



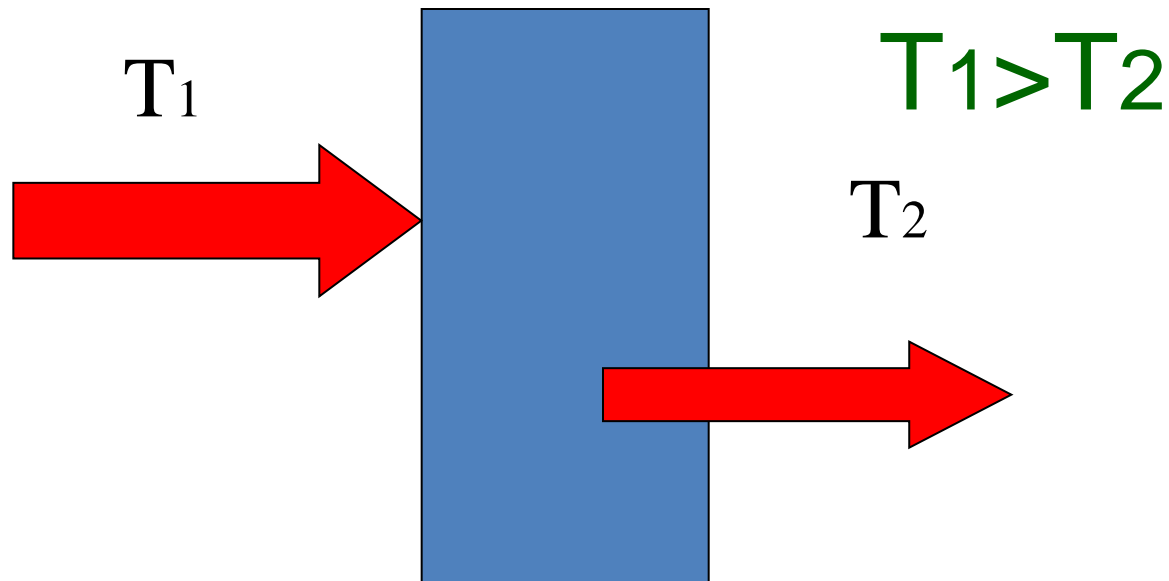
**TALLINNA**  
**TEHNIKA KÕRGGKOO**  
TTK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Soojusvahetus

Leena Paap

# Soojusvahetus

Soojusvahetust saab kirjeldada kui energia hulga kandumist ühest keskkonnast teise temperatuuri erinevuse tõttu



# Soojusvahetus

Soe kandub alati kõrgema temperatuuriga kehalt madalama temperatuuriga kehale, püüdes temperatuure ühtlustada.

# Soojusvahetus



## Välispiire:

- Välissein,
- Sisesein ruumide vahel, mille temp. vahe on suurem, kui 5 °C,
- Ülemise korruse lagi, s.h katuslagi,
- Keldriseinad, s.h seinad vastu maapinda,
- Põrand mittekoetava keldri kohal,
- Põrand pinnasel,
- Maapinnast kõrgemal asuv alt tuulutatav põrand,
- Aken, välisuks.

Soojusvahetus toimub kolmel erineval viisil:

## 1. Soojusläbivus

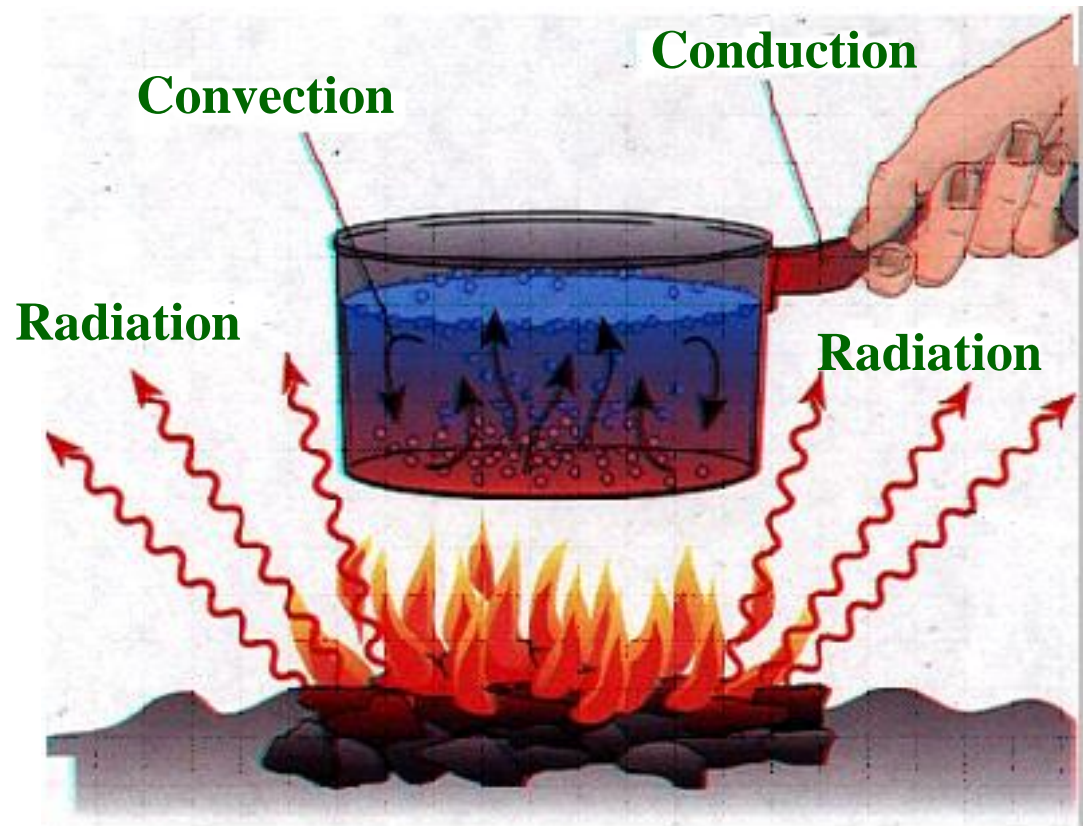
Tahkelt-Tahkele

## 2. Konvektsioon

Tahke-Vedelik-Gaas

## 3. Kiirgus

Gaas



# Soojusvahetus-Soojuslähivus

Soojuslähivuse korral levib soojusenergia tahkete kehade kristallvõre (aine mikroosakeste) võnkumise tulemusena. Aineosakesed ise ei liigu.

Soojuslähivus on peamine soojuse leviku mehhanism tahketes kehaades.

# Soojusvahetus-Soojuslääbivus

Soojuslääbivusel on keskne koht ehitise soojavajaduse kujunemisel kuna soojakaod läbi piirete on enamasti soojuslääbivuse tagajärjeks.

Soojuslääbivus on kirjeldatav **Fourieri** seadusega

Miinusmärk võrrandites näitab, et temperatuur väheneb soojusvoo liikumise suunas.



# Soojusvahetus-Soojuslähivus

## Soojusvoog $q$ , $W/m^2$

$$\vec{q} = -\lambda \nabla T = -\left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x}, \lambda \frac{\partial T}{\partial y}, \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), W/m^2$$

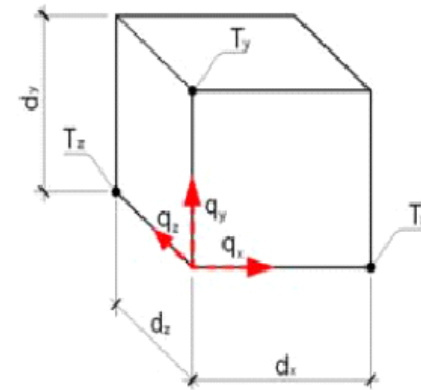
$$q = q_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

kus:

$q$  soojusvoog (soojusvoolu tihedus),  $W/m^2$ ,

$\lambda$  materjali soojusjuhtivus,  $W/(m \cdot K)$ ,

$\partial T$  temperatuuri lang (gradient),  $K/m$ .



## Soojusvool $\Phi$ , $W$

$$\Phi = q \cdot A = \frac{\lambda}{d} \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

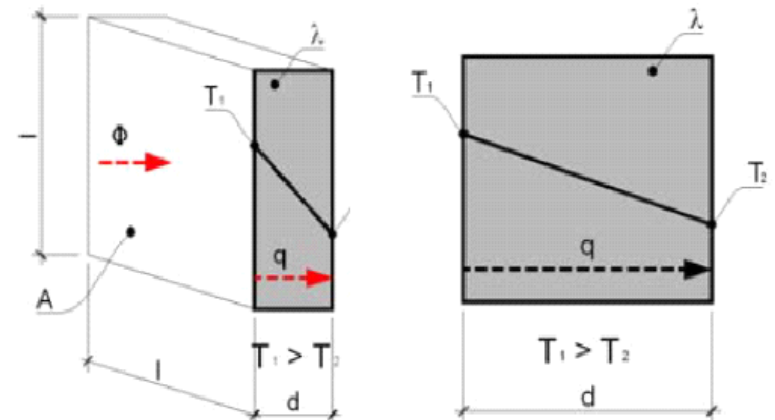
kus:

$\Phi$  soojusvool,  $W$ ,

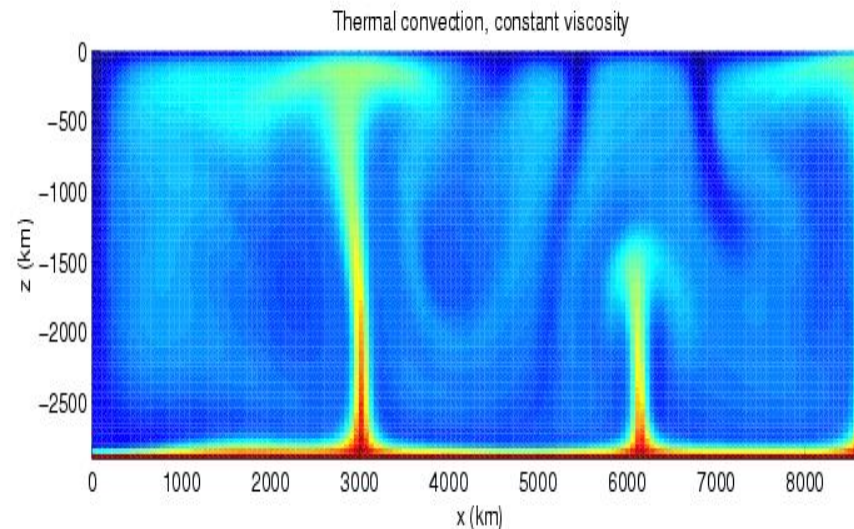
$A$  pindala,  $m^2$ ,

$T_1, T_2$  temperatuur,  $K$ ,

$d$  materjalikihi paksus,  $m$ .

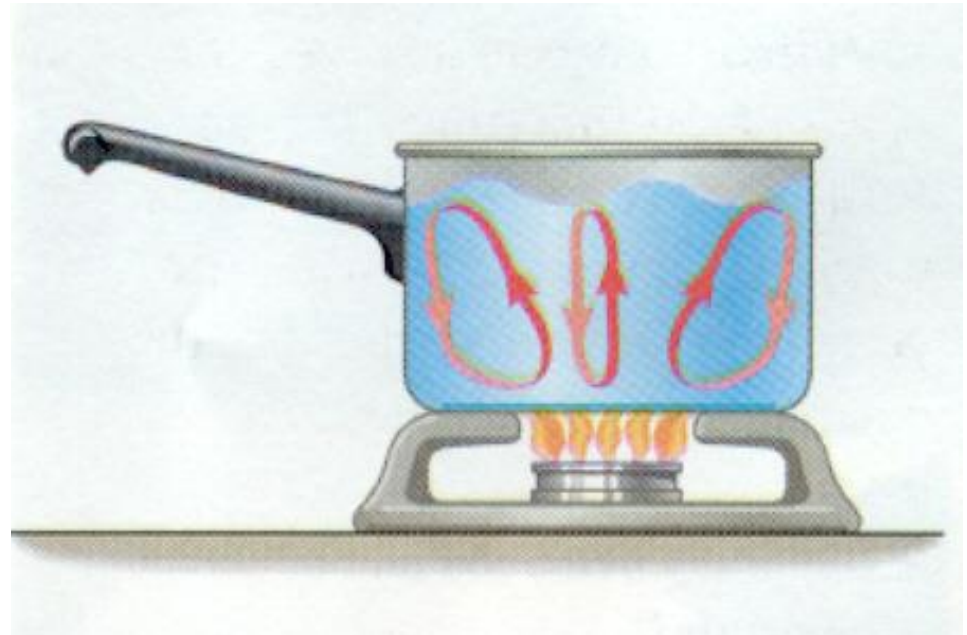
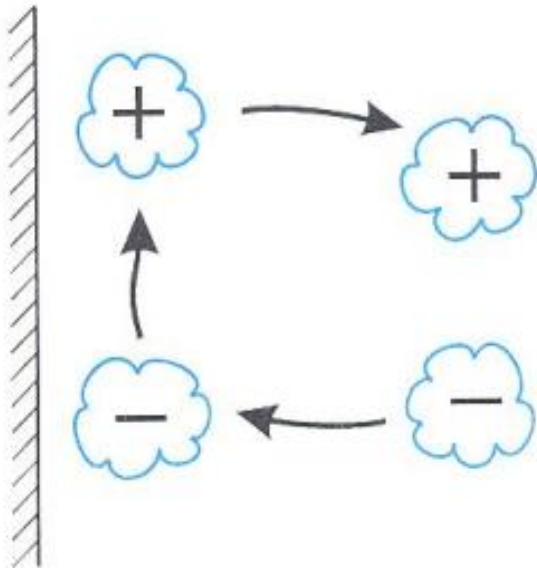


Konvektsioon toimub **gaasides** ja **vedelikes** makroskoopiliste osade liikumisel, kusjuures kõrgema temperatuuriga osad segunevad madalama temperatuuriga osadega, andes nendele üle soojust.



# Soojusvahetus-Konvektsioon

Temperatuuri muutusega muutub nii gaaside kui vedelike tihedus, mis omakorda põhjustab nende tsirkulatsiooni (soojem gaas/vedelik tõuseb üles ja jahedam vajub alla).



Konvektiivset soojusvoolu või soojusvoogu saab väljendada empiirilise valemiga:

$$q_b = h_c(T_{fl/a} - T_s)$$

Kus,

$h_c$ -Soojaülekanndetegur

$T_{fl/a}$ -temperatuur „segamata“ vedelikus või õhus

$T_s$ - temperatuur vedeliku või õhu pinnal

Valem on tuntud kui Newton 's seadus

Esineda saab kahte tüüpi konvektsiooni:

***Loomulik konvektsioon*** on põhjustatud keskkonna tiheduste erinevusest, mida omakorda põhjustab selle eri osade temperatuuride erinevus.

***Sundkonvektsioon*** on põhjustatud välisest mõjust nagu tuul, ventilaator või muu selline.

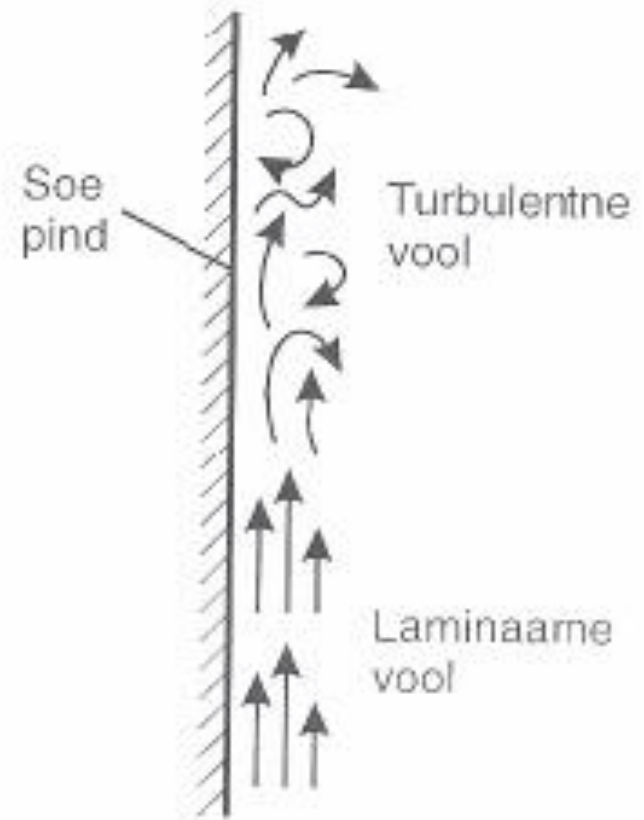
# Soojusvahetus-Konvektsioon

Loomulik konvektsioon saab olla **laminaarne** või **turbulentne**.

**Laminaarne vool** koosneb õhu jugadest, mis kunagi ei ristuvad.

**Turbulentne vool** koosneb õhu jugadest, mis kiirenduse mõjul liiguvad kaootiliselt, erisuundades.

Küttekehade pinnal muutub vool praktiliselt alati turbulentseks.



## Konvektsioon võib toimuda:

**Läbi tarindi-** in ja eksfiltratsioon  
(õhurõhkude erinevus, lekkiv  
õhutõke).

**Läbi tuuletõkke** (liiga poorne  
plaat, paigaldusvead)

**Tarindi sees** (temperatuuri  
erinevus, geomeetria,  
soojustuse õhujuhtivus,  
õhukanalid soojustuses.

**Tarindi pinnal** (temperatuur).

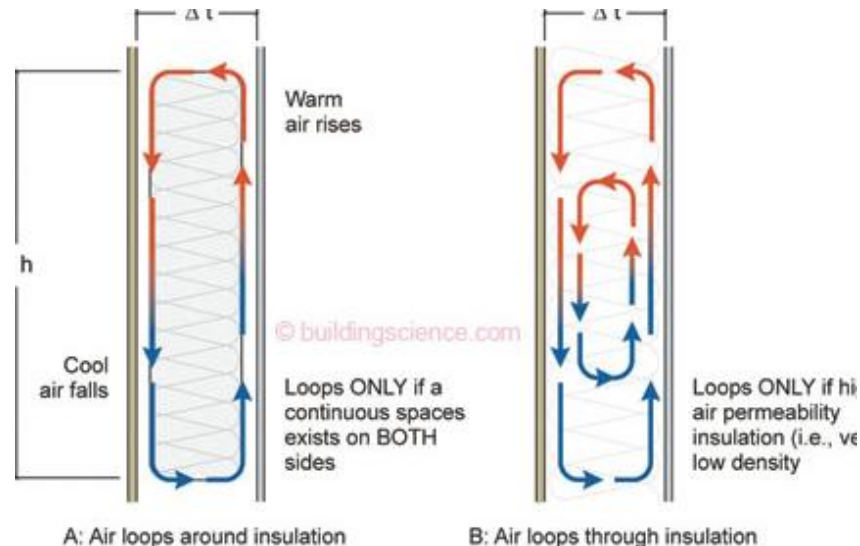


# Soojusvahetus-Konvektsioon

Poorsetes soojustus materjalides võib temperatuuri erinevuse tõttu (ühel ja teisel küljel) tekkida konvektiivne õhuvool.

Sellise konvektiivse õhuvoolu tagajärjel väheneb materjali soojatakistus.

Konvektsiooni intensiivsuse määrab ära temperatuuri erinevus, materjali tihedus ja kihi paksus.





Soojakiirgus on elektromagnetkiirgus, mida iga keha emiteerib sõltuvalt temperatuurist, kuid olenemata keskkonna olukorrast, ja mis kokkupuutes teise kehaga osaliselt neeldub ja kannab sooja nii üle ühelt kehalt teisele.

Iga keha mille temperatuur on üle absoluutse nulli (0 Kelvinit) kiirgab soojusenergiat.

$$0\text{ }^{\circ}\text{C} = 32\text{F}$$

$$1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1.8\text{F}$$

$$0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273.15\text{ K}$$

$$273.15\text{ K} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

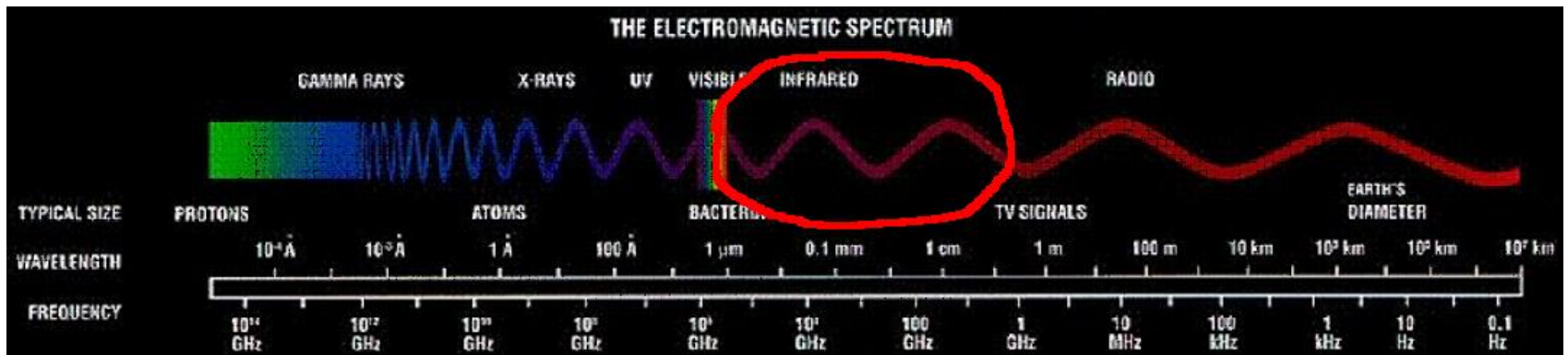
$$K = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{C} = K - 273,15$$

# Soojusvahetus-Kiirgus

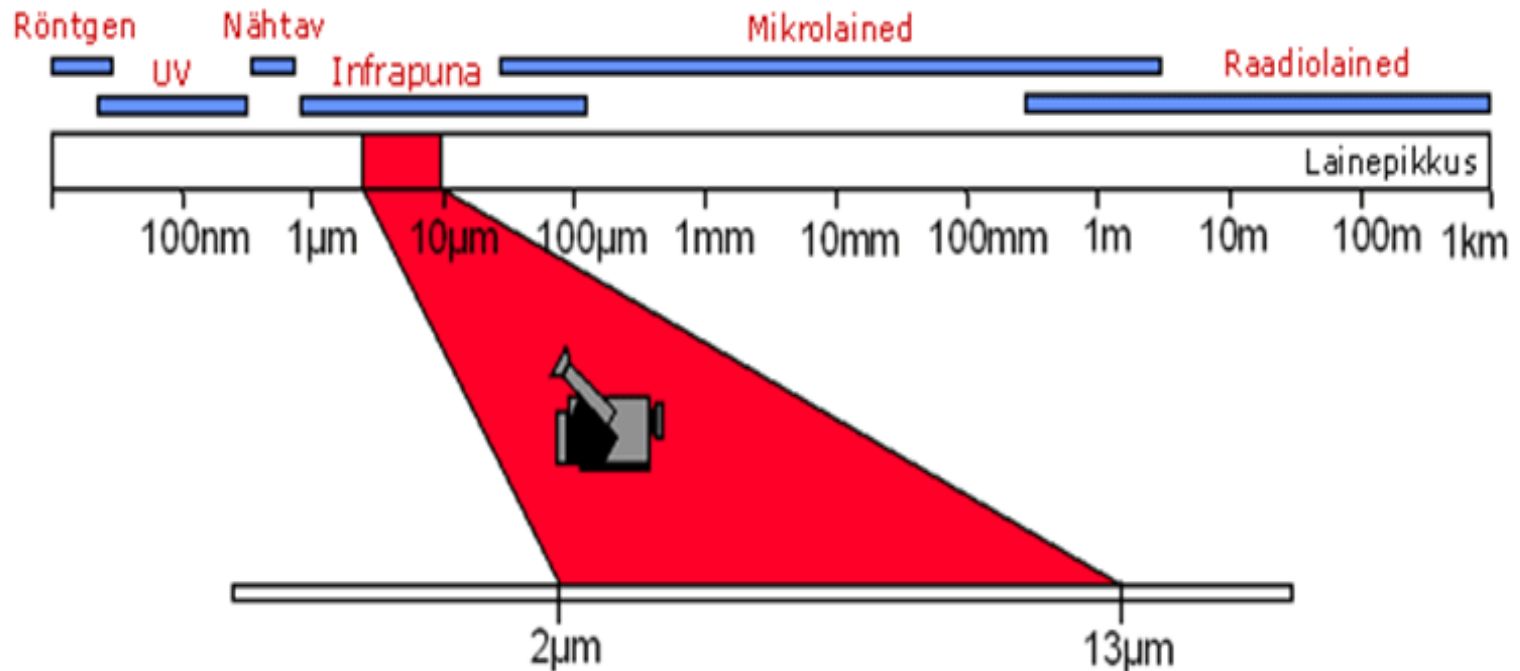
Soojuskiirguse lainepikkus on valdavas osas suurem kui nähtava valguse lainepikkus.

Seetõttu nimetatakse soojuskiirgust ka **infrapuna** kiirguseks- ta asub kiirguse spektris punasest valgusest allpool.



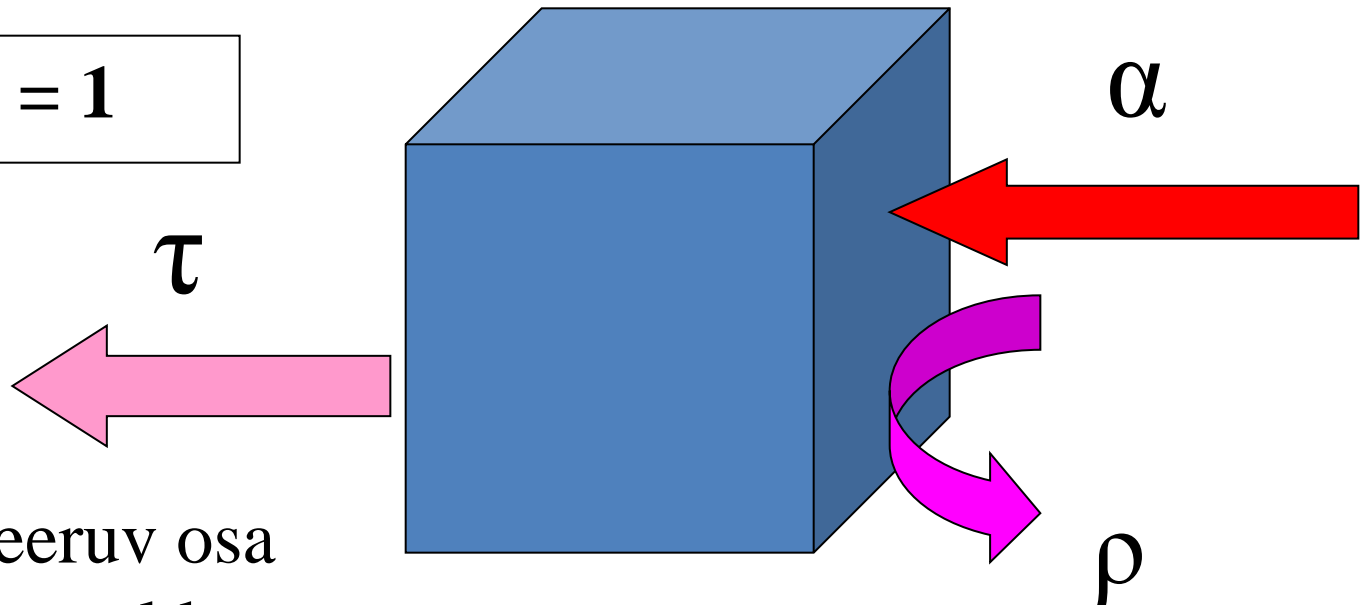
Kiirguse intensiivsus kasvab väga temperatuuri tõustes.

## Elektromagnetkiirguse spekter



Soojuskiirguse langemisel keha pinnale, osa sellest kiirgusest peegeldub ( $\rho$ ), osa salvestub ( $\alpha$ ), ja osa läheb läbi ( $\tau$ ).

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$



$\alpha$ -absorbeeruv osa

$\rho$ -tagasipeegelduv osa

$\tau$ -läbiminev osa

# Soojusvahetus-Kiirgus

Keha soojuskiirgust iseloomustatakse keha kiirgamisvõimega.

Eristatakse värvilist, halli ja musta keha. Kõige suurem kiirgamisvõime on (absoluutselt) mustal kehal.

Reaalsed pinnad ei emiteeri (ei lase välja) samas koguses soojuskiirgust nagu musta keha pind.

Suhet reaalselt pindadelt emiteeruva ( $E$ ), ja musta keha pinnalt emiteeruva ( $E_b$ ) soojuskiirguse vahel väljendatakse pinna emissiooni teguriga  $\varepsilon$  (kiirgamisvõime)

$$\varepsilon = \frac{E(T)}{E_b(T)}$$

$$0 < \varepsilon < 1$$

## Levinud materjalide emissiooni tegurid:

Material	Emissivity*
Aluminum, polished	0.05
Aluminum, rough surface	0.07
Aluminum, strongly oxidized	0.25
Asbestos board	0.96
Asbestos fabric	0.78
Asbestos paper	0.94
Asbestos slate	0.96
Brass, dull, tarnished	0.22
Brass, polished	0.03
Brick, common	0.85
Brick, glazed, rough	0.85
Brick, refractory, rough	0.94
Bronze, porous, rough	0.55
Bronze, polished	0.10
Carbon, purified	0.80
Cast iron, rough casting	0.81
Cast iron, polished	0.21
Charcoal, powdered	0.96
Chromium, polished	0.10
Clay, fired	0.91
Concrete	0.92
Copper, polished	0.01
Copper, commercial burnished	0.07
Copper, oxidized	0.65
Copper, oxidized to black	0.88
Electrical tape, black plastic	0.95
Enamel **	0.90
Formica	0.93
Frozen soil	0.93
Glass	0.92
Glass, frosted	0.96
Gold, polished	0.02
Ice	0.97
Iron, hot rolled	0.77
Iron, oxidized	0.74
Iron, sheet galvanized, burnished	0.23
Iron, sheet, galvanized, oxidized	0.28
Iron, shiny, etched	0.16

Material	Emissivity*
Iron, wrought, polished	0.28
Lacquer, Bakelite	0.93
Lacquer, black, dull	0.97
Lacquer, black, shiny	0.87
Lacquer, white	0.87
Lampblack	0.96
Lead, gray	0.28
Lead, oxidized	0.63
Lead, red, powdered	0.93
Lead, shiny	0.08
Mercury, pure	0.10
Nickel, on cast iron	0.05
Nickel, pure polished	0.05
Paint, silver finish**	0.31
Paint, oil, average	0.94
Paper, black, shiny	0.90
Paper, black, dull	0.94
Paper, white	0.90
Platinum, pure, polished	0.08
Porcelain, glazed	0.92
Quartz	0.93
Rubber	0.93
Shellac, black, dull	0.91
Shellac, black, shiny	0.82
Snow	0.80
Steel, galvanized	0.28
Steel, oxidized strongly	0.88
Steel, rolled freshly	0.24
Steel, rough surface	0.96
Steel, rusty red	0.69
Steel, sheet, nickelplated	0.11
Steel, sheet, rolled	0.56
Tar paper	0.92
Tin, burnished	0.05
Tungsten	0.05
Water	0.98
Zinc, sheet	0.20

\*Emissivities of almost all materials are measured at 0 °C but do not differ significantly at room temperature.

\*\*Paint, silver finish is measured at 25 °C and Paint, enamel at 27 °C

Pind	Emissiooni- võime E
Alumiinium	
– läikiv	0,09
– oksüdeerunud	0,20–0,33
Betoon, krobeline	0,94
Härmatis	0,985
Katusepapp	0,92–0,94
Klaas	0,94
Värvid, lakid	
– alumiiniumvärv	0,27–0,62
– emallakk	0,85–0,95
– must värv	0,8–0,97
– valge värv	0,9–0,97
Puit	0,8–0,9
Põletatud savi (tellis)	0,91
Krobeline tellis	0,93
Silikaatkivi	0,90

Päike on väga kuum ja tal on palju energiat ära anda, mille tõttu annab ta välja lühilainelist kiirgust. Lühilaine kiirguse sisaldab suuremas koguses energiat ja sisaldab endas:

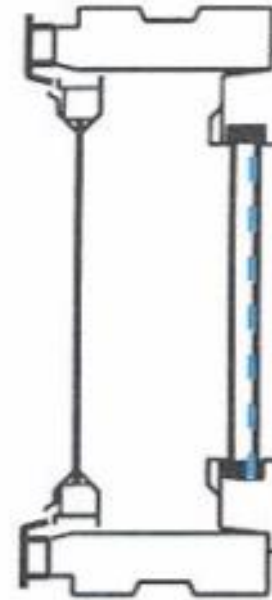
- UV kiirgust
- Nähtavat valgust
- Infrapunast kiirgust

Maa on palju jahedam, kuid siiski radioaktiivse kiirgusega. Maalt eraldub pikalainelist infrapunast kiirgust kuna see sisaldab väiksemas koguses energiat.

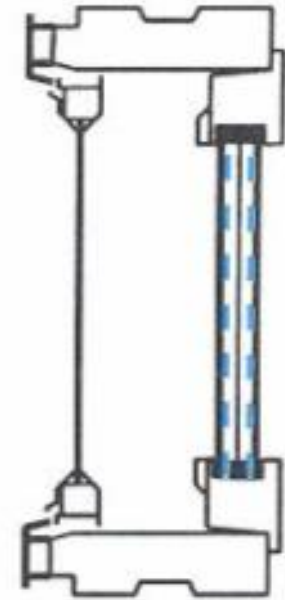


Klaasi kiirgusomaduste mõjutamine põhineb pinna katmisel õhukese, kiirgust peegeldava kihiga.

- Päikese lühilainekiirgus läbib 80% ulatuses
- Pikalainekiirgus ei läbi 80% ulatuses.
- Akna piida ja raami osatähtsus suureneb.



MSE-selektiiv  
1,1 - 1,4

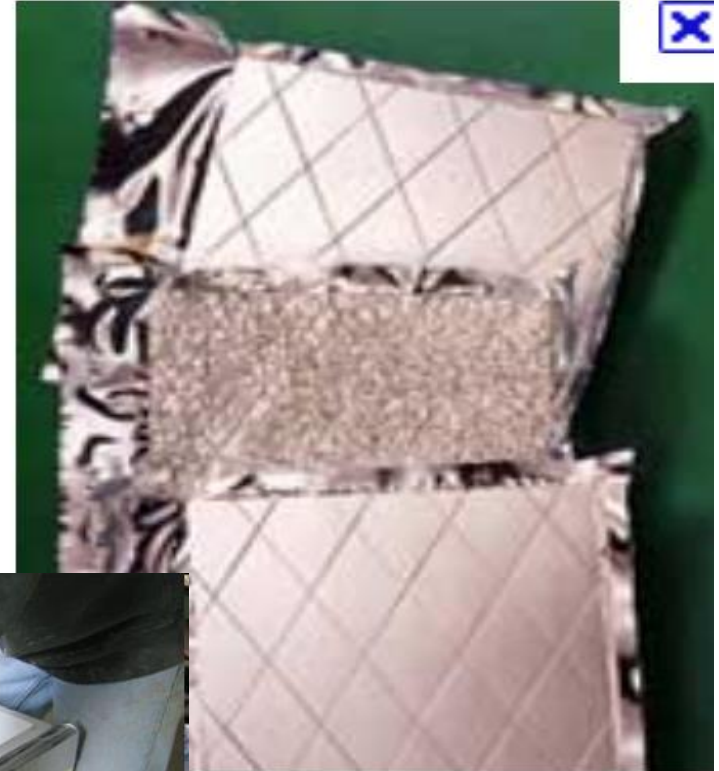


MSE-2-selektiiv  
0,8 - 1,1

## Vaakumisolatsioonipaneelid

(VIP)

Vaakumisolatsioonipaneelid (VIP) tõkestavad soojuse levikut kuni 10 korda paremini kui samade mõõtmetega täidisisolatsioonmaterjalid



# Soojusvahetus-Materjalid

Koosneb kahest poleeritud ja korrosioonikindlast puhtast alumiiniumist fooliumkihist, mille vahel on veel kaks kihti tulekindlat polüetüleenmullikilet ning kaks puhtast alumiiniumist fooliumi lisakihti ja veel üks tule- ja veekindel vahtplasti kiht. Tulekindel polüetüleenmullikile on kuiva ja stabiilse õhu mullidega.

## Toimepõhimõte ja põhilised eelised

Aluthermo Quattro® aitab energiat kokku hoida, mõjutades soojusülekanne viise.

- **Soojusjuhtivus:** Aluthermo® erinevad koostisosad pidurdavad tõhusalt soojusjuhtivust toote sees.
- **Konvektsioon:** Aluthermo® on täiesti õhku läbilaskmatu.
- **Soojuskiirgus:** Aluthermo® on mõlemalt poolt kaetud 30 µm paksuse poleeritud alumiiniumilehega. Selle kiirgusvõime on 0,05 w/m<sup>2</sup> ja see takistab märkimisväärselt soojusülekanne kiirguse kaudu.
- **Niiskus:** Aluthermo® polüetüleenkiledes on kuiv õhk, mis ei puutu kokku välisõhuga. Et seda kilet kaitseb alumiinium, tekib niiskuskindel kompleks.
- **Tulekindlusklass:** M1-A-B1.
- Taaskasutatav.

