KOVÁCS ENDRE, PARIPÁS BÉLA,

FIZIKA I.

11

Új Magyarország FEJLESZTÉSI TERV

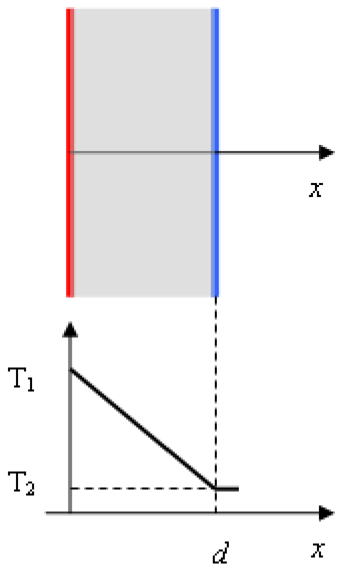
A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

XI. A HŐ TERJEDÉSE

1. HŐVEZETÉS (KONDUKCIÓ)

A hővezetés során a hőenergia valamely anyagban úgy jut el a melegebb helyről a hidegebbre, hogy közben makroszkopikus anyagáramlás nem történik.

Vizsgáljunk meg két *A* nagyságú felületet, közöttük valamilyen anyaggal. Legyen a két felület hőmérséklete T_1 és T_2 ($T_1 > T_2$), távolságuk d. A két felületet állandó hőmérsékleten tartjuk, így stacionárius áramlás jön létre, bármely adott pontban a hőmérséklet időben állandó.



Ekkor a T_1 hőmérsékletű (az ábrán bal oldalt elhelyezkedő, pirossal jelölt) felületről a T_2 hőmérsékletű (kékkel jelölt) felületre áramlott hő egyenesen arányos a felületek nagyságával, az eltelt idővel, a hőmérsékletkülönbséggel (ez utóbbi a nem triviális), és fordítottan arányos a felületek távolságával:

$$Q = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{d} \Delta t$$

Itt a λ az anyagi minőségtől függő állandó, a két felület közötti teret kitöltő anyag hővezető-képességét jellemzi (pontosabban megvizsgálva kismértékben a hőmérséklettől is függ). A törvény differenciális alakját úgy kapjuk, hogy bevezetjük a **hőáramsűrűség-vektort**, amely az egységnyi felületen egységnyi idő alatt átáramlott hőenergiát adja meg (mértékegysége J/m^{2}s), iránya pedig minden pontban megegyezik az ottani hőáramlás irányával. A fenti egyenletet osztjuk az idővel és a felülettel, majd $\lim_{d \to 0}$ határértéket veszünk. Ekkor, ha a hő az x tengely irányában terjedt, a hőáramsűrűség nagyságára azt kapjuk, hogy

$$j_Q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

A negatív előjel azért jelenik meg, mert a hő az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé, vagyis a hőmérséklet növekedésével ellentétes irányba áramlik. A törvényt úgy nevezik, hogy a **hővezetés első Fourier törvénye**, általános alakja:

$$\vec{j}_Q = -\lambda \, grad T$$

Vizsgáljunk olyan elrendezést, ahol a két lemez távolsága sokkal kisebb, mint a lemezek lineáris méretei (pl. átmérője). Ily módon feltehetjük, hogy a széleken oldalirányban (*y* és *z*) nem terjed hő, csak *x* irányban. Ekkor viszont stacionárius esetben a két lemez között lévő bármely, a lemezekkel párhuzamos felületen időegység alatt ugyanannyi hő áramlik át, vagyis a j_Q áramsűrűség (esetleg a szélektől eltekintve) mindenhol ugyanannyi. Ebből viszont az következik, hogy a hőmérséklet hosszegységre eső $\frac{dT}{dx}$ megváltozása is mindenhol ugyanannyi, vagyis az *x* függvényében ábrázolva a hőmérsékletet, lineárisan csökkenő függvényt kapunk (ennek konstans a deriváltja). Ezt láthatjuk az ábra alsó részén. Eredményünk nem csak arra az esetre vonatkozik, amikor a lemezek felülete nagy, hanem arra is, amikor oldalirányban nagyon jó hőszigetelő veszi körül a közeget, pl. egy fémrúdra, amelynek egyik végét magas, másik végét alacsony hőmérsékleten tartjuk.

A fémek hővezető-képessége általában nagyobb, mint más szilárd testeké. Folyadékok hővezető-képessége általában kisebb a szilárd testekénél, a gázok pedig a legrosszabb hővezetők közé tartoznak. A legjobb hőszigetelő ebből a szempontból a vákuum.

A hő vezetéses terjedésekor lényegében arról van szó, hogy a test magasabb hőmérsékletű helyén levő és nagyobb kinetikus energiával rendelkező molekulák érintkezés folytán energiát adnak át a velük szomszédos, alacsonyabb hőmérsékletű helyen levő, kisebb energiával rendelkező molekuláknak.

Minél szorosabb a kapcsolat a molekulák között, annál gyorsabb az energiaátadás. Ezért jó hővezetők a szilárd testek, és rossz hővezetők a gázok. Fémeknél az energia-továbbításban lényeges szerepet játszanak a szabad elektronok, amelyek egyébként a fémek jó elektromos vezetőképességéért is felelősek. Ezzel magyarázható, hogy a fémek hő- és elektromos vezetőképessége között jó közelítéssel egyenes arányosság áll fenn.

Az animáció segítségével tanulmányozhatja a most tanultakat:

ANIMÁCIÓ

2. Konvekció

Ha vízzel töltött edényt a főzőlapra helyezünk, az edény aljával érintkező vízréteg vezetés útján hőt vesz fel. A felmelegedett víz kisebb sűrűsége folytán felszáll, és helyét a lesüllyedő nagyobb sűrűségű, hidegebb víz foglalja el, amely ugyancsak felmelegszik, felszáll és így tovább.

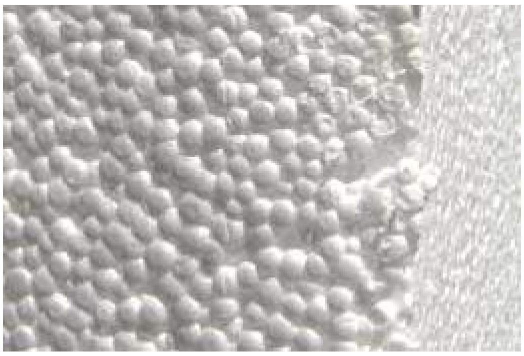
A hő terjedésének ezt a módját **konvekciónak** nevezzük. Hővezetéskor a test nyugalomban van, és csak a hőenergia áramlik, konvekció esetén az anyag atomjai, ill. molekulái is áramlásban vannak, és ezek az áramló részecskék viszik magukkal az energiát.

Az animáció segítségével tanulmányozhatja a most tanultakat:

ANIMÁCIÓ

Folyadékokban és gázokban a hő főként konvekció útján terjed, és ha ennek kialakulását gátoljuk, gyakorlatilag csak a vezetés jön számításba. Minthogy pedig a folyadékok és gázok hővezető-képessége kicsi, ilyen körülmények között (főként a gázok) jó hőszigetelők. Például könnyen kitalálható, hogy miért nem felülről melegítjük a vizet a gáztűzhelyen. Ekkor a felül lévő kitágult víz továbbra is felül maradna és alulra csak a lassabb hővezetéssel jutna el a hő.

Sok hőszigetelő anyagban (hungarocell, üveggyapot, azbeszt, homok, salak stb.) apró, bezárt légbuborékok vannak, és az ilyen anyagok éppen ezért jó hőszigetelők. A ruházat melegítő hatása is a ruha anyagába zárt légbuborékok hőszigetelő hatásával függ össze.



Hungarocell
A polisztirolhab szemcséi között levegő-buborékok maradnak, ettől jó hőszigetelő.

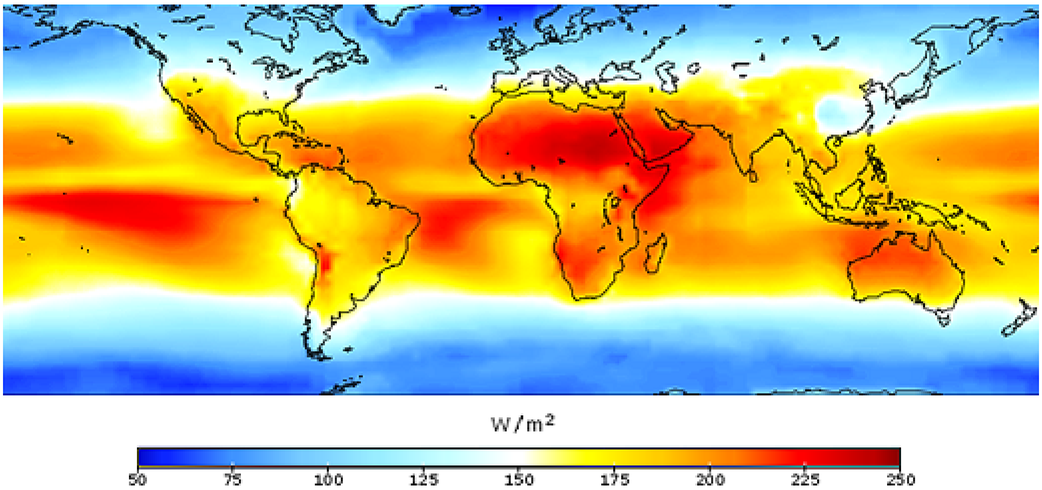
3. Sugárzás

Míg ahhoz, hogy a hő *vezetés* és *konvekció* útján terjedjen, *közegre* van szüksége, amely a hőt közvetíti, ill. szállítja, addig a sugárzással való terjedéshez nincs szükség közegre. A sugárzás légüres téren keresztül is terjed.

PÉLDA

A Nap melege a Földre sugárzás útján jut el. A fűtőtest nemcsak vezetéssel és konvekcióval, hanem sugárzás révén is ad le hőt környezetének.

Az olyan sugárzást, amely egy test hőenergiájának rovására megy végbe (adott test esetén csak annak hőmérsékletétől függ), **hőmérsékleti sugárzásnak** nevezzük. A hőmérsékleti sugárzás *elektromágneses sugárzás*, vákuumban terjed a leggyorsabban ($3 \cdot 10^8$ m/s sebességgel). A hőmérsékleti sugárzással részletesebben a következő félévben fogunk foglalkozni.



A Földre érkező átlagos napi napsugárzás energiája [i]

4. PÉLDÁK

PÉLDA

PÉLDÁK A MINDENNAPI ÉLETBŐL

Egy szoba fűtésekor a hő a fűtőtest falán át vezetéssel jut el a vele érintkezésben levő levegőhöz, amely azután már konvekció révén melegszik fel. A falak és a szobában levő tárgyak részben közvetlenül a fűtőtesttől kapják a hőt sugárzás útján, részben pedig a cirkuláló levegőtől vezetés útján. A falak és az ablakok mentén mindig van ezek által "megkötött" levegőréteg, amely a konvekcióban nem vesz részt, és rossz hővezető-képessége révén nagymértékben gátolja a hő elillanását a szabadba. – Hatalmas mennyiségű hőt szállító konvekciók a szelek és a tengeráramlatok (pl. a Golf-áramlat). Megjegyezzük, hogy a fenti összefüggések (pl. a Fourier-törvény) konvekcióra és sugárzásra nem vonatkoznak.

PÉLDA

MILYEN GYORSAN HŰL LE EGY MELEG TEST?

Tegyünk nagy mennyisége miatt állandó hőmérsékletűnek tekintett vízbe egy kis méretű, magas hőmérsékletű fémgolyót. Jelöljük T-vel azt a hőmérsékletet, amennyivel a golyó pillanatnyilag melegebb a víznél, T_0-lal ennek kezdeti értékét, vagyis a kezdeti hőmérsékletkülönbséget. Kérdés, hogy milyen ütemben hűl le a golyó. Mivel a leadott hő a pillanatnyi hőmérsékletkülönbséggel és az eltelt idővel arányos: $dQ = -kTdt$, ahol a k-ban benne van a fenti λ, valamint a geometriai adatok (pl. felület), a negatív előjel pedig azért van, mert a golyó leadja a hőt. A bal oldalt a hőmérsékletváltozással kifejezve: $dQ = CdT$, ahol C a hőkapacitás. Legyen $K = k/C$, ezzel a differenciálegyenlet:

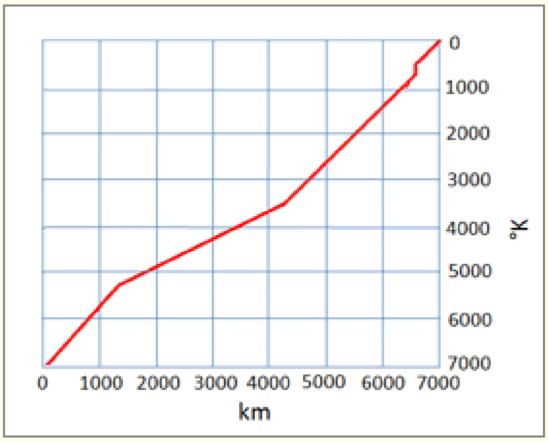
$$\frac{dT}{dt} = -KT$$

Ennek megoldása: $T = T_0 e^{-Kt}$. Ez azt jelenti, hogy a golyó hőmérséklete exponenciálisan csökken, és ahogy a hőmérsékletkülönbség csökken, úgy csökken a hűlés üteme is.

Gyakorlati alkalmazás: Geotermika

A Föld felszíne alatt azt tapasztaljuk, hogy a mélység növekedésével nő a hőmérséklet is. Ennek a jellemzésére a *geotermikus gradienst* használjuk, mely megmutatja, hogy egységnyi mélységváltozásra mekkora hőmérsékletváltozás jut [°C/m], [°C/km]. A világon átlagosan ez az érték 30 °C/km, Magyarországon ez magasabb kb. 50°C/km (a Vezúv környékén 140°C/km). Ez azért lehetséges, mert Magyarország olyan helyen fekszik, ahol az átlagostól jóval vékonyabb, 24-27 km a Föld kérge. Emellett nagy vastagságú, hőszigetelő képződmények (agyag, homok) vannak jelen az országunkat is magába foglaló Pannon-medencében.

Egyes feltételezések szerint a Föld belső magjának hőmérséklete 5000-6000°C-os, de már 500 km mélyen 1500 °C van. A Föld belsejéből a hő a felszín felé áramlik. A mérések szerint ezen áramlás hőáramsűrűségének egész Földre vonatkozó átlagértéke 74 mW/m^2. Magyarországon ez is magasabb, kb. 90 mW/m^2, a fentebb már említett okok miatt. A Föld belső hőjének eredetét legnagyobb részt a Föld belsejében végbemenő radioaktív bomlások hőtermelésével magyarázzák. Ezen kívül kis részben a tektonikai lemezek mozgása közben keletkező súrlódási hő is hozzájárul.



A hőmérséklet változása a Föld középpontja felé haladva

Hőmérséklet-méréssel kimutathatók a felszín alatti vizek is. Ezek (pl.: áramló karsztvíz) lehűtik környezetüket, ezáltal hőmérsékleti minimumot okoznak. A kimért minimumok helyén megcsapoló kutak telepítésével a víz kinyerhető. Például okáért a padragi bányaüzemben ilyen módszerrel védekeztek a vízbetörés ellen.

Számolási feladat

Gyakorlati feladat 1

Egy bérházi lakás egyik szobájának $11\,\mathrm{m}^2$ felszínű fala néz az utca felé. A fal hővezetési tényezője $\lambda_{fal} = 1W/mK$, vastagsága pedig $d_{fal} = 15\mathrm{cm}$. Számítsa ki, hogy télen mekkora teljesítménnyel "fűti" a szoba az utcát, amikor a fal szobaoldali hőmérséklete $T_{szoba} = 18°\mathrm{C}$, a külső hőmérséklete pedig $T_{külső} = -8°\mathrm{C}$.

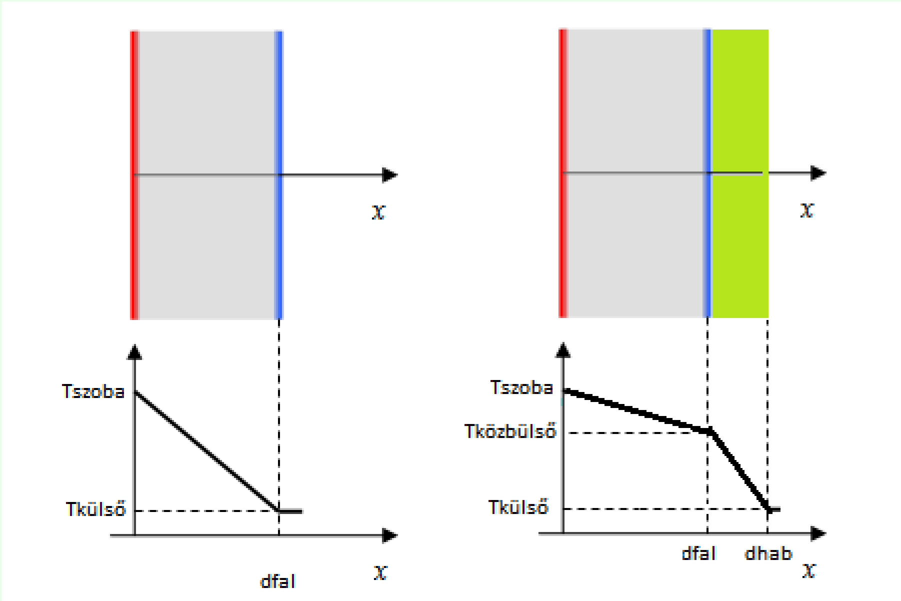
Megoldás

A hőáram egyrétegű síkfal esetén arányos a fal két felületének hőmérsékletkülönbségével: $18-(-8) = 26°\mathrm{C}$, a fal hővezetési tényezőjével, továbbá arányos a hőáram irányára merőleges felülettel: $11\mathrm{m}^2$. Viszont fordítottan arányos a fal vastagságával: $0{,}15\mathrm{m}$. Tehát a kialakult hőáram: $Q = 1 \cdot 26 \cdot 11 / 0{,}15 = 1907\,\mathrm{W}$.

Számolási feladat

Gyakorlati feladat 2

Az előző példában szereplő falat hőszigeteltük egy $d_{hab} = 8\ \mathrm{cm}$ vastag habszivacsréteggel, melynek hővezetési tényezője $\lambda_{hab} = 0,04\ \mathrm{W/mk}$. Számítsa ki, hogy mennyivel csökkent az utcát melegítő teljesítmény, ha a fal belső hőmérséklete továbbra is $T_{szoba} = 18°\mathrm{C}$, a szigetelés felszíne pedig $-T_{külső} = -8°\mathrm{C}$.



Megoldás

Stacionárius esetet vizsgálunk, ezért a folyamatban a hőáram állandó értékű. Ez azt jelenti, hogy a Q hőáram megegyezik mind a falban, mind a szigetelésben:

$$Q = Q_{fal} = Q_{hab}$$

Továbbá

$$T_{szoba} - T_{külső} = (T_{szoba} - T_{közbülső}) + (T_{közbülső} - T_{külső}) \qquad (1)$$

$$Q_{fal} = \lambda_{fal} A \cdot (T_{szoba} - T_{közbülső}) / d_{fal} \qquad (2)$$

$$Q_{hab} = \lambda_{hab} A \cdot (T_{közbülső} - T_{külső}) / d_{hab} \qquad (3)$$

A (2) és (3) egyenletekből a hőmérsékletkülönbségeket kifejezve, majd azokat az (1) egyenletbe helyettesítve megkapjuk a hőáramot:

$$Q = A \cdot (T_{szoba} - T_{külső}) / (d_{fal} / \lambda_{fal} + d_{hab} / \lambda_{hab})$$

Tehát a kialakult hőáram csupán 133 W.

BIBLIOGRÁFIA:

[i] Forrás: NOAA.