívání se zvětšují nejen vnější tělesa, ale i dutiny uvnitř $\Rightarrow$ zahřejeme kroužek, jeho otvor se zvětší a projde přes něj i zvětšená kulička.

Př. 10: Jedním z nejčastěji používaných materiálů je železobeton (železné tyče zalité do betonu). Jaké vlastnosti musí železo a beton mít?

Obě látky musí mít stejnou teplotní roztažnost, aby v materiálu nedocházelo k pnutím.

Důsledky tep. roztažnosti:

- Dráty vedení elektrického proudu se nesmí napínat na doraz, musí se nechat průvěs (hlavně v létě).
- Mosty nejsou zabetonovány napevno, ale jsou postaveny na válečkách.
- Kolejnice nejsou z jednoho kusu, ale z částí, které se na sebe nasouvají a je mezi nimi mezera.
- Kotle v elektrárnách se nezazdívají (po zatopení se roztáhnou).
- Teplovody – roury mají „klky“, které vyrovnávají změny délky.

Využití bimetalu:

- Teplotní spínače (žehlička, varná konvice, elektrická trouba), při zahřátí se bimetal ohne a tím vypne obvod.
- Jističe – bimetal zahřátý procházejícím proudem vypíná při dlouhodobém přetížení (krátkodobé vypíná cívka).

Shrnutí: Pevné látky při ohřívání zvětšují své rozměry.