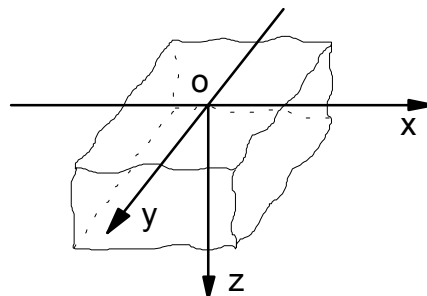


Oblici tijela koji se u praksi pojavljuju u različitim kombinacijama, svode se uglavnom na sljedeće:

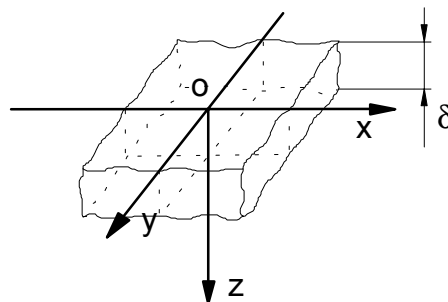
a) **Polubeskonačno tijelo.**

Dimenzije u smjerovima $0x$, $0y$ i $0z$ su dovoljno velike da se pretpostavljaju kao beskonačne. Tok topline, odnosno vođenje topline je trodimenzionalno. ($\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \text{const.}$)

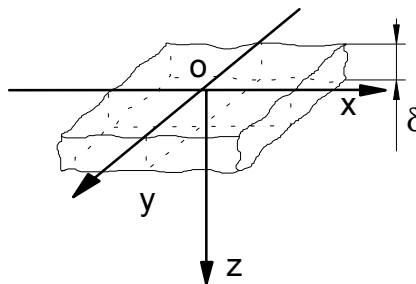


b) **Ravni sloj.** Neograničeno se proteže u smjeru $0x$ i $0y$, dok se u smjeru $0z$ računa sa konačnom dimenzijom lima δ . Temperature nisu po debljini lima iste:

($\lambda_x = \lambda_y \neq \lambda_z$). Vođenje topline je trodimenzionalno.

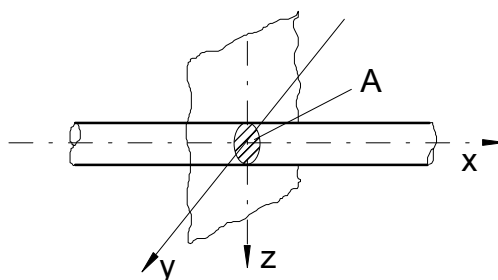


c) **Tanki lim.** Predpostavlja se da je temperatura po debljini lima ista - isti je raspored temperaturnog polja s jedne i s druge strane lima ($\lambda_x = \lambda_y$; $\lambda_z = \infty$). Vođenje topline je dvodimenzionalno. Takav raspored temperatura dobiva se kod sučeonog zavarivanja tankih limova ili kod jednostranog zavarivanja u jednom prolazu.



d) **Šipka** je izduženo tijelo u smjeru x , sa izjednačenim temperaturama u svakom poprečnom presjeku, što daje linearni tok topline u podužnom smjeru

($\lambda_x = \text{const.}$; $\lambda_y = \infty$ $\lambda_z = \infty$).



Oblici izvora topline dijele se prema karakteru raspodjele energije u prostoru, prema vremenskom djelovanju (trajni, impulsi, vremenski vezani), prema pokretljivosti (nepokretni, pokretni) i dr. Prema karakteru raspodjele energije u prostoru razlikuju se sljedeći izvori topline:

- **točkasti izvor topline** kod kojeg je energija koncentrirana u jednoj točki, umjesto u krugu grijanja,
- **linijski izvor topline** kod kojeg je energija koncentrirana u jednoj liniji,
- **plošni izvor topline** kod kojeg je energija koncentrirana u jednoj plohi,
- **volumenski izvor topline** kod kojeg je energija koncentrirana u određenom volumenu.

Fourier-ova diferencijalna jednačba vođenja topline : $\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$

Trenutni nepomični izvori topline

Točkasti izvor na polubeskonačnom tijelu

$$T(R,t) - T_o = \frac{Q}{c \cdot \rho \cdot (2 \cdot \sqrt{\pi \cdot a \cdot t})^3} \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) \quad \leftarrow 3D$$

Linijski izvor na tankoj ploči

$$T(r,t) - T_o = \frac{\frac{Q}{\delta}}{c \cdot \rho \cdot (2 \cdot \sqrt{\pi \cdot a \cdot t})^2} \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) \quad \leftarrow 2D$$

Plošni izvor na beskonačnoj šipci

$$T(x,t) - T_o = \frac{\frac{Q}{A}}{c \cdot \rho \cdot (2 \cdot \sqrt{\pi \cdot a \cdot t})} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) \quad \leftarrow 1D$$

Pomični izvori topline

Točkasti izvor na debelom limu

$$T(R,t) - T_o = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot R} \cdot \exp\left(-\frac{v \cdot x}{2 \cdot a} - \frac{v \cdot R}{2 \cdot a}\right) \quad \leftarrow 3D$$

Pomični linijski izvor na tankom limu

$$T(R,t) - T_o = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \delta} \cdot \exp\left(-\frac{v \cdot x}{2 \cdot a}\right) \cdot K_o\left(r \cdot \sqrt{\frac{v^2}{4 \cdot a^2} + \frac{b}{a}}\right) \quad \leftarrow 2D$$

Pomični točkasti izvor na ravnom sloju debljine δ

$$T(r,x,t) - T_o = m(r,z) \cdot \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \delta} \cdot \exp\left(-\frac{v \cdot x}{2 \cdot a}\right) \cdot K_o\left(\frac{v \cdot r}{2 \cdot a}\right) \quad \leftarrow 2,5D$$

Pojednostavljeni modeli:

Brzopokretni linijski izvor ($v \rightarrow \infty$) prelazi u plošni na tankom limu

$$A = \delta \cdot dx = \delta \cdot v \cdot dt ; 2D \quad T(y,t) - T_o = \frac{q}{v \cdot \delta \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho \cdot t}} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) \quad \leftarrow 2D$$

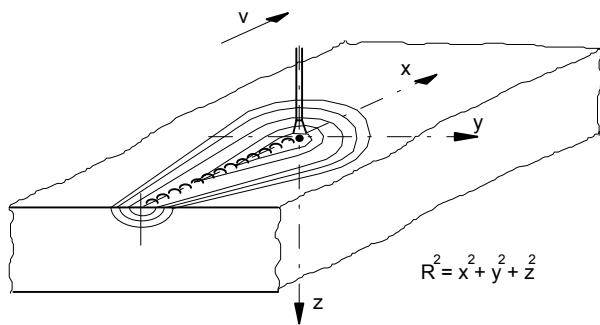
Brzopokretni točkasti izvor ($v \rightarrow \infty$) prelazi u linijski na debelom limu

$$\delta = dx = v \cdot dt ; 3D \quad T(r,t) - T_o = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot v \cdot t} \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) \quad \leftarrow 3D$$

Trajanje hlađenja od 800 do 500 °C

$$t_{8/5} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \delta^2} \cdot \left(\frac{q}{v}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{1}{500 - T_o}\right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_o}\right)^2 \right]$$

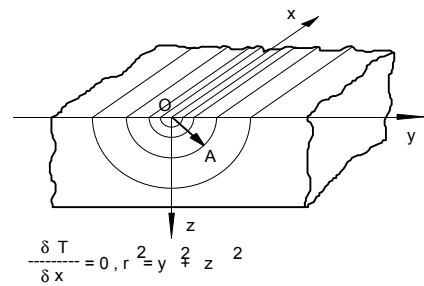
$$t_{8/5} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \frac{q}{v} \cdot \left(\frac{1}{500 - T_o}\right) - \left(\frac{1}{800 - T_o}\right)$$



$$x = v \cdot t, T(R, x) \sim T(R, t)$$

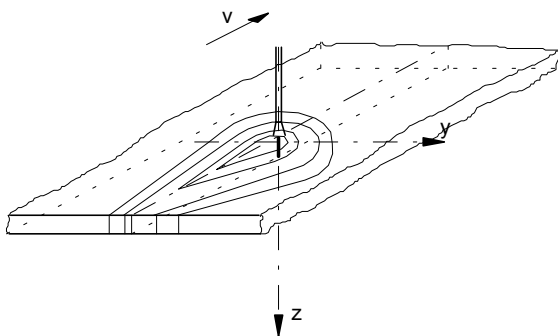
$$\Delta T = T(R, x) = \frac{q}{2\pi\lambda R} \exp\left(-\frac{vx}{2a} - \frac{vR}{2a}\right), ^\circ\text{C} \quad (1)$$

Slika: Pokretni točkasti izvor na površini polubeskonačnog tijela
(debeli lim) oblikuje temperaturno polje u sva tri smjera $T(x, y, z, t)$



$$\Delta T = T(r, t) = \frac{q}{2\pi\lambda v t} \exp\left(-\frac{r^2}{4at}\right), ^\circ\text{C} \quad (2)$$

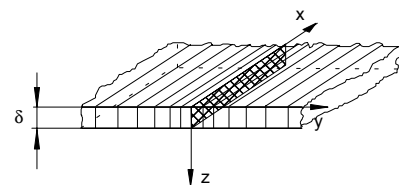
Slika: Brzopokretni točkasti izvor na površini debelog (polubeskonačnog) tijela pri $v \rightarrow \infty$ prelazi u linijski izvor - debela horizontalna crta u kojoj zamišljamo da sva utrošena energija djeluje trenutno, u impulsu. Izoterme su polucilindri - polukružnice u ravni $y-z$, $\frac{\delta T}{\delta x} = 0$



$$\Delta T = T(r, x) - T_0 = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) \text{Ko}\left(r\sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}\right), ^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$T(r, x) = T(r, t); x = v \cdot t$$

Slika: Pokretni linijski izvor u tankom beskonačnom limu.



$$\Delta T = T(y, t) - T_0 = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda c \rho t}} \exp\left(-\frac{y^2}{4at}\right), ^\circ\text{C} \quad (4)$$

Slika: Brzopokretni linijski izvor toplote prelazi u površinski. Izoterme su pravci, odnosno pravokutnici

Iz jednadžbe (2), za $y = 0$

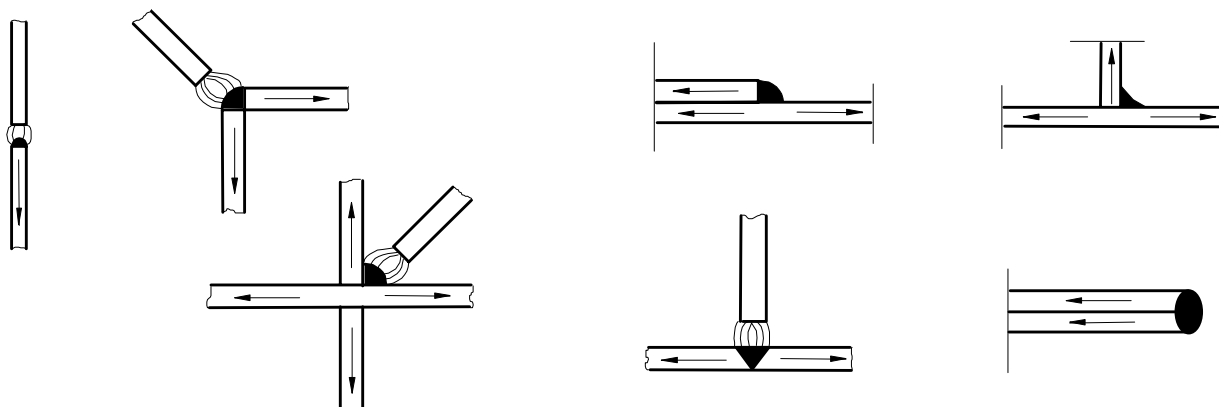
$$t_{8/5} = \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \left(\frac{q}{v}\right) \cdot \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0}\right)$$

$$W = \frac{dT}{dt} = -2\pi\lambda \cdot \frac{(T - T_0)^2}{\frac{q}{v}}, \frac{^\circ\text{C}}{\text{s}}$$

Iz jednadžbe (4), za $y = 0$

$$t_{8/5} = \frac{1}{4\pi\lambda\rho} \eta^2 \frac{1}{\delta^2} \left(\left(\frac{1}{500 - T_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_0}\right)^2 \right), \text{ s}$$

$$W = \frac{dT}{dt} = -2\pi\lambda c \rho \frac{(T - T_0)^3 \delta^2}{\left(\frac{q}{v}\right)}, \frac{^\circ\text{C}}{\text{s}}$$

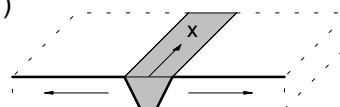


Utjecaj broja smjerova odvođenja topline zavarenog spoja. Pri istoj debljini isti broj smjerova odvođenja topline uzrokovat će brže hlađenje zavarenog spoja. Stvarno je vođenje topline moguće samo u 1,2 ili 3 smjera.

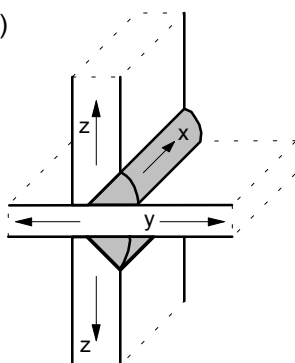
a)



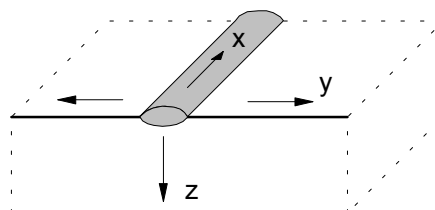
b)



c)



d)

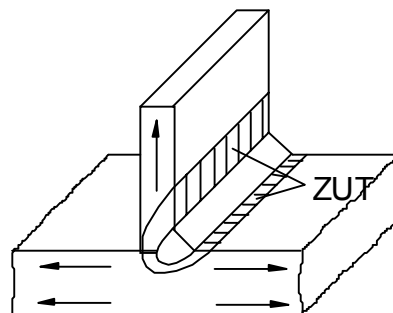
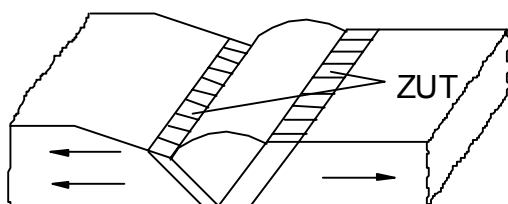


Modeli vođenja topline

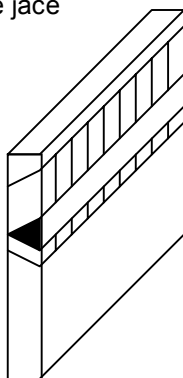
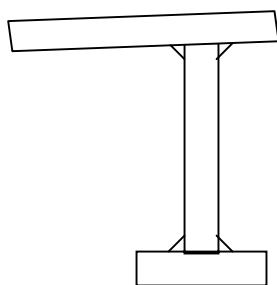
Orijentacijske vrijednosti faktora oblika šava

Oblik šava	Faktor oblika šava	
	F_2 (dvodimenzijsko vođenje topline)	F_3 (dvodimenzijsko vođenje topline)
	1	1
	0,45 – 0,65	0,67
	0,9	0,67
	0,9	0,9

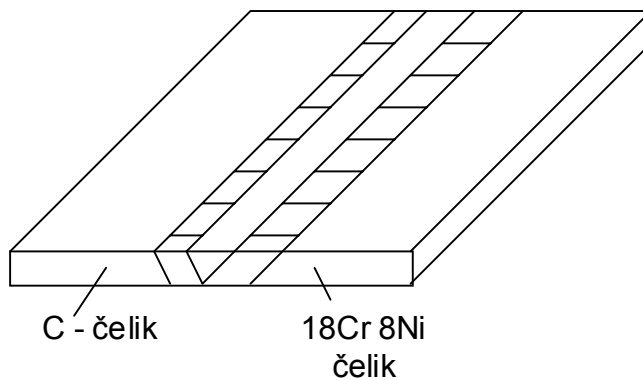
Različite debljine - Deblji materijal se brže hladi



Različite širine - Bliski krajevi ne od vode toplinu, pa se jače zagrijavaju



Različiti materijali



Utjecaji različite debljine, širine i vrste materijala na temperaturna polja.
Moguće je zamisliti i kombinacije prikazanih utjecaja.
Šira ZUT nastaje zbog slabijeg odvođenja topline.

Posljedica je sporije hlađenje odnosno manji $t_{8/5}$