

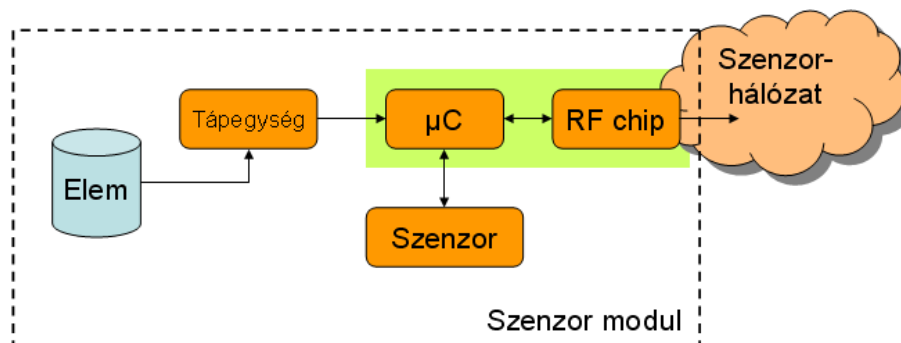
## Szenzorhálózatok újszerű tápellátása, avagy hogyan nyerjük energiát a környezetünkből?

Beágyazott rendszereknél, tipikusan a szenzor/beavatkozó hálózatoknál különösen kritikus kérdés az elosztott rendszer egyes elemeinek tápellátása. A szenzorhálózatokat ma már szinte mindenhol vezeték nélküli tervezik, ezáltal csökkentve a mérendő területen érzékelhető hatást. A vezetékes megoldással ellentétben, ekkor a szenzorok tápellátását legtöbbször csak elemekkel, akkumulátorokkal lehetett megoldani, ami csökkenti a rendszer rugalmasságát: az elemeket tölteni, cserélni kell, ez drága, és szinte biztosan emberi beavatkozásra lesz szükség, nem beszélve az elhasznált elemek környezetre gyakorolt hatásáról. A kényelmetlen és költséges elemcsere, bizonyos esetekben nem is kivitelezhető, pl. ha a hálózat veszélyes vagy nehezen megközelíthető területen helyezkedik el, (pl. betegséggel vagy környezetszennyezéssel fertőzött terület).

Olyan megoldást keresünk, amely nem használ vezetéket, de elemeket se. Egy modern szenzor a rendszeres működéséhez egyre kevesebb energiát igényel, ezért lehetővé vált, hogy a szenzor működéséhez szükséges tápellátást a környezetéből nyerje ki. Napjainkban terjedőben vannak az ún. energia-gyűjtő (energy-harvesting, EH) módszerek. Egy EH szenzorhálózat tervezésénél kétféle célt tűzhetünk ki, célunk lehet a teljes energia semlegesség, azaz a vezeték nélküli modulok tápellátásukat 100%-ban a környezetükből nyerik, azaz a gyűjtött energia több, mint amennyire a szenzornak szüksége van. Választhatunk egy kompromisszumos megoldást is, ahol a modulokban még továbbra is elem szolgáltatja a tápellátást egy részét, viszont az EH módszereknek köszönhetően a ciklusidő jelentősen kitolható. Itt a gyűjtött energia nem elegendő a szenzor működtetéséhez. Nyilvánvaló, hogy az első célkitűzés igényel több tervezési megfontolást, és sok esetben nem is valósítható meg. Mindkét esetben elsődleges feladat az energiát igénylő eszközök fogyasztásának csökkentése, ennek érdekében a hardver mellett ugyanolyan fontoságú a szoftver energia-tudatos optimalizálása is.

### Egy átlagos vezeték nélküli szenzor

Kezdjük a hardver felépítéssel, milyen komponensekből is áll egy hagyományos vezeték nélküli szenzor?



1. ábra: Egy átlagos vezeték nélküli szenzor felépítése.

A szenzor egyik legfontosabb komponense a mikrokontroller ( $\mu\text{C}$ ) és a rádiós modul, léteznek integrált  $\mu\text{C}+\text{RF}$  modulok is, így ez akár egyetlen komponensnek is tekinthető. A tápegység azért szükséges, hogy az elem alacsony feszültségét megfelelő szintűre emeljük és stabilizáljuk. A tápegység nem tökéletes hatékonyságú, így a fogyasztók közé kell sorolnunk. A modern kapcsolóüzemű (Boost) konverterek  $\sim 90\%$ -os hatékonysággal üzemelnek. [1] Léteznek olyan mikrokontrollerek, amelyekben beépítve található meg a tápegység, azaz közvetlenül az elemre köthetők. Az integrált megoldásokkal általában nagyobb hatékonyság érhető el, mint a diszkrét elemekből felépített áramkör esetén. Tekintsük át az egyes komponensek áramigényét.

Komponens	Alvó állapot (3V)	Aktív állapot (3V)
$\mu\text{C}+\text{RF}$	6 $\mu\text{A}$	19 mA
LM75A hőmérő szenzor	3,5 $\mu\text{A}$	1 mA
<b>Összesen</b>	<b>10,5 <math>\mu\text{A}</math> <math>\rightarrow</math> 31,5 <math>\mu\text{W}</math></b>	<b>22 mA <math>\rightarrow</math> 66 mW</b>

1. táblázat: Egy hőmérséklet szenzor áramfelvétele (a tápegység hatásfokából adódó veszteséggel is számolva)

Már sejthető, hogy a szenzor modul átlagos fogyasztását az aktív és alvó állapot aránya fogja meghatározni, amit kitöltési tényezőnek is nevezhetünk. Az aktív állapot időtartamát az határozza meg, hogy a szenzor milyen gyakran mér és küldi el a mérés eredményét, valamint az, hogy az egyes komponenseknek mennyi időre van szükségük az alvóból aktív állapotba kerüléshez. Ha például egy szobahőmérséklet-mérő szenzorunk van, akkor elegendő percenként mérni, mivel a hőmérséklet változásának sebessége jóval lassabb. Ha egy aktív ciklus ideje 500 ms, akkor 0,84 százalékos kitöltési tényezővel dolgozunk (percenkénti mérés, a szenzor csak adóként működik), ennek teljesítmény igénye 0,585 mW, a fenti rendszerrel számolva. Természetesen még ritkábban is lehet mérni, vagy akár a mérések gyakorisága lehet az aktuális töltöttségi szint függvénye is. Tehát már tudjuk, hogy egy legegyszerűbb szenzor mennyi energiát igényel, tekintsük most át a lehetséges energiaforrásokat.

## Energy-harvesting források

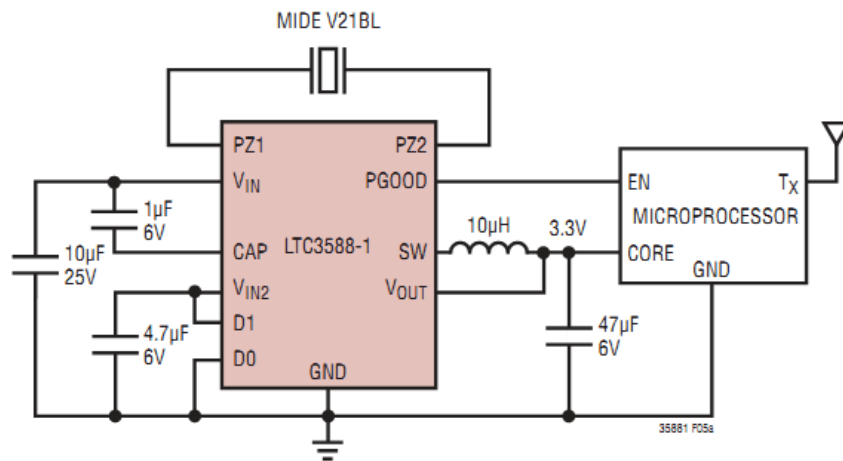
Forrás	Teljesítmény sűrűség
Déli napsütés (napelem)	15 mW / $\text{cm}^2$
Beltéri megvilágítás (napelem)	100 $\mu\text{W}$ / $\text{cm}^2$
Hőkülönbség ( $\Delta T = 10\text{ }^\circ\text{C}$ )	15-30 $\mu\text{W}$ / $\text{cm}^2$
Rezgés (Piezo lapka) (2,25 m/s @ 120 Hz)	200 $\mu\text{W}$ / $\text{cm}^3$
Rádióhullámok (2.4 GHz-en, a megengedett maximális 1 W teljesítményű adótól 5 méterre.)	50 $\mu\text{W}$

2. táblázat: A lehetséges energiaforrások várható teljesítménye. [2][3]

A lehetséges forrásokat áttekintve látható, hogy egyes speciális alkalmazási helyeken az imént bemutatott szenzor akár energia semlegesen is működőképes lehet. A legáltalánosabb forrás a napelem, könnyen beszerezhető és elegendő energiát nyerhetünk egy szenzor működéséhez, viszont számolni kell az éjszakai órákkal, amikor csak a

napközben felhalmozott energiával gazdálkodhatunk, ilyenkor természetesen a szenzornak tartalmaznia kell egy tároló egységet (például egy szuperkapacitást) és egy töltőáramkört, aminek tovább vesztesége van. Itt is szóba jöhet a kitöltési tényező finomhangolása. Egy átlagos 6cm x 6cm-es napelem képes ellátni a szenzorunkat beltéri megvilágításnál is.

Következő ígéretes energiaforrás a kis amplitúdójú mechanikus rezgés, melyet például piezoelektromos átalakítással használhatunk fel. Szóba jöhetnek mozgó járművel, pl. vonatok, vagy akár a sínek mentén telepített monitorozó hálózat, esetleg az ember mozgását felhasználó cipőbe épített „generátor”. A kinyert energia tárolása ebben az esetben is létfontosságú, és a töltőáramkör is bonyolultabb, azonban kaphatók integrált céláramkörök is (pl.: LTC3588). Ez az előző megoldáshoz képest kevésbé általánosan használható, mivel nincs mindenhol jelen felhasználható rezgés, viszont általában nagyobb mennyiségű energia nyerhető ki, mint egy szobában elhelyezett napelemmel.

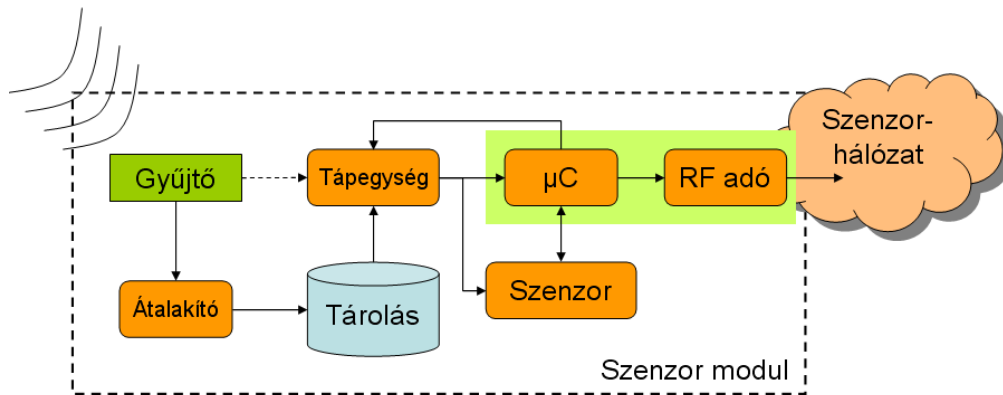


3. ábra: A piezoelektromos táplálású vezeték nélküli szenzor lehetséges kapcsolási rajza. [4]

Peltier elemekkel hőkülönbséget alakíthatunk át közvetlenül elektromos energiává. Több alkalmazási lehetőség is adódik, például egy fűtött (hűtött) épület hideg (meleg) fala és a benti levegő hőmérséklete közötti különbség, vagy a fűtéscsövek/radiátorok és a levegő közötti hőkülönbség. A módszer használhatóságát rontja, hogy nincs az év minden szakában fűtés (hűtés), és hogy viszonylag nagy 20-30 négyzetcentiméteres felületű Peltier elemek kellene a fenti szenzor üzemeltetéséhez 10 fokos hőkülönbség esetén.

Végül az energia rádióhullámokkal történő továbbításáról ejtünk néhány szót. Itt két lehetőségünk van, egyik a már jelenlévő rádióadók által sugárzott hullámok vétele, másik pedig a speciálisan energiatovábbítás céljából történt besugárzás, ami nem feltétlenül illik bele az EH területébe, viszont említést érdemel. A meglévő adók rádióhullámaiban nincs elegendő energia egy szenzor üzemeltetéséhez, hacsak nem az adóantenna közelében van a szenzor, ami egy speciális alkalmazásnál akár el is képzelhető. A besugárzott rádióhullámokkal történő tápellátás működőképes lehet egy közepes méretű szobán belül, viszont kétségeket vet fel egészségügyi szempontból, még ha a megengedettnél nem is nagyobb az adóteljesítmény, a szobában lévőkben bizalmatlanságot kelt. Ipari területeken inkább reális a megoldás használata.

## Az energy-harvesting szenzor



2. ábra: Egy energia-gyűjtő szenzor modul felépítése.

Tekintsük át végül, hogy milyen elemi változtatások szükségesen a hagyományos szenzorhoz képest, ha EH-t szeretnénk használni. A gyűjtő az imént tárgyalt források kiaknázására képes komponens, aminek kimenetét megfelelő formára kell alakítani, kivétel pl. a napelem, aminek kimenete közvetlenül is a tápegységre köthető. Fontos továbbá a tároló elem, ami lehet akkumulátorcella, vagy szuperkapacitás. A szuperkapacitás 0,5-1 F kapacitással rendelkező, ennek ellenére kisméretű, alacsony feszültségű kondenzátor. Előnye az elemekhez képest, hogy lassabban használódik el, többször és sokkal gyorsabban tölthető újra, mint pl. egy Li-ion akkumulátor.

A cikk elején említettük, hogy a szoftver legalább annyira fontos, mint a hardver, erről lesz szó a következőkben. A hőmérsékletmérő példaszensor teljesítmény igényének számításakor azzal számoltunk, hogy a szenzor csak percenként ébred fel és küldi el a mért adatokat, ez meg is felel, ha egyetlen szenzorunk van, viszont ha szenzorhálózatról van szó, akkor valahogy ütemezni kell az adásokat. A bevett módszer, hogy egy központi egység (master) végigkérdezi a szenzorokat (slave) és begyűjti az adatokat. A probléma, hogy ehhez a szenzoroknak állandóan vételi üzemmódban kell lenniük, ami drasztikusan megemelné a fogyasztásukat, ezáltal kizárva az EH alkalmazhatóságát. A folyamatos vételi mód kiküszöbölhető az adások megfelelő ütemezésével, amit pl. egy RTC (Real Time Clock) egység alkalmazásával oldhatunk meg. Ez egy nagyon kis fogyasztású (~1.2  $\mu$ W) eszköz, mely egy időmérésre használható nagy pontosságú oszcillátort tartalmaz, és képes adott időközönként jelezni a mikrokontrollernek. A szenzorok óráit természetesen szinkronizálni kell, erre viszonylag ritkán van szükség, (pl. naponta), ekkor a szenzorok egy rövid időre vételi üzemmódba kapcsolnak, és a központi egység elküldi (broadcast jelleggel) a pontos időt. Ha az órák pontosak, akkor minden szenzor a számára kijelölt időablakban adhat. Az adás gyakorisága pedig függhet a szenzor aktuális állapotától: energiaszint, töltődés/merülés, változott-e a mért érték. Egy további aspektustól is függhet az adás gyakorisága, mégpedig a szenzorok térbeli elhelyezkedésétől, ha a szenzorok rendelkeznek azzal az információval, hogy hol helyezkednek el a környező szenzorok, akkor attól függően, hogy azok értékéből mennyire származtatható a saját mérési eredménye, ritkíthatja az adást, ha az energiaszintje alacsony.

Az energiafelhasználás csökkentésének létezik egy további módja is, bár az eddigiekhez képest eltérő alapokra épül. Az alapötlete, hogy az energiát fogjuk fel adatként [5], azaz a mérendő érték is szolgál energiával, pl. egy ajtó becsukása, radiátor/tűzhely bekapcsolása, mosógép üzemelése. Ekkor a szenzor nem rendelkezik tároló elemmel, mivel nem alvó állapotban van, hanem teljesen kikapcsolva, viszont amikor megtörténik a kérdéses esemény, akkor össze tud gyűjteni annyi energiát, amennyivel továbbíthatja az információt. A módszer nagyobb hálózatban történő alkalmazása azonban számos problémát vet fel, de megfelelő tervezéssel használható.

A cikkben bemutattuk, hogy milyen forrásokból és mennyi energia nyerhető, valamint, hogy ez elegendő-e egy szenzor/szenzorhálózat üzemeltetéséhez. A fő tanulság, hogy körültekintő tervezéssel igenis megvalósítható az energia semleges szenzor modul. Azonban a megvalósításához nincs általános irányelv, nincs univerzális szenzor, mindig az adott felhasználási területhez kell igazítani a szenzor modulokat és a teljes rendszert egyaránt.

## Irodalom

[1] ON Semiconductor: „NCP1400A: 100 mA, Fixed Frequency PWM Step-Up Micropower Switching Regulator Data Sheet” (2006)

[2] Vijay Raghunathan; Kansal, A.; Hsu, J.; Friedman, J.; Mani Srivastava; , "Design considerations for solar energy harvesting wireless embedded systems," *Information Processing in Sensor Networks, 2005. IPSN 2005. Fourth International Symposium on*, vol., no., pp. 457- 462, 15 April 2005

[3] Shad Roundy, Dan Steingart, Luc Frechette, Paul K. Wright, Jan M. Rabaey: „Power Sources for Wireless Sensor Networks.” *EWSN* (2004)

[4] Linear Technology: „LTC3588-1 Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply” (2010)

[5] Joseph, A.D.; , "Energy harvesting projects," *Pervasive Computing, IEEE* , vol.4, no.1, pp. 69- 71, Jan.-March 2005