

Wiedemann–Franz-törvény

Fémekben a hővezetés főleg az elektronok által történik. Emiatt a hővezetőképesség és az elektromos vezetőképesség között kapcsolat van. Ezt Wiedemann–Franz-törvénynek nevezik.

Ezen kísérlet célja többféle fém hővezetési és elektromos vezetési tulajdonságainak mérése minél pontosabban. Az A részben vörösréz (Copper), sárgaréz (Brass) és alumínium (Aluminum) elektromos vezetőképességét mérjük. A B részben vörösréz hővezetőképességét mérjük. A C részben vörösréz fajhőjét mérjük. A D részben sárgaréz és alumínium hővezetőképességének mérése a feladat. Az E részben igazoljuk ezen fizikai tulajdonságok közötti általános kapcsolatot a vizsgált anyagok esetén.

Ebben a kísérletben sehol sem kell hibaszámítást végezned.

Figyelem, a B és D részben **15 perc** a várakozási idő. Ennek megfelelően tervezz az időddel!

Biztonsági utasítások

Ne csatlakoztass semmilyen vezetékot vagy egyéb műszert a 220V/25A-es külső hálózati csatlakozókhoz! Ezekhez csak a rendelkezésre álló tápegységeket csatlakoztathatod, módosítás nélkül.

Eszközök listája



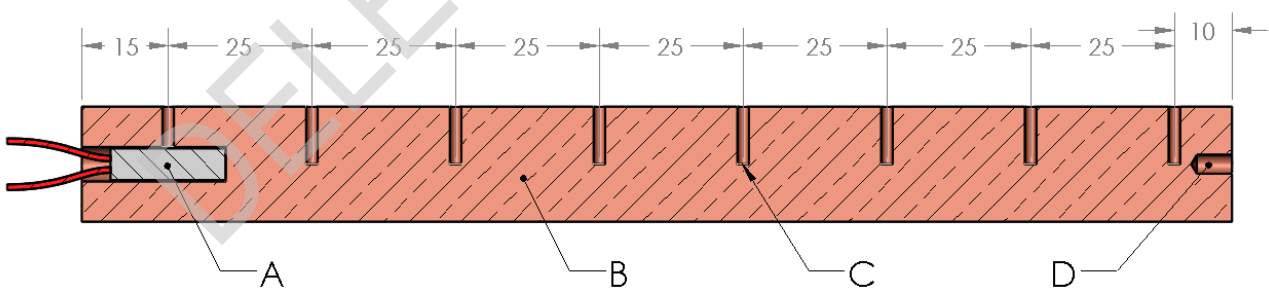
1. ábra

1. Üreges **vörösréz** cső, hosszúsága 200.0 mm, a belső lyuk átmérője 6.0 mm, külső átmérője **20.0 mm**
2. Üreges **sárgaréz** cső, hosszúsága 200.0 mm, a belső lyuk átmérője 6.0 mm, külső átmérője **19.0 mm**
3. Üreges **alumínium** cső, hosszúsága 200.0 mm, a belső lyuk átmérője 6.0 mm, külső átmérője **20.0 mm**
4. Egy 1.2 gramm tömegű kis állandó mágnes.

5. Vízartály - egy speciális edény, amelyet eredetileg a "Jachnun" nevű izraeli péksütemény elkészítésére terveztek. Az edény fedőjének belső felén egy hőcserélő, a tetején pedig egy csavar található. Az edény feltöltéséhez rendelkezésre áll 4 liter víz (2X2 literes palackban).
6. „Rod #1” - egy 20.0 mm átmérőjű vörösréz rúd hőmérsékletmérő szenzorokkal, amelyek a kábelcsatlakozóhoz vannak kötve, és egy beépített fűtőegységgel, amely a piros vezetékekhez csatlakozik (2.a ábra). A piros vezetékeket az egyenáramú tápegységhez (lásd a 15-ös tételt lent) kell csatlakoztatnod egy áramkörön át. A rúd fekete hőszigetelő habbal van bevonva.
7. „Rod #2” - egy 20.0 mm átmérőjű rúd ötvözetből, hőmérsékletmérő szenzorokkal, amelyek a kábelcsatlakozóhoz vannak kötve, és egy beépített fűtőegységgel, amely a piros vezetékekhez csatlakozik (2.b ábra). A piros vezetékeket az egyenáramú tápegységhez (lásd a 15-ös tételt lent) kell csatlakoztatnod egy áramkörön át. A rúd fekete hőszigetelő habbal van bevonva.
8. Hőszigetelő zárósapka.
9. 12V-os egyenáramú tápegység a digitális mérődobozhoz.
10. Digitális mérődoboz. Ez a doboz a nyolc hőmérsékletszenzor mérési adatait jeleníti meg, valamint az időt, lásd a leírását lejjebb. Ez a doboz stopperként is használható.
11. Hőmérők kábele, amely a rúd hőmérsékletszenzorait csatlakoztatja a mérődobozhoz.
12. Voltmérő - a méréshatárt 20 volt DC-re kell állítani (3. ábra).
13. Ampermérő - a méréshatárt 10 amper DC-re kell állítani (3. ábra).
14. Elektromos vezetékek.
15. 9V-os egyenáramú tápegység a banándugókhöz csatlakozó fűtőegységhez.

VIGYÁZAT! 1. Csak a mellékelt tápegységek (standard AC dugóval) csatlakoztathatók a hálózati feszültségre. Szigetelt vezetéket vagy más eszközt csatlakoztatni szigorúan tilos és komoly sérülést okozhat.

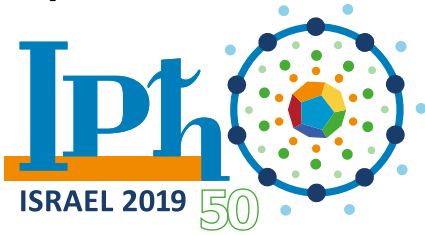
2. A rudakat ne merítsd vízbe!



2.a ábra - Az 1-es rúd („Rod #1”) vázlatos rajza.

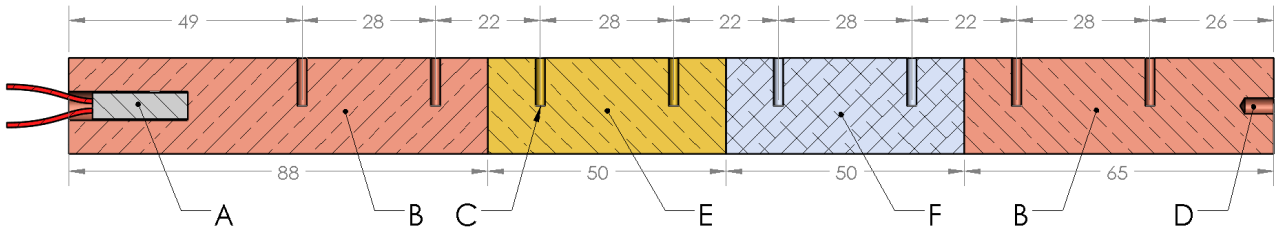
A távolságok mm-ben vannak megadva 0.1 mm pontossággal.
 (A) A piros vezetékekhez csatlakozó fűtőegység. (B) Vörösréz rúd. (C) Nyolc hőmérsékletszenzor, mindegyiket egy olyan mélyedés jelez, mint amit a nyíl mutat.
 (D) Menetes lyuk a vízartály fedőjén található csavarhoz.

Experiment



Q2-3

Hungarian (Hungary)



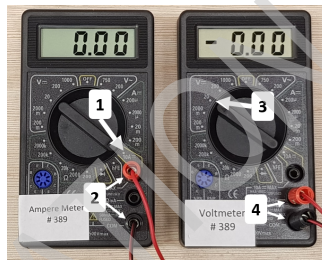
2.b ábra - A 2-es rúd („Rod #2”) vázlatos rajza.

A távolságok mm-ben vannak megadva 0.1 mm pontossággal.

(A) A piros vezetékhez csatlakozó fűtőegység. (B) Vörösréz rúd. (C) Nyolc hőmérséklet szenzor, mindegyiket egy olyan mélyedés jelez, mint amit a nyíl mutat.

(D) Menetes lyuk a víztartály fedőjén található csavarhoz.

(E) Sárgaréz rúd. (F) Alumínium rúd.



3. ábra - ampermérő és voltmérő

(1) - A kísérletben használt 10 A-es méréshatár pozíciója. (2) Az ampermérőn használt bemenetek.

(3) - A kísérletben használt 20 V-os méréshatár pozíciója. (4) A voltmérőn használt bemenetek.

A digitális mérődoboz használata

Csatlakoztasd a mérődobozt a 12 V-os egyenáramú tápegységéhez!

A digitális mérődoboznak két működési módja van, az egyik a stopper, a másik a hőmérsékletkiolvasó. Ha a szenzorokból jövő kábel a dobozhoz csatlakozik, a doboz automatikusan hőmérsékletkiolvasó módba kapcsol. Ha a szenzorok kábelét kihúzzuk, a doboz automatikusan stopper módba kapcsol, és a kijelzőn a „Timer mode” felirat jelenik meg.

Hőmérsékletkiolvasó módban:

- Az idő nullázásához tartsd nyomva a piros gombot 3 másodpercig!
- A piros gombot röviden megnyomva a kiolvasó képernyő kimerevedik (miközben a doboz továbbra is méri az utolsó nullázástól számított időt, de nem jeleníti meg azt).
- Ismét megnyomva a piros gombot a kijelző újra az aktuális hőmérsékletet és időt jeleníti meg.

Stopper módban:

- A piros gomb megnyomása elindítja a stoppert.
- Ismételt megnyomásra a stopper megáll.
- Harmadszori megnyomásra a stopper lenullázódik.

Experiment



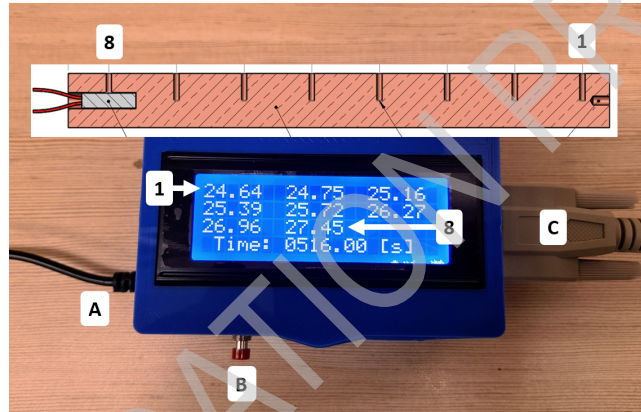
Q2-4

Hungarian (Hungary)

A mérődobozt mindegyik rúd esetén kalibrálni kell az első használat előtt. A kísérletben használt hőmérsékletszenzorok nem pontosan egyformák. Ezért, amíg a rudak termikus egyensúlyban vannak, érdemes kalibrációt végezni, hogy mindegyik szenzor ugyanazt mutassa. Ehhez először csatlakoztasd a hőmérők kábelének egyik végét a rúdhhoz. Ezután tartsd nyomva a piros gombot, miközben csatlakoztasd a hőmérők kábelének másik végét a mérődobozhoz. A mérődoboz leválasztása a tápegységről vagy a hőmérők kábeléről nem törli el a kalibrációt.

VIGYÁZAT: A kalibrációt még **azelőtt** végezd el, mielőtt a rudat a víztartályhoz csatlakoztatnád, vagy mielőtt a fűtőegységet a tápegységhez csatlakoztatnád. Így garantált, hogy a rúd hőmérséklet-eloszlása egyenletes a kalibráció alatt.

Ha bármilyen probléma merül fel a mérődobozzal kapcsolatban, hasznos lehet kihúzni a mérődobozt a tápegységből, majd újra csatlakoztatni. A mérődoboz megjegyzi a legutolsó kalibrációt.



4. ábra - a mérődoboz

(A) a 12V-os tápegység vezetéke. (B) Multifunkciós piros gomb.

(C) Hőmérők kábele. (1-8) Sorról sorra a hőmérsékletszenzorok értékei Celsius fokban, vízszintes irányban sorba rendezve.

A rész: A vörösréz, az alumínium és a sárgaréz elektromos vezetőképessége (1.5 pt)

Elmélet

Amikor egy állandó mágnes egy vezető csőben esik, az örvényáramok miatt disszipatív erő hat rá. Emiatt a mágnes állandósult sebességre (terminal velocity) tesz szert. Ebben a geometriában az állandósult sebesség a következőképp fejezhető ki:

$$v_{terminal} = \frac{8\pi m g a^2}{\mu_0^2 (\pi r_m^2 M)^2 \sigma w f\left(\frac{d}{a}\right)}. \quad (1)$$

Ahol m a mágnes tömege, σ a cső anyagának elektromos vezetőképessége, a a cső belső sugara, r_m és d rendre a mágnes sugara és magassága, M a mágnes remanens mágneszettsége, w a cső falvastagsága és $f\left(\frac{d}{a}\right)$ egy skálázási függvény. Esetünkben $a \approx r_m$, $d = 2r_m \approx 2a$ és $f(2) \approx 1.75$. Így az idő, amely alatt a mágnes a csövön átesik, a következőképp közelíthető:

$$t = 0.22 \frac{\pi r_m^2 (\mu_0 M)^2 w L_0 \sigma}{m g}. \quad (2)$$

Experiment



Q2-5

Hungarian (Hungary)

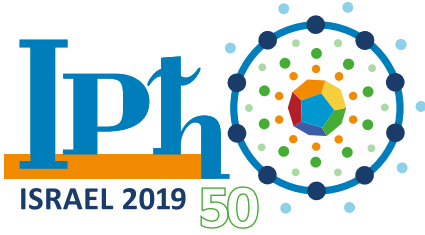
Itt $L_0 = 0.2$ m a cső hossza, és feltesszük, hogy a mágnes az elengedést követően azonnal felveszi az állandósult sebességet.

A cső és a mágnes adatai, amik kellenek a számolásokhoz:

$\mu_0 M = 0.65$ T, $w_{\text{Aluminum}} = w_{\text{Copper}} = 7.0 \times 10^{-3}$ m, $w_{\text{Brass}} = 6.5 \times 10^{-3}$ m, $m = 1.2 \times 10^{-3}$ kg, $r_m = 3.0 \times 10^{-3}$ m,
 $g = 9.8$ m/s²

DELEGATION PRINT

Experiment



Q2-6

Hungarian (Hungary)

Kísérlet

A.1 A digitális mérődobozt stopper módban használva mérd meg azt az időt, ami alatt a mágnes átesik az alumínium, vörösréz és sárgaréz csöveken! A mérési eredményeidet írd be az A1 táblázatba! 1.0pt

A.2 A fenti egyenlet segítségével határozd meg a σ_{Aluminum} , σ_{Copper} , σ_{Brass} elektromos vezetőképességeket mindhárom anyagra, mérési hibákkal együtt! 0.5pt

B rész: A vörösréz hővezetőképessége (3.0 pt)

Ennek a résznek a célja, hogy a vörösréz hővezetőképességét mérjük, az állandósult állapothoz közel.

Elmélet

A κ hővezetőképességet az $P(x) = -\kappa A \cdot \frac{\Delta T(x)}{\Delta x}$ egyenlet definiálja. Ez az egyenlet a lokális hőmérsékletgradiens és az anyag valamely keresztmetszetén átmenő teljesítmény közötti lineáris kapcsolatot írja le. Itt $P(x)$ a rúd x helyen lévő, A területű keresztmetszetén átáramló teljesítményt jelöli, $\Delta T(x) / \Delta x$ pedig az x helyen vett hőmérsékletgradiens.

Kísérlet

Csatlakoztasd a digitális mérődobozt a külső kivezetéshez és kalibráld az 1-es rudat (Rod #1)! Tölts 4 liter (2 palack) vizet az edénybe, hogy teljesen ellepje a hőcserélőt, majd zárd le a fedővel!

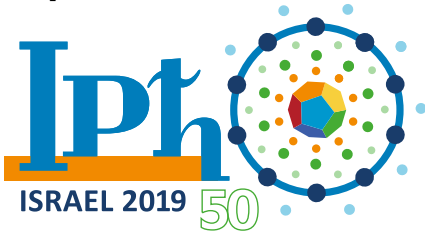
B.1 Írd le az 1-es rúd (Rod #1) kezdeti hőmérsékletét, amikor az asztalon fekszik! 0.1pt

Húzd ki a kiolvasó kábelt a rúdból! Távolítsd el a hőszigetelő sapkát, és csavarozd az 1-es rudat (Rod #1) az edény fedeléhez! Csatlakoztasd újra a kábelt a mérődobozhoz, ahogy azt a 4. ábra mutatja. Légy óvatos, ne csavarj túl erősen!



5. ábra

Experiment



Q2-7

Hungarian (Hungary)

- B.2** Rajzolj le egy kapcsolást, ami alapján a tápegységre tudod kapcsolni a fűtőegységet és meg tudod mérni a teljesítményét! A kapcsolásodnak a következőket kell tartalmaznia: 9V-os tápegység, fűtőegység (már a rúdhoz van csatlakoztatva), voltmérő, ampermérő és vezetékek. A vezetékeket használhatod kapcsolóként is az áramkör nyitására és zárására. 0.5pt

A hővezetőképességet úgy fogod mérni, hogy a rúd egyik végét fűtöd, míg a rúd másik végét a víztartály csaknem állandó hőmérsékletén tartod.

A célunk az állandósulthoz közeli állapot elérése mindegyik hőmérsékletszenzornál. Állítsd össze a B2 részbeli kapcsolást és lásd el árammal a fűtőegységet!

- B.3** Megfelelő mérések elvégzésével számítsd ki a fűtőegység által felvett P teljesítményt, és válaszodat írd a válaszlapra! 0.1pt

Várj 15 percre, miközben a fűtést működteted! (Ezt az időt a kísérletek tervezésére fordíthatod.)

- B.4** A mellékelt táblázatba írd bele mind a nyolc hőmérsékletszenzor által mért értéket közelítőleg a következő időpontokban: 15 perc, 17.5 perc, 20 perc. 0.5pt

- B.5** Egyazon milliméterpapíron ábrázolj három grafikont, amely a hőmérsékletet mutatja a hely függvényében, mindhárom mérési időpont esetén. Ezeket a grafikonokat a D részben is fogod használni. 1.0pt

- B.6** Használd a 17.5 perc környékéhez tartozó grafikon adatait a vörösréz κ_0 hővezetőképességének meghatározására! Ebben a részben hanyagolj el minden veszteséget! Becsüld meg a rúd hőmérsékletváltozásának átlagos ütemét, azaz $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ -t 17.5 perc környékén! 0.5pt

- B.7** Nagyobb / kisebb / ugyanazt az értéket várod κ_0 -ra κ valódi értékéhez képest? 0.3pt

C rész: A hőveszteség és a vörösréz hőkapacitásának becslése (4.0 pt)

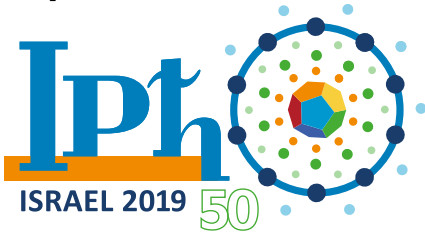
Elmélet

A C hőkapacitást az alábbi egyenletek egyike definiálja:

$$\Delta Q = C \Delta T, \quad \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right). \quad (3)$$

Itt $\Delta Q / \Delta t$ az anyagnak időegység alatt átadott eredő hő és $\Delta T / \Delta t$ a hőmérséklet változási üteme. A c_p fajhő az egységnyi tömegre vonatkoztatott hőkapacitás. A vörösrézrúd tömegét vedd 0.58 kg-nak.

Experiment



Q2-8

Hungarian (Hungary)

Kísérlet

Kapcsold ki a fűtő tápegységét. Szakítsd meg az áramkört, csavard le, majd helyezd az 1-es rudat ("Rod #1") az asztalra. Helyezd rá a rúdra a hőszigetelő sapkát úgy, ahogy az a mérés elején rajta volt. Ismét zárd a fűtés áramkörét és csatlakoztasd újra a rudat a digitális mérődobozhoz.

FIGYELEM: Ne hagyd a fűtőegységet sokáig működni ebben a részben anélkül, hogy a hőmérsékletet figyelned.

Egy hűlés, fűtés, majd ismét hűlés ciklust használva mind a hőveszteséget és mind az anyag hőkapacitását megkaphatjuk. A fűtési lépés az átlagos hőmérsékletet körülbelül 2.5°C -kal változtassa meg. A szükséges pontosság egy összesen 10-15 perc hosszú hűlés-fűtés-hűlés ciklussal érhető el.

Itt a célunk az, hogy a B részben mért, közel állandósult állapot átlagos hőmérséklete környékén dolgozzunk.

Azért, hogy a rúdban tárolt összes termikus energiát figyelembe vehessük, a rúd átlagos hőmérsékletét szeretnénk nyomon követni. A rúd közepének hőmérséklete jó közelítéssel megegyezik a rúd átlagos hőmérsékletével.

C.1	Végezz el egy hűlés-fűtés-hűlés ciklust és a mérési eredményeidet dokumentáld a C.1-es táblázatban!	1.0pt
C.2	Milliméterpapíron ábrázold az átlagos hőmérsékletet az idő függvényében!	1.0pt
C.3	A grafikont felhasználva számítsd ki a c_p fajhőt és a P_{loss} időegység alatti hőveszteséget a B részbeli átlagos hőmérséklet környékén! Ismertesd a módszeredet grafikonok és egyenletek segítségével!	1.0pt

Két fő mechanizmust kell figyelembe venni ahhoz, hogy a B részben kapott hővezetőképesség pontosságát javítsuk.

- Hőveszteség a hőszigetelő rétegen keresztül sugárirányban.
- A rendszer nem érte el az állandósult állapotot a mérés időpontjában.

Elsőrendű közelítésben felteheted, hogy ezen mechanizmusok hatására a rúd mentén a teljesítmény-áram egységnyi hosszra eső $\Delta P(x) / \Delta x$ változása állandó.

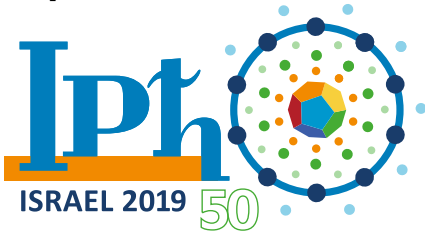
C.4	Mindkét mechanizmust figyelembe véve írd fel egy egyenletet, ami a B részben kapott hővezetőképességet első rendben korigálja! A κ_{Copper} hővezetőképesség korigált értékének kifejezéséhez és kiszámolásához használd fel a B és C részekből a $\kappa_0, P, c_p, m, P_{\text{loss}}, \frac{\Delta T}{\Delta t}$ mennyiségeket!	1.0pt
------------	--	-------

D rész: A sárgaréz és az alumínium hővezetőképessége (1.0 pt)

Csatlakoztasd a hőszigetelt 2-es rudat ("Rod #2") a digitális mérődobozhoz, és kalibráld a rúd hőmérőit a B rész elején leírtak szerint (a piros gombot lenyomva tartva csatlakoztasd a hőszigetelt 2-es rudat ("Rod #2") a mérődobozhoz a hőmérők kábelével).

D.1	Írd fel az asztalra helyezett rúd kezdeti hőmérsékletét!	0.1pt
------------	--	-------

Experiment



Q2-9

Hungarian (Hungary)

Húzd ki a kábelt és csavard bele a 2-es rudat ("Rod #2") az edény fedőjébe a 4. ábra szerint. Csatlakoztasd újra a kábelt a mérődobozhoz.

Ismételd meg a B részben alkalmazott eljárást, hogy a fűtés közben közel kerüljünk az állandósult állapothoz.

Várj legalább 15 percet, amíg a fűtőegység üzemel.

Az ebben a részben szükséges pontosság érdekében feltételezheted, hogy a rúd állandósult állapotban van. Ezen kívül még felteheted, hogy az egységnyi hosszra eső hőveszteség a rúd mentén állandó.

D.2 Írd fel a 2-es rúd ("Rod #2") mind a nyolc hőmérője által mutatott értéket és a $\Delta T / \Delta x$ mennyiséget is a rúd mindegyik szakaszára! 0.2pt

Első rendben felhasználhatod a C.4-ben használt feltételezést, azaz hogy a $\Delta P(x) / \Delta x$ mennyiség állandó.

D.3 A korábbi méréseket felhasználva fejezd ki κ_{Brass} és κ_{Aluminum} hővezetőképességeket, valamint add meg a számértékeiket! 0.7pt

E rész: A Wiedemann–Franz-törvény (0.5 pt)

A Wiedemann–Franz-törvény azt mondja, hogy fémekben, ahol a hőterjedést a vezetési elektronok irányítják, a hővezetőképesség és az elektromos vezetőképesség hányadosa lineárisan függ az abszolút hőmérséklettől. Ezenfelül a törvény azt is kimondja, hogy a lineáris függés $L = \frac{\kappa}{\sigma T}$ meredeksége (Lorenz-számként ismert) a legtöbb fémre azonos, és csak univerzális természeti állandóktól függ. A valóságban szobahőmérsékletű fémek esetén ez a törvény kb. 10%-os pontossággal érvényes.

E.1 Írd be az E.1 táblázatba a hővezetőképességre és az elektromos vezetőképességre (κ, σ) kapott eredményeidet! Számítsd ki L értékét mindegyik anyagra és írd be azokat ugyanabba az E.1 táblázatba feltételezve, hogy a hővezetőképesség első rendben nem függ a hőmérséklettől! 0.5pt