

## T.2. ПРЕНОС ТОПЛОТЕ

Топлота је облик енергије који се преноси

под одређеним условима

До тоplotног преноса долази само у случајевима постојања

температурних разлика унутар делова тела,

између два тела или пак система.

Процес преноса се обавља сам од себе, увек од тачака више

ка тачкама ниже температуре.

Он временски траје све док се температурно

поље не хомогенизује.

Температурно поље је скуп тачака посматраних у односу на њихову температуру у одређеном времену.

Пренос топлоте може бити нестационаран ( прелазни режим ) и стационаран, односно устаљен.

У прелазном режиму топлотног преноса температура је функција положаја тачке и времена :

$$\theta = f(x, y, z, t).$$

а у стационарном само положај тачке

$$\theta = f(x, y, z).$$

Начини преноса топлоте могу бити:

- провођењем ( кондукцијом )
- прелажењем ( конвекцијом )
- зрачење ( радијацијом )
- комбиновани начин преноса.

Комбиновани режим топлотних преноса обухвата сва три начина или пак два од могућих три.

## 2. 1. Пренос топлоте провођењем

То је у суштини молекуларни начин **простирања топлоте**,  
**који се јавља код чврстих тела и**  
**непокретних слојева течности и гасова.**

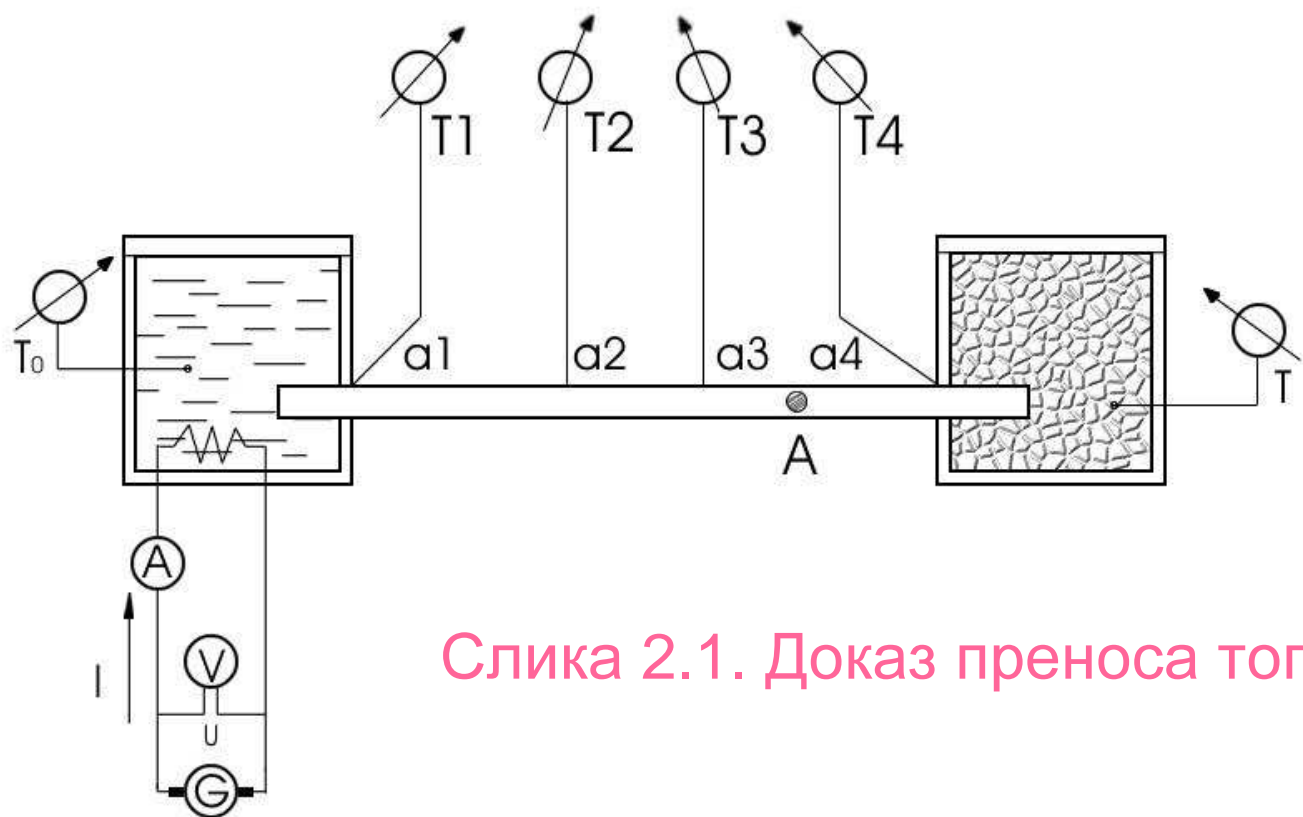
Када се структурне честице (молекули, атоми, електрони)  
додирују а при томе имају различите температуре, топлота  
се преноси са честица које имају вишу температуру  
на честица које имају нижу температуру.

Оваква прерасподела енергије јавља се у свим телима или деловима једног тела између којих постоји **термичка неравнотежа**

Пренос топлоте провођењем можемо доказати и следећим експриментом: хомогени метални штап, попречног пресека  $A$ , својим крајевима смештен у посуде 1 и 2 слика 2.1.

У посуди 1 налази се течност која се може загревати електричним грејачем, у посуди 2 налази се лед. Претпоставимо да су посуде и штап топлотно изоловани од околине.

Загревањем воде, након извесног времена, можемо применити на термометрима  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  и  $T_4$  различито температурно стање, при чему је  $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$



Слика 2.1. Доказ преноса топлоте провођењем

У зависности од вредности термичке проводности разликују се добри проводници (метали, посебно бакар и себро) и лоши топлотни изолатори (дрво, цигла, стакло, пластичне масе, азбест стаклена вуна, шамот)

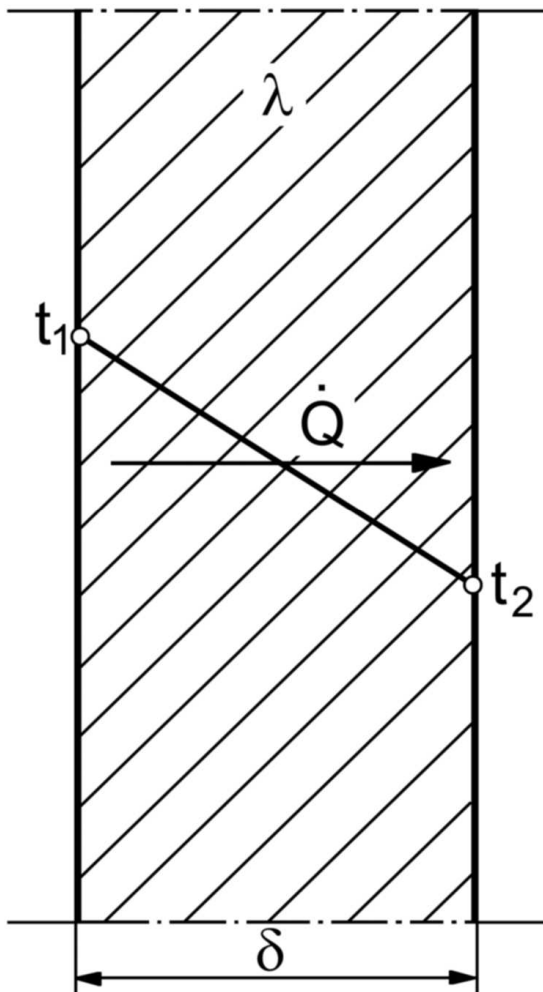
Добра изолациона својства стаклене вуне, азбеста, вате, крзна и других сличних синтетичких или природних материјала заснивају се на малој термичкој проводности ваздуха, који испуњава порозну структуру ових материјала.

## 2. 1. 1. Провођење топлоте кроз равни зид

Разматра се хомогени равни зид (плоча) дебљине  $\delta$  са константном термичком проводношћу  $\lambda$  слика 2.2.

Провођење топлоте је стационарно. За такав случај је експериментално утврђено да је **количина топлоте  $Q$**  која пролази кроз зид сразмерна термичкој проводности зида ( $\lambda$ ) разлици температура ( $t_1 - t_2$ ) површини зида ( $A$ ), времену простирања топлоте ( $\tau$ ) а обрнуто сразмерна дебљини зида ( $\delta$ )





$$Q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} A \tau, \text{ J.}$$

Количина топлоте која се проводи у јединици времена назива се **топлотни проток (флукс)**

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\tau} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} A,$$

Слика 2.2. Провођење топлоте  
кроз раван зид

Још једноставније провођење се изражава густином тоplotног

протока, која се назива и **специфични проток**

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta}, \quad \frac{W}{m^2}$$

Предходни израз може се написати и у облику

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}}$$

Количина  $\delta / \lambda$  у имениоцу предходног израза назива се термички

отпор провођења топлоте, по аналогји са електричним

отпором (R) комплетан предходни израз аналоган је

Омовом закону у електротехници.

$$I = \frac{U}{R}$$

По овој аналогiji **специфични топлотни проток ( $q$ )** , одговара јачини електричне струје ( $I$ ) а разлика температура ( $t_1 - t_2$ ) одговара разлици потенцијала (напона  $U$ ).

Термичка  $\lambda$  проводност има димензију  $W/(m \cdot K)$ , а представља Количину топлоте која се проводи кроз равни зид јединичне површине и јединичне дебљине, при јединичној разлици температура.

Вредности термичке проводности за различите супстанце  
су дате у табели 2.1.

Супстанца	W/(m · K)
Бакар	386
Алуминијум	229
Гвожђе	52
Бетон армирани	1,51
Цигла	0,35-0,7
Порцулан	0,81-1,86
Дрво	0,15-0,2
Плута	0,042
Стаклена вуна	0,037-0,055
Ваздух (при $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $p = 100\text{kPa}$ )	0,0245

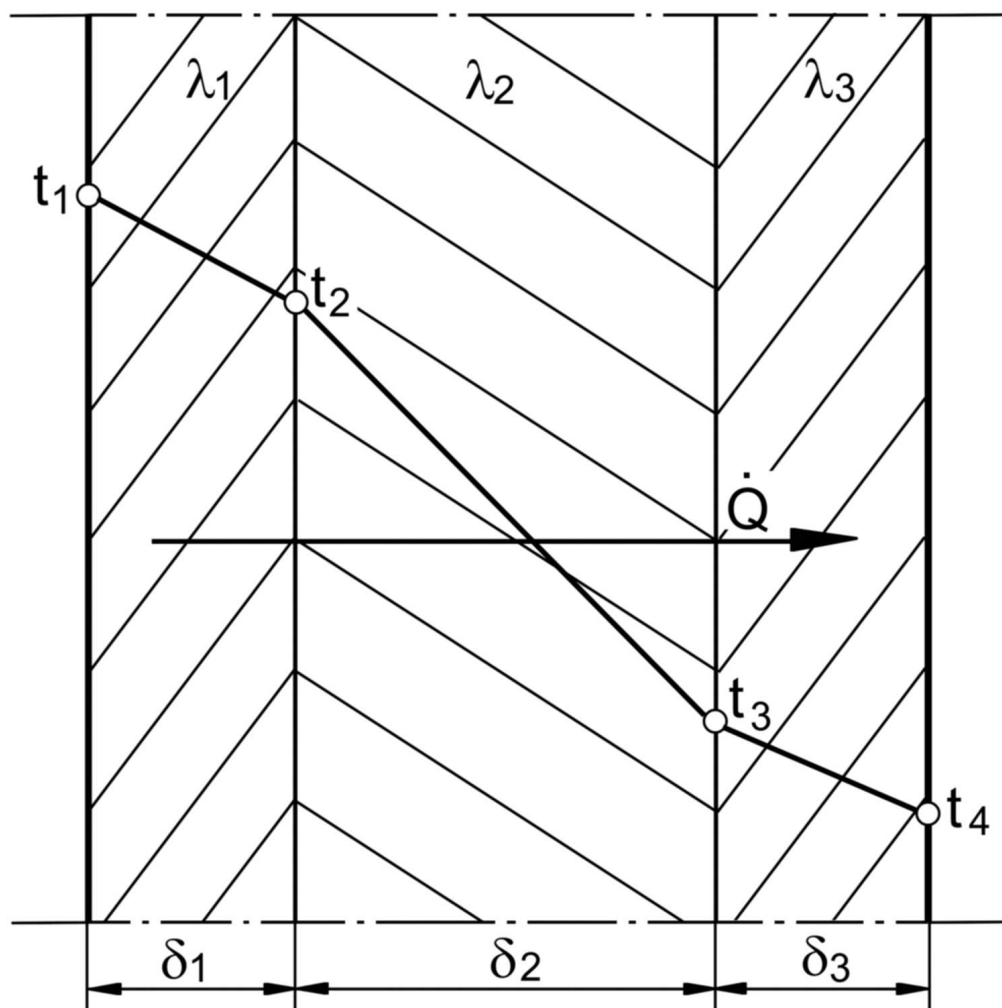
Табела 2. 1. Термичке проводности ( $\lambda$ )

У пракси су чести случајеви да се раван зид састоји од више слојева различитих материјала, различитих дебљина и различитих термичких проводности.

Грађевински зид , на пример, може да се састоји од бетона цигле, малтер, изоласције и др.

При извођењу израза за специфични топлотни проток **вишеслојног зида** користи се **чињеница** да при **стационарном провођењу** **кроз сваки слој** пролази **иста количина топлоте у јединици времена, кроз јединицу површине.**

На основу предходног израза за сваки слој од три слоја



Слика 2.3. Провођење топлоте кроз вишеслојни равни зид.

слика 2.3. биће:

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}},$$

$$\dot{q} = \frac{t_2 - t_3}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}}$$

$$\dot{q} = \frac{t_3 - t_4}{\frac{\delta_3}{\lambda_3}}.$$

Последњи систем једначина може да се напише у облику

$$\dot{q} \frac{\delta_1}{\lambda_1} = t_1 - t_2, \quad \dot{q} \frac{\delta_2}{\lambda_2} = t_2 - t_3, \quad \dot{q} \frac{\delta_3}{\lambda_3} = t_3 - t_4,$$

Сабирањем левих и десних страна ових једначина  $\dot{q}$ , уз већ обележену једнакост за све слојеве, следи да је:

$$\dot{q} \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) = t_1 - t_4 \quad \text{односно} \quad \dot{q} = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}$$

Из последњих израза је аналоган Омовом закону за струјно

коло са три везана отпора

## 2.1.2. Провођење топлоте кроз цилиндрични зид

Поред провођења топлоте кроз равне зидове, у техници је значајно и провођење топлоте кроз **цилиндричне зидове (цев)**,

дужине  $l$  унутрашњег пречника  $d_1 = 2r_1$

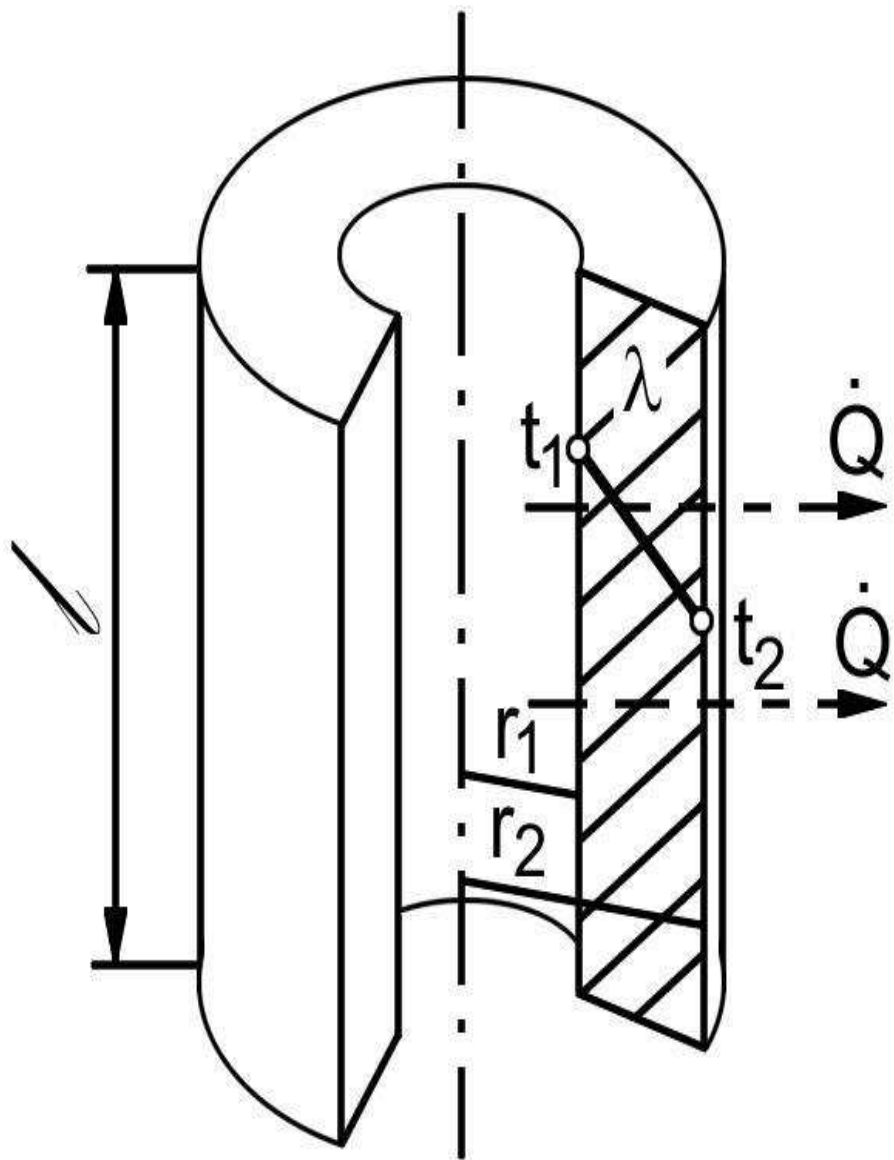
и спољњег слика 2.4.

На унутрашњој и спољној површини зида одржавају се сталне температуре  $t_1$  и  $t_2$  и ( на пример,  $t_1 > t_2$  ). Извођење израза за

Топлотни проток захтева сложенију математичку анализу,

па се зато наводи само коначни образац.



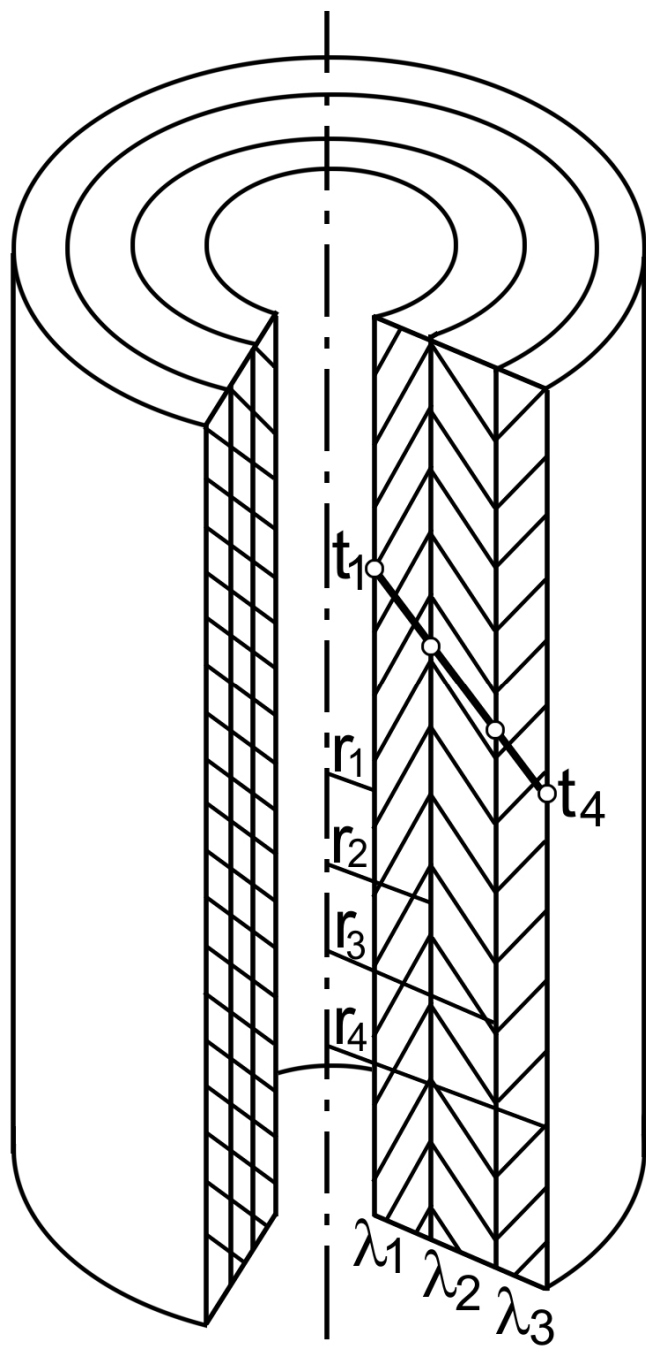


$$\dot{Q} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} l \quad W$$

Слика 2.4. Провођење топлоте  
 кроз цилиндрични зид.

Како су унутрашња и спољашња површина цеви различите а топлотни проток  $Q = \text{const.}$  разликоваће се специфични топлотни проток на унутрашњој и на спољашњој страни цилиндра.

Кад се цилиндрични зид састоји од више слојева који су од различитог материјала, различите дебљине(пречника) и различитих термичких проводности, израза за топлотни проток по јединици дужине је дат на слика 2.5



$$\dot{q}_1 = \frac{t_1 - t_4}{\frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\pi\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}}$$

Слика 2.5. Провођење топлоте кроз  
вишеслојни цилиндрични зид