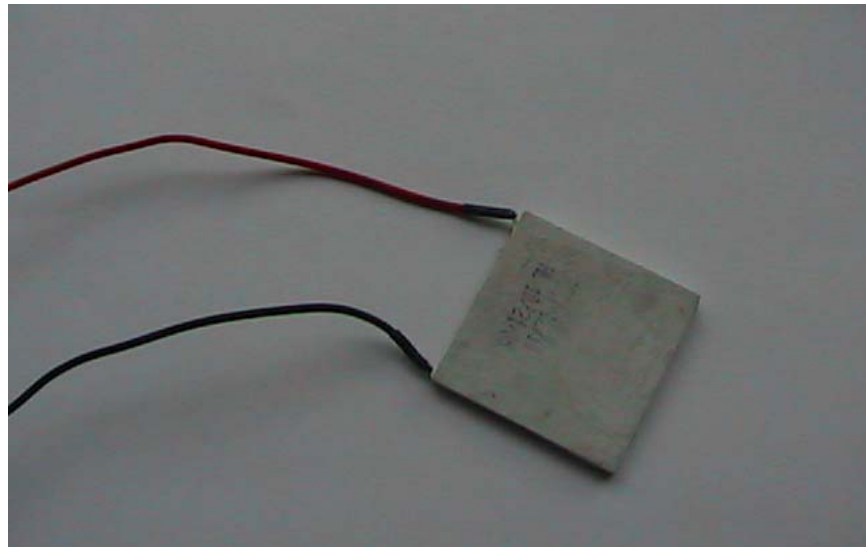
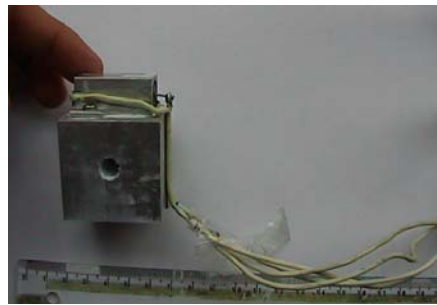
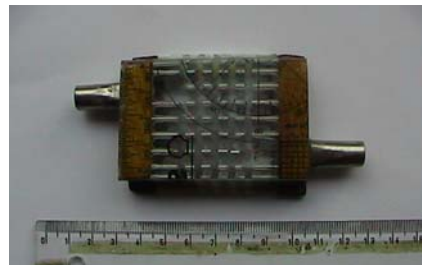


A Peltier-termoelem jellemzőinek mérése



Készítette: Németh Balázs

Tartalomjegyzék:

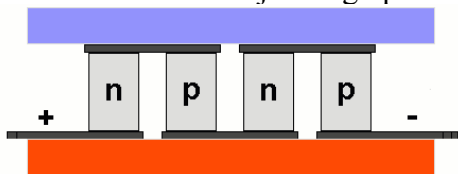
A PELTIER-ELEM TÖRTÉNETE	2
A PELTIER-ELEM MŰKÖDÉSE	3
Seebeck-effektus	3
Peltier-effektus	3
Joule-hő	3
Thomson-effektus	3
Hővezetés	3
GEOMETRIAI ADATOK	3
MÉRÉS CÉLJA	4
HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐ MÉRÉSE	4
MÉRÉSI BERENDEZÉS	4
ÖSSZEÁLLÍTÁSA	4
MÉRÉSI EREMÉNYEK	5
KÜLÖNBSÉGI HŐMÉRSÉKLETÉRTÉKEK MÉRÉSE	6
MAXIMÁLIS ΔT HŐMÉRSÉKLET ÉRTÉKEK ADOTT TELJESÍTMÉNYEKNÉL	6
PELTIER-ELEM ELLENÁLLÁSA	6
PELTIER-ELLENÁLLÁSOK KISZÁMÍTÁSA ADOTT HŐMÉRSÉKLETEN	8
PELTIER-ELEM JÓSÁGI TÉNYEZŐINEK MEGHATÁROZÁSA	8
AZ LEGOPTIMÁLISABB HŰTÉS GYAKORLATI MEGVALÓSÍTÁSA	9
PELTIER-ELEM FŐBB FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEI A JÖVŐBEN	10

PELTIER-ELEM TÖRTÉNETE:

A Peltier-elem a legegyszerűbben megfogalmazva egy félvezető alapú termoelektromos hűtőlap, amelynél ha egyenfeszültséget kapcsolunk a kivezetéseire, akkor egyik oldala felmelegszik, a másik pedig lehűl. Ezzel hőmennyiséget tud elvonni egy rendszerből, amit egy másik rendszernek átad.

A működés alapjelenségét, a termoelektromos-hatást már 1821 óta ismerik. Felfedezője, Seebeck tapasztalta először, hogy két, egymással mindkét végénél összeforrasztott vezetőláncból álló áramkörben elektromos feszültség keletkezik, illetve áram folyik, ha a forrasztási helyeket különböző hőmérsékleten tartják. Azt a feszültséget, amely 1 K hőmérsékletkülönbség hatására így létrejön (V/K), „termoerő”-nek nevezik. Néhány évvel később, 1834-ben Peltier ennek a jelenségnek a fordítottját is megfigyelte: ha a fenti áramkörbe áramot vezetett, az egyik forrasztási hely hűlt, a másik pedig melegedett. Ez a képesség pedig fizikus szemmel nézve azt jelenti, hogy az egyik forrasztási hely hőt tud felvenni, a másik pedig leadni. Peltier ezzel felfedezte a termoelektromos hűtés, illetve fűtés és hőszivattyú elvét. Fémekből összeállított elempárokkal azonban csak igen kis hőmérséklet-különbségeket lehetett produkálni. Az összekapcsolásukból létrejövő „termoerő” ugyanis meglehetősen kicsi, a veszteségek pedig (pl. hővezetés) nagyok. A termoelektromos jelenséget nem is lehetett gyakorlati célokra hasznosítani a félvezetők feltalálásáig, illetve azok ipari előállításáig. Egy Peltier-elem azonban a rákapcsolt egyenfeszültség hatására már használható hűtőteljesítmény kifejtésére is alkalmas.

A Peltier-elemek speciális félvezető anyagból készülnek, leggyakrabban bizmut-tellridből (Bi_2Te_3). Ezt gyakran ötvözik még szelénnel és antimonnal. Ebből bonyolult eljárással anizotróp termoelektromos tulajdonságú p- és n-típusú cellák készülnek.



A cellákat előre kialakított kerámialapok közé forrasztják, amelyek kellő szilárdságot adnak az eszköznek. Ha ezen a cellasoron egyenáramot vezetünk végig, akkor az elektronok az alacsony energiaszintű vezetési sávú, p-típusú cellából csak akkor tudnak átlépni a magas energiaszintű n-típusú sávba, ha közben energiát vonnak el a környezettől, azaz hűtik a csatlakozási pontot. A nagyobb teljesítmény érdekében elektromosan sorba, termikusan pedig párhuzamosan helyezik el ezeket a cellákat, illetve cellapárokat. Ezáltal a másik oldalon pedig hő fog felszabadulni. Ezért lesz a Peltier-elem tulajdonképpen egy mozgó alkatrészek nélküli félvezető hőszivattyú. A mai technikával a hatásfoka már megközelíti a kompresszoros hűtéssel elért értékeket is. Egyre nagyobb népszerűségnek örvend a számítógép-technika terén, mint aktív hűtő modul a processzoroknál és videokártyáknál. Több új technikát kombinálva nagyon hatásos lehet. Ilyen például a „Titan Amanda TEC” processzor hűtő, aminek egy Peltier-elem a lelke, továbbá helyet kapott benne néhány hőcső és két ventilátor is.

A Peltier-elem másik felhasználási módja a Seebeck-effektust használja ki, ami a Peltier-effektus inverze. Tehát a hőmérsékletkülönbség hatására a csatlakozási pontoknál feszültség keletkezik, amivel munkát lehet végezni. Ez természetesen inkább érdekesség, mint gyakorlati megvalósításra váró ötlet ugyanis a hatásfoka (max. 3-5%!) még a napelemektől (akár 50%) is elmarad ebben az üzemmódban (viszont egyszerűen mérhető).

PELTIER-ELEM MŰKÖDÉSE:

A Peltier-elem működése több „tisztán” hőtani folyamatra vezethető vissza. Ez a Peltier-effektus, Seebeck-effektus, Joule-hő, Thomson-effektus, hővezetés.

SEEBECK-EFFEKTUS

Ha két különböző vezetőből zárt áramkört készítünk és az egyik forrasztási helyet T , a másikat pedig $T+dT$ hőmérsékleten tartjuk, akkor a körben

$$U = dT \cdot \alpha$$

Feszültség keletkezik. A képletben α az ún. Seebeck-együttható, amely a felhasznált anyagkombináció-ra jellemző, függ a hőmérséklettől, de a geometriától nem.

PELTIER-EFFEKTUS

Ez a Seebeck-effektus inverze. Ha ugyanezek a vezetőkön I áram halad keresztül, akkor a forrasztási pontokon áramiránytól függően hő nyelődik el vagy keletkezik. Ennek mértéke:

$$P = \alpha \cdot T \cdot I \text{ ahol } \alpha \text{ a Seebeck-együttható, } I \text{ az átfolyó áram és } T \text{ az adott oldal abszolút hőmérséklete.}$$

JOULE-HŐ

Egy R ellenállású izoterm vezetőben időegység alatt fejlődő hőmennyiségből származó hőteljesítmény, ha rajta I áram halad át.

$$P = I^2 \cdot R = U^2 / R, \text{ ahol } I \text{ az átfolyó áram erőssége, } U \text{ a két pont között mért feszültség, } R \text{ pedig a vezető ellenállása.}$$

THOMSON-EFFEKTUS

Ha egy homogén vezető mentén hőmérséklet-különbséget hozunk létre, s ezen a vezető szakaszon I áram folyik keresztül a hőmérsékleti gradiens felé, akkor a vezetőkön hő nyelődik el, illetve hő szabadul fel. Peltier-elemnél egyszer hő nyelődik el másszor hő szabadul fel. Ezek kioltják egymást ezért ezt az effektust a tanulmányozás során nem kell figyelembe venni.

HŐVEZETÉS

A hővezetés során a melegebb oldalról hőteljesítmény fűti a hidegebb oldalt, ami ellentétes a Peltier-effektussal, ezért rontja a hatásfokot. A hőteljesítmény értéke:

$$P = \lambda \cdot A \cdot dT / d \text{ ahol } \lambda \text{ a hővezetési együttható, } dT \text{ a különbségi hőmérséklet, } A \text{ a felület és } d \text{ a vastagság az adott elemnél.}$$

Ezen képletekből ki lehet fejezni a Peltier-elem energetikai viszonyait a hűtött és fűtött oldalra nézve.

$$P_{\text{fűtő}} = 0,5 \cdot I \cdot U + \alpha \cdot T_m \cdot I - \lambda \cdot A \cdot dT / d$$

$$P_{\text{hűtő}} = 0,5 \cdot I \cdot U - \alpha \cdot T_h \cdot I + \lambda \cdot A \cdot dT / d$$

$$P_{\text{peltier}} = U \cdot I = I^2 \cdot R = U^2 / R$$

Az alábbi geometriai méretekkel rendelkező Peltier-elemmel végeztem méréseket.

ADATAI:

-Szélesség: 4cm

-Hosszúság: 4cm

-Vastagság: 3mm

MÉRÉS CÉLJA: Seebeck-együttható, hővezetési tényező meghatározása, továbbá adott teljesítményértékeken, a beálló maximális különbségi hőmérsékletek meghatározása, és a jósági tényezők kiszámítása.

A legegyszerűbb mérés a HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐ MÉRÉSE volt.

Ugyanis itt a fűtőellenállásnak gyakorlatilag 0 a hőmérsékletfüggése. Ezért nem kellett sokat állítgatni az U_f értéket.

Ezt a mérést 3 fajta P_f értékkel végeztem el: 10, 15 és 20 W. A fűtőellenállás értéke 6,8 Ω volt. A mérések 10 percesek, és az egyik mérés után vártam néhány percet még kissé csökken a rendszer hőmérséklete, ezután végeztem el a 15 W-os mérést és a 20 W-osat is. A táblázatban az alábbi értékeket mértem: U_f , R_m , R_h és t . A mért értékeket az *1. táblázat* tartalmazza.

Hőmérő ellenállásnak platina ellenállás-hőmérőt használtam, aminek a karakterisztikája a mérési tartományon belül közel lineáris, továbbá 0 °C-on értéke 1000 Ω . Ellenállás változása pedig 3,85 $\Omega/^\circ\text{C}$.

A MÉRÉSI BERENDEZÉS a következőkből állt:

- Peltier-elem
- Platina ellenállás-hőmérő
- Fűtő ellenállás
- Előtét ellenállás
- Alumínium tömb
- Vízhűtés modul
- Hungarocell szigetelő
- Műanyag csövek
- Több méter banándugós vezeték
- 5db mérőműszer
- 2db tápegység
- Hővezető paszta

ÖSSZEÁLLÍTÁSA:

A vízhűtésű modul az asztalra raktam, utána pedig hővezető pasztával elkentem a tetejét és erre helyeztem a Peltier-elem melegedő oldalát. Ezután a jobb hővezetés érdekében ezt az oldalt is bekentem hővezető pasztával, utána pedig ráhelyeztem az alumínium tömböt a rácsavarozott fűtőellenállással a tetején. Ezek után pedig a Peltier-elemen feljebb eső részt leszigeteltem egy erre a célra készült hungarocell dobozzal. A platina ellenállást pedig egy erre a célra készült lyukon becsúsztattam a szigetelésen belülré, továbbá a vízhűtésű modulban is helyet kapott egy hőmérő-ellenállás.

A méréseket a Tóparti Gimnázium és Művészeti Szakközépiskolában végeztem el a fizika előadó teremben. A kapott mérési értékeket *1. táblázatban* foglaltam össze. Továbbá az *1. grafikonon* is ábrázoltam, egy grafikonon mind a 3 mérést. Egyszer pedig ugyancsak egy lapon, de külön-külön grafikonokon, a közelített függvényekkel együtt (*2. grafikon*). Az első lapról egyértelműen kiderül, hogy a 20 W-os mérés kiértékelésre nem alkalmas, mert az értékek nagyon ugrálnak, továbbá alakja nagymértékben eltér az előző kettő görbétől, ezért csak egy közelítő grafikont lehet rá illeszteni. Ez főleg a tápegység melegedésének tudható be, ugyanis nem kapcsolóüzemű, és ezért elég sok hő termel feszültség szabályzás alatt, amit pedig – mivel zárt a doboz – nem, vagy csak lassan tud leadni. Ezért ez a 20 W-os mérésre már igencsak felmelegedhetett. Mivel 20 W-nál a feszültség értéke 11,5 V körül volt, ezért nagyjából 30-35 W esett a szabályozáson, mert a tápegység 25 V-ig képes szabályozni, ezért minimum 27-30 V-ot kellett kapnia. Sajnos a Peltier-elemnél ugyanezek a gondok jöttek elő, de ott már akár egy mérésen belül is, pl. a 8 W-osnál.

A MÉRÉSI EREDMÉNYEKET hőmérséklet-idő grafikonon ábrázoltam, szinte minden esetben.

A görbék közelíthetők egy törtfüggvénnyel, amiben x, y változók, továbbá A és B konstans van jelen:

$$1/y = 1/A + 1/(B*x)$$

A függvény képe a 3. negyedben (0;0) pontból induló konvex függvény és tart egy állandó (A) értékhez..

Az Excel táblázattal a közelítő függvényt illetve a mérési pontokat egy grafikonon lehet ábrázolni. Így a közelítő függvény néhány számolással már elég jól ráilleszthető a mért pontokra. Így jöttek ki az a 2. grafikonon látható fekete (mért) és színes (közelített) függvények.

A mérésnél főleg a 10 W-os mérést vettem alapul, ugyanis arra szinte tökéletesen ráilleszthető egy törtfüggvény. A többire sajnos csak részben. A kezdő hőmérséklet („ x ”) adatokat is el kellett csúsztatni az időtengellyel párhuzamosan. A mérési táblázat ezt is megadja: 10 W → 1,25 min ; 15 W → 6 min ; 20 W → 6,7min. Ezek azért kellettek, mert nem pontosan 0°C-ról indultak a kezdő értékek. A ráillesztett függvényből pedig meg lehet kapni az „ A ” értékeket:

$$10 \text{ W} \Rightarrow 47 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$15 \text{ W} \Rightarrow 75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$20 \text{ W} \Rightarrow 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ebből λ értékei:

$$P_f = \lambda * dT * A / d$$

$$d = 0,003 \text{ m}$$

$$A = 0,04 * 0,04 = 0,0016 \text{ m}^2$$

Ebből λ : 0,3939 (10 W) ; 0,375 (15 W) ; 0,357 (W) Mivel az első érték a leghelyesebb, és a többi pedig nagyobb maximális hőmérsékletet jelez a kelleténél, ezért $\lambda = 0,39$.

A továbbiakban ezzel az értékkel fogok számolni.

A mérési eredmények közelíthetők egy másik módon is egy exponenciális függvénnyel.

$$y = A * e^{(-t/r)} + T_{\text{végtelen}}$$

Ez pontosabb eredményt adna, de nehezebben kezelhető. Az exponenciális függvénnyel való közelítést az ELTE TTK-n alkalmazták a fizikushallgatók, viszont nekik nem volt alumíniumtömb a Peltier-elem hűtött részén, azért tulajdonképpen csak az eszköz felső részét kellett lehűteni. Ebből az következik, hogy már néhány perc múlva szinte teljesen állandó értékre beállt a hőmérséklet. Ezét elég nagy szakasza megvolt az exponenciális függvénynek. Az én esetemben pedig még 10 perc múlva is erőteljesen kúszott felfele a különbségi hőmérséklet.

Ezután következett A KÜLÖNBSÉGI HŐMÉRSÉKLETÉRTÉKEK MÉRÉSE az idő függvényében adott P_p Peltier teljesítménynél és 0 P_f fűtőteljesítményeknél. Itt került használatba az előtét-ellenállás, ugyanis a tápegység szabályozható ágán csak 3 V-tól lehetett kezdeni. A 2 W-os méréshez pedig kb. 2,12 V-ra lenne szükség ($R = 1,5 \Omega$ -mal számolva). Igaz 1A hatására a 3V 2,8 V-ra esik vissza, de ez még mindig nem elég. Ezért az áramkörbe helyeztem sorosan egy párhuzamosan kapcsolt ellenállás-párt. Értéke $3,3/2 = 1,65 \Omega$. Ezt még a 4 W-os mérésnél is használtam. Azután már a tápegység megfelelt a céljaimnak, tehát kivettem az áramkörből az előtét ellenállásokat.

Ezt a mérést két részletben végeztem el. Nyáron az 5-6-8-10-12 W-os mérést és decemberben a 2-4 W-osat. A mért adatokat a 2. táblázatban foglaltam össze.

Mért értékek: idő, U_p , I_p , R_m , R_h . Ebből számoltam: R_p , P_p , T_m , T_h , dT , amik a 3. táblázatban találhatóak meg.

A mérési eredményeket grafikonokon is ábrázoltam. Először egy összesített grafikonon (3. grafikon) minden teljesítményhez tartozó görbét. Ebből látszik hogy a 8 W-os mérés, értékelésre alkalmatlan. Ennek oka, hogy az 5 illetve 6 W-os méréshez használt tápegység addigra már túlmelegedett. Ezért a 10-12 W-osakat már egy másik tápegységgel mértem. A 8 W-os mérést a továbbiakban figyelmen kívül hagyom és csak a többivel fogok foglalkozni.

A hőmérsékletértékek meghatározása után minden mérést egy külön grafikonon is ábrázoltam az illesztett függvényével együtt: 2-4 W-os (4. grafikon), illetve a 5-6-10-12 W-os (5. grafikon). Itt is színes görbe jelzi az illesztett függvényt, illetve feketével találhatóak meg a mérési eredmények pontjai.

Itt is csúsztatni kellett szinte kivétel nélkül minden mérési görbét az időtengelyen, A csúsztatási értékek megtalálhatóak a 3. táblázatban időkorrekció alatt. Az illesztett görbéket a 6. grafikonon ábrázoltam. Ebből látható hogy a nagyobb $P_{peltier}$ teljesítmény hatására azonos idő alatt több hőt von el a belső (alumínium tömb) környezettől.

Az illesztett függvényből A érték a maximális hőmérséklet különbség, B konstans értéke is nőtt, mivel az elején jóval nagyobb teljesítménnyel hűti a hideg oldalt, mint amekkorát belevisek. Ezért főleg a 10-12 W-osnál figyelhető meg egy szinte merőleges szakasz az első percekben.

A MAXIMÁLIS ΔT HŐMÉRSÉKLET ÉRTÉKEK ADOTT TELJESÍTMÉNYEKNÉL:

2 W: 17,7 °C

4 W: 24 °C

5 W: 25 °C

6 W: 27,75 °C

10 W: 35,5 °C

12 W: 39 °C

Itt α kiszámítása már komplikáltabb lesz, mert a képletben szereplő áramerősség értéket nem lehet közvetlenül kiszámítani. Viszont az előző mérésben, amikor a fűtőellenállással fűtöttem a hideg oldalát, akkor mértem a feszültség értékeket is percenként. (U_{pelt} (mV)) Ha a hőmérséklet különbség függvényében ábrázoljuk a mért feszültségértékeket, akkor pedig a Seebeck-együttható értékét kapjuk meg. Ez pedig α ! Az mért pontok görbéi a 7. grafikonon láthatóak. A mért feszültségértékek a különbségi hőmérséklet függvényében. Itt a 10-15-20 W-os mérések szinte teljesen egy egyenesen helyezkednek el. Mivel a Seebeck-együttható lineárisan függ a különbségi hőmérséklettől, így az egyenes az origóból indul. $\alpha = 0,01892-0,0162$ V/K

Érdeemes lehet meghatározni a maximális különbségi hőmérsékleteknél a PELTIER-ELEM ELLENÁLLÁSÁT, tehát az áramerősség és feszültség értékeket. A teljesítmény adott, ezért lehet az alábbi képlettel számolni: $P_p = I^2/R$, amiből R értéke nem ismert.

A ellenállás több összetevőből áll össze. Először is $R_p = U/I$, ami közvetlen mérhető. Viszont ez az eredő ellenállás, ami függ a különbségi hőmérséklettől (Seebeck-effektus), továbbá a Peltier-elem átlagos hőmérsékletétől, ugyanis félvezető. Tehát ha a két oldal hőmérséklete azonos, és nő, akkor elvileg csökken az ellenállása. Ha pedig a két oldal hőmérséklete eltér egymástól, akkor pedig nő az ellenállása. Vagyis ez ebben a formában nem teljesen igaz, mert tulajdonképpen feszültség termelődik rajta,

ami vagy akadályozza vagy, növeli az áramot. Ennek értéke pedig a Seebeck-effektussal magyarázható:

$$R_{\text{mért}} = U_p / I_p \rightarrow \text{mérésből}$$

$$R_s = (U_p + \alpha * dT) / I_p \rightarrow \text{Seebeck-effektus}$$

$$R_e = R_0 - \rho * T_{\text{átlag}} \rightarrow \text{az eredő ellenállás, ha mind két oldal egyenlő hőmérsékletű.}$$

Tehát R_s és R_e is egy idealizált eset, mert ahogy elkezdett nőni a hőmérsékletkülönbség, úgy esett vissza az átlaghőmérséklet is. Ezért a két dolog összefügg. Csak egyiket, vagy csak a másikat úgy lehetne megvalósítani, ha a fűtőellenállással egy dobozba tesszük és elkezdjük melegíteni, tehát $dT = 0$. Ekkor az átlaghőmérséklettel lehetne mérni. A másik, amikor állandó átlaghőmérsékletet nézzük, miközben egy adott P_p teljesítményen van a Peltier-elem, és ehhez a hűtővizet folyamatosan egyre jobban el kell zárni, hogy a hidegedő oldallal egyensúlyt tartson a melegedő is. Ez mindkettő elég nehéz feladatnak bizonyult. Pontosabban az átlaghőmérsékletet nem kíséreltem még megpróbálni sem, mivel a vízhűtő-sű blokkal ez lehetetlen lenne. Az érdekes dolog, hogy ha vízbe raktam a Peltier-elemet akkor is még mértem feszültséget a kivezetések között. Ez ugyan nem sok, de ahhoz elég, hogy az ellenállásmérő hibás értéket mutasson. Ilyen volt pl.: 2,4 és 0,8 Ω , ha felcseréltem a kivezetéseket. Ez abból adódik, hogy a Seebeck-effektusnál az ellenállásnövekedés: $\alpha * dT / I$ mivel a mérőműszernél csak milliamperek folynak, ezért a két oldal közötti különbségből adódó ellenállás növekedés és csökkenés ezerszereződik. (Ezzel egyébként nagyon pontos különbségi hőmérsékletet lehet mérni két adott test között... akár század fokokat is!)

Tehát az eredeti ellenállás értékeket csak a mérésből lehet meghatározni egy kombinált képlettel. A mért ellenállások tulajdonképpen két lineáris függvény összegéből és egy konstans tagból állnak. A Seebeck-effektus egyenese pozitív meredekségű, a hőmérsékletkülönbség miatt. A félvezető természetéből adódó egyenes pedig negatív meredekségű, azaz szigorúan monoton csökkenő. A konstans pedig természetesen állandó ellenállás érték, pl.: 20 Ω 0 °C-on.

Itt a fő támpontot az jelenti, hogy az egyik mérést nyáron 23-26 °C-os hűtővízzel végeztem, télen pedig 17 °C-ossal. Ez az 5-10 °C-os differencia elég ahhoz, hogy a félvezető természetű egyenest ki lehessen számolni.

Ugyanis ha csak az ellenállást ábrázolom a ΔT függvényében, akkor a két-két szakasz, két külön egyenesen helyezkedik el. Ezt a 8. grafikonon lehet látni. Ezek után nem meglepő, hogy a melegebb átlaghőmérsékletű mérés van lejjebb a negatív ellenállás tényező miatt. Ebből közelítőleg meg lehet határozni a ρ együtthatót, ami az átlaghőmérséklet növekedésénél az ellenállás csökkenéséért felel. Ezen a grafikonon tulajdonképpen semmi mást nem csináltam, csak felvettem az ellenállás értékeket a ΔT függvényében.

A két-két grafikon két, teljesen külön egyenesen van. Ráadásul meredekségre is azonosnak tűnnek. Ha kettesével a pontthalmazokra egyenest illesztünk, akkor azok nagyjából párhuzamosak, sőt azoknak is kell lenniük! A két egyenes közötti függőleges távolság pedig megadja, hogy közelítőleg mekkora a Peltier-elem átlaghőmérsékletéhez viszonyított félvezető természetéből adódó ellenállásfüggése. A két egyenes csak kissé tér el a párhuzamostól. A két egyenes magasságbeli eltérése 0,345-0,445 Ω . A két mérés közötti különbség pedig 6-10 °C.

$$\text{Ebből a félvezető miatti ellenállásfüggése: } \rho = dR/dT \rightarrow 0,0345-0,0742 \text{ } \Omega/\text{K}$$

Ahhoz hogy a Seebeck-effektusból származó ellenállás-növekedést megkapjuk, a második képletet kell használni. Ilyenkor elvileg egy szigorúan monoton csökkenő egyenest kell kapnunk. A két függvénypárt (16-17 °C-os és 23-26 °C-os) az állandó tag értékének változtatásával lehet egy egyenesre rakni. Ez pedig az α együtthatóval lehetséges, aminek már meghatároztam az értékét ($\alpha = 0,0189-0,0162$) A keletkezett görbéket ábrázoltam a 9. grafikonon. Itt α értéke kevesebbre adódott, (0,014-0,017), mint amit a mérés elején meghatároztam (0,0189-0,0162). Itt a végleges érték kiszámításánál az első mérés értékeit vettem mérvadónak pontossága miatt. Ezért α értéke: 0,016 V/K.

Az előző grafikonon már közelítőleg egy egyenesen találhatóak a pontthalmazok. Ebből az ellenállás változások a hőmérséklet függvényében: 0,575-0,580 $\Omega/16 \text{ K} \rightarrow \rho = 0,0359-0,03625 \text{ } \Omega/\text{K}$. Ez az érték már pontosabb, mint a fentebb leírt 0,0345-0,0742, továbbá a korábbi tartományba is belesik. A következőkben a $\rho = 0,03615 \text{ } \Omega/\text{K}$ értékkel fogok számolni.

Ebből már az R_0 -t is meg lehet kapni, mivel az egyeneseknek megvan a meredeksége és egy-egy pontja is. Ebből R_0 értéke 2,213-2,286 Ω .

Az előbb kapott adatokból újra fel lehet állítani egy görbesereget. Itt már mindkét változót ki lehet küszöbölni, és csak az R_0 konstans értéke fog megmaradni, ha a kapott adatokat az alábbi összefüggésbe behelyettesítjük:

$R_0 = R_e + \rho^*(T_{\text{átlag}} - 273)$ akkor megkapjuk az R_0 konstans értékét 273K-en, azaz 0°C-on

Ennek teljesen vízszintesnek kell lennie (konstans!). Ezt a 10. grafikonon láthatjuk. Sajnos itt már jelentős szórás mutatkozott a görbékben, Ez is mérési hibának tudható be mivel a mérőműszerek csak két tizedes jegyig írták ki a feszültség, illetve áramerősség értékeket. Itt az R_0 értékéről inkább már csak egy tartományt lehet mondani valahol 2,21-2,28 Ω körüli tartományban. Itt is nagy pontosságban egyezés látható a korábban meghatározott $R_0 = 2,213-2,286 \Omega$ értékkel. A továbbiakban az R_0 -ra egy átlag értéket fogok venni. Ami $R_0 = 2,245 \Omega$ lesz.

A PELTIER-ELLENÁLLÁSOK KISZÁMÍTÁSA ADOTT HŐMÉRSÉKLETEN

$$R_p = R_0 + (\alpha * dT) / I - (\rho^*(T_h - T_0))$$

Ahol: $R_0 = 2,245 \Omega$; $\alpha = 0,016$; $\rho = 0,03615 \Omega / ^\circ\text{C}$; $T_0 = 273 \text{ K} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Ebből már meg lehet határozni az állandósult hőmérséklet értékeknél az U és I értékeket is. Mivel $P_p = I^2 * R_p$, amibe behelyettesítve az alábbi összefüggést kapjuk: $P = I^2 * [R_0 + (\alpha * dT) / I - \rho^*(T_h - T_0)]$

Ebből az I -n kívül minden ismert, tehát I -re kell rendezni. Ami a következő:

$$I^2 * [R_0 - \rho^*(T_h - T_0)] + I * [\alpha * dT] - P = 0.$$

Ebből látszik, hogy az egyenletnek mindig van valós gyöke, ha feszültséget kapcsolunk rá.

A kapott I illetve U értékek a 2. táblázat alján vannak feltüntetve.

A mérés utolsó kitűzött célja A PELTIER-ELEM JÓSÁGI TÉNYEZŐINEK MEGHATÁROZÁSA.

Az illesztett függvények grafikonján (11. grafikon) látható hogy a 10 perces mérés alatt akár 20-30 °C-ot is sikerült csökkenteni az Al-kocka hőmérsékletét. Az Al kocka térfogata $4*4*4 \text{ cm}^3 = 64 \text{ cm}^3$ a fűtő ellenállást és néhány lyukat is belevéve. Az Al sűrűsége: $2,7 \text{ g/cm}^3$, továbbá fajhője: $0,9 \text{ J/g}^*\text{K}$.

Ebből az alumíniumból kivont hőenergia a következő: $W_h = c * m * dT$.

Az átlagos hűtési teljesítmény értéke pedig: $P_h = (c * m * dT) / (t * 60)$, ha az időt percben nézzük, ami természetesen célszerűbb, mert mindig percben számoltam! A Peltier-elem által felvett munka pedig $W_p = P_p * 60 * t$. Ebből az átlagos hatásfokot kiszámolhatjuk egy bizonyos időpillanatig a kezdeti $dT = 0$ értéktől, vagy egy kivonással akár bármelyik tartományban.

Itt $\eta = P_h / P_p = W_h / W_p$ ahol mind a kettő ugyanazt adja ki: $\eta = (c * m * dT) / (P_p * t * 60)$. Itt az adatokat behelyettesítve bármelyik szakaszra megkaphatjuk a kívánt értéket. Például ha

$P_p = 6 \text{ W}$ és $dT = 14 \text{ }^\circ\text{C}$, akkor a közelített függvényből: $t \sim 8 \text{ perc}$. Itt $\eta \sim 1,15 * 100 = 115\%$. Ez elvileg ellentmondana az energiamegmaradás tételének, mivel 100%-nál több nem lehet a hatásfok. Ezért a továbbiakban η -t, mint jósági tényezőt fogom használni, mert ott bármekkora érték megengedett. Az esetünkben az 1,15 jósági szám azt jelenti, hogy 8 percig hűtve közel állandó Peltier teljesítménnyel 14 °C-os változást értünk el, továbbá a befektetett $P_p = 1920 \text{ J}$ munkával $\sim 2210 \text{ J}$ hőt vontunk el az alumíniumtól.

Ezt bármelyik időre meg lehet nézni, viszont nem mindegyik hőmérsékletre! Mert csak a maximálisan az azzal a teljesítménnyel elérhető dT közeléig lehet elmenni, de ott már az η értéke a nullához tart, utána pedig negatívba vált, ami már számunkra értelmetlen adat.

Legyen az x tengely a különbségi hőmérséklet, az y tengely pedig η értéke. Tehát:

$y = (c * m * dT) / (60 * t * P_p)$. Itt a dT -re kell rendezni, továbbá a t - dT közötti összefüggést is egy képlet írja le: $dT = (A * B * t) / (A + B * t)$ Ebből a dT -re és η -ra rendezett alak:

$$\eta = (c * m * dT * B * (A - dT)) / (60 * P_p * A * dT).$$

Ha egy grafikonon ábrázoljuk a 2-4-6-10-12 W-os méréseket, akkor a 12. grafikonon látható görbesereget kapjuk. Ez azért érdekes a számunkra, mert egyértelműen kiderül belőle, hogy ha kisebb hőmérsékletkülönbséget akarunk elérni gyorsan, akkor nagyobb teljesítményre, ha pedig hatékonyan, akkor kisebb teljesítményre van szükségünk.

Viszont a leggazdaságosabb működés csak egy egyenest határoz meg, mert például 2 W-tal a 15 °C-os különbség már gazdaságtalan lenne a túl kicsi hatásfoka miatt. A görbék pedig egyenesek. Ezek látszólag egy tartományban metszik egymást, de a valóságban ez nem így van és a mérési hibának tudható be, mert a metszéspontok eltolódnak, mivel mindegyik hőmérséklet értékhez tartozik egy maximális étával rendelkező egyenes. Ezt a (már nem számítógéppel szerkesztett) *13. grafikonon* mutatom be. Itt a különböző teljesítményekhez tartozó η értékek vannak feltüntetve a különbségi hőmérséklet függvényében. Ezekről a korrigált egyenesekről már látszik, hogy mindegyik teljesítménynek megvan az ideális különbségi hőmérséklete, amin az adott teljesítményen a legjobb hatásfokkal tudja lehűteni a belső teret. Ezek a pontok közötti (nem bejelölt) képzeletbeli pontok. Ha ~20-30 W-ig minden teljesítményadatra felvennénk az ahhoz tartozó egyenest, akkor egy lefedett területet kapnánk egy bizonyos ΔT_0 - ΔT_1 intervallumra. Ezt a területet egy görbe vonal határolja, amit pirossal jelöltem be a *14. grafikonon*. Ez egy exponenciális vagy egy hiperbola részlete. Elméletben az x és y tengelyhez kell tartania a görbének, de ez a gyakorlatban nem megvalósítható. Ezért lehet tulajdonképpen exponenciális függvény részlete. Ez a görbe arra jó nekünk, hogy egy integrálással megkapjuk egy adott dT hőmérsékletre kellő leggazdaságosabb állandó teljesítményt (ami egy adott különbségi hőmérsékletre tartozó érintő egyenese!).

Ha ezt az alábbi programot és függvényt beleprogramozzuk egy PIC-mikrovezérlőbe, ami valós időben szabályozza a Peltier-teljesítményt, akkor már a hatásfoka nagy valószínűséggel eléri, sőt akár meg is haladja egy mai jó minőségű légkondicionáló hatásfokát. A leggazdaságosabb üzemet akkor sikerül elérni, ha minden hőmérséklet-különbséghez hozzá állítjuk a pillanatnyi teljesítményt. Ezáltal az egész függvény alatti területet ki tudjuk használni, és nem csak az adott egyeneshez tartozó területet. Ami már a 12 W-os egyenesnél szembeűnően kevesebb, mint a pirossal bejelölt exponenciális görbe alatti terület. Ennek az eljárásnak a hátulütője, hogy sok időt vesz igénybe. Ezért egy köztes megoldás lehet, hogy mindig a leggazdaságosabb teljesítményhez képest egy adott százalékkal többet veszünk. Ekkor az időtényező is jóval kevesebb lesz és a hatásfok sem romlik le számottevően.

AZ LEGOPTIMÁLISABB HŰTÉS GYAKORLATI MEGVALÓSÍTÁSÁRA használhatunk egy PIC-mikrovezérlőt is.

Mivel a PIC digitális programozható mikrokontroller, ezért minden bejövő analóg jelet át kell alakítani egy A/D konverterrel digitális jellé és ezután válnak kezelhetővé. A valós idejű méréshez szükség van egy feszültségmérő műveleti erősítőre és egy Peltier-elemmel sorosan kötött ellenállásra, amin ugyancsak egy műveleti erősítővel lehet az áramerősség függvényében feszültséget mérni. A mért értékeket pedig egy analóg szorzóval összeszorozzuk, amit már alakíthatunk is át digitális jellé (mint pillanatnyi teljesítményértéket). Ez fogja mérni a pillanatnyi teljesítményt. A hőmérsékletmérés az alábbi módon történhet: A hőmérő-ellenállásoknak az ellenállást lehet megmérni, ugyancsak két műveleti erősítővel, utána pedig digitális jellé lehet alakítani. Vagy akár csak a különbségüket is elég átalakítani, ugyanis főleg a dT -re vagy szükségünk. Ekkor már megvan a teljesítmény és dT értékünk. Ez bőven elég ahhoz, hogy a beprogramozott függvény alapján a PIC növelje, vagy csökkentse a peltier-teljesítményt a leggazdaságosabb üzem érdekében. Ezután csak ki kel adnia az utasítást egy feszültségvezérelt-feszültséggenerátornak, ami vagy nagyobb, vagy csökkenti, vagy növeli a Peltier-teljesítményt. Ezzel meg is alkottam egy gazdaságos légkondicionáló, esetleg hűtő elméleti modelljét. A számításhoz a PIC-nek még meg kell adni a teljesítmény-szorzó értékét, hogy ne tartson túl sokáig a hűtési folyamat, továbbá az elérni kívánt hőmérsékletet.

Ezt a mérést azért láttam fontosnak elvégezni, mert eddigi ismereteim szerint jósági tényezők ilyen eljárással való meghatározását még előttem senki sem végezte el, habár a Peltier-elemmel már e kutatás megszületése előtt is kísérleteztek. Ezen kísérletek többsége az Interneten is megtalálható, például a www.vgf.hu és a www.tuningnet.hu honlapon.

A PELTER-ELEM FŐBB FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEI A JÖVŐBEN

A Peltier-effektusra épülhetnek az alábbi felhasználások:

- Klíma- és hűtéstechnika, ahol manapság is egyre nagyobb népszerűségnek örvend.
- Manapság is alkalmazzák számítógép processzorok és videokártyák aktív hűtésére, bár a napjainkban még inkább csak a hőellenállás csökkentésére tudják használni.

A Seebeck-effektusra épülő felhasználási területei lehetnek:

- Elektromos energia termelése a gépkocsikban, ahol az egyik oldalt a hűtővízzel vagy kipufogógázzal melegítik, a másikat pedig hűtőbordával hűtik. Ebből jelentős mennyiségű energia is nyerhető, mivel a hűtővízzel majdnem 50-60fokos állandó hőmérsékletkülönbséget lehet elérni. Ez több Peltier-elemmel már hasznosítható energia mennyiséget szolgáltatna. A megvalósítás még nem lehetséges a Peltier-elem magas ára miatt.
- Ugyancsak elektromos energia termelése az űrben, mivel ott a nap jóval nagyobb teljesítményt ad egy négyzetméterre, mint a földfelszínen. Ezért akár hatékonyabb teljesítmény-tömeg arány is elérhető vele, mint a mostani jól bevált napelemtáblákkal.

Szeretnék köszönetet mondani mindenkinek, aki a segítségemre volt a mérésben illetve az eszközbeli felszereltség biztosításában.

- Szűcs Sándor igazgató úrnak és Pongor Gabriella tanárnőnek a mérési környezet és hely biztosításáért.

- Vankó Péter egyetemi docensnek a mérés lelke, azaz a Peltier-hőelem biztosításáért.

- Újvári Sándor tanár úrnak az alumínium tömbért.

- Az érdeklődésemet a Peltier-elemmel kapcsolatban a 2006. június 6-10-ig a BME Fizikai Intézetben megrendezett 9. Román-magyar előolimpiai fizika verseny mérési feladata keltette fel. Azóta foglalkozok részletesebben a Peltier-hőelem tulajdonságaival, és ezt céloim is folytatni, ha olyan felszereltségű labor közelébe kerülök, ahol a megfelelő műszerezettség és tápegység lehetővé tesz nagyobb kaliberű és pontosabb méréseket is.

- Mivel a méréshez kellő képletek nem voltak benne egy könyvben sem ezért felhasznált irodalomról nem tudok beszélni, viszont felsorolnék néhány internetes forrást, ahonnan elég sok dolgot meg lehet tudni a Peltier-elemről, továbbá mérések is találhatóak rajtuk:

www.tuningnet.hu

www.cab.u-szeged.hu

www.vgf.hu/hkl/hutestechnika.php?action=vie_Wfull&ID=69

en.Wikipedia.org/Wiki/Peltier-Seebeck_effect

www.digit-life.com/articles/peltiercoolers

www.heatsink-guide.com/peltier.htm

Németh Balázs

2007-10-17

1. táblázat

A peltier elem szabad hővezetési tényezője különböző Pf fűtőteljesítményeknél...
fűtőellenállás mérés:

Rf = 6,8 Ω

T (min)	Uf (V)	Pf (W)	Rm (Ω)	Tm (°C)	Rh (ohm)	Th (°C)	ΔT (°C)	Upelt (mV)
10 W								
0	8,24	9,985	1085	22,078	1069	17,922	4,16	
1	8,26	10,033	1094	24,416	1068	17,662	6,75	
2	8,24	9,985	1102	26,494	1067	17,403	9,09	
3	8,255	10,021	1110	28,571	1066	17,143	11,43	
4	8,27	10,058	1118	30,649	1066	17,143	13,51	261
5	8,25	10,009	1124	32,208	1066	17,143	15,06	286
6	8,25	10,009	1130	33,766	1065	16,883	16,88	313
7	8,26	10,033	1135	35,065	1065	16,883	18,18	340
8	8,25	10,009	1139	36,104	1064	16,623	19,48	367
9	8,26	10,033	1143	37,143	1064	16,623	20,52	389
10	8,24	9,985	1147	38,182	1064	16,623	21,56	409
15 W								
0	10,12	15,061	1124	32,208	1063	16,364	15,84	292
1	10,18	15,240	1133	34,545	1063	16,364	18,18	338
2	10,2	15,300	1143	37,143	1063	16,364	20,78	381
3	10,15	15,150	1153	39,740	1064	16,623	23,12	435
4	10,15	15,150	1162	42,078	1064	16,623	25,45	480
5	10,16	15,180	1169	43,896	1064	16,623	27,27	515
6	10,16	15,180	1175	45,455	1064	16,623	28,83	545
7	10,15	15,150	1181	47,013	1064	16,623	30,39	578
8	10,16	15,180	1186	48,312	1064	16,623	31,69	616
9	10,16	15,180	1190	49,351	1065	16,883	32,47	639
10	10,17	15,210	1194	50,390	1065	16,883	33,51	658
20 W								
0	11,61	19,822	1132	34,286	1064	16,623	17,66	344
1	11,66	19,993	1142	36,883	1064	16,623	20,26	416
2	11,65	19,959	1151	39,221	1064	16,623	22,60	451
3	11,68	20,062	1163	42,338	1065	16,883	25,45	522
4	11,65	19,959	1178	46,234	1065	16,883	29,35	588
5	11,65	19,959	1188	48,831	1066	17,143	31,69	636
6	11,67	20,028	1198	51,429	1066	17,143	34,29	687
7	11,67	20,028	1206	53,506	1066	17,143	36,36	732
8	11,68	20,062	1213	55,325	1067	17,403	37,92	773
9	11,69	20,096	1220	57,143	1067	17,403	39,74	812
10	11,65	19,959	1226	58,701	1068	17,662	41,04	869
	Eltolások x tengelyen		Átlagteljesítmények		Egyenletek paraméterei			
	(perc)		(W)		A	B		
10 W	1,25		10,014		47	3,58		
15 W	6		15,180		75	3,80		
20 W	6,7		19,994		105	4,00		

Közelítő egyenlet:

$$y = (A \cdot B \cdot x) / (A + B \cdot x)$$

2. táblázat

A Peltier-elem különbségi hőmérsékletei különböző Pp teljesítményeknél...

	t(min)	U (V)	I (A)	R (Ω)	P (W)	Rh (Ω)	Th ($^{\circ}\text{C}$)	Rm (Ω)	Tm ($^{\circ}\text{C}$)	dT ($^{\circ}\text{C}$)
2 W	0	1,86	1,17	1,59	2,18	1066	17,1	1066	17,1	0,0
	1	1,8	1,12	1,61	2,02	1057	14,8	1067	17,4	2,6
	2	1,81	1,1	1,65	1,99	1050	13,0	1067	17,4	4,4
	3	1,82	1,1	1,65	2,00	1043	11,2	1066	17,1	6,0
	4	1,83	1,09	1,68	1,99	1037	9,6	1066	17,1	7,5
	5	1,84	1,08	1,70	1,99	1034	8,8	1066	17,1	8,3
	6	1,86	1,08	1,72	2,01	1031	8,1	1066	17,1	9,1
	7	1,87	1,075	1,74	2,01	1028	7,3	1066	17,1	9,9
	8	1,88	1,065	1,77	2,00	1025	6,5	1065	16,9	10,4
	9	1,87	1,065	1,76	1,99	1023	6,0	1065	16,9	10,9
	10	1,87	1,06	1,76	1,98	1022	5,7	1066	17,1	11,4
4 W	0	2,55	1,61	1,58	4,11	1061	15,8	1065	16,9	1,0
	1	2,54	1,57	1,62	3,99	1050	13,0	1067	17,4	4,4
	2	2,48	1,5	1,65	3,72	1041	10,6	1066	17,1	6,5
	3	2,45	1,47	1,67	3,60	1034	8,8	1066	17,1	8,3
	4	2,55	1,56	1,63	3,98	1028	7,3	1066	17,1	9,9
	5	2,6	1,53	1,70	3,98	1022	5,7	1066	17,1	11,4
	6	2,63	1,55	1,70	4,08	1018	4,7	1066	17,1	12,5
	7	2,64	1,55	1,70	4,09	1014	3,6	1066	17,1	13,5
	8	2,6	1,51	1,72	3,93	1011	2,9	1066	17,1	14,3
	9	2,65	1,5	1,77	3,98	1009	2,3	1066	17,1	14,8
	10	2,65	1,5	1,77	3,98	1007	1,8	1066	17,1	15,3
5 W	0					1093	24,2	1087	22,6	-1,6
	1					1079	20,5	1094	24,4	3,9
	2	2,76	1,87	1,48	5,16	1067	17,4	1094	24,4	7,0
	3	2,75	1,85	1,49	5,09	1057	14,8	1093	24,2	9,4
	4	2,8	1,86	1,51	5,21	1049	12,7	1093	24,2	11,4
	5	2,75	1,8	1,53	4,95	1043	11,2	1093	24,2	13,0
	6	2,76	1,8	1,53	4,97	1038	9,9	1092	23,9	14,0
	7	2,77	1,8	1,54	4,99	1034	8,8	1092	23,9	15,1
	8	2,8	1,79	1,56	5,01	1031	8,1	1092	23,9	15,8
	9	2,79	1,8	1,55	5,02	1029	7,5	1091	23,6	16,1
	10	2,82	1,8	1,57	5,08	1027	7,0	1091	23,6	16,6
					0,00					
6 W	0	2,85	2,09	1,36	5,96	1100	26,0	1087	22,6	-3,4
	1	2,89	2,06	1,40	5,95	1081	21,0	1094	24,4	3,4
	2	2,95	2,07	1,43	6,11	1065	16,9	1094	24,4	7,5
	3	2,96	2,02	1,47	5,98	1052	13,5	1093	24,2	10,6
	4	2,99	2,01	1,49	6,01	1043	11,2	1092	23,9	12,7
	5	3,01	1,99	1,51	5,99	1036	9,4	1091	23,6	14,3
	6	3,02	1,98	1,53	5,98	1030	7,8	1091	23,6	15,8
	7	3,04	1,98	1,54	6,02	1025	6,5	1091	23,6	17,1
	8	3,05	1,98	1,54	6,04	1021	5,5	1090	23,4	17,9
	9	3,05	1,98	1,54	6,04	1019	4,9	1090	23,4	18,4
	10	3,06	1,97	1,55	6,03	1016	4,2	1090	23,4	19,2

A Peltier-elem különbségi hőmérsékletei különböző Pp teljesítményeknél...

						Rh (Ω)	Th ($^{\circ}\text{C}$)	Rm (Ω)	Tm ($^{\circ}\text{C}$)	dT ($^{\circ}\text{C}$)
8 W										
	0					1091	23,6	1110	28,6	4,9
	1					1073	19,0	1113	29,4	10,4
	2					1068	17,7	1103	26,8	9,1
	3					1056	14,5	1096	24,9	10,4
	4					1045	11,7	1098	25,5	13,8
	5					1043	11,2	1097	25,2	14,0
	6					1038	9,9	1095	24,7	14,8
	7					1032	8,3	1096	24,9	16,6
	8					1026	6,8	1094	24,4	17,7
	9					1022	5,7	1095	24,7	19,0
	10					1020	5,2	1094	24,4	19,2
10 W										
	0					1094	24,4	1092	23,9	-0,5
	1					1074	19,2	1103	26,8	7,5
	2					1055	14,3	1103	26,8	12,5
	3					1041	10,6	1101	26,2	15,6
	4					1030	7,8	1100	26,0	18,2
	5					1021	5,5	1100	26,0	20,5
	6					1014	3,6	1099	25,7	22,1
	7					1009	2,3	1098	25,5	23,1
	8					1005	1,3	1098	25,5	24,2
	9					1002	0,5	1098	25,5	24,9
12 W										
	0					1097	25,2	1095	24,7	-0,5
	1					1076	19,7	1109	28,3	8,6
	2					1055	14,3	1102	26,5	12,2
	3					1039	10,1	1101	26,2	16,1
	4					1026	6,8	1101	26,2	19,5
	5					1016	4,2	1100	26,0	21,8
	6					1009	2,3	1100	26,0	23,6
	7					1003	0,8	1100	26,0	25,2
	8					999	-0,3	1100	26,0	26,2
	9					997	-0,8	1100	26,0	26,8
	10					995	-1,3	1100	26,0	27,3

Számolt áramerősség és feszültség értékek:

P	Th	Tm	dT	Tátl	I	U	R			
2	-0,55	17,15	17,7	8,3	1,02	1,97	1,93			
4	-6,9	17,1	24	5,1	1,40	2,86	2,05			
5	-1,5	23,5	25	11	1,65	3,03	1,84			
6	-5,7	23,3	29	8,8	1,77	3,39	1,92			
10	-10,2	25,3	35,5	7,55	2,26	4,43	1,96			
12	-13,4	25,6	39	6,1	2,44	4,92	2,02			

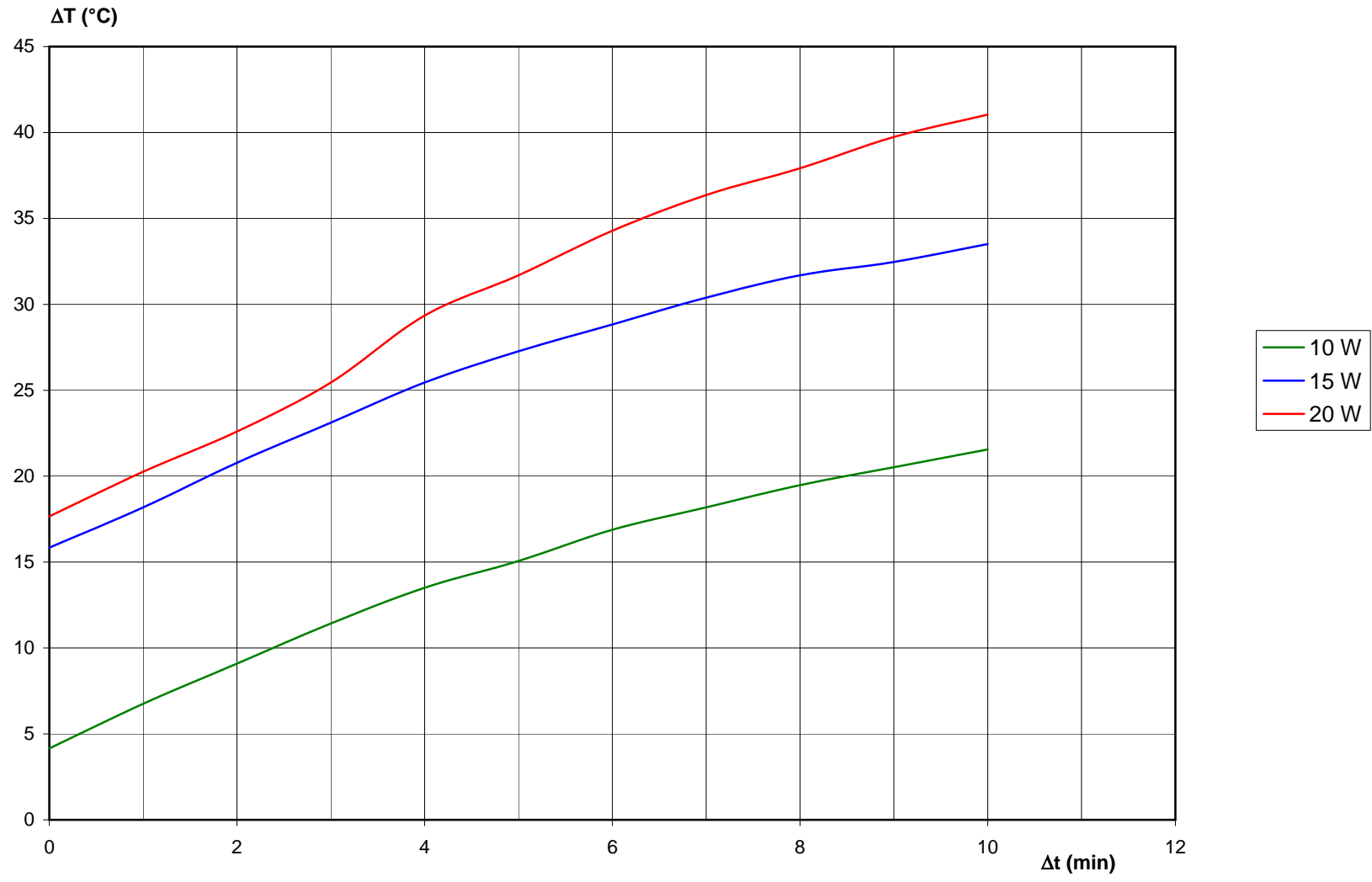
Illesztett egyenesek paramétereit:

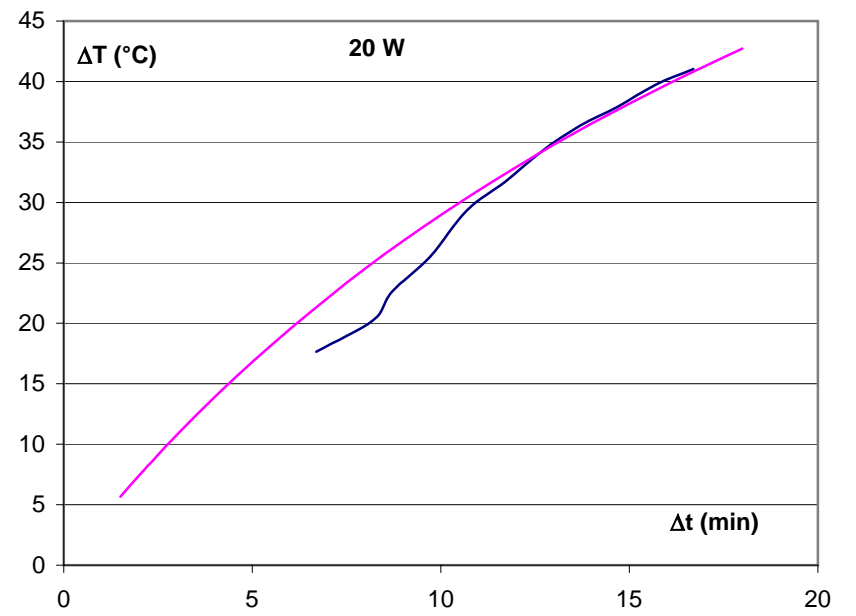
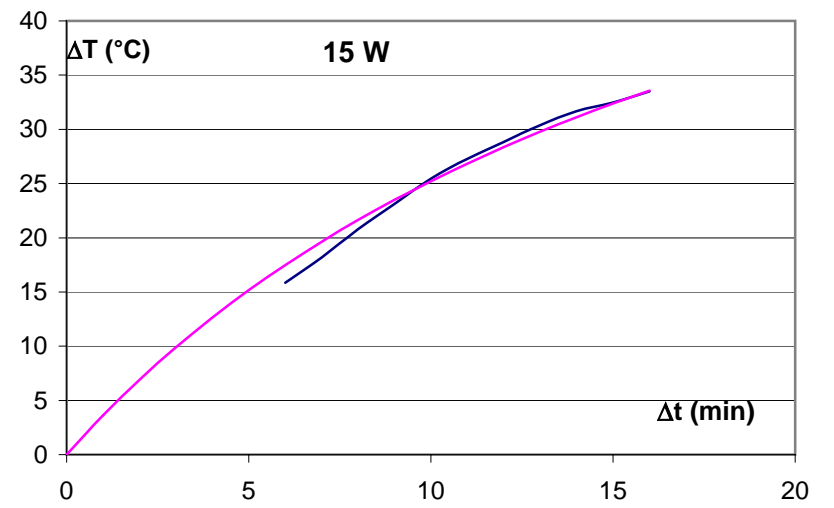
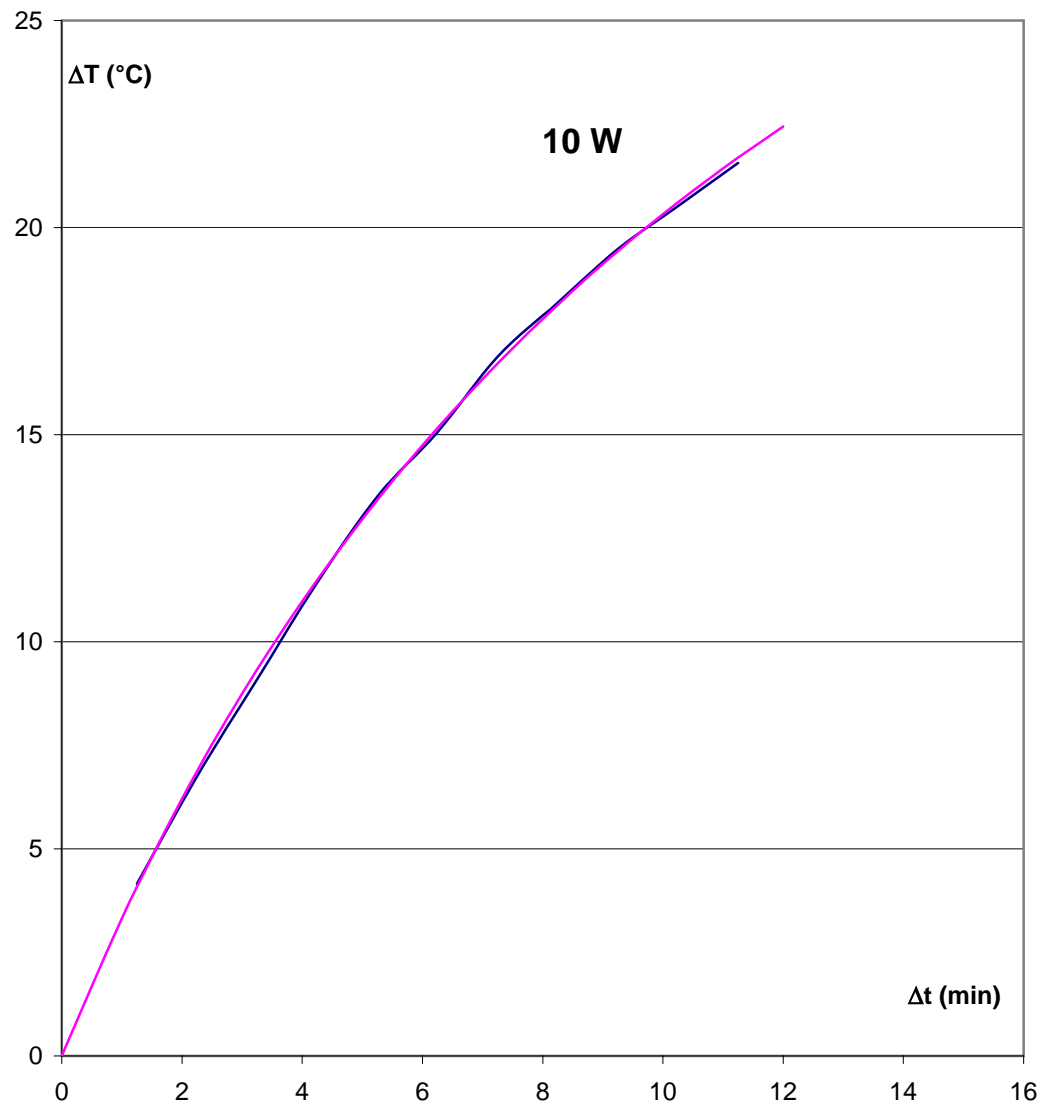
P	2	4	5	6	10	12			
A konstans:	17,7	24	25	29	35,5	39			
B konstans:	3,2	4,2	5,55	6,6	9,5	10,7			
Eltolás értéke:	-0,05	0,25	-0,2	-0,45	0	-0,3			

3.táblázat

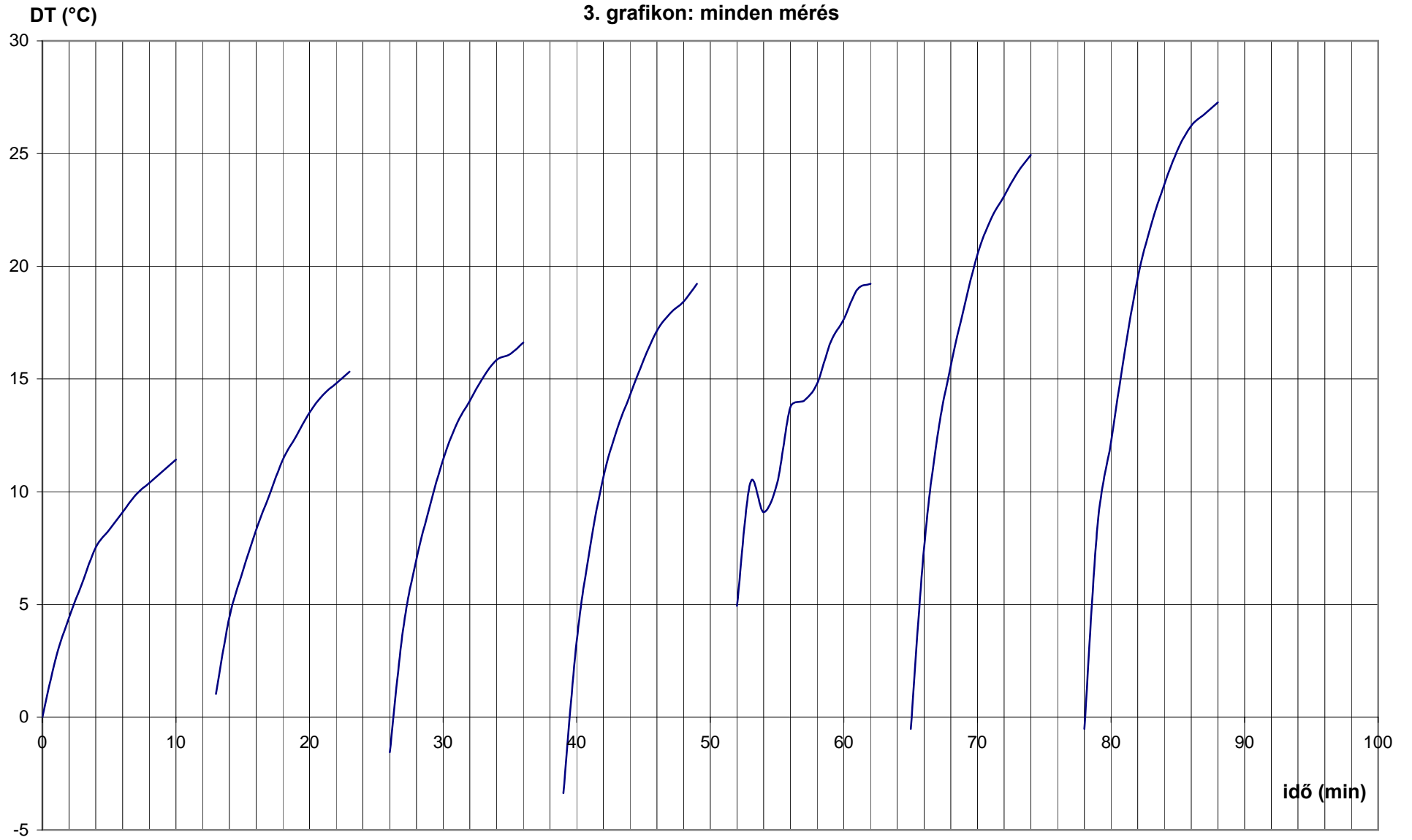
	t idő (min)	t idő (min)	U (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)	Rh (Ω)	Th (°C)	Th (K)	Rm (Ω)	Tm (°C)	Tm (K)	ΔT (°C)	Iđkorrekció	közelítő fg. (1/x)	y=(A*B*x)/(A+B*x)	átlaghőmérséklet..	Reredeti	R0				
2 W	0	0	1,86	1,17	1,589744	2,18	1066	17,1	290,1	1066	17,1	290,1	0,0	-0,05	0,00	17,7 A	290,1	1,59	0,02	2,21	0,04		
	1	1	1,8	1,12	1,607143	2,02	1057	14,8	287,8	1067	17,4	290,4	2,6	0,95	2,71	3,2 B	289,1	1,64	2,23				
	2	2	1,81	1,1	1,645455	1,99	1050	13,0	286,0	1067	17,4	290,4	4,4	1,95	4,70		288,2	1,71	2,26				
	3	3	1,82	1,1	1,654545	2,00	1043	11,2	284,2	1066	17,1	290,1	6,0	2,95	6,22		287,2	1,74	2,25				
	4	4	1,83	1,09	1,678899	1,99	1037	9,6	282,6	1066	17,1	290,1	7,5	3,95	7,43		286,4	1,79	2,27				
	5	5	1,84	1,08	1,703704	1,99	1034	8,8	281,8	1066	17,1	290,1	8,3	4,95	8,40		286,0	1,83	2,30				
	6	6	1,86	1,08	1,722222	2,01	1031	8,1	281,1	1066	17,1	290,1	9,1	5,95	9,21		285,6	1,86	2,31				
	7	7	1,87	1,075	1,739535	2,01	1028	7,3	280,3	1066	17,1	290,1	9,9	6,95	9,89		285,2	1,89	2,33				
	8	8	1,88	1,065	1,765258	2,00	1025	6,5	279,5	1065	16,9	289,9	10,4	7,95	10,46		284,7	1,92	2,34				
	9	9	1,87	1,065	1,755869	1,99	1023	6,0	279,0	1065	16,9	289,9	10,9	8,95	10,96		284,4	1,92	2,33				
	10	10	1,87	1,06	1,764151	1,98	1022	5,7	278,7	1066	17,1	290,1	11,4	9,95	11,40		284,4	1,94	2,35				
	11																						
	12													0,25									
4 W	13	0	2,55	1,61	1,583851	4,11	1061	15,8	288,8	1065	16,9	289,9	1,0	0,25	0,00	24 A	289,4	1,59	2,19				
	14	1	2,54	1,57	1,617834	3,99	1050	13,0	286,0	1067	17,4	290,4	4,4	1,25	3,57	4,2 B	288,2	1,66	2,21				
	15	2	2,48	1,5	1,653333	3,72	1041	10,6	283,6	1066	17,1	290,1	6,5	2,25	6,22		286,9	1,72	2,22				
	16	3	2,45	1,47	1,666667	3,60	1034	8,8	281,8	1066	17,1	290,1	8,3	3,25	8,26		286,0	1,76	2,23				
	17	4	2,55	1,56	1,634615	3,98	1028	7,3	280,3	1066	17,1	290,1	9,9	4,25	9,88		285,2	1,74	2,18				
	18	5	2,6	1,53	1,699346	3,98	1022	5,7	278,7	1066	17,1	290,1	11,4	5,25	11,20		284,4	1,82	2,23				
	19	6	2,63	1,55	1,696774	4,08	1018	4,7	277,7	1066	17,1	290,1	12,5	6,25	12,29		283,9	1,83	2,22				
	20	7	2,64	1,55	1,703226	4,09	1014	3,6	276,6	1066	17,1	290,1	13,5	7,25	13,21		283,4	1,84	2,22				
	21	8	2,6	1,51	1,721854	3,93	1011	2,9	275,9	1066	17,1	290,1	14,3	8,25	14,00		283,0	1,87	2,23				
	22	9	2,65	1,5	1,766667	3,98	1009	2,3	275,3	1066	17,1	290,1	14,8	9,25	14,68		282,7	1,92	2,28				
	23	10	2,65	1,5	1,766667	3,98	1007	1,8	274,8	1066	17,1	290,1	15,3	10,25	15,27		282,5	1,93	2,27				
	24																						
5 W	25													-0,2									
	26	0					1093	24,2	297,2	1087	22,6	295,6	-1,6	-0,2	0,00		296,4						
	27	1					1079	20,5	293,5	1094	24,4	297,4	3,9	0,8	4,54	5,55 B	295,5						
	28	2	2,76	1,87	1,475936	5,16	1067	17,4	290,4	1094	24,4	297,4	7,0	1,8	7,69		293,9	1,54	2,29				
	29	3	2,75	1,85	1,486486	5,09	1057	14,8	287,8	1093	24,2	297,2	9,4	2,8	9,99		292,5	1,57	2,27				
	30	4	2,8	1,86	1,505376	5,21	1049	12,7	285,7	1093	24,2	297,2	11,4	3,8	11,76		291,4	1,60	2,27				
	31	5	2,75	1,8	1,527778	4,95	1043	11,2	284,2	1093	24,2	297,2	13,0	4,8	13,15		290,7	1,64	2,28				
	32	6	2,76	1,8	1,533333	4,97	1038	9,9	282,9	1092	23,9	296,9	14,0	5,8	14,28		289,9	1,66	2,27				
	33	7	2,77	1,8	1,538889	4,99	1034	8,8	281,8	1092	23,9	296,9	15,0	6,8	15,21		289,4	1,67	2,26				
	34	8	2,8	1,79	1,564246	5,01	1031	8,1	281,1	1092	23,9	296,9	15,8	7,8	15,99		289,0	1,71	2,28				
	35	9	2,79	1,8	1,55	5,02	1029	7,5	280,5	1091	23,6	296,6	16,1	8,8	16,66		288,6	1,69	2,26				
	36	10	2,82	1,8	1,566667	5,08	1027	7,0	280,0	1091	23,6	296,6	16,6	9,8	17,24		288,3	1,71	2,27				
	37																						
	38													-0,45									
6 W	39	0	2,85	2,09	1,363636	5,96	1100	26,0	299,0	1087	22,6	295,6	-3,4	-0,45	0,00	27,75 A	297,3	1,34	2,22				
	40	1	2,89	2,06	1,402913	5,95	1081	21,0	294,0	1094	24,4	297,4	3,4	0,55	5,33	6,6 B	295,7	1,43	2,25				
	41	2	2,95	2,07	1,425121	6,11	1065	16,9	289,9	1094	24,4	297,4	7,5	1,55	8,95		293,6	1,48	2,23				
	42	3	2,96	2,02	1,465347	5,98	1052	13,5	286,5	1093	24,2	297,2	10,6	2,55	11,56		291,8	1,55	2,23				
	43	4	2,99	2,01	1,487562	6,01	1043	11,2	284,2	1092	23,9	296,9	12,7	3,55	13,53		290,5	1,59	2,22				
	44	5	3,01	1,99	1,512563	5,99	1036	9,4	282,4	1091	23,6	296,6	14,3	4,55	15,07		289,5	1,63	2,22				
	45	6	3,02	1,98	1,525253	5,98	1030	7,8	280,8	1091	23,6	296,6	15,8	5,55	16,32		288,7	1,65	2,22				
	46	7	3,04	1,98	1,535354	6,02	1025	6,5	279,5	1091	23,6	296,6	17,1	6,55	17,34		288,1	1,67	2,22				
	47	8	3,05	1,98	1,540404	6,04	1021	5,5	278,5	1090	23,4	296,4	17,9	7,55	18,19		287,4	1,69	2,21				
	48	9	3,05	1,98	1,540404	6,04	1019	4,9	277,9	1090	23,4	296,4	18,4	8,55	18,91		287,2	1,69	2,20				
	49	10	3,06	1,97	1,553299	6,03	1016	4,2	277,2	1090	23,4	296,4	19,2	9,55	19,54		286,8	1,71	2,21				
	50																						
	51													0									
8 W	52	0					1091	23,6	296,6	1110	28,6	301,6	4,9	0		A							
	53	1					1073	19,0	292,0	1113	29,4	302,4	10,4	1		B							
	54	2					1068	17,7	290,7	1103	26,8	299,8	9,1	2									
	55	3					1056	14,5	287,5	1096	24,9	297,9	10,4	3									
	56	4					1045	11,7	284,7	1098	25,5	298,5	13,8	4									
	57	5					1043	11,2	284,2	1097	25,2	298,2	14,0	5									
	58	6					1038	9,9	282,9	1095	24,7	297,7	14,8	6									
	59	7					1032	8,3	281,3	1096	24,9	297,9	16,6	7									
	60	8					1026	6,8	279,8	1094	24,4	297,4	17,7	8									
	61	9					1022	5,7	278,7	1095	24,7	297,7	19,0	9									
	62	10					1020	5,2	278,2	1094	24,4	297,4	19,2	10									
	63																						
	64																						
10 W	65	0					1094	24,4	297,4	1092	23,9	296,9	-0,5	0	0,00	35,5 A							
	66	1					1074	19,2	292,2	1103	26,8	299,8	7,5	1	7,49	9,5 B							
	67	2					1055	14,3	287,3	1103	26,8	299,8	12,5	2	12,38								
	68	3					1041	10,6	283,6	1101	26,2	299,2	15,6	3	15,81								
	69	4					1030	7,8	280,8	1100	26,0	299,0	18,2	4	18,35								
	70	5					1021	5,5	278,5	1100	26,0	299,0	20,5	5	20,32								
	71	6					1014	3,6	276,6	1099	25,7	298,7	22,1	6	21,88								
	72	7					1009	2,3	275,3	1098	25,5	298,5	23,1	7	23,14								
	73	8					1005	1,3	274,3	1098	25,5	298,5	24,2	8	24,20								
	74	9					1002	0,5	273,5	1098	25,5	298,5	24,9	9	25,0								

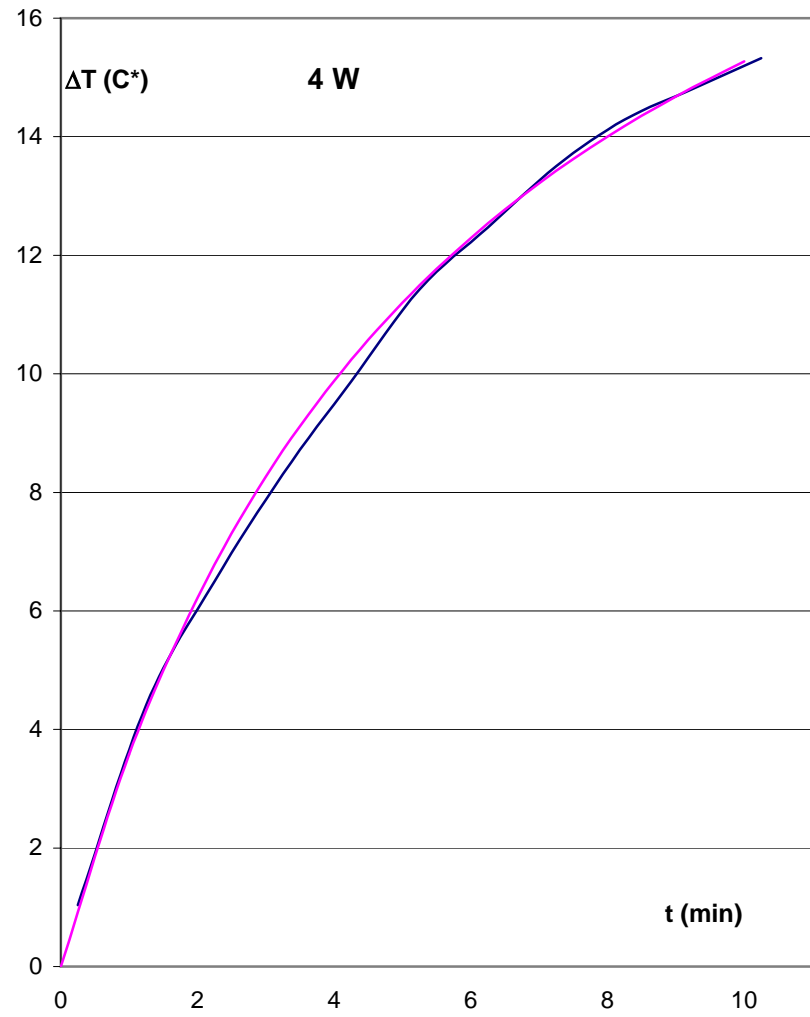
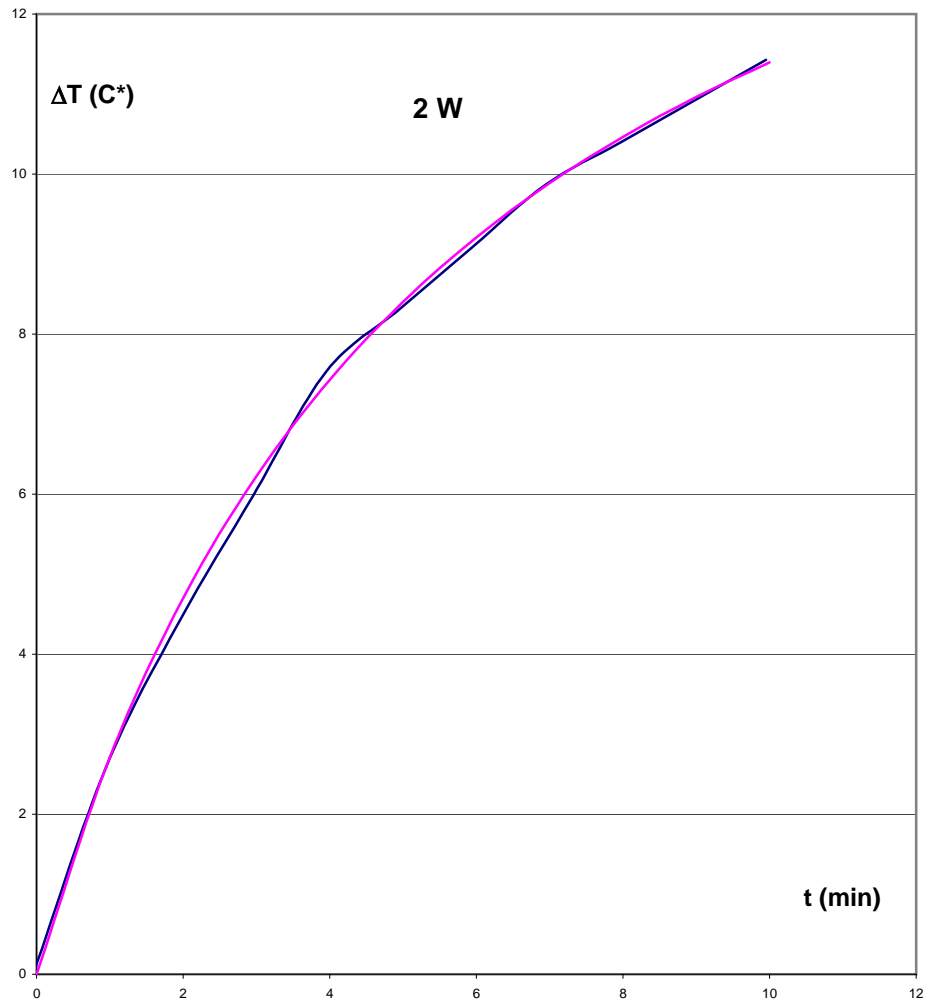
1. grafikon: 3 mérés egy gragikonon

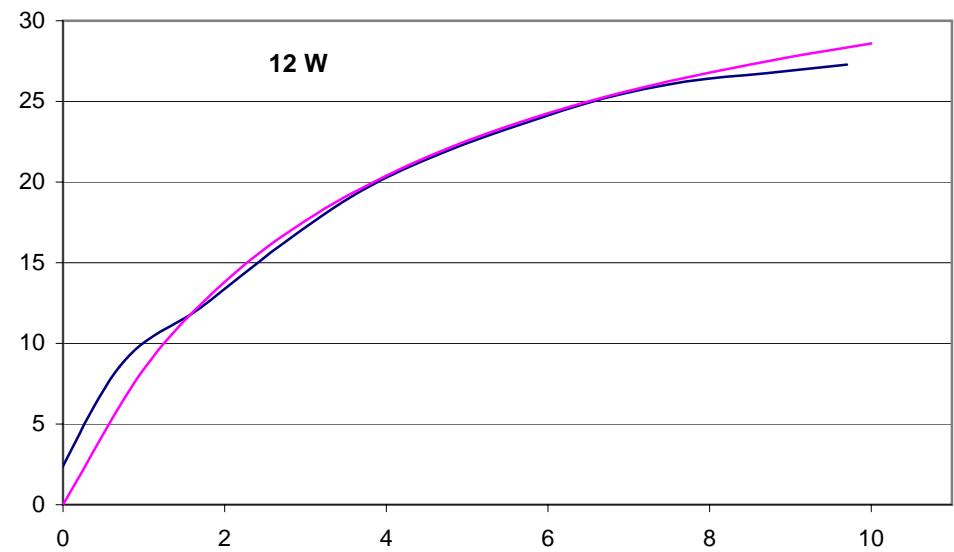
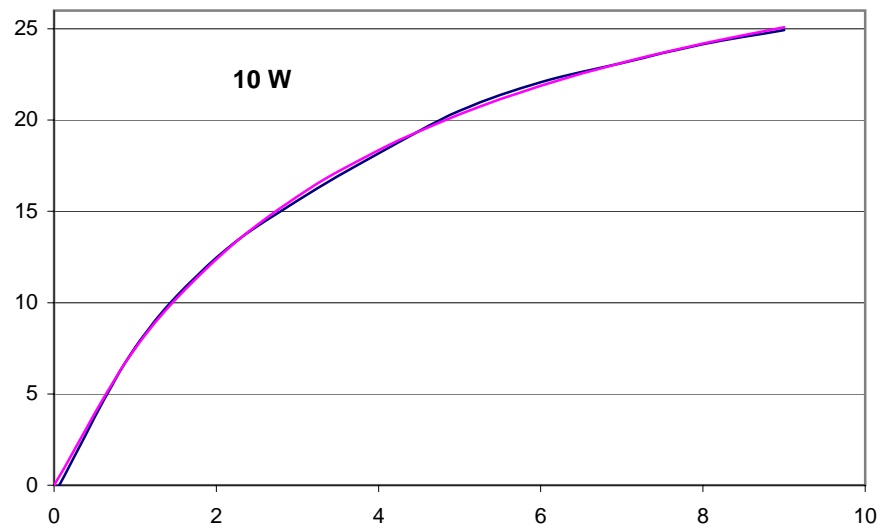
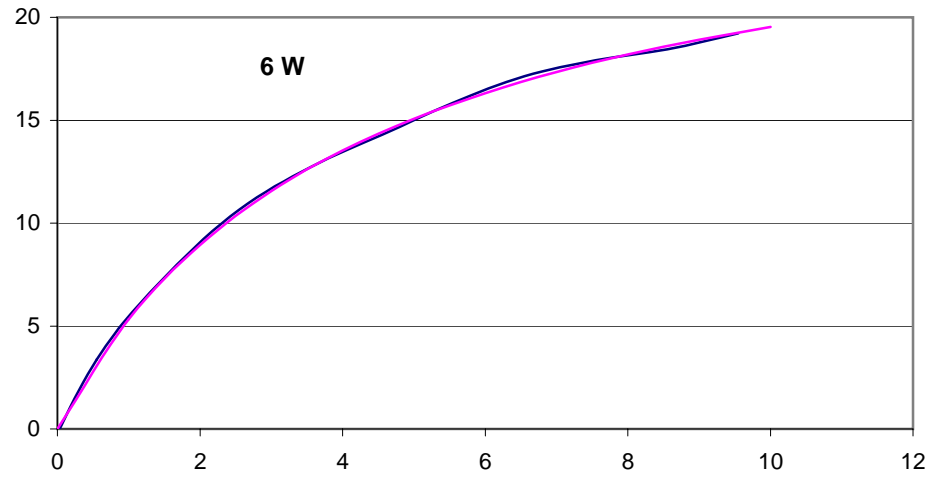
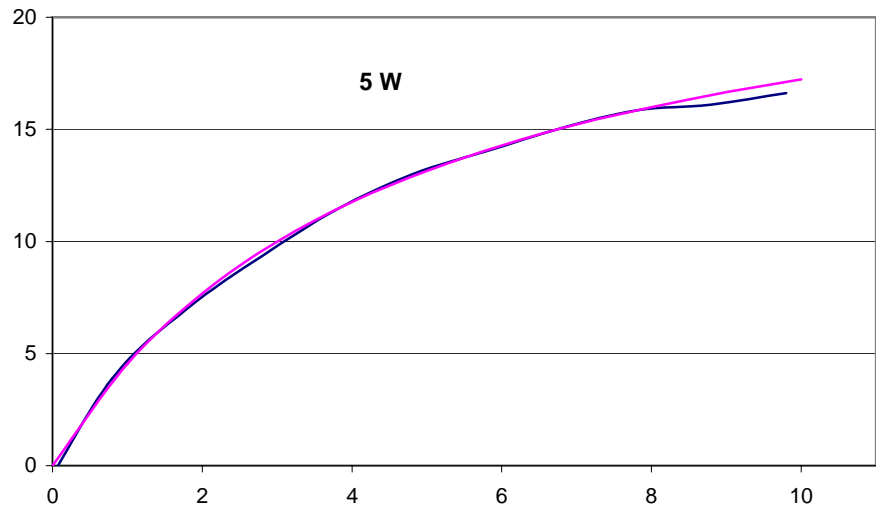


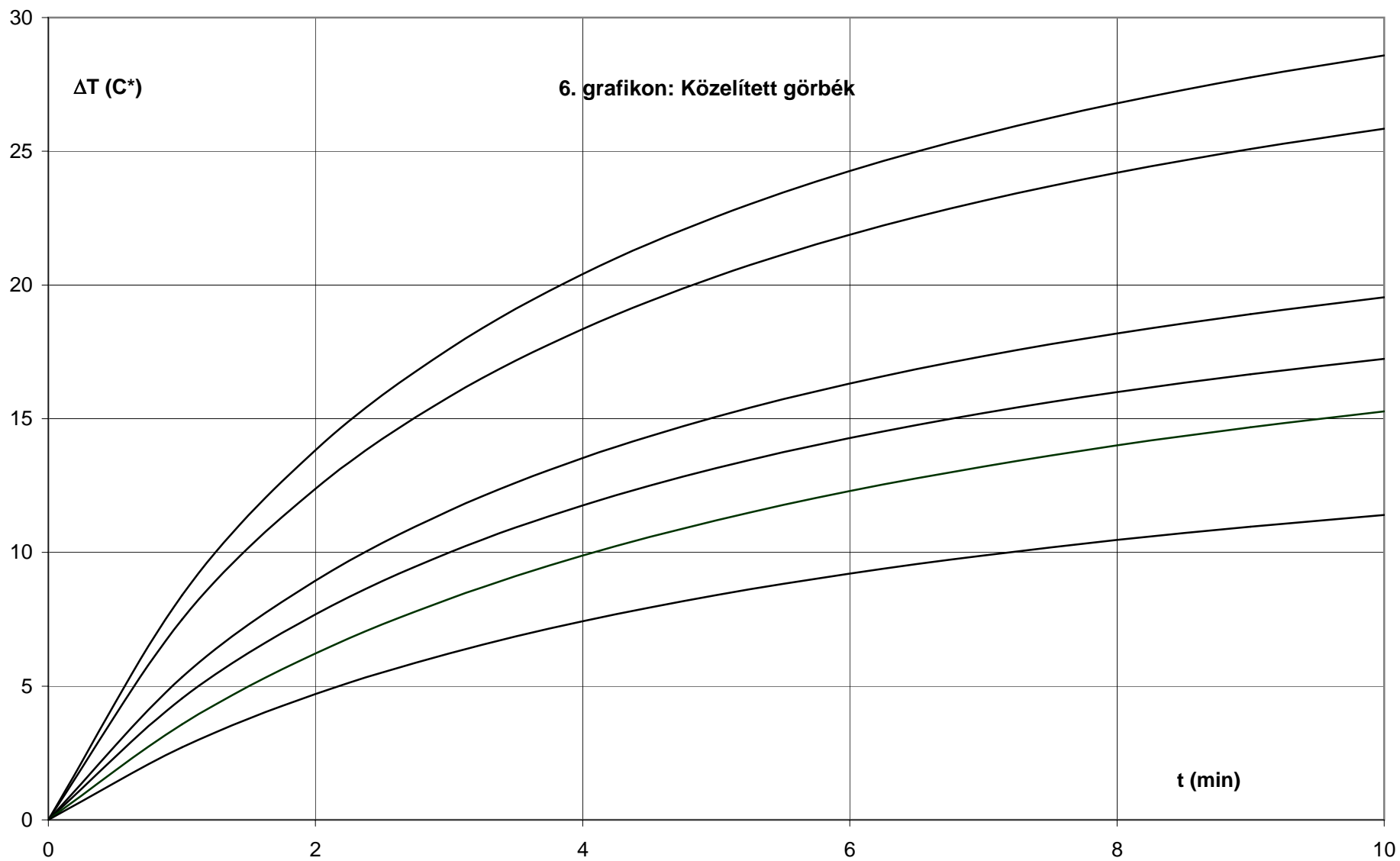


3. grafikon: minden mérés

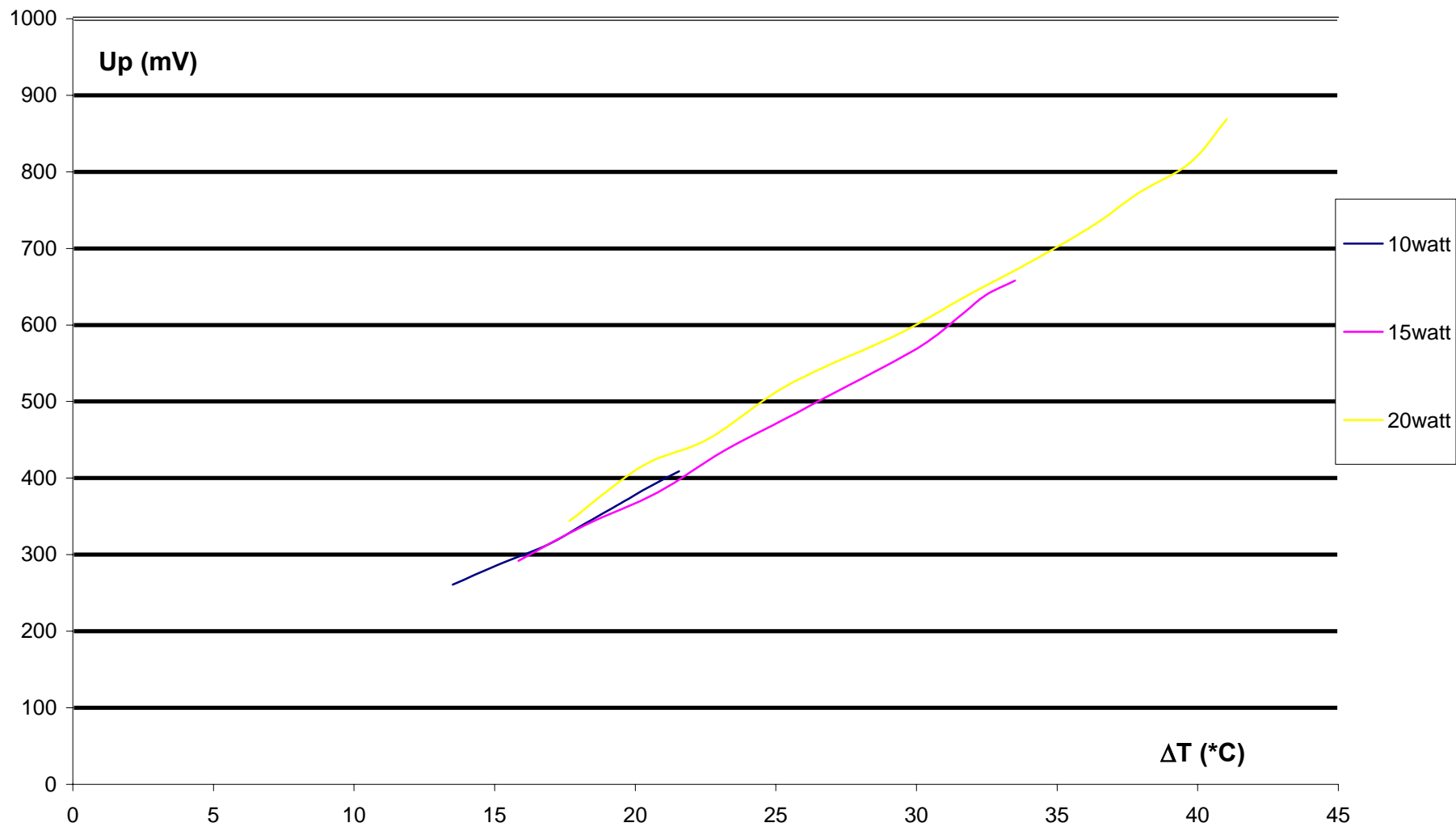




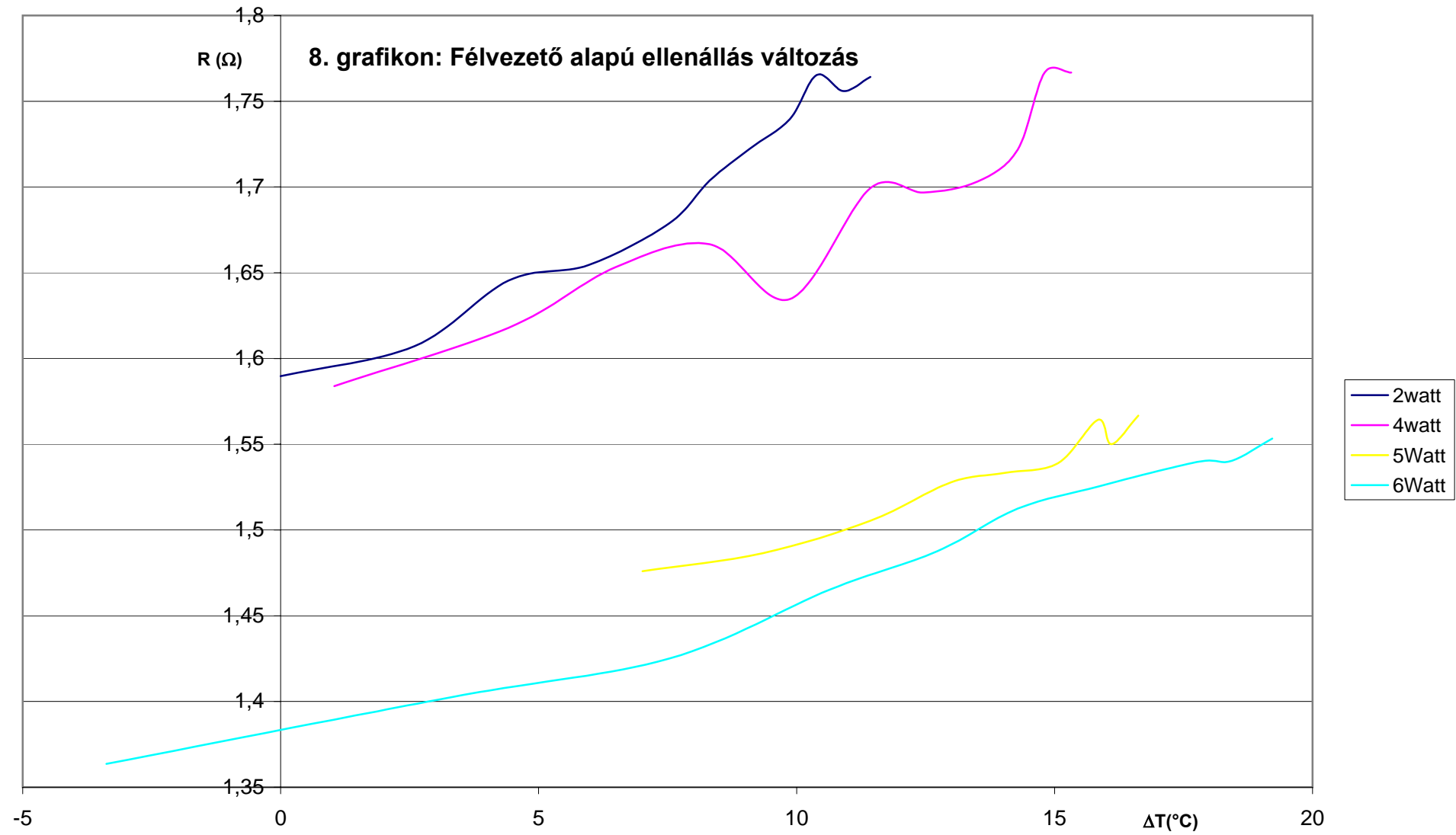




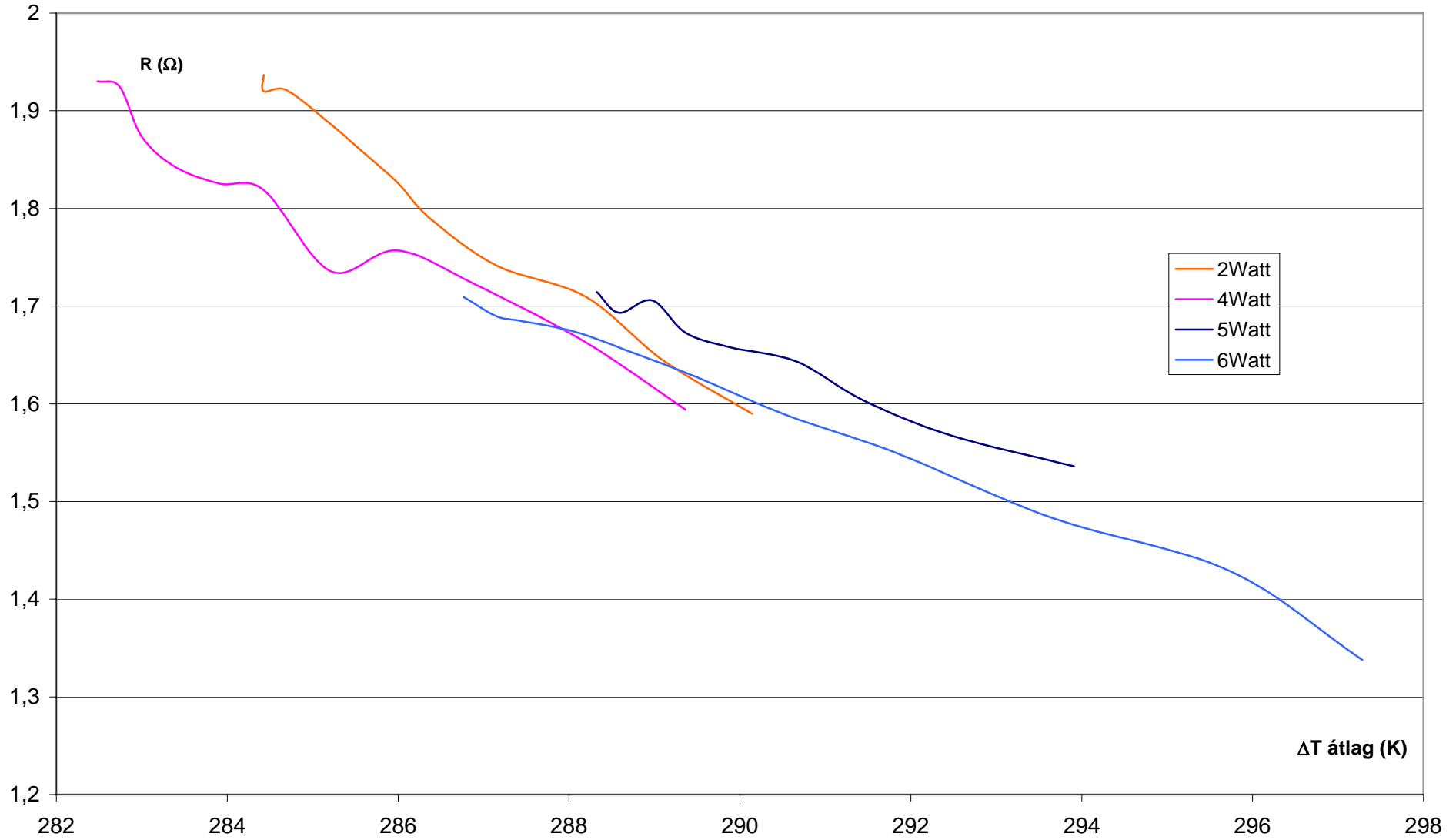
7. grafikon: U peltier a hőmérséklet függvényében

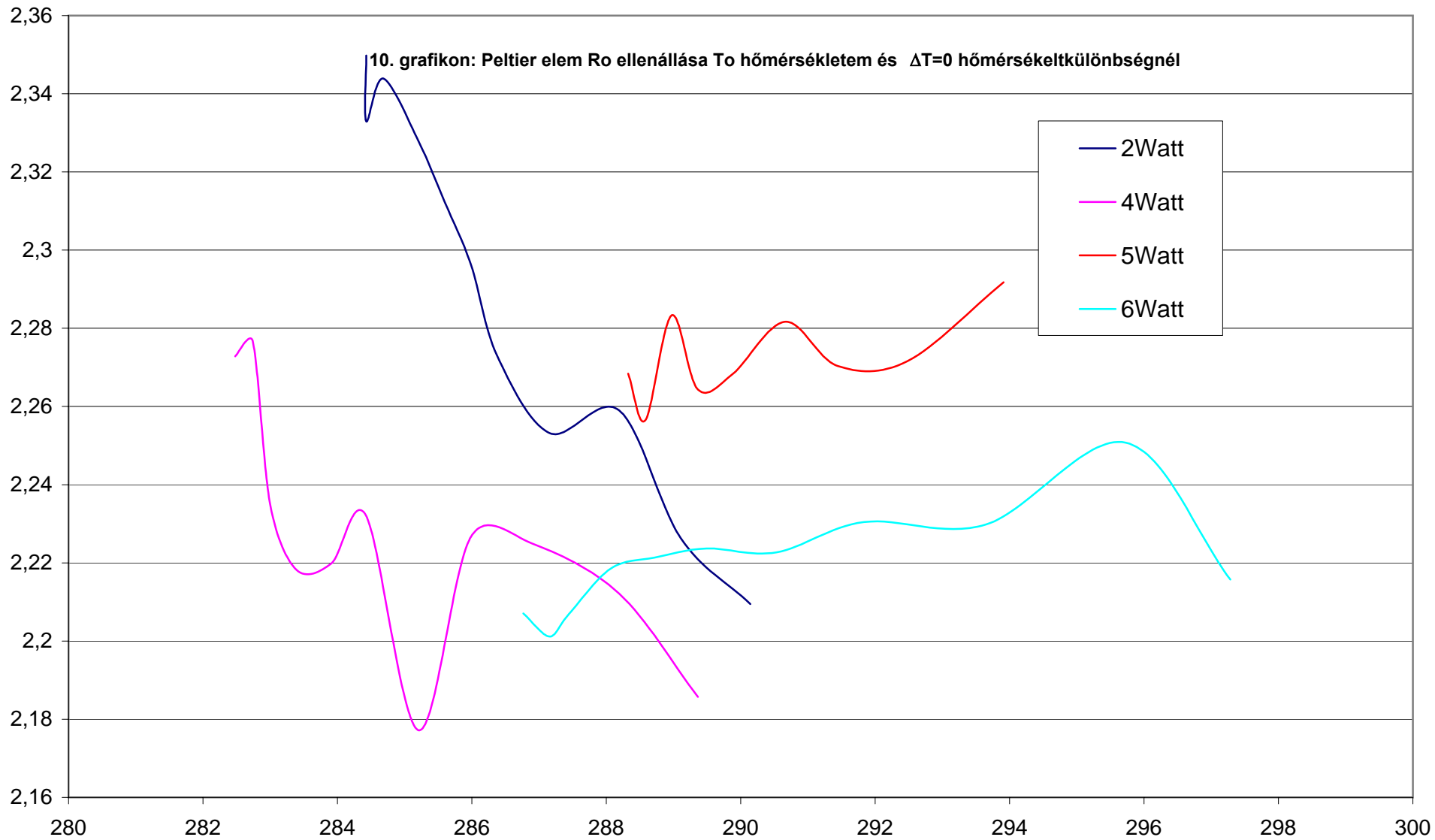


8. grafikon: Félvezető alapú ellenállás változás

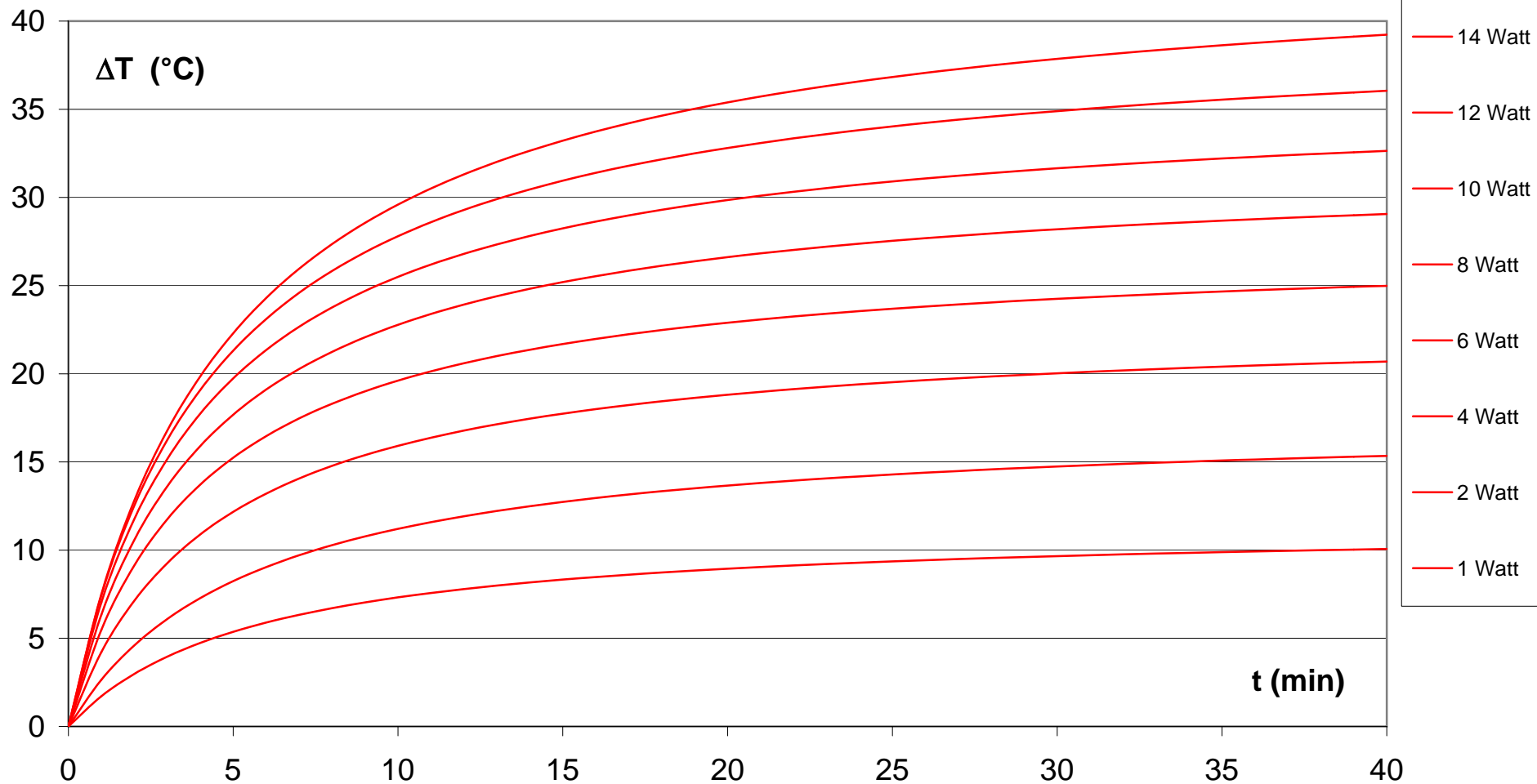


9. grafikon: Seebeck-effektusból származó ellenállásnövekedés

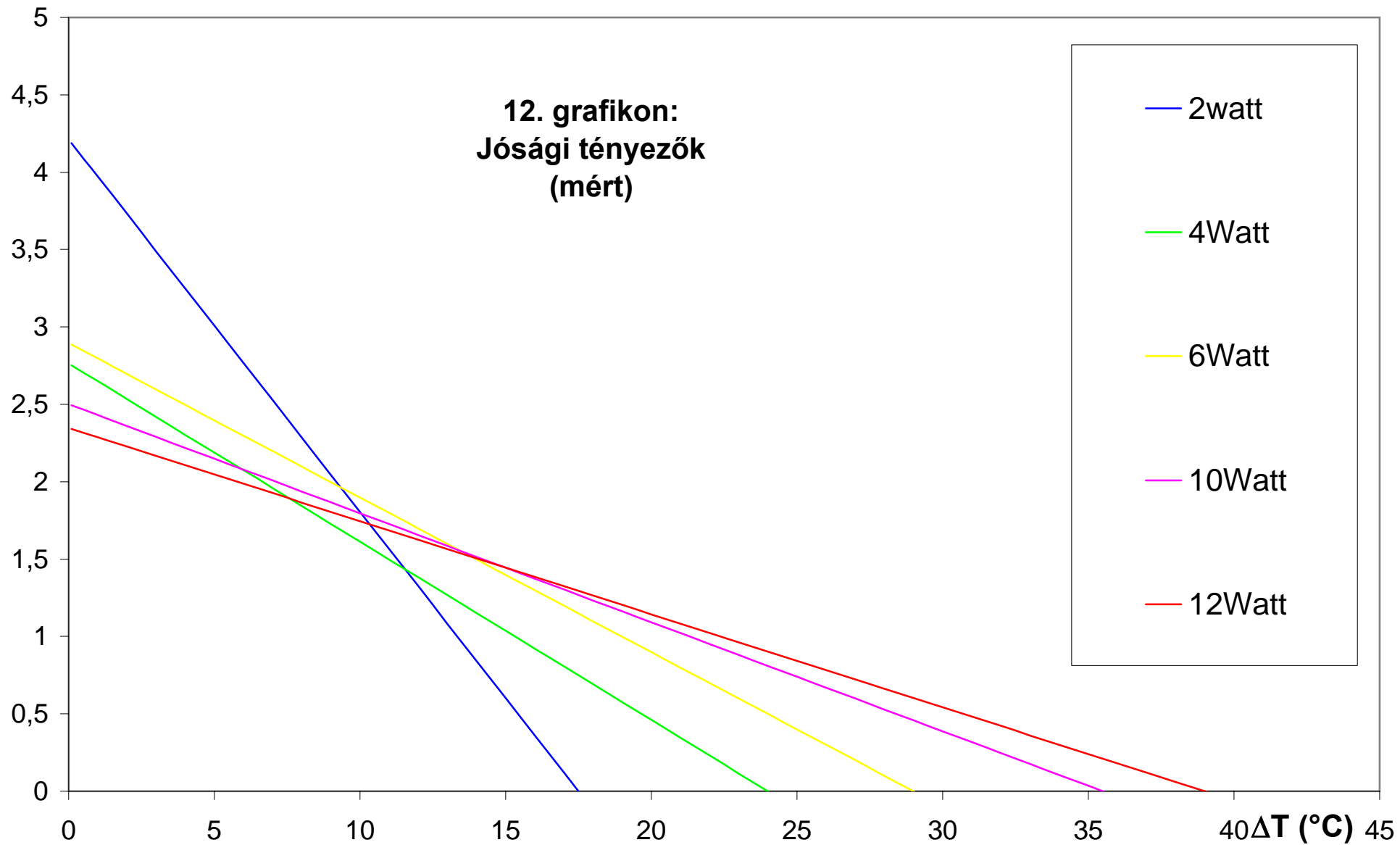




11. garfikon: Összes közelített görbe



**12. grafikon:
Jósági tényezők
(mért)**



**13. grafikon:
Jósági tényezők
szerkeztett**

