

Kísérletek az Edaq530 mérőrendszerrel

Makra Péter, Tandori Júlia

0.5 verzió, 2015. június 18.



Hungary-Serbia
IPA Cross-border Co-operation Programme

**Non-Standard Forms of Teaching
Mathematics and Physics**



The project is co-financed by the
European Union

Tartalomjegyzék

1. Az Edaq530 mérőrendszer	4
1.1. Bevezetés	4
1.2. A mérőkészlet tartalma	4
1.3. Használati útmutató	5
1.3.1. Bemenetek	5
1.3.2. A mérőprogram elindítása és alapfunkciói	7
1.3.3. Csatornafüggetlen beállítások	8
1.3.4. Csatornafüggő beállítások	8
1.3.5. Szintmetszés-detektálás	11
1.3.6. Skálázások, kalibráció	13
1.4. Szenzorok	15
1.4.1. Fotokapu	15
1.4.2. Beépített fotoérzékelő	15
1.4.3. Termisztor	16
1.4.4. Hall-szenzor	17
1.4.5. Nyomásszenzor	17
1.4.6. Fotoellenállás	18
2. Kísérletek	19
2.1. A nehézségi gyorsulás mérése ejtőlétrával	19
2.1.1. Feladatok	19
2.1.2. Háttér	20
2.1.3. Tanári segédlet	20
2.2. Matematikai inga vizsgálata	21
2.2.1. Feladatok	21
2.2.2. Háttér	22
2.2.3. Tanári segédlet	22
2.3. Mágneses mérések	23
2.3.1. Feladatok	23
2.4. Kísérletek nyomásérzékelővel	24
2.4.1. Feladatok	24
2.5. Hőmérsékleti egyensúly kialakulásának vizsgálata	25
2.5.1. Feladatok	25
2.6. Jég olvadáspontjának megváltoztatása só hozzáadásával	25
2.6.1. Feladatok	25
2.7. Pulzusszám-vizsgálatok	25
2.7.1. Feladatok	25
A. Műszaki adatok	27

B. Telepítés	29
B.1. Az USB-chip	29
B.2. A .NET-keretrendszer	29
B.3. A mérőprogram	29
Publikációk	30

1. fejezet

Az Edaq530 mérőrendszer

1.1. Bevezetés

Napjainkban aligha igényel hosszas érvelést, hogy a számítógép használata a természettudományos oktatásban mennyi új lehetőséget teremt addig nehezen szemléltethető jelenségek kísérletezésbe való bevonásával és a számítógép motiváló hatásával. A tanulókat kísérletezésre készítető oktatás szerepe is fölértékelődött az utóbbi években: a kutatásalapú tanítás (*enquiry-based learning*, vagy amerikai helyesírással *inquiry-based learning*, IBL) egyre inkább követendő iránnyá vált a hagyományos előadásszerű, a diákokat passzív befogadókként kezelő frontális oktatással szemben.

Ennek a tanítási módszernek a sikerességéhez szükség van modern, kézreálló, könnyen kezelhető kísérleti eszköztárra. Bár a taneszközugyártók számos kiváló megoldással szolgálnak, ezek nem föltétlenül a magyar iskolák pénztárcájához vannak szabva, és nem mindig nyújtják azt a rugalmasságot, amelyet egy kreatív pedagógus a saját egyéni ötleteinek a megvalósításához igényelne.

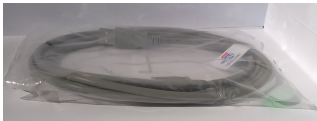
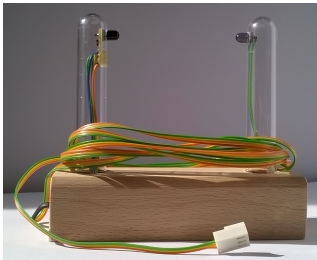
Az Edaq530 mérőrendszer erre válaszul született 2010. tavaszán egy tanári továbbképzés résztvevői számára. Az azóta eltelt időben igen népszerűvé vált a kísérletező fizikatanárok körében. Számos magyar iskolában használják, az SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnáziumában pedig több éve működik erre a mérőrendszerre alapozott laboratórium.

1.2. A mérőkészlet tartalma

A mérőkészlet fő eleme az Edaq530 adatgyűjtő egység. Ez gyakorlatilag egy háromcsatornás, 0–3,3 V tartományban működő, számítógéphez csatlakoztatható feszültségregisztráló eszköz. Az eszközben saját vezérlőprogram fut, amely értelmezi a számítógépen futó mérőprogram (Edaq530.exe) által meghatározott mérési beállításokat és amely begyűjti a mérési adatokat és továbbítja azokat a mérőprogramnak. Az adatgyűjtő egység műszaki adatai az **A.** függelékben találhatók. A mérőprogram telepítésének részleteit a **B.** függelék ismerteti.

A modern mérőeszközök közvetlenül csak feszültséget képesek mérni. Ez önmagában a kísérleteknek csak igen kis részét tenné elérhetővé, a megfelelő érzékelővel (szenzorral) viszont a legtöbb fizikai mennyiség feszültséggé vagy egyszerűen feszültséggé fordítható mennyiséggé (árammá vagy ellenállássá) alakítható, így mérhetővé válik. A számítógépen futó mérőprogram az átalakítás alapjául szolgáló arányosság ismeretében a közvetlenül mért feszültségből visszaszámolja a mérni kívánt mennyiséget, és már azt jeleníti meg a képernyőn. Éppen ebben rejlik a digitális mérés rugalmassága: csak a szenzort kell cserélni, és a mérőprogramot módosítani, ha más mennyiséget kívánunk mérni, maga a mérőeszköz marad ugyanaz.

Az Edaq530 sem kivétel. A mérőkészlet számos szenzort tartalmaz, amelyek segítségével sebesség, lengésidő, mágneses indukció, megvilágítás, nyomás és hőmérséklet mérhető. A készlet tartalmát az **1.1.** táblázat részletezi. Az egyes szenzorok beállítását és használatát a későbbiekben ismertetjük.

Kép	Tartozék	Darabszám
	Edaq530 háromcsatornás, USB-csatlakozású adatgyűjtő egység	1
	USB-kábel	1
	Fotokapu	2
	Termisztor	3
	Hall-szenzor	1
	Nyomásszenzor	1
	Fotoellenállás	1
	Hosszabbítókábel a szenzorokhoz	3

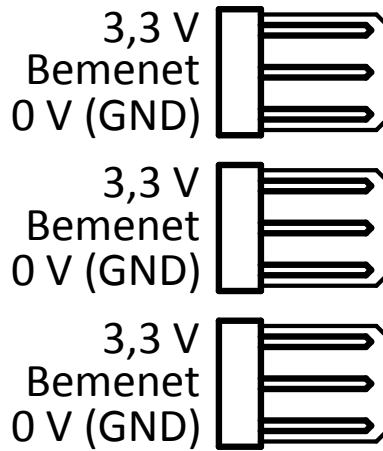
1.1. táblázat. A mérőkészlet tartalma

1.3. Használati útmutató

1.3.1. Bemenetek

A mérőeszköznek három bemenete van. Ezek tűkiosztása az 1.1 ábrán látható: a három tű egyike a föld, a másik a 3,3 V-os tápfeszültség, a harmadik pedig a bemenet, amelyen a jelet mérjük. A jel 0–3,3 V közé eső feszültségjel lehet. A készlethez mellékelt szenzorok csatlakozói ennek megfelelően vannak bekötve, ha viszont saját készítésű szenzort szeretnénk csatlakoztatni a készülékhez, ügyeljünk a helyes bekötésre. A megfelelő polaritás biztosítása érdekében a csatlakozók csak egyféle állásban dughatók be, ezt a tűk alatt található műanyag perem biztosítja. Csatlakoztatáskor figyeljünk erre, és ne erőltessük a csatlakozókat, ha azok rossz irányba állnak.

A három csatornára **A**, **B** és **C** betűjellel hivatkozunk. Ezek elrendezését az 1.2. ábra mutatja – az **A** csatorna a



1.1. ábra. A bemeneti csatlakozók

tápellátást jelző LED-del azonos oldalon található.



1.2. ábra. A csatornák sorrendje

Ezzel a bemeneti elrendezéssel feszültséggel közvetlenül mérhető. Számos szenzor (pl. a termisztor vagy a fotoellenállás) viszont nem ad feszültségjelet, hanem az ellenállása változik a mérendő fizikai mennyiség értékének függvényében. Ez esetben a szenzort feszültségosztóba kapcsoljuk egy ismert értékű R_m mérőellenállással, és a szenzoron eső U feszültséget mérjük (lásd 1.3. ábra).

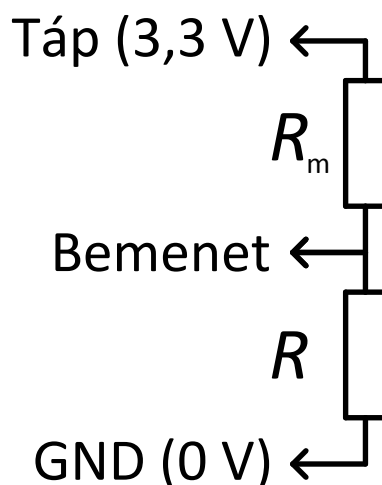
Ebből az U feszültségből az U_{ref} referenciafeszültség (esetünkben 3,3 V) és az R_m mérőellenállás ismeretében a szenzor R ellenállása meghatározható:

$$I = \frac{U_{ref}}{R + R_m} \quad (1.1)$$

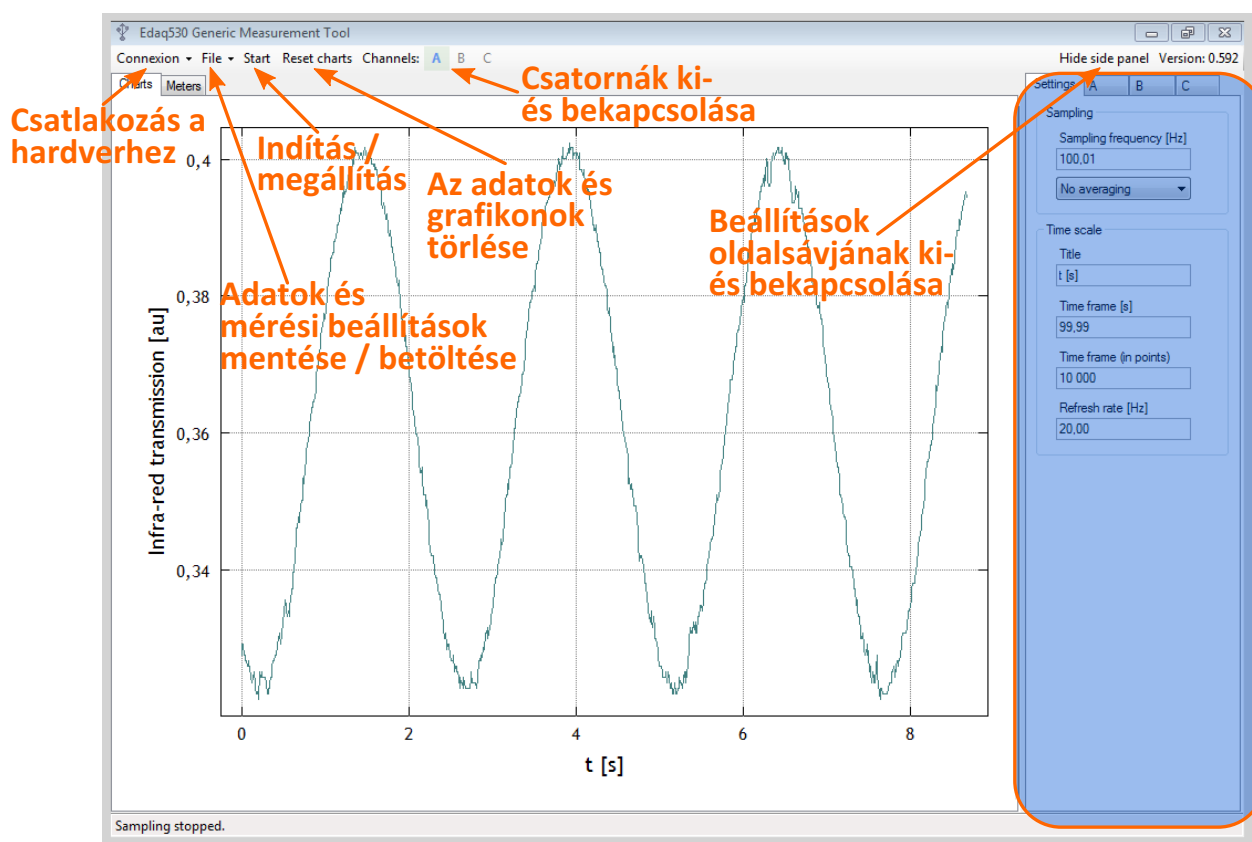
$$U = R \cdot I = U_{ref} \cdot \frac{R}{R + R_m} \quad (1.2)$$

$$R = R_m \cdot \frac{U/U_{ref}}{1 - U/U_{ref}} \quad (1.3)$$

Ezt az R_m mérőellenállást a mérőkészlet korábbi változataiban kívülről kellett bekötni a mérőáramkörbe, míg a jelenlegi változatban az adatgyűjtő eszköz tartalmazza, és a **Resistance output** (lásd 1.3.4. szakasz) szenzorillesztés kiválasztásával beköthető a mérőáramkörbe.



1.3. ábra. Ellenállás mérése feszültségosztóval



1.4. ábra. A főmenü

1.3.2. A mérőprogram elindítása és alapfunkciói

Miután telepítettük a szükséges összetevőket (lásd a **B.** függelék), indítsuk el a Edaq530.exe állományt. Figyelem: a program első indítása előtt várjuk meg, míg a Windows telepíti a megfelelő vezérlőket, különben hibaüzenetet kapunk. Várjuk meg, míg a mérőprogram állapotsávján megjelenik az adatgyűjtő eszköz verziószámát tartalmazó fölirat (pl. **EDAQ530C (c) 30/06/2010 www.noise.physx.u-szeged.hu**). Ha nem sikerült kapcsolatot teremteni, húzzuk ki az USB-kábel csatlakozóját az adatgyűjtő eszközéből, csatlakoztassuk újra, és a **Connexion** menüből (lásd

az 1.4. ábra tetejét) válasszuk a **Rescan devices** menüpontot, vagy használjuk a **CTRL + R** billentyűkombinációt. Ha az eszköz verziószáma megjelenik az állapotsávon, az eszköz mérésre kész. Ezután a menüsoron található **Start** gombbal indítható és állítható meg a mérés.

A **File** menü pontjai (1.12. ábra) a csatornák skálázásainak elmentésére (**Save sensor...**) és betöltésére (**Load sensor from file...**) szolgálnak. Ugyaninnen a teljes mérési beállítást is elmenthetjük (**Save measurement setup...**) és betölthetjük (**Load measurement setup from file...**) xml állományokon keresztül. A mérési adatok (pontosabban az utolsó 100 000 mérési adat csatornánként) is elmenthetők szöveges állományba a **Save measurement data...** menüpont segítségével. A **Reset charts** gombbal az összes csatorna grafikonja és szintmetszési táblázata törölhető menet közben, a program megállítása nélkül. A **Channels:** fölirat melletti gombokkal a csatornák betűjelére kattintva a csatornák jele egyesével elrejtethető vagy újra megjeleníthető. Egy csatorna akkor aktív, ha a betűjele zöld mezőben kék színű. A **Hide side panel** gombbal pedig a beállításokat tartalmazó jobb oldali sáv rejtethető el vagy jeleníthető meg.

Az ablak legnagyobb részét elfoglaló megjelenítőn választhatunk grafikonnézet (**Charts**) vagy számkijelzős nézet (**Meters**) között a megfelelő fölre kattintással. A megjelenített csatornákat a főmenüben választhatjuk ki az imént ismertetett módon, a csatornák betűjelére kattintva.

1.3.3. Csatornafüggetlen beállítások

Míg az egyes csatornák kapcsolási módja, skálázása és megjelenése csatornánként külön-külön állítható, a mintavételi frekvencia, az átlagolási szám, az x tengely fölirata és tulajdonságai, valamint a képernyőfrissítési frekvencia beállításai az összes csatornára egyformán érvényesek. Ezeket a jobb oldali sáv **Settings** fülén állíthatjuk be (1.5. ábra).

A **Sampling frequency [Hz]** mezőben a mintavételi frekvenciát állíthatjuk, ha az adatgyűjtő csatlakoztatva van. Ez az érték azt jellemzi, hogy másodpercenként hány adatot gyűjtünk egy-egy csatornán. A beállítás alkalmazása után az adatgyűjtő visszajelez, hogy ténylegesen mekkora mintavételi rátát sikerült beállítania, ezért a megjelenített érték eltérhet valamennyire attól, amit beírtunk. Alatta egy legördülő menüben beállíthatjuk, hogy az adatgyűjtő hány adatot átlagoljon a számítógépre való fölküldés előtt. A **Title** mezőben az x tengely föliratát állíthatjuk be. A **Time frame [s]** és a **Time frame (in points)** mezőkben beállíthatjuk, hogy milyen hosszú adatsort szeretnénk egyszerre látni a grafikonokon. A kettő egymáshoz van kapcsolva; a mintavételi frekvencia függvényében az egyik mező értékének beállítása a másik mező értékét is meghatározza az alábbiak szerint:

$$\text{Time frame (in points)} = [\text{Time frame [s]} \cdot \text{Sampling frequency [Hz]}], \quad (1.4)$$

ahol a [...] az egész számra kerekítés műveletét jelöli. A **Refresh rate [Hz]** mezőben azt állíthatjuk be, hogy másodpercenként hányszor frissítse a program a képernyőt. A magasabb érték folyamatosabb, kevésbé szaggatott megjelenítést eredményez, ha azonban számítógépünk teljesítménye alacsonyabb, érdemes kisebb értéket beállítani. A frissítési gyakoriság értéke 0,1 Hz és 100 Hz között lehet.

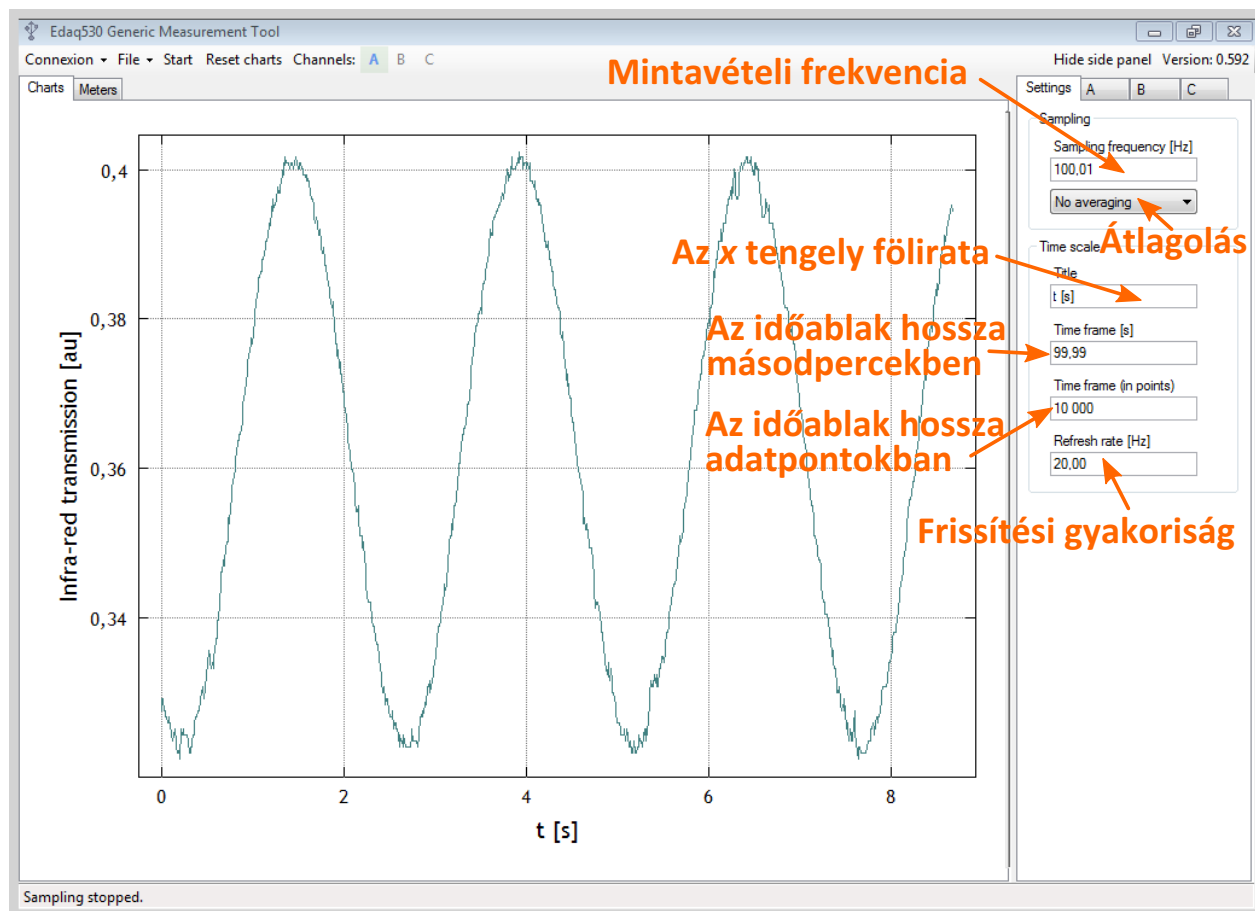
A mintavételi ráta és az átlagolás csak olyankor állítható, amikor nem fut mérés (mérés közben ezek a mezők ki is vannak szürkítve), míg a többi paraméter értéke mérés közben is megváltoztatható.

1.3.4. Csatornafüggő beállítások

Az egyes csatornákra külön-külön vonatkozó beállítások az adott csatorna betűjelének (**A**, **B** vagy **C**) megfelelő fülön érhetők el. A három csatorna beállításai nagyrészt hasonlóak, bár bizonyos beállítások csak egyes csatornákon érhetők el.

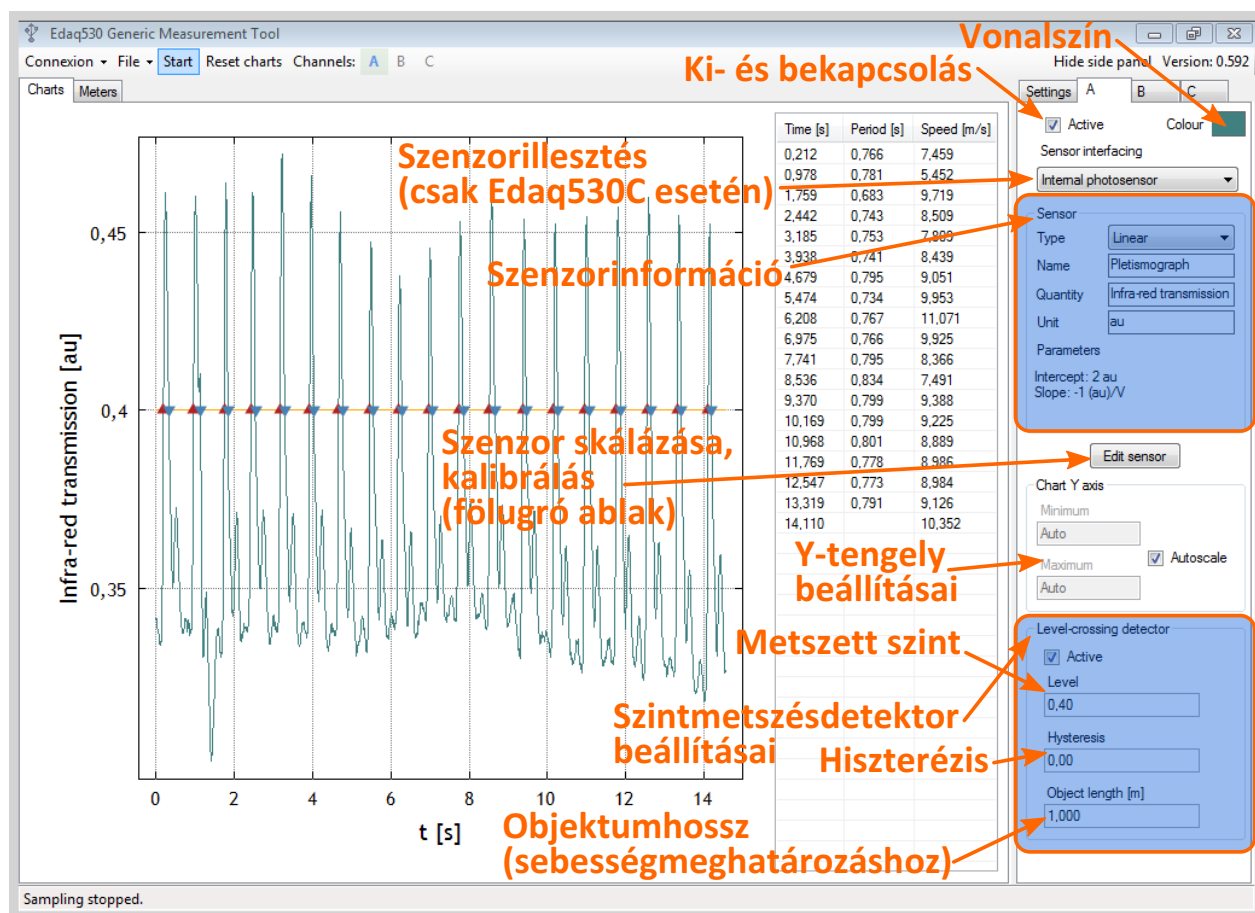
Az **Active** jelölőnégyzettel tudjuk láthatóvá tenni vagy elrejtetni az adott csatorna jelét a grafikonokon vagy a kijelzőn. A jelölőnégyzet használata egyenértékű a főmenü **Channels:** részében az adott csatorna aktívvá tételével. A **Colour** színválasztó gombbal kiválasztható, hogy a csatorna jele milyen színnel jelenjen meg a grafikonon és a számkijelzőn.

A **Sensor interfacing** legördülő menüvel a szenzorillesztést állíthatjuk be. Ez a menü csak az Edaq530C jelű változat esetén működik, és azt állítja be, hogy az adott csatorna jelét milyen módon méri a készülék. A beállítási lehetőségek a következők:



1.5. ábra. Csatornafüggetlen beállítások

- **Voltage output.** Minden csatornán elérhető. Ez a legegyszerűbb mérési elv: a bemeneti feszültségjelet az adatgyűjtő közvetlenül méri.
- **Resistance output.** Minden csatornán elérhető. Azokhoz a szenzorokhoz használjuk, amelyeknek az ellenállása változik a mérendő mennyiség függvényében (ilyen pl. a termisztor). Ennek a beállításnak a kiválasztásakor az adatgyűjtő a bemenetet egy feszültségosztóba kapcsolja egy referenciaellenállással, és a szenzoron eső feszültség méréséből a szenzor ellenállása, azon keresztül pedig a mérendő mennyiség értéke meghatározható. Előnye, hogy a feszültségosztó kapcsolást nem kell kívül megvalósítani, hanem az magában az adatgyűjtőben jön létre, és a szenzor így közvetlenül csatlakoztatható a bemenetre.
- **Internal photosensor.** Csak az **A** csatornán érhető el. Kiválasztásakor az **A** csatornán nem külső jelet mérünk, hanem az adatgyűjtő egységbe beépített belső fotoszenzor jelét.
- **Voltage difference.** Csak a **B** csatornán érhető el. Kiválasztásakor a **B** csatornán a **B** és **C** csatornák között differenciálisan mért jel, azaz az adott csatornák közti feszültségkülönbség jelenik meg. Differenciális kimenetű szenzorhoz (pl. termoelemhez) használjuk. A mérőkészlet nem tartalmaz olyan szenzort, amelyhez ez a beállítás lenne szükséges.
- **Wheatstone bridge.** Csak a **B** csatornán érhető el. Kiválasztásakor Wheatstone-hídkapcsolást létesítünk a **B** és **C** csatornák között, megnövelve a mérés érzékenységet. Egyes szenzorokhoz (pl. egyes nyomásmérőkhöz) használatos. A készletben nincs olyan szenzor, amihez ezt a beállítást kellene használnunk (a készletben található nyomásmérő feszültségkimenetű, a **Voltage output** beállítással használható).



1.6. ábra. Csatornafüggő beállítások

A **Sensor** blokkban a szenzor skálázását adhatjuk meg. A **Type** legördülő menüben három alaptípus közül választhatunk:

- **Linear**. Olyan szenzorok esetére, amelyeknél lineáris a kapcsolat a közvetlenül mért feszültség és a mérendő mennyiség között. Értelmszerűen ilyenkor két paramétert állíthatunk be: a meredekséget (**Slope**) és a tengelymetszetet (**Intercept**).
- **Thermistor**. A leggyakoribb termisztortípusokra, amelyeknél egy exponenciális összefüggéssel közelíthető a szenzor ellenállása és a hőmérséklet közötti kapcsolat. A két jellemző paraméter a szobahőmérsékleti ellenállás (**Characteristic resistance**) és a hőmérsékleti együttható (**B coefficient**).
- **Photoresistor**. Azokra a fotoellenállásokra, amelyek ellenállása exponenciális összefüggést követ. A három jellemző paraméter a karakterisztikus megvilágítás (**Characteristic intensity**), a hozzá tartozó karakterisztikus ellenállás (**Characteristic resistance**) és a kitevő (**Exponent**).

A **Name** mezőben nevet adhatunk a szenzornak; a **Quantity** mezőben a szenzor által mért mennyiség szimbólumát adhatjuk meg – ez fog megjelenni a grafikon y tengelyének felirataként, illetve a számkijelzőn is. A **Unit** mezőbe a mértékegységet írhatjuk be – ez megjelenik az y tengely föliratában és a számkijelzőn is. A szenzor skálázási paramétereit az **Edit sensor** gomb megnyomásakor főugró ablakban adhatjuk meg számszerűleg. Ha ezeket nem ismerjük (pl. a szenzor adatlapjából), magunk is végezhetünk kalibrációt ebben a főugró ablakban. Mind a **Sensor interfacing** menü, mind a szenzorblokk vezérlői csak akkor aktívak, ha nem fut mérés; mérés közben ki vannak szűrítve.

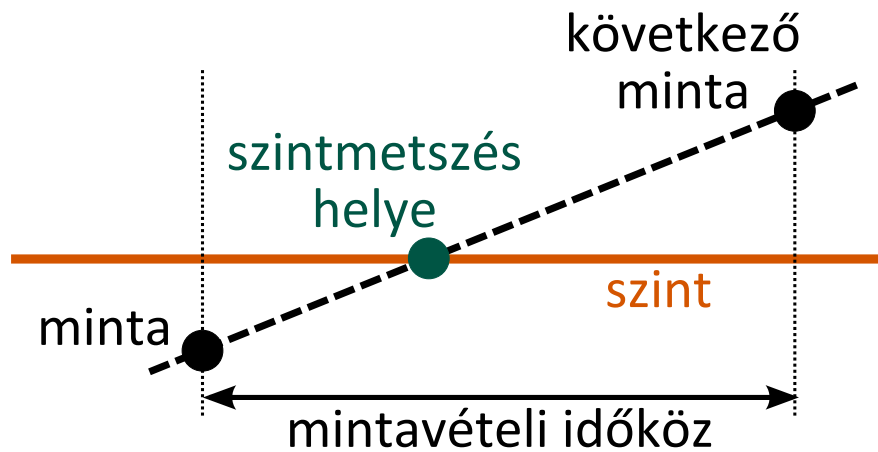
A **Chart Y axis** blokkban az egyes csatornák grafikonjának y tengelyét állíthatjuk be. Ha az **Autoscale** jelölőnégyzet be van pipálva, a **Minimum** és **Maximum** mezők inaktívak. Ha a pipát kiszedjük, ezek a mezők aktívvá válnak, és beírhatjuk a kívánt minimum- és maximumértékeket.

A **Level-crossing detector** blokkban a szintmetszés-detektor tulajdonságait állíthatjuk be. Az **Active** jelölőnégyzettel tudjuk a szintmetszés-detektálást bekapcsolni. Bekapcsolt állapotban a grafikonterület jobb oldalán megjelenik egy szintmetszési táblázat (lásd az 1.10. ábrán). A **Level** mezőben a metszésvizsgálatra kijelölt jelszintet, a **Hysteresis** mezőben a zaj okozta szintmetszések kiküszöbölésére szolgáló hiszterézis tartomány szélességét, az **Object length [m]** mezőjében a fotokapuval végzett mérések esetén a fényútba kerülő test szélességét adhatjuk meg. A szintmetszés-detektálás elvét és a főnti paraméterek értelmezését a következő szakaszban ismertetjük.

1.3.5. Szintmetszés-detektálás

Számos esetben lehet szükséges egy esemény bekövetkeztének időpontját megállapítani, és a következő hasonló esemény bekövetkeztéig eltelt időt (pl. periódusidőt) mérni. Ennek legegyszerűbb módja, ha beállítunk egy szintet, és azt az időpillanatot detektáljuk, amikor a jel ezen szint fölé emelkedik, vagy alá csökken. Utóbbiak szerint fölfelé és lefelé irányuló szintmetszéseket különíthetünk el, aminek segítségével sebességmérést is végezhetünk, ha egy fotokapu jelen végzünk szintmetszés-detektálást. A fotokapu jele 0 V közelében van, ha a fény útját nem zárja el semmi, és a tápfeszültség közelébe emelkedik, ha egy tárgy bekerül a fényútba. Ennek megfelelően azt az időpillanatot, amikor a tárgy a fotokapu „látóterébe” ért, fölfelé irányuló szintmetszés jelzi, míg a lefelé irányuló szintmetszés annak felel meg, amikor a tárgy másik vége is elhagyta a fényutat. Ha a szomszédos fölfelé ($t_{fö}$) és lefelé metszés időpillanatának (t_{le}) különbségével elosztjuk a tárgy L szélességét, a tárgy $\bar{v}$ átlagsebességét kapjuk a fotokapu előtt elhaladás időtartamára:

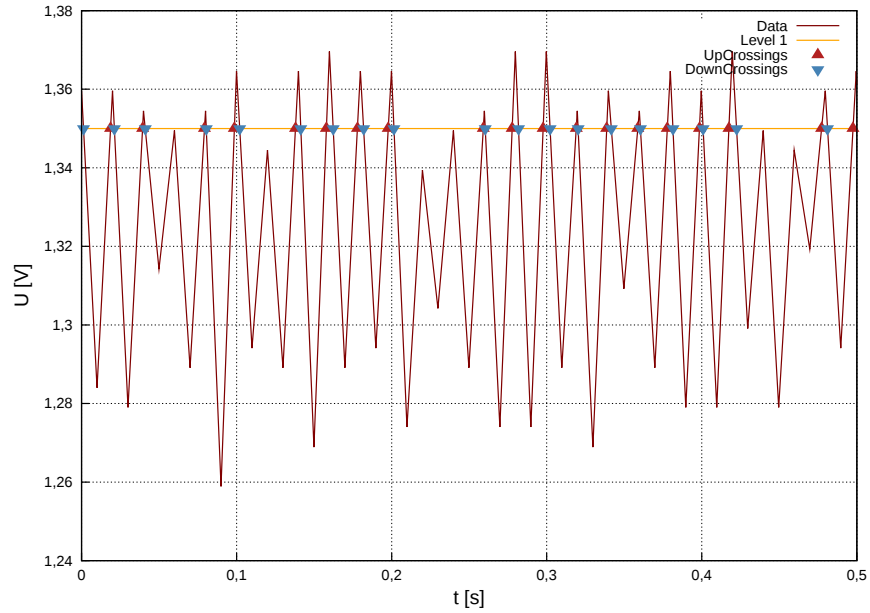
$$\bar{v} = \frac{L}{t_{le} - t_{fö}}. \quad (1.5)$$



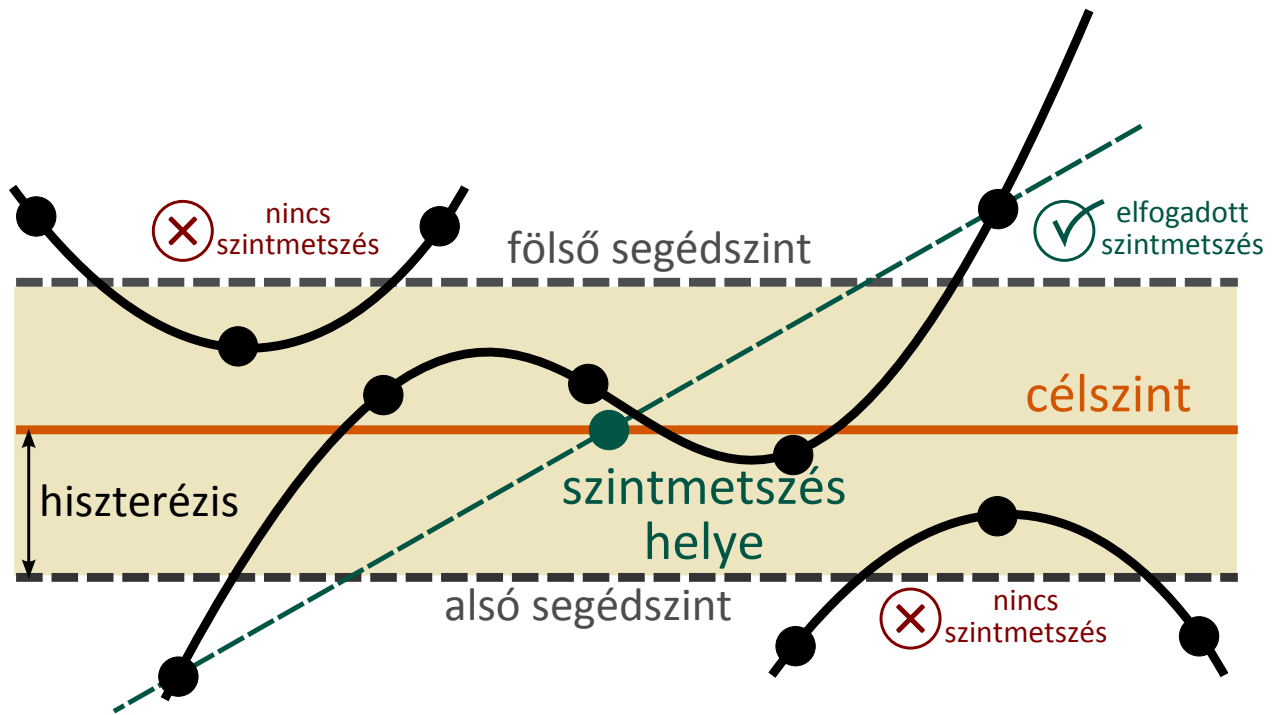
1.7. ábra. Egyszerű szintmetszési séma

Az 1.7. ábrán a szintmetszési időpont meghatározásának elvét láthatjuk. Mivel közvetlenül csak azt tudjuk meghatározni, melyik volt az az időpillanat, amikor még a célszint alatt volt a jel, és melyik az, amikor már a célszint fölé emelkedett. A szintmetszési időpont meghatározásának pontosságát javíthatjuk azzal, ha lineáris interpolációt alkalmazunk.

A mérendő jel zaja hamis szintmetszéseket eredményezhet (1.8. ábra). Ennek elkerülésére az előbbi egyszerű sémát hiszterézissel egészítettük ki. A hiszterézises sémában csak akkor veszünk egy eseményt szintmetszésnek, ha egy jel a hiszterézis tartományon kívülről beér a hiszterézis tartományba, és anélkül jut át a hiszterézis tartomány átteljes oldalára, hogy közben a tartományt elhagyta volna. A szintmetszés időpontját a hiszterézis tartományba való belépés előtti és a hiszterézis tartomány elhagyása utáni adatokból határozzuk meg szintén lineáris interpolációval. Az eljárás elvét az 1.9. ábra szemlélteti.



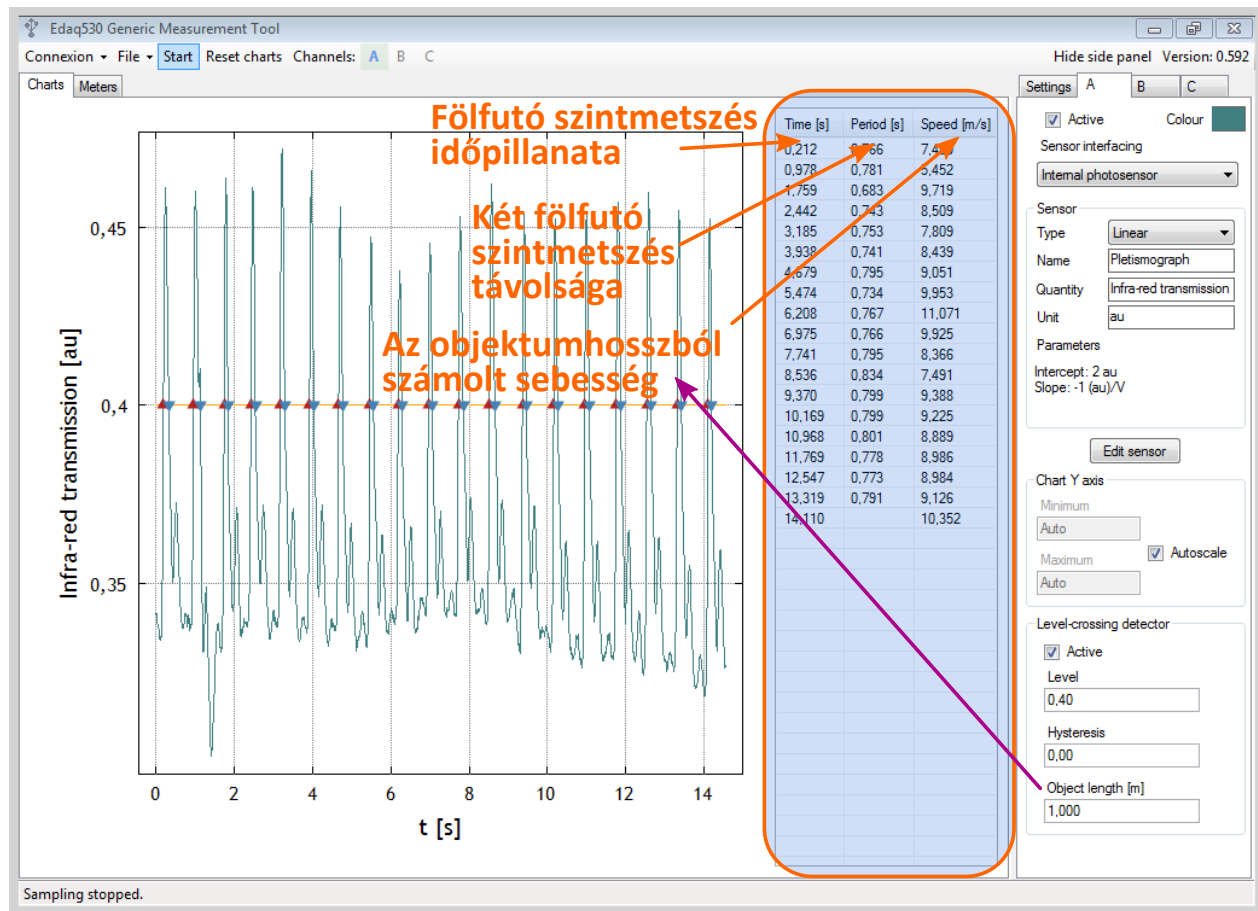
1.8. ábra. Zaj hatása a szintmetszésekre



1.9. ábra. Hiszterézises szintmetszési séma

Ha egy adott csatornára engedélyeztük a szintmetszés-detektálást, a grafikon jobb oldalán megjelenik egy szintmetszési tábla (lásd az 1.10. ábrán). A tábla első oszlopa (**Time [s]**) a fölfelé történő szintmetszések időpillanatait, a középső oszlop (**Period [s]**) a következő fölfelé irányuló szintmetszésig eltelt időt, a harmadik oszlop (**Speed [m/s]**) az objektumhosszból (**Object length [m]**) és az egymást követő fölfelé és lefelé metszés közti időből számolt sebességet tartalmazza az (1.5) egyenlet szerint. A jobb klikkre fölbukkanó menüben a **Copy content to clipboard** paranccsal a vágólapra másolhatjuk a szintmetszési tábla tartalmát (utána **CTRL + V**-vel illeszthetjük be pl. Ex-

celbe), míg a **Clear** törli a szintmetszési táblát anélkül, hogy az adott csatornához tartozó grafikont törölné.



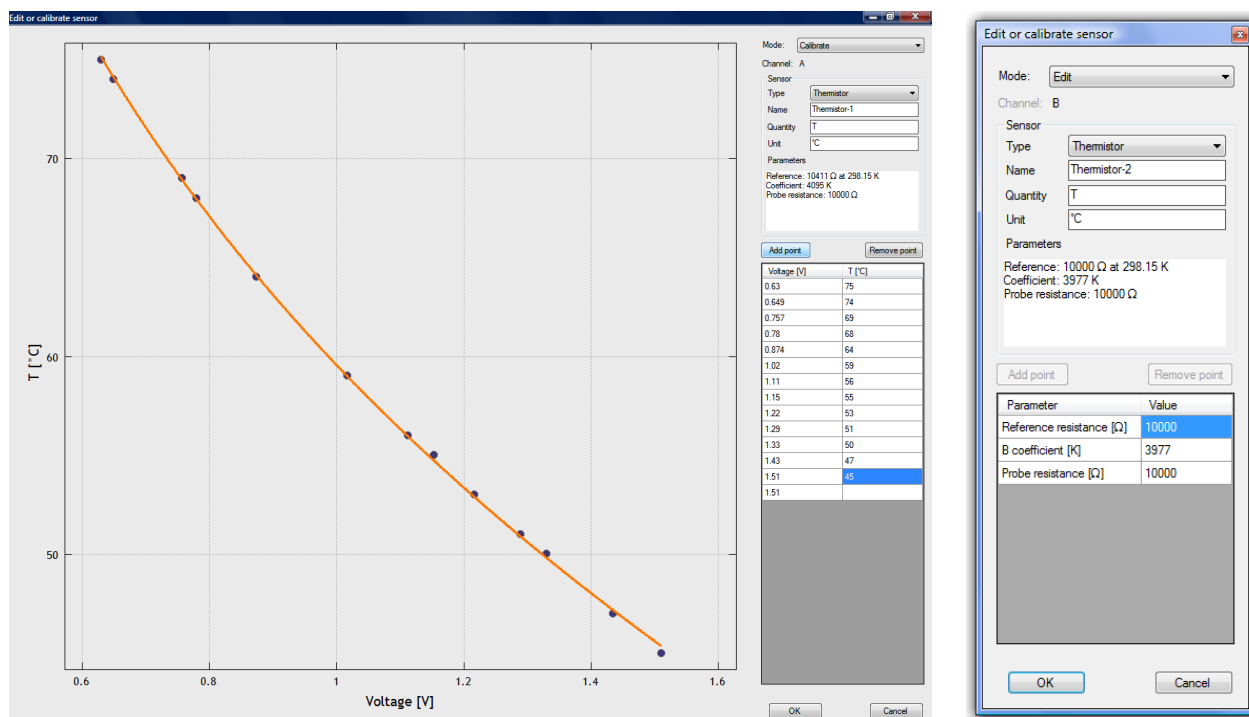
1.10. ábra. A szintmetszési tábla

1.3.6. Skálázások, kalibráció

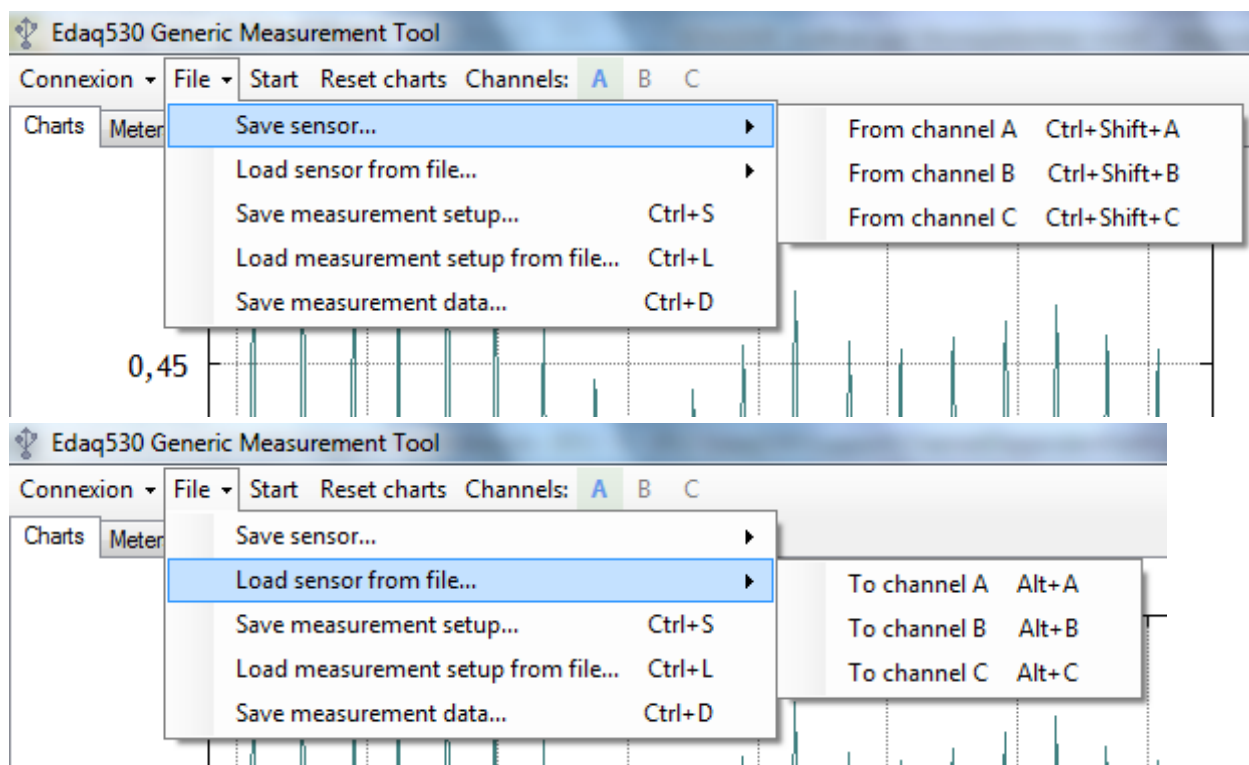
Mint a fentiekben említettük, az önmagában csak feszültségrögzítésre alkalmas adatgyűjtő eszköz azáltal válik képessé tetszőleges fizikai mennyiség mérésére, hogy a megfelelő szenzort csatlakoztatjuk hozzá. Ahhoz, hogy ki tudjuk számolni az adott feszültségnél a mérni kívánt fizikai mennyiség értékét, ismernünk kell a kettő közti függvénykapcsolatot és a jellemző paraméterek értékét. Mint az előzőekben ismertettük, az Edaq530 háromféle szenzorskálázást ismer: lineáris (**Linear**) termisztor- (**Thermistor**) és fotoellenállás-skálázást (**Photoresistor**). A megfelelő skálázást a **Sensor** blokk **Type** legördülő menüjében választhatjuk ki. A kiválasztott skálázás paramétereit az **Edit sensor** gomb megnyomására fölugró ablakban állíthatjuk be, és ugyanitt végezhetünk kalibrálást is (1.11. ábra).

A kalibrációs ablaknak kétféle üzemmódja van: közvetlen paraméterállításra szolgáló mód (**Edit mode**) és kalibrációs mód (**Calibration mode**). Ezek közül a fölugró ablak tetején található, **Mode** fölíratú menüben választhatunk. Mindkét módban elérhetők a fő mérőablakban is megtalálható paraméterek, de alattuk található egy táblázat, amely a paraméterek részletesebb beállítására ad lehetőséget. **Edit mode** esetén az adott skálázásra jellemző paraméterek értékét írhatjuk be ide, ha ismerjük őket (pl. a szenzor adatlapjából), míg **Calibration mode** esetén a kalibrációhoz szükséges mért feszültség-mérendő mennyiség független eszközzel mért értéke adatpárokat rögzíthetjük itt. A táblázat első oszlopába nem írhatunk, csak a másodikba.

A kalibráció során mért adatokból szeretnénk meghatározni a skálázásra jellemző paramétereket úgy, hogy vesszünk egy független mérőeszközt (pl. termisztor esetén egy higanyos hőmérőt) és az ez által mért értékeket párosítjuk az eszköz által az adott pillanatban mért feszültségértékkel. Utóbbit az eszköz automatikusan beírja a táblázat

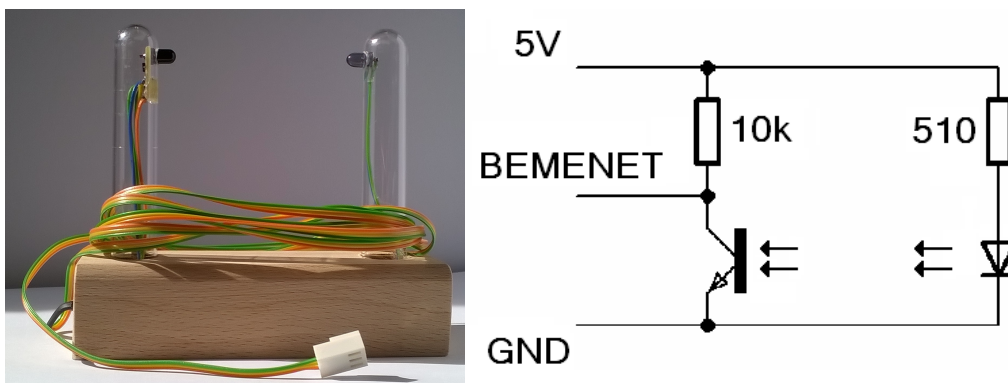


1.11. ábra. A kalibrációs ablak



1.12. ábra. Skálázások és mérési beállítások mentése

első oszlopába, előbbit pedig nekünk kell beírunk. Egy-egy ilyen adatpárt az **Add point** gombbal adhatunk hozzá a kalibrációs adatsorhoz. Ha ebben az adatsorban legalább két adatpár van, az ablak bal oldalán kirajzolódik egy



1.13. ábra. A fotokapu (bal oldalt) és bekötése (jobb oldalt)

kalibrációs görbe a mért adatpontokkal és a rájuk az elméleti összefüggés legjobb illeszkedést adó paramétereivel illesztett elméleti görbével. Ezt minden egyes új adatpár hozzáadásakor frissíti a program. Ha kilógó értéket tapasztalunk, visszamehetünk az adott sorra és a **Remove point** gomb megnyomásával távolíthatjuk el a hibás adatpárt. Az **OK** gomb megnyomása után a szenzor skálázási paramétere az illesztés alapján talált paraméterek lesznek. A program legkisebb négyzetek módszerével illeszt egyenest a kalibrációs adatsorra: ez lineáris skálázás esetén magától értetődő, a termisztor és a fotoellenállás skálázása pedig exponenciális, így egy logaritmusfüggvénnyel linearizálható és egyenes illeszthető rá.

Mint említettük, az egyes csatornák szenzorbeállításai elmenthetők és beimportálhatók a **File** menü megfelelő pontjaiban (lásd 1.12. ábra). A teljes mérési beállítás elmentésére és beimportálására is van lehetőség ugyanebben a menüben. Ekkor nemcsak az egyes csatornák szenzorskálázásai, de az összes egyéb beállítás (a látható tartomány szélessége, a kiválasztott csatornák, a mintavételi frekvencia, a frissítési ráta, stb.) is elmentődik.

1.4. Szenzorok

1.4.1. Fotokapu

A fotokapu egy fotodiódából és egy vele pontosan szemben rögzített fototranzisztorból áll (1.13. ábra). A fototranzisztor emitterét a földre kötjük. Amikor nem állja semmi a fény útját, a fototranzisztor kinyit, és a bemenetet lehúzza 0V-ra. Ha azonban valami a fényútba kerül, a fototranzisztor zár, és a bemenet fölmegy a tápfeszültségre. Ily módon a fotokapu érzékeli képes, ha valami áthalad előtte. Szintmetszés-detektorral kombinálva kinematikai kísérletekhez használható: sebességmérésre, inga lengésidejének meghatározására alkalmas.

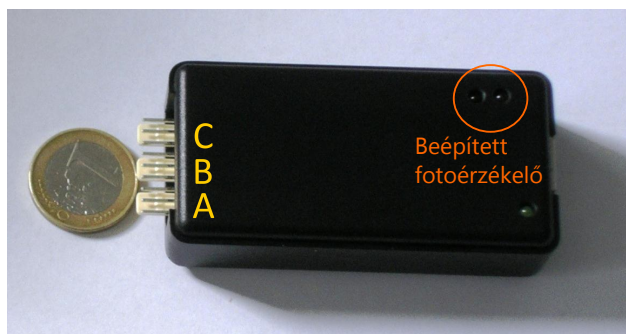
A fotokapu használatához szükséges beállítások a mérőprogramban:

- Csatorna: bármelyik
- Szenzorillesztés (**Sensor interfacing**): feszültségkimenetű (**Voltage output**)
- Skálázás (**Sensor » Type**): lineáris (**Linear**)
- Skálázás paramétere: tetszőlegesek (csak az időtengely számít)

1.4.2. Beépített fotoérzékelő

Az Edaq530 beépített fotoérzékelőt is tartalmaz (1.14. ábra). Ezt elsősorban pulzuszámításra használjuk. Az ujjbegyünket a dióda-tranzisztor párja helyezve az infravörös dióda fénye az ujjbegyből részben visszaverődik, részben elnyelődik. Az elnyelődés mértéke az ujjbegyben található hemoglobinkoncentráció függvénye. Mivel utóbbi a pulzussal együtt változik, a grafikonon látható jel a pulzushullám nyomásváltozásait tükrözi. Szintmetszés-detektálással kombinálva meghatározható a pulzuscúcsok között eltelt idő, abból pedig a pulzus.

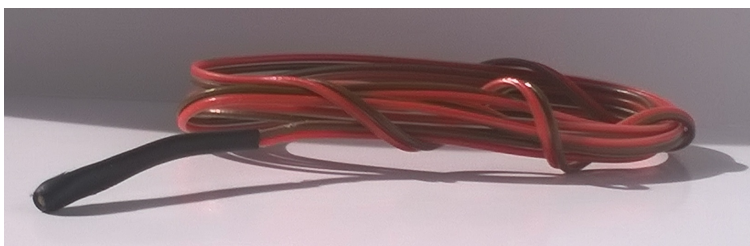
A fotoérzékelő használatához szükséges beállítások a mérőprogramban:



1.14. ábra. A beépített fotoérzékelő

- Csatorna: csak **A**
- Szenzorillesztés (**Sensor interfacing**): beépített fotoérzékelő (**Internal photosensor**)
- Skálázás (**Sensor » Type**): lineáris (**Linear**)
- Skálázás paraméterei: tetszőlegesek (csak az időtengely hiteles)

1.4.3. Termisztor



1.15. ábra. Termisztor

A termisztor (1.15. ábra) egy olyan szenzor, amelynek az ellenállása erősen hőmérsékletfüggő. Az ellenállást az 1.3.1. szakaszban ismertetett módon mérhetjük meg. Az ellenállás hőmérsékletfüggése a következő összefüggéssel közelíthető:

$$R(T) = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)} \quad (1.6)$$

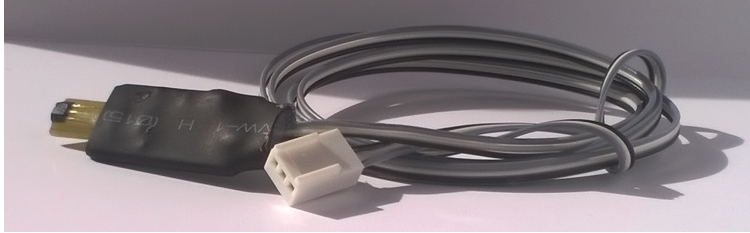
$$T(R) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)} \quad (1.7)$$

A mérőkészletben alkalmazott termisztorok esetén a paraméterek a következők: $T_0 = 25^\circ\text{C} \Rightarrow R_0 = 10\text{k}\Omega \pm 5\%$, $B = 3977\text{ K}$.

A termisztor használatához szükséges beállítások a mérőprogramban:

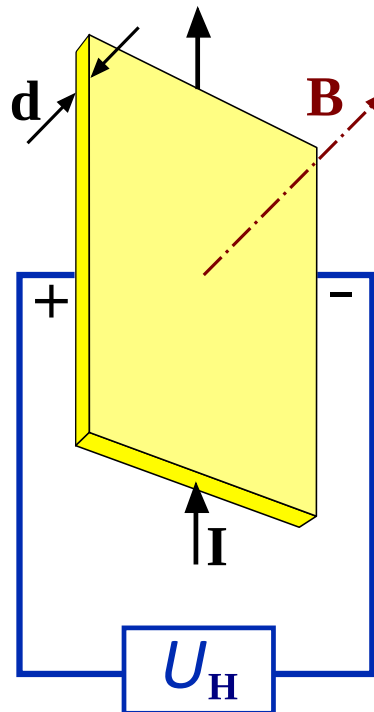
- Csatorna: bármelyik
- Szenzorillesztés (**Sensor interfacing**): ellenálláskimenetű (**Resistance output**)
- Skálázás (**Sensor » Type**): termisztor- (**Thermistor**)
- Skálázás paraméterei:
 - **Characteristic resistance** = $10000\ \Omega$
 - **B Coefficient** = 3977 K

1.4.4. Hall-szenzor



1.16. ábra. Hall-szenzor

A Hall-szenzor (1.16. ábra) működése a Hall-effektuson (1.17. ábra) alapul. Ennek lényege, hogy egy áramjárta fémet vagy félvezetőt a síkjára merőleges mágneses térbe helyezünk, akkor a mozgó töltésekre mágneses eltérítő erő hat, amely töltésszérválasztást eredményez a vezető síkjában. Egyensúlyban a töltésszérválasztás okozta feszültség a vezető két áttellenes pontja közt a mágneses indukcióval arányos, így annak mérésére felhasználható.



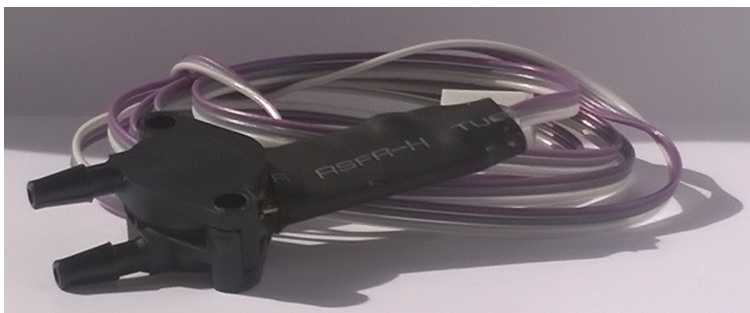
1.17. ábra. A Hall-effektus

A Hall-szenzor használatához szükséges beállítások a mérőprogramban:

- Csatorna: bármelyik
- Szenzorillesztés (Sensor interfacing): feszültségkimenetű (Voltage output)
- Skálázás (Sensor » Type): lineáris (Linear)
- Skálázás paraméterei: kalibrációval meghatározandók

1.4.5. Nyomás-szenzor

A nyomásérzékelők (1.18. ábra) elve sokféle lehet: piezorezisztív, kapacitív, induktív, piezoelektromos vagy optikai. Az alapötlet, hogy egy membrán deformációja a nyomáskülönbséggel arányos. A nyomásérzékelők abszolút vagy



1.18. ábra. Nyomásérzékelő

relatív nyomásmérők lehetnek – a mérőkészlethez relatív nyomásmérő tartozik.

A nyomásszenzor használatához szükséges beállítások a mérőprogramban:

- Csatorna: bármelyik
- Szenzorillesztés (**Sensor interfacing**): feszültségkimenetű (**Voltage output**)
- Skálázás (**Sensor » Type**): lineáris (**Linear**)
- Skálázás paraméterei: kalibrációval meghatározandók

1.4.6. Fotoellenállás



1.19. ábra. Fotoellenállás

A fotoellenállás olyan szenzor, amelynek az ellenállása változik a megvilágítással. Az ellenállást az 1.3.1. szakaszban ismertetett módon mérhetjük meg. A termisztorhoz hasonlóan a mérőkészletben található fotoellenállás karakterisztikáját is exponenciális kifejezéssel közelítjük:

$$I = I_0 \left(\frac{R}{R_0} \right)^A, \quad (1.8)$$

ahol R az adott I megvilágításon, míg R_0 a referenciaként szolgáló I_0 megvilágításon mérhető ellenállás.

A fotoellenállás használatához szükséges beállítások a mérőprogramban:

- Csatorna: bármelyik
- Szenzorillesztés (**Sensor interfacing**): ellenálláskimenetű (**Resistance output**)
- Skálázás (**Sensor » Type**): fotoellenállás- (**Photoresistor**)
- Skálázás paraméterei:
 - **Exponent** = -0,65
 - **Characteristic intensity** = 10,76lux
 - **Characteristic resistance** = 17kΩ

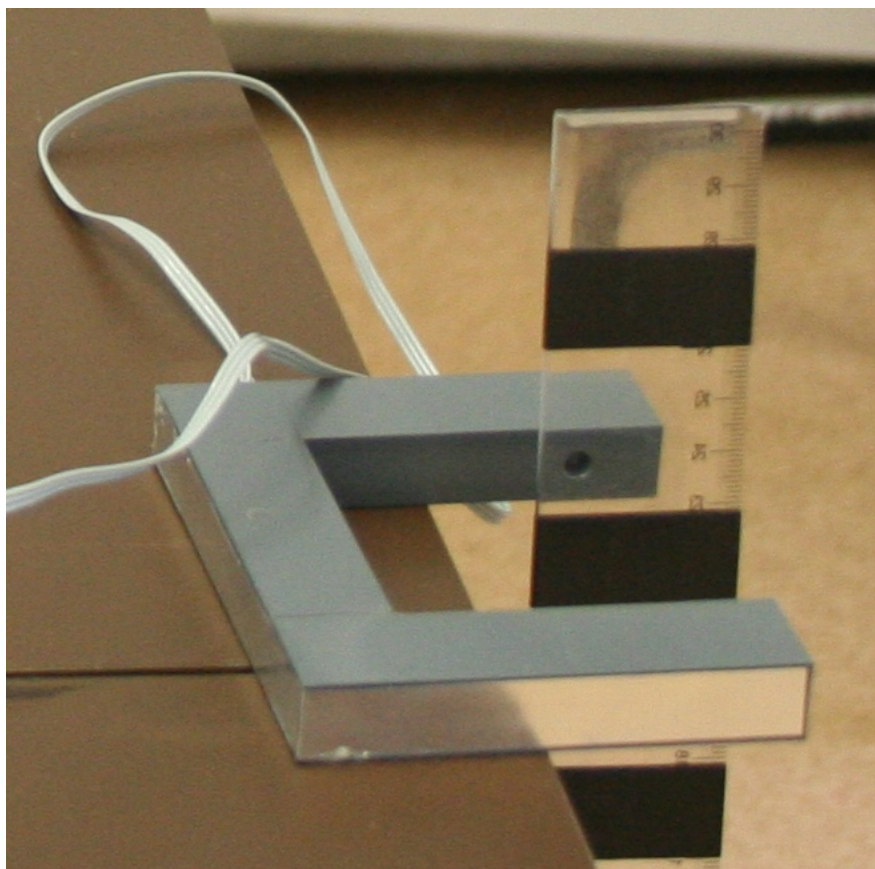
2. fejezet

Kísérletek

2.1. A nehézségi gyorsulás mérése ejtőlétrával

2.1.1. Feladatok

Célkitűzés ♦ A nehézségi gyorsulás megmérése a rendelkezésre álló eszközökkel. Az egyenletesen gyorsuló mozgás út-idő és sebesség-idő grafikonjainak megismerése mérés útján.



2.1. ábra. Az ejtőlétra és a fotokapu

Elvégzendő feladatok

1. Csatlakoztassuk az egyik fotokaput valamelyik csatornára, és kapcsoljuk be az adott csatornán a szintmetszés-detektálást. Állítsuk a mintavételi frekvenciát a maximális 1000 Hz-re.
2. Készítsünk ejtőlétrát. Vegyünk egy áttetsző műanyag vonalzót, és egyenletes távolságokban (pl. 5 cm) szigetelőszalagozzuk be (lásd a 2.1. ábrát). Mérjük meg a szigetelőszalag-csík vastagságát, és írjuk be az előbb kiválasztott csatorna szintmetszésdetektorának **Object length [m]** mezőjébe (méterben).
3. Helyezzük a vonalzót a fotokapu fényútjába, és függőleges helyzetben engedjük el.
4. Másoljuk vágólapra a szintmetszési táblát, és táblázatkezelő programban elemezzük ki.
5. Ábrázoljuk a sebesség-idő grafikont. Illesszünk egyenest a pontsorra. Milyen kapcsolatban áll az egyenes meredeksége a g nehézségi gyorsulással? Mekkora adódik a nehézségi gyorsulás ez alapján? Mekkora a mérés relatív hibája az irodalmi értékhez képest?
6. Ábrázoljuk az elmozdulás-idő grafikont. Milyen jellegű görbét kapunk? Hogyan nyerhető ki ebből a görbéből a nehézségi gyorsulás? Mekkora adódik a nehézségi gyorsulás ez alapján? Mekkora a mérés relatív hibája az irodalmi értékhez képest?

2.1.2. Háttér

A szigetelőszalag-csíkok lezárják a fényutat arra az időre, míg áthaladnak a fotokapu előtt. A szintmetszésdetektor rögzíti azt a két időpillanatot, amikor a csík beért a fényútba (első szintmetszés) és amikor kiért a fényútból (második szintmetszés). A kettő különbsége megadja csík áthaladásához szükséges időt. Ennek és a csík vastagságának az ismeretében megadható az ejtőlétra átlagsebessége arra az időszakra, amíg az adott csík áthaladt a fotokapu fényútján. Ez rövid időszakokra a pillanatnyi sebesség közelítésének tekinthető. A következő csíkra ugyanúgy lesz egy szintmetszéspár, amelyből a csíkok közti távolság (pl. 5 cm) megtételéhez szükséges idővel későbbi sebesség határozható meg. A szintmetszési táblában tehát szerepelni fog az egyes csíkok áthaladásához tartozó időpillanat és sebesség. Ebből a sebesség-idő grafikon közvetlenül meghatározható. Ha beszurunk egy oszlopot, amely a csíkok helyzetét tartalmazza (pl. 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm...), az út-idő grafikon is ábrázolható.

2.1.3. Tanári segédlet

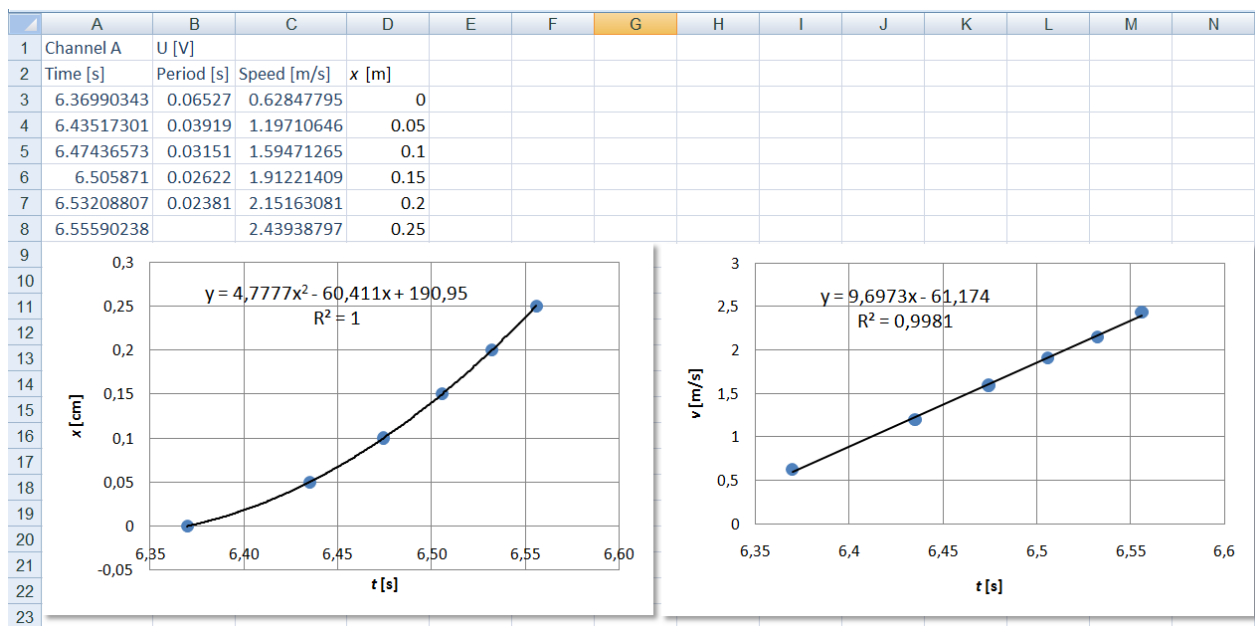
A kísérlet kiértékelésére egy példa a 2.2. ábrán látható. A kék színnel formázott adatok a táblázatban magából a mérőprogramból származnak vágólapra másolással, míg a feketével jelölt koordinátákat nekünk kell bevitnünk a szigetelőszalag-csíkok távolsága alapján. Az A oszlop függvényében ábrázolva a C oszlopot a sebesség-idő, míg szintén az A oszlop függvényében ábrázolva a D oszlopot az út-idő grafikonhoz jutunk. Az előbbire egyenest, utóbbira parabolát illesztve megkaphatjuk a nehézségi gyorsulás értékét. Az egyenesnek a meredeksége magát a g -t adja meg, míg a parabola másodfokú együtthatója $g/2$ -vel egyenlő, hiszen az egyenes vonalú, egyenletesen gyorsuló mozgás egyenletei a sebességre és a helykoordinátára a következők:

$$x(t) = v_0 t + \frac{g}{2} t^2,$$

és

$$v(t) = v_0 + gt.$$

Mérési eredményeink összefoglalása a 2.1. táblázatban található. Beszéljük meg a diákokkal, hogy milyen tényezők okozhatják a mérés hibáját.



2.2. ábra. Az ejtőlétrás kísérlet kiértékelése táblázatkezelőben

Módszer	g [m/s ²]	Relatív hiba [%]
$x(t)$	9,56	2,6
$v(t)$	9,70	1,2

2.1. táblázat. A mérés eredménye

2.2. Matematikai inga vizsgálata

2.2.1. Feladatok

Célkitűzés ♦ A matematikai inga lengésidejének különböző paraméterektől (az inga tömege, indítási magasság) való függésén keresztül az induktív fizikai törvényalkotás szemléltetése. A matematikai inga és ezen keresztül a harmonikus rezgőmozgás energiaviszonyainak tapasztalati megismerése.

Elvégzendő feladatok

1. Csatlakoztassuk az egyik fotokaput valamelyik csatornára, és kapcsoljuk be az adott csatornán a szintmetszés-detektálást. Állítsuk a mintavételi frekvenciát a maximális 1000 Hz-re.
2. Állítsunk össze egy laborállvány, némi fonál és súlysorozatból származó, ismert tömegű nehezék segítségével egy matematikai ingát. Mérjük meg a nehezék átmérőjét, és méterben kifejezve írjuk be a megfelelő csatorna szintmetszés-detektorának **Object length [m]** mezőjébe. Így mérni tudjuk az inga sebességét a fotokapu előtt való áthaladáskor. Állítsuk a fotokaput az állvány talapzatára úgy, hogy a nehezék a fényúton haladjon át.
3. Mérjük meg az inga lengésidejét és a fotokapu előtti áthaladáskor (azaz a függőleges helyzetben) jellemző sebességét különböző indítási magasságok esetén több lengési cikluson keresztül. Figyeljünk oda arra, hogy a szintmetszési táblázatban a periódusidő fele jelenik meg. Vigyük az adatokat táblázatkezelőbe az adatokhoz tartozó indítási magasság föltüntetésével.
4. Vizsgáljuk meg, hogy függ-e a lengéside az indítási magasságtól. Készítsünk grafikont.
5. Mérjük meg a lengésideket különböző ingahosszakra. Ábrázoljuk a lengésideket a hossz függvényében.

6. A mért indítási magasság és a függőleges helyzetben jellemző sebesség értékeinek segítségével vizsgáljuk meg, hogy mennyire teljesül a mechanikai energia megmaradásának törvénye az adott inga esetén. A kezdeti mechanikai energia mekkora hányada vész el egy-egy félperiódusban? Mutat-e ez a hányad valamilyen függést az előző félperiódusra jellemző sebességtől?
7. Mérjük meg a lengésidőt különböző tömegű nehezékekkel. Függ-e a lengésidő a tömegtől?

2.2.2. Háttér

A mérés elve ugyanaz, mint a 2.1. szakaszban. A fotokapu az inga nehezékének átlagsebességét méri azon időtartamra, amíg az áthalad előtte. Ismeretes, hogy egy L hosszúságú fonálinga T periódusidejére a

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

összefüggés érvényes. Ez alapján a lengésidő csak a fonál hosszától függ, a nehezék tömegétől nem.

A mechanikai energia megmaradásának elvét alkalmazva a fonálingára, kezdetben a mozgási energia 0, míg a helyzeti energia nagysága

$$E_p = mgh,$$

ahol h az egyensúlyi helyzet és az indítási helyzet közti magasságkülönbség (a vonatkoztatási szintnek az egyensúlyi helyzetet vesszük). Az egyensúlyi helyzetben a helyzeti energia 0, míg a mozgási energia

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2,$$

ahol v az egyensúlyi helyzeten való áthaladás sebessége. Ha nincs súrlódási energiavesztés, a mechanikai energia megegyezik a két helyzetben, azaz

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2.$$

2.2.3. Tanári segédlet

A 2.2 táblázat egy példát mutat a kísérletekből levonható tanulságokra. A táblázatból kiolvasható, hogy az első lengések időtartamára jó közelítéssel teljesül a mechanikai energia megmaradásának törvénye: a kezdeti helyzeti energia szinte teljes egészében egyenlő az egyensúlyi helyzetben meghatározható mozgási energiával.

Indítási magasság [cm] ¹	h [m]	v [m/s]	E_p [mJ]	E_k [mJ]
30	0,19	1,93	93,2	93,0
25	0,14	1,62	68,7	65,9
20	0,09	1,33	44,1	44,1
15	0,04	0,87	19,6	18,9

2.2. táblázat. Sebesség és energiaviszonyok az indítási magasság függvényében

A kísérleti elrendezés arra is alkalmas, hogy a helyzeti és a mozgási energiát és ezek kapcsolatát induktív módszerrel vezessük be. Ha a magasság függvényében ábrázoljuk az egyensúlyi helyzeten való áthaladás sebességét, láthatjuk, hogy a függvény nem lineáris, hanem inkább gyökfüggvényre emlékeztet. Ha viszont a sebesség négyzetét ábrázoljuk a magasságkülönbség függvényében, láthatjuk, hogy a függés lineáris (lásd a 2.3 ábrán). Egyenest illesztve a pontsorra, a meredekség $19,51 \text{ m/s}^2$ -nek adódik, ami jó közelítéssel $2g$, míg a tengelymetszet jó közelítéssel 0, így

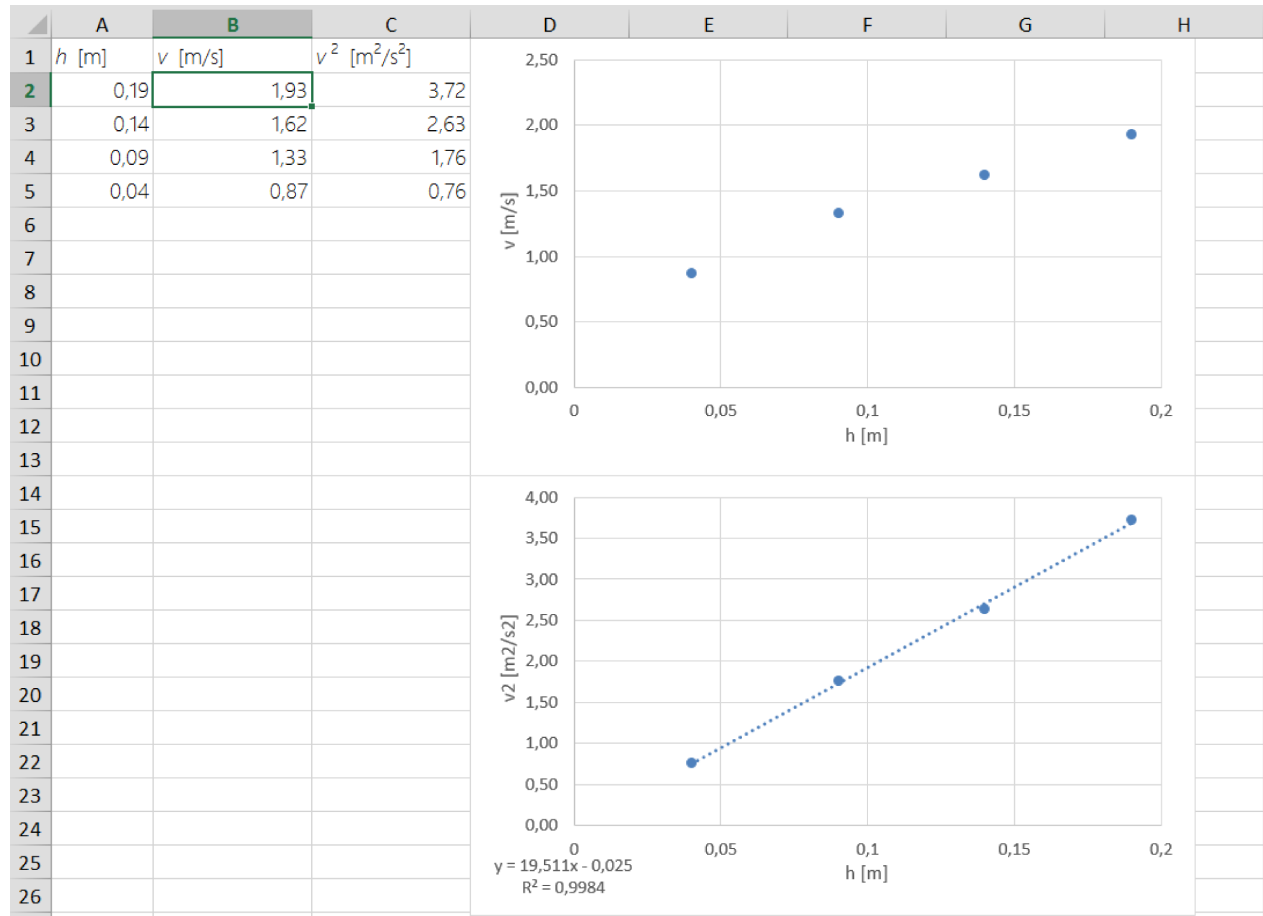
$$v^2 = 2gh,$$

¹ az asztal szintjétől mérve

azaz

$$\frac{1}{2}v^2 = gh.$$

Innen már csak egy lépés, hogy a tényleges energiához a tömegre is szükség van.



2.3. ábra. A sebesség és az indítási magasság összefüggéseinek kiértékelése táblázatkezelőben

2.3. Mágneses mérések

2.3.1. Feladatok

Célkitűzés ♦ Szolenoid mágneses terének vizsgálata. A Hall-szenzor gyakorlati alkalmazásainak föltérképezése. Körmozgás periódusidejének mérése.

Elvégzendő feladatok

1. Csatlakoztassuk a Hall-szenzort valamelyik csatornára.
2. A Hall-szenzor adatlapja szerint a szenzor által kiadott feszültség 0 G (gauss) mágneses indukciónál 1 V, és a mágneses tértől lineáris függést mutat 0,5 mV/G meredekséggel (ezek széles tartományban mozgó értékek az adatlap szerint, így a pontos mágneses mérés kalibrációt igényelne az adott egyedi szenzorra). Határozzuk meg ez alapján a feszültségről mágneses indukcióra való skálázás paramétereit, és állítsuk be őket a programban.

3. Rögzítsük a szenzort egy szolenoid hossz tengelyében (pl. gyurma és megfelelő magasságú tárgy segítségével), és egy árammérőn keresztül csatlakoztassuk a szolenoidot egy változtatható egyenfeszültségű tápegységhez.
4. Mérjük meg a mágneses indukció nagyságát az áramerősség függvényében. Vigyük az adatokat táblázatkezelőbe, és ábrázoljuk a függvényt.
5. Csatlakoztassunk a tápegységhez egy változtatható fordulatszámú számítógép-ventilátort, amelynek a lapátjához rögzítsünk egy kisméretű mágnes. Rögzítsük a Hall-szenzort úgy, hogy a mágnes minden fordulaton elhaladjon a szenzor alatt. Kapcsoljuk be a szintmérés-detektálást az adott csatornán, és mérjük meg a ventilátor fordulatszámát különböző tápfeszültség-értékeknél. A mérés pontosságának növelése érdekében állítsuk a mintavételi rátát 1000 Hz-re.

2.4. Kísérletek nyomásérzékelővel



2.4. ábra. Kísérletek nyomásérzékelővel

2.4.1. Feladatok

Célkitűzés ♦ A hidrosztatikai nyomás vizsgálata. Megismerkedés a kalibrációval.

Elvégzendő feladatok

1. Csatlakoztassunk nyomásszenzort valamelyik csatornára. A nyomásszenzor egyik csomkjára húzzunk rugalmas csövet (pl. benzincsövet). A cső végét zárjuk le szigetelőszalaggal, hogy ne jusson a csőbe víz, mert az annak gőzéből származó nyomás befolyásolná a mérést. Rögzítsük a csövet hurkapálcához, és készítsünk hozzá hiteles hosszbeosztást. Töltsünk meg egy edényt vízzel.

2. A kalibrációs ablak segítségével kalibráljuk a nyomásszenzort vízcm vagy Pa egységekben: írjuk be az adott mélységhez tartozó nyomásértéket a kalibrációs táblázat második oszlopába.
3. Készítsünk tömény sóoldatot. Mérjük a kalibrált szenzorunkkal a nyomást különböző mélységekben.
4. Ábrázoljuk a nyomást a mélység függvényében. Illesszünk egyenest a függvényre, és a kapott meredekségből határozzuk meg a sóoldat sűrűségét.

2.5. Hőmérsékleti egyensúly kialakulásának vizsgálata

2.5.1. Feladatok

Célkitűzés ♦ A kalorimetriai mérések hátterének kísérleti vizsgálata.

Elvégzendő feladatok

1. Csatlakoztassunk két termisztort valamelyik két csatornára. Állítsunk be termisztorskálázást, és használjuk az alapértelmezett értékeket. Használjunk alacsony mintavételi rátát (pl. 1 Hz).
2. Töltsünk szobahőmérsékletű vizet egy nagyobb mérőpohárba. Egy beleillő kisebb mérőpohárba tegyünk forró vizet. Mérjük meg mindkét mérőpohárban a víz tömegét, majd süllyesszük a kisebb mérőpoharat a nagyobb mérőpohárba. Tegyünk egy-egy termisztort mindkét mérőpohárba.
3. Mérjük a kétféle hőmérsékletet az idő függvényében, míg ki nem alakul a közös hőmérséklet.
4. Egyezik-e ez a közös hőmérséklet a számítások alapján várttal? Mennyire magyarázza az eltérést a mérőpoharak hőkapacitása?
5. Milyen jellegű a hőmérsékletek időfüggése? Próbáljuk igazolni a sejtésünket.

2.6. Jég olvadáspontjának megváltoztatása só hozzáadásával

2.6.1. Feladatok

Célkitűzés ♦ A sózás fizikai hátterének megvilágítása. Az olvadáspont megváltozásának mennyiségi vizsgálata.

Elvégzendő feladatok

1. Csatlakoztassunk egy termisztort valamelyik csatornára. Állítsunk be termisztorskálázást, és használjuk az alapértelmezett értékeket. Használjunk alacsony mintavételi rátát (pl. 1 Hz).
2. Készítsünk különböző összetételű hűtőkeverékeket úgy, hogy a só mennyiségét növeljük. Célszerű kb. 100 g 0°C-os jéghez 3 g-onként adni a konyhasót, megkeverni a víz-jég-só keveréket, és mérni a hőmérsékleteket.
3. Ábrázoljuk az így elérhető hőmérsékleteket az összetétel függvényében és adjuk meg az elérhető legalacsonyabb hőmérsékletértéket. Milyen összetételnél következett ez be?

2.7. Pulzusszám-vizsgálatok

2.7.1. Feladatok

Célkitűzés ♦ A megismert mérési elvek alkalmazása élettani paraméterek mérésére.

Elvégzendő feladatok

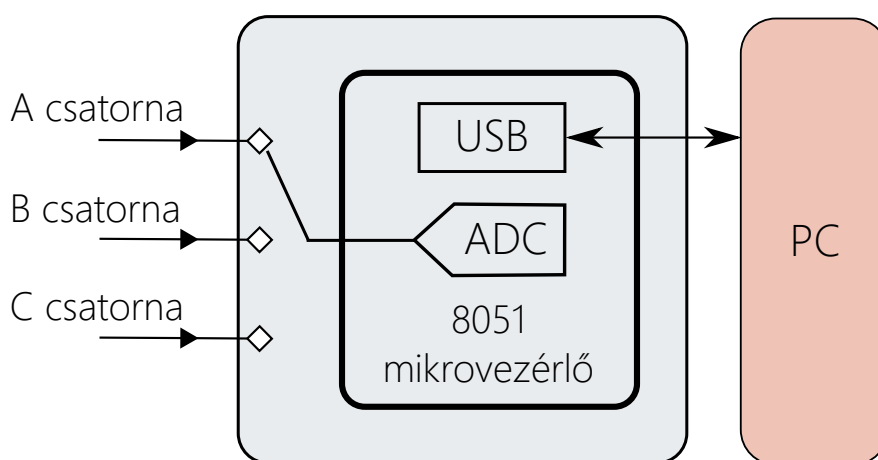
1. Tegyük szabaddá az **A** csatorna bemenetét. Állítsunk be az **A** csatornán **Internal photosensor** szenzorillesztést és lineáris skálázást. A mintavételi frekvencia legyen 100 Hz körüli.
2. Tegyük az ujjbegyünket a beépített fotoszenzorra (1.14. ábra). Keressük meg azt a helyzetet és nyomást, amelynél tisztán kirajzolódnak a pulzushullámok. Szükség esetén tükrözzük a jelet az x tengelyre a skálázás előjelének meredekségét megváltoztatva. Állítsunk be szintmetszés-detektálást egy olyan szintre, amelyet csak a pulzushullám csúcsai metszenek át.
3. Mérjük meg a pulzusunkat nyugalmi helyzetben. A szintmetszéztábla **Period [s]** oszlopa a pulzuscsúcsok között eltelt időt tartalmazza. Pulzust ebből úgy kapunk, hogy 60 másodpercre vonatkoztatjuk:

$$\text{Pulzus} = \frac{60 \text{ s/min}}{\text{Period [s]}}. \quad (2.1)$$

4. Végezzünk el néhány tornagyakorlatot (pl. tíz guggolást-fölállást). Mérjük a gyakorlat után folyamatosan a pulzusunkat, és ábrázoljuk a pulzusértékeket az idő függvényében.
5. Nézzük meg, hogy hogyan hat a Valsalva-manőver a pulzusunkra. A Valsalva-manőver azt jelenti, hogy zárt légutak ellenében kísérelünk meg erőltetett kilégzést. Ez a kis vércsőből a bal kamra felé hajtja a vért, és ezzel többféle keringési választ vált ki.

A. függelék

Műszaki adatok



A.1. ábra. Az Edaq530 elvi fölépítése

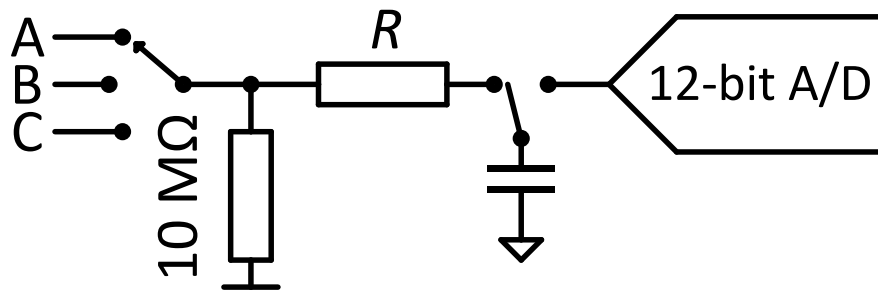
Az Edaq530 voltaképpen egy voltmérő, amely három csatorna jelét tudja kváziszimultán rögzíteni az idő függvényében, legfeljebb 1000 Hz frekvenciával. Az eszköz a mért feszültségeket digitalizálja, és USB-porton keresztül elküldi a számítógépen futó mérőprogramnak, amely megfelelő formában megjeleníti az adatsort. A mérési tartománya 0–3,3 V, a digitalizálás fölbontása 12-bit, így a feszültségábrázolás lépcsője $\Delta U = 3,3\text{ V}/2^{12} \approx 0,81\text{ mV}$.

Az Edaq530 „lelke” egy Silicon Laboratories C8051F530A mikrovezérlő (innen ered az 530-as szám az Edaq530 nevében), amelyen egy C nyelven írt parancsvezérlő és feladatütemező program fut. A mikrovezérlő tartalmaz egy 12-bites analóg-digitális átalakítót is, amely a jelek digitalizálásáért felel. A digitalizált adatot egy FTDI gyártmányú USB-csip továbbítja a számítógépnek. Egy számítógépen futó mérőprogram kommunikál szöveges parancsok útján a mérőeszközzel és jeleníti meg a mért adatokat.

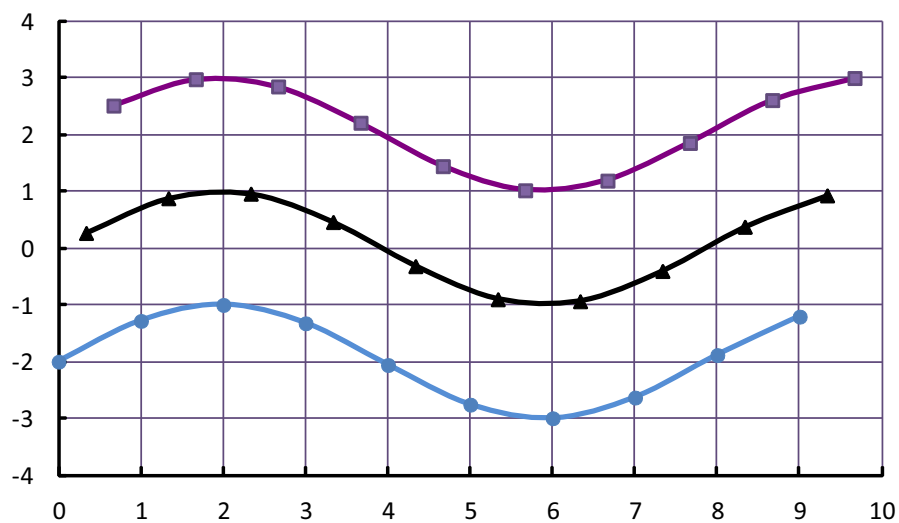
A mikrovezérlő csupán egyetlen analóg-digitális átalakítót tartalmaz, így a három bemeneti csatorna mérése nem lehet szimultán. Az eszköz fölváltva kapcsolja az egyes csatornák jelét az átalakítóra (A.2. ábra), ezért a csatornák között a mintavételezési időköz (azaz a két egymást követő analógból digitálisba történő átalakítás közt eltelt időköz) harmadának megfelelő időbeli eltérés van (lásd az A.3. ábrán).

Az Edaq530 a zaj csökkentésére átlagolást is tud végezni. Ekkor magában az eszközben történik az átlagolás, még az adatok számítógépnek való továbbítása előtt. 1, 4, 8 vagy 16 átlag állítható be. Ez a mintavételi rátát nem befolyásolja, mert az eszköz gyorsabban mér átlagoláskor, és a program által kijelzett mintavételi ráta már az a ráta, amellyel az átlagolt mérések adatai érkeznek a számítógépre.

Az eszköz műszaki adatait az A.1. táblázat foglalja össze.



A.2. ábra. Az analóg-digitális átalakítás megosztása a három csatorna között



A.3. ábra. Az időbeli eltérés a csatornák között

Méréshatár	0–3,3 V
Maximális mintavételi ráta	1000 Hz
Fölbontás	12 bit
Feszültségkvantum	≈ 0,81 mV

A.1. táblázat. Az Edaq530 főbb műszaki paramétere

B. függelék

Telepítés

A telepítés három fő lépésből áll. Először az USB-chip vezérlőprogramját kell telepíteni, majd meg kell győződni róla, hogy a számítógépen telepítve van a .NET keretrendszer legalább 2.0-ás verziója, végül pedig föl kell másolni a mérőprogram állományait. A lépéseket az alábbiakban foglaljuk össze.

B.1. Az USB-chip

Az USB-chip gyártója az FTDI (Future Technology Devices International Ltd). A vezérlőprogram legfrissebb változata a <http://www.ftdichip.com/Drivers/D2XX.htm> oldalról tölthető le. Mi a dokumentum írásakor elérhető legfrissebb változatot melléeltük a csomaghoz (CDM v2.12.00 WHQL Certified.exe).

Először **az Edaq530 csatlakoztatása nélkül** futtassuk a telepítőt. Ez a vezérlőprogram régebbi változatainál nem igényel fölhasználói beavatkozást; a legújabb változat egy telepítőablakot jelenít meg. Utóbbi esetben kövessük a képernyőn megjelenő utasításokat.

Ezután csatlakoztassuk az Edaq530-at. Ekkor a Windows új hardvert fog észlelni, és automatikusan telepíti a vezérlőprogramot. Várjuk meg „A hardver használatra kész” üzenetet. Ezzel a chip telepítése befejeződött.

B.2. A .NET-keretrendszer

A mérőprogram használatához a .NET-keretrendszer 2.0-ás vagy annál újabb változatára van szükség. Ez a Windows Vistától kezdve az operációs rendszer része, ezzel tehát teendőnk ebben az esetben nincs, Windows XP vagy 2000 esetén azonban a keretrendszert telepíteni kell. Ezt megtehetjük Windows-frissítéseken keresztül vagy közvetlenül is a

<http://www.microsoft.com/hu-hu/download/details.aspx?id=21> címen. Kövessük a telepítő által adott utasításokat.

B.3. A mérőprogram

Tömörítsük ki a csomaghoz mellékelt Edaq530.v0.597.zip állományt az általunk kívánt helyre. Ezzel a mérőprogram futásra kész: az Edaq530.exe állomány futtatásával indítható.

Publikációk

- [1] Zoltán Gingl–Katalin Kopasz: High resolution stopwatch for cents. *Physics Education*, 46. évf. (2011), 430–432. p. <http://arxiv.org/abs/1102.2006>.
- [2] Kopasz K–Gingl Z–Makra P–Papp K: A virtuális mérés technika kísérleti lehetőségei a közoktatásban. *Fizikai Szemle*, LVII. évf. (2008), 267–270. p.
- [3] Kopasz Katalin: *Számítógéppel segített mérőkísérletek a természettudományok tanításához*. PhD-értekezés (Szege di Tudományegyetem). 2013.
- [4] Kopasz Katalin–Makra Péter–Gingl Zoltán: High resolution sound card stopwatch extends school experimentation. *Acta Didactica Napocensia*, 5. évf. (2012) 2. sz. http://dppd.ubbcluj.ro/adn/article_5_2_7.pdf.
- [5] K Kopasz–P Makra–Z Gingl: Edaq530: A transparent, open-end and open-source measurement solution in natural science education. *European Journal of Physics*, 32. évf. (2011) 2. sz., 491–504. p. <http://arxiv.org/abs/1009.0432>.
- [6] Gingl Zoltán–Mingesz Róbert Zoltán–Makra Péter–Mellár János Zsolt: Review of sound card photogates. *European Journal of Physics*, 32. évf. (2011) 4. sz. <http://arxiv.org/abs/1103.1760>.