



Atomenergia használatának elméleti vizsgálata a közúti gépjárművekben

STUBÁN NORBERT
BME

TÖRÖK ÁDÁM
BME

Jó ideje rendelkezésre állnak olyan technológiák, melyek segítségével a jelenleg magas energiasűrűségűnek titulált Li-ion akkumulátorhoz képest tízezer-szer több villamos energia nyerhető ki ugyanakkora térfogatú anyagból. A szóban forgó, tehergépkocsi-akkumulátor méretben megvalósítható eszköz a rádióizotópos termoelektromos generátor (RTG). Az '60-as évek elejétől elterjedten használják az űrtechnikában, de akad példa földfelszíni alkalmazásra is. Az RTG egy bomló izotóp kisugárzott hőenergiáját alakítja villamos energiává, egy termoelektromos effektuson, például Seebeck-effektuson alapuló köztes eszköz segítségével. A cikk az RTG gépjárműipari felhasználásával foglalkozik, kitérve az elérhető teljesítmény/tömeg arányra, a szükséges üzemanyag-mennyiségre, néhány környezeti aspektusra, valamint a technológia megoldásra váró problémáira.

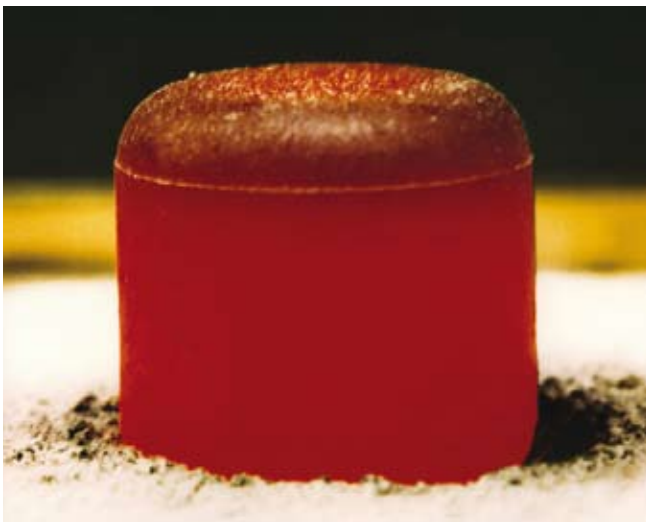
Technologies are available for a long time that can produce ten thousand times more electrical energy from the same volume of material than the currently used high energy density Li-ion battery. A truck battery sized unit is the radioisotope thermoelectric generator (RTG). It is widely used in space technology from the early 60s, but there are also examples of terrestrial applications. The RTG is transforming the decaying isotope radiant heat energy into electrical energy. The unit is based on thermoelectric effects. This article describes the use of RTG in automotive industry, covering the available power / weight ratio, the required quantity of fuel, some of the environmental aspect, and the technology to resolve problems.

1. BEVEZETÉS

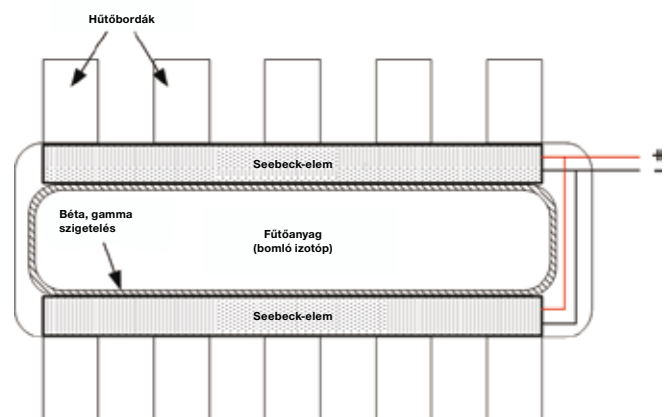
Korunk legtisztább, nem megújuló energiaforrása az atomenergia. A nukleáris erőművekben olcsón állítható elő villamos energia, közel nulla CO₂-kibocsátás mellett. A megfelelő technológia kidolgozása után az atommeghajtás átültetése a gépjárművekbe rendkívül környezetkímélő és olcsó meghajtást eredményezhet a jövőben. Cikkünkben az atomenergia közúti gépjárművekben történő használatának elméleti villamos és energetikai vizsgálatával foglalkozunk.

2. AZ ATOMENERGIA KÖZÚTI KÖZLEKEDÉSI ALKALMAZHATÓSÁGA

A jövő ígéretes közúti közlekedési eszköze kétségkívül a villamos energiával hajtott autó. Ezen irányba folyó kutatások eredménye például a hibrid hajtás (pl. Toyota Prius), ahol a belső égésű motort



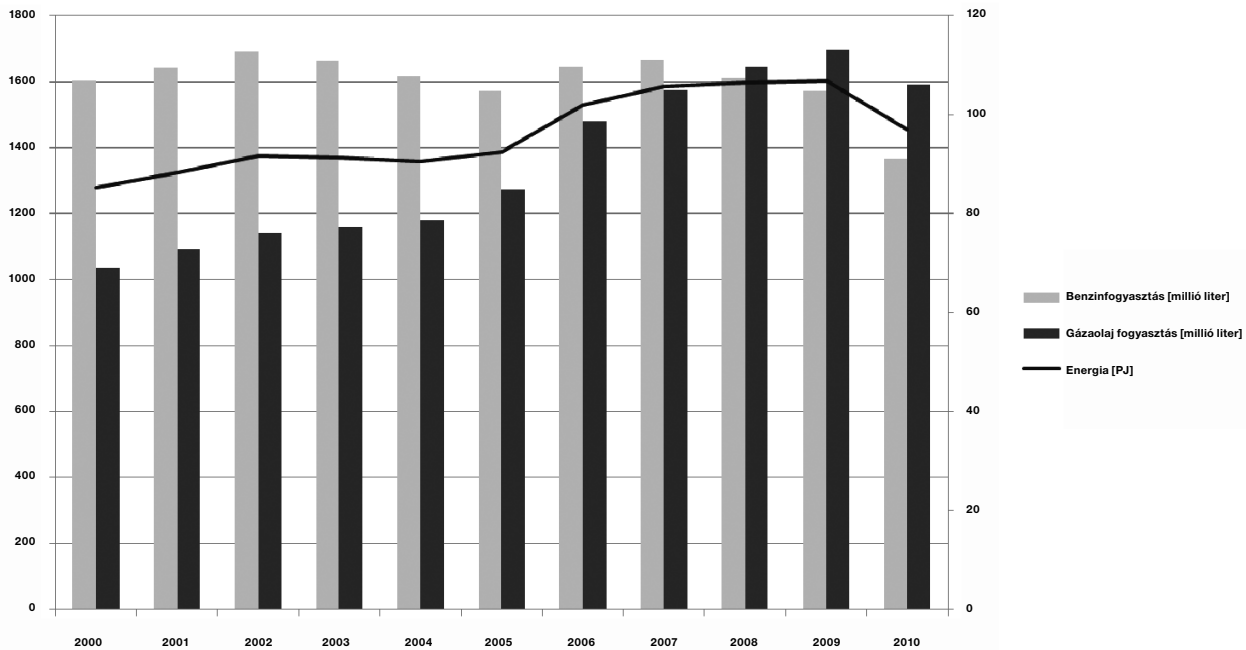
1. ábra: vörösén izzó ²³⁸PuO₂ alapanyagú pellet, amely mintegy 80 éven keresztül szolgáltat 30–60 W hőteljesítményt (forrás:[1])



2. ábra: a rádióizotópos termoelektromos generátor vázlatos felépítése (forrás: saját szerkesztés)

villanymotorral kiegészítve kiemelkedő tüzelőanyag-fogyasztási és CO₂-kibocsátási értékeket értek el. A legkevésbé környezet-szennyező megoldás természetesen a belső égésű motor teljes mellőzése lenne. Az elektromos autó koncepciójával több óriáscég és számtalan kisebb vállalat foglalkozik. A megoldandó problémák egyike a villamos energia költség- és energiahatékony tárolása. Amennyiben egy ország közúti közlekedési szektorának villamos meghajtásra történő átállítását vizsgáljuk, akkor nagyon fontos tényező a villamos áram előállításának költsége is. A cikk olyan lehetséges megoldást tárgyal, ahol a villamos energia a közúti jármű fedelzetén termelődik, függetlenül az ország villamos hálózatától vagy villamosenergia-előállítási kapacitásától.

Közúti gépjárművek energetikai vizsgálata során már megvizsgáltuk a kipufogógázban rejlő hőenergia hasznosításának lehetőségét [2]. Most cikkünkben a termonukleáris generátor közúti gépjárművekben történő alkalmazását vizsgáljuk. A termonukleáris generátor egy sugárzó izotóphulladék hőenergiáját alakítja át villamos energiává. Az **1. ábrán** látható, újrjárművek energiaellátásához [3] [4] használt PuO₂ pellet 30–60 W hőtele-



3. ábra: a közúti közlekedés energiainteztetésének alakulása (forrás: Magyar Ásványolaj-ipari Szövetség adatai alapján saját szerkesztés)

sítmény leadására képes mintegy 80 éven keresztül. Gépjármű energia-ellátási szempontokat figyelembe véve a ^{238}Pu izotóp több előnyös tulajdonsággal rendelkezik a többi, RTG-ben használható izotópokhoz képest. Kimagasló súly/kinyerhető energia aránya van, 88 év a felezési ideje, és nem igényel komolyabb radioaktív árnyékoló bevonatot.

Egy RTG vázlatos felépítése látható a **2. ábrán**. Az RTG belsőjében izotóp alapú fűtőanyag generálja a hőt a Seebeck-elem meleg oldalán. A hűtőbordák a Seebeck-elem hideg oldalával vannak jó termikus kapcsolatban, így jön létre az a hőmérsékletkülönbség, amelyből a félvezető alapú Seebeck-elem közvetlenül villamos energiát termel. Az űrtechnikában Si-Ge alapú [4] [5] termoelektromos (Seebeck) elemeket használnak, de a hagyományos Peltier-elem Seebeck-módban történő működtetésével is lehetséges villamos energia előállítás [2].

3. A MODELL VIZSGÁLATA – KARBONSZEGÉNY KÖZÚTI KÖZLEKEDÉS

A **3. ábrán** látható, hogy a hazai közúti közlekedési szektor – energiaigényének kielégítésére – éves szinten mintegy 100 PJ energiát használ fel fosszilis energiahordozókból. A Discovery-program legújabb szondáin olyan generátorok lesznek felszerelve, amelyek 1 kg ^{238}Pu -ból 140 W villamos teljesítményt állítanak majd elő ($\dot{P}=140 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$).

$$m = \frac{\dot{E}}{\dot{P}} \quad (1)$$

ahol

\dot{E} : a közlekedési szektor fajlagos energiaigénye [$\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$]. Ez 2010-ben $3,33\cdot 10^9 \text{J}\cdot\text{s}^{-1}$

\dot{P} : az RTG modul teljesítménymodulusa [$\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$]

Ezen adatokat (1) egyenletbe helyettesítve következik, hogy 24 000 tonna plutóniumra lenne összesen szükség, ha a teljes magyar járműparkot egyszerre szeretnénk RTG-meghajtására cse-

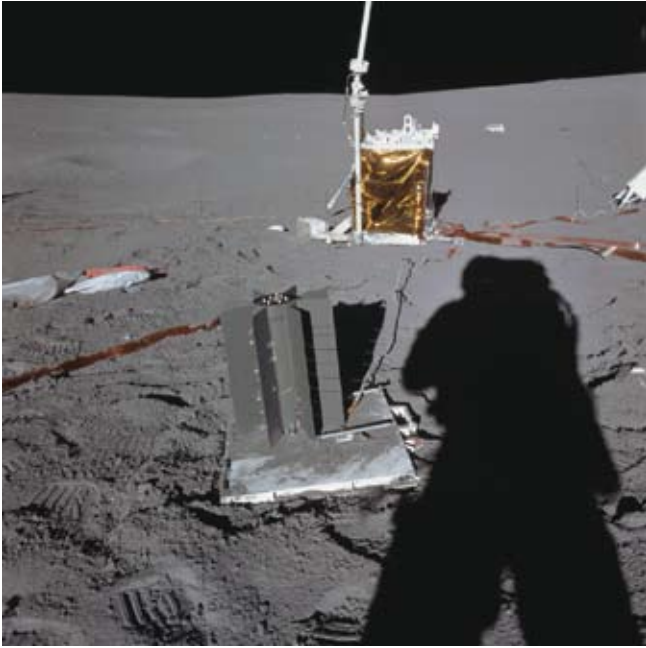
rélni. Ez valójában hosszú folyamat, 10 éves lezajlást feltételezve (ennyi a magyar járműpark megközelítő átlagéletkora) az éves szükséges mennyiség 2400 tonna. Ez a földön jelenleg elérhető ^{238}Pu mennyiséghez képest óriási szám, ennek csupán töredéke áll rendelkezésre.

A fenti számításban \dot{P} a plutónium súlyának és az generálódó teljesítménynek az arányát fejezi ki. Fontos adat még a RTG teljes súlyának aránya a generált teljesítményhez képest. A belső égésű motor jelentős részét képezi a gépjármű teljes tömegének. Nem lesz ez másképp az RTG-k esetében sem. Ismét a Discovery-program leendő szondáinak generátorát alapul véve a modern RTG-k leadott teljesítmény/tömeg aránya mintegy 4 W/kg. Összehasonlításképpen ez a szám még egy elavult belső égésű motor esetében is eléri az 500 W/kg értéket [6]. A jelenlegi technológiákkal jóval nagyobb tömegű RTG kell ugyanakkora teljesítmény leadására, de ez a mérőszám egy köztes energiatároló beépítésével jelentősen javítható. Erről az 5. fejezetben lesz szó.

4. A SUGÁRZÓ ANYAG VÉDELME AZ RTG-BEN, AZ ATOMHULLADÉK KEZELÉSE

Az első polgári célú atomerőmű 1956-os üzembe helyezése óta nem oldódott meg a világon sehol a radioaktív hulladékok végleges kezelése. Ezen anyagok túlnyomó többsége ideiglenes tárolókban áll. Az EU-n belül azonban a probléma rendeződni látszik. 2010 novemberében az EU által beterjesztett – a cikk írásának időpontjában még el nem fogadott – direktíva szerint a tagállamoknak 4 éven belül ki kell dolgozniuk, hogy mit kezdjenek az atomhulladékkal. A legtöbb országban a mélységi geológiai tárolás a legvalószínűbb megoldás. Ilyen esetben köztettani mérések segítségével feltérképeznek egy alkalmas köztettet, tipikusan minimum 1000 m mélységben. A megfelelő technológiával kialakított tároló végső helye lehet az adott térség sugárzó hulladékának.

Felmerülő kérdés lehet a sugárzó izotóp gépjárművön belüli árnyékolása is, hogy ne jelentsen veszélyt a gépjárműben tartózkodókra és a környezetre. Az árnyékolás követelményei



4. ábra: Apollo űrhajó RTG-eleme (szürke egység a kép közepén)
(forrás: [7])

nagyban függenek a felhasznált izotóptól. Az eddig tárgyat plutóniumizotóp ebből a szempontból is szerencsés választás lenne gépjárművek üzemanyagaként, mert mind az izotóp, mind a hasadási termékei főleg alfa sugárzást produkálnak, aminek kicsi az áthatoló képessége, így árnyékolásra megfelel az RTG vékony fémháza is. Amennyiben valamilyen olcsóbb és nagyobb mennyiségben elérhető anyagot használnánk, például ^{241}Am vagy ^{90}Sr izotópot, az árnyékolásra sokkal nagyobb hangsúlyt kellene fektetni, mert ezek, bomlásuk során jelentős béta- és gamma-sugárzást bocsátanak ki. Mintegy 2 cm vastag ólomborításra lenne szükség a sugárzás elnyelésére. Az ólmon kívül grafitot és irídiumot is használnak árnyékolóanyagként.

A 4. ábrán egy űrhajós két méterre áll egy RTG-től. A Holdra érés négy napja alatt is igen közel lehetett az űrkabinban az eszkozhöz, az RTG-ből származó sugárzás az űrhajósokat

mégsem érte. Jelen technológiai feltételek mellett az árnyékolást megoldottnak tekinthetjük – hiszen közúti járműveink mai technológia alkalmazásával képesek vagyunk robbanásveszélyes és gyúlékony tüzelőanyagok (hidrogén, LPG, CNG) biztonságos tárolására is –, a megfontolandó kérdés az általa okozott jelentős többletsúly.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A RTG-vel meghajtott gépjármű elterjedésének az alkalmazandó technológiák jelenlegi fejlettségi szintjét alapul véve több akadálya is van. A RTG teljesítmény/tömeg aránya alacsony. Igen nagy súlyú RTG alkalmazása lenne szükséges egy személygépkocsi megfelelő teljesítményű meghajtására. További hátrányt jelenthet az RTG folyamatos működése, vagyis akkor is jelentős hőenergiát ad le a környezetének, ha a gépkocsi használaton kívül van. Ez a lakóház alá épített garázsban télen esetleg kifejezetten hasznos lehet, nyáron azonban akár veszélyes mennyiségű hő is keletkezhet. Harmadrészt pedig, az RTG radioaktív izotópot tartalmaz. Normál üzemi működés esetén a jelenlegi technológiákkal az izotópot jól el lehet szigetelni a környezettől, de egy gépkocsi esetében mindig számolni kell az extrém fizikai behatásokkal, amelyek például egy ütközés során lépnek fel. Az első két problémára a villamosenergia-tároló eszközök (akkumulátorok, szuperkapacitások) fejlődése és a termoelektromos átalakítók hatásfokának javulása megoldást hozhat. Akkumulátorok vagy szuperkapacitások [8] beépítésével az RTG a gépkocsi álló helyzetében a környezet fűtése helyett az akkumulátorokat töltené, amelyek mozgás közben rásegítenének az RTG teljesítményére, így a beépített RTG teljesítményét többszörösen meghaladó hajtásteljesítményű gépjárműveket lehetne tervezni. A termoelektromos hatásfok növelésével pedig csökkenne a környezetnek átadott hulladék hő, mind álló helyzetben.

Az üzemanyag előállításával kapcsolatos probléma a ^{238}Pu igen korlátozott hozzáférhetősége, valamint lassú és költséges gyártása. Az RTG-vel meghajtott autó üzemanyaga – a ^{238}Pu kimagasló ellenére – valószínűleg más izotóp lesz. Esélyes jelölt a füstdetektorokban használt ^{241}Am , esetleg a földfelszíni telepítésű régi szovjet RTG-k üzemanyaga, a ^{90}Sr izotóp, mely olcsóságával tűnik ki. Mindkettő esetében ólomburkolatra van szükség a keletkező gamma-sugárzás elnyelésére, amely jelentős többlettömeget eredményez. ●

IRODALOM:

- [1] Origin: Los Alamos National Laboratory. Copyright: As a work of the U.S. Federal Government, the image is in the public domain.
- [2] A. Torok, N. Stuban: Theoretical Investigation into Exhaust Gas Energetic Utilisation, *Transport*, 2010, 25(4): 357–360, ISSN 1648-4142 print / ISSN 1648-3480 online, doi: 10.3846/transport.2010.44
- [3] de Winter, F.; Stapfer, G.; Medina, E.: The design of a nuclear power supply with a 50 year life expectancy: the JPL Voyager's SiGe MHW RTG, *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE*, vol.15, no.4, pp.5-12, Apr 2000, doi: 10.1109/62.839628
- [4] Schock, A.; Sankarankandath, V.; Shirbacheh, M.: Requirements and designs for Mars Rover RTGs, *Energy Conversion Engineering Conference, 1989. IECEC-89.*, Proceedings of the 24th Intersociety, vol.6, 6-11 Aug 1989, doi: 10.1109/IECEC.1989.74854
- [5] Gary L. Bennett: Space Nuclear Power: Opening the Final Frontier, *Metaspace Enterprises*, Emmett, Idaho, U.S.A. 4th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC) 26-29 June 2006, San Diego, California (<http://www.fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf>)
- [6] Jan Norbye, *Complete Handbook of Automotive Power Trains*, 1981
- [7] Origin: NASA. Copyright policy states that "NASA material is not protected by copyright unless noted". (NASA copyright policy: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>, JPL Image Use Policy: <http://www.jpl.nasa.gov/imagepolicy/>)
- [8] Jinrui, N.; Zhifu, W.; Qinglian, R.: Simulation and Analysis of Performance of a Pure Electric Vehicle with a Super-capacitor, *Vehicle Power and Propulsion Conference, 2006. VPPC '06. IEEE*, vol., no., pp.1-6, 6-8 Sept. 2006, doi: 10.1109/VPPC.2006.364349