

SZAKDOLGOZAT

Seres János

2015



A jövő energiatermelő
autópályái

Energiatermelő autópályák

Motorways with the capability of energy production

Belső konzulens: Dr. Macsinka Klára
egyetemi docens

Készítette: Seres János
építőmérnöki Bsc

Külső konzulens: Duma Viktor
üzemeltetési igazgató
Magyar Közút Nonprofit Zrt.

Budapest, 2015.



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr. Dombay Gábor PhD, Eur Ing
intézetigazgató, főiskolai tanár



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST
ÉPÍTŐMÉRNÖKI INTÉZET
Cím: 1146 Budapest, Thököly út 74.
Tel.: +36-1-252-1270
e-mail: epitomernoki.intezet@ybl.szie.hu

SZAKDOLGOZAT KIÍRÁS 2015

Seres János

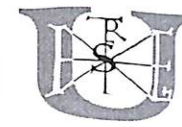
Levelező Építőmérnök szakos
hallgató részére

A feladat címe:	Energiatermelő autópályák - tanulmány
Belső konzulens:	Dr. Macsinka Klára egyetemi docens
Külső konzulens:	Duma Viktor üzemeltetési igazgató, Állami Autópályakezelő ZRt.

A szakdolgozat beadási határideje: 2015. január 16., péntek 12⁰⁰

Budapest, 2015. január 13.

Dr. Dombay Gábor
intézetigazgató



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr. Dombay Gábor PhD, Eur Ing
intézetigazgató, főiskolai tanár



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST
ÉPÍTŐMÉRNÖKI INTÉZET
Cím: 1146 Budapest, Thököly út 74.
Tel.: +36-1-252-1270
e-mail: epitomernoki.intezet@ybl.szie.hu

Részletes feladatkiírás

Seres János

Levelező Építőmérnök
hallgató részére

Energiatermelő autópályák – tanulmány
című szakdolgozatához

Bevezetés, a szakdolgozat témájának bemutatása és indoklása

A magyar gyorsforgalmi utak hálózata és jellemzői

A megújuló energiaforrások és hasznosítási lehetőségeik a gyorsforgalmi úthálózaton

Energiahasznosító technológiák összehasonlítása

Továbbfejlesztési lehetőségek

Összefoglalás, következtetések

Budapest, 2015. január 13.


Dr. Macsinka Klára
belső konzulens

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
2. A megújuló energiaforrások szerepe az energia kínálat és a folyamatosan növekvő kereslet között.	7
2.1. A rendelkezésre álló energiaforrások megoszlása a Földön	7
2.2. Megújuló energiaforrásokra épülő technológiák alkalmazásának fontossága a gyorsforgalmi utakon.....	8
3. Magyarországi autópályák, autóutak jellemzői	10
3.1. Gyorsforgalmi úthálózat kialakulásának áttekintése	10
3.2. A gyorsforgalmi utak legfőbb jellemzői ^[4]	11
3.3. Közlekedés az autóutakon, autópályákon ^[5]	11
3.4. A gyorsforgalmi utak üzemeltetése.....	11
3.4.1. Közútkezelői tevékenységek. ^[7]	12
4. A megújuló energiaforrások hasznosításainak technológiai lehetőségei gyorsforgalmi utakon.....	13
4.1. A napenergia hasznosítása	13
4.1.1. A napenergia fogalma és legfőbb jellemzői	13
4.1.2. A napenergia hazai adottságai	14
4.1.3. Hasznosítás lehetséges módozatai	15
4.1.4. A napkollektorok és napelemes rendszerek környezeti hatásai.....	18
4.1.5. Felhasználási alternatívák gyorsforgalmi utakon	19
4.2. A szélenergia hasznosítása.....	23
4.2.1. A szél keletkezése és fogalma	23
4.2.2. Hazai szélviszonyok áttekintése	23
4.2.3. A szélenergia hasznosításának lehetséges módozatai.....	24
4.2.4. A szélerőgépek alkalmazásának környezeti hatásai	25

4.2.5. A gyorsforgalmi utakon fellelhető levegőmozgások hasznosításainak lehetőségei.....	26
4.3. Piezoelektromos hasznosítás	28
4.3.1. A piezoelektromosság fogalma	28
4.3.2. Piezoelektromos tulajdonsággal rendelkező anyagok alkalmazhatósága az energiatermelésben	28
4.3.3. Speciális generátorok teljesítménye	29
4.3.4. Hazai adottságok	29
4.3.5. Piezoelektromos hasznosítás környezeti hatásai	31
4.4. Mechanikus energia hasznosítása.....	32
5. Energiahasznosító technológiák összehasonlítása	33
6. Nemzetközi példák az autópálya fejlesztésre	35
7. Az energiátárolás fontossága a megújuló energiaforrások gyorsabb elterjedése szempontjából	36
8. A jövő energiatermelő autópályái.....	37
8.1. Felmerülő problémák és lehetőségek	37
8.2. Energiatermelés a jövő autópályáin	41
9. Összegzés	43
Irodalomjegyzék	44
Ábrajegyzék	45

„A klímaváltozás a mi generációnk kihívása.

S válaszunktól nem a világ jó sora függ, hanem a miénk.”

Wolfgang Behringer

1. Bevezetés

A napjainkban bekövetkező levegőszennyeződés hatására fokozódik a légköri üvegházhatás, amely globális klímaváltozáshoz vezethet. A legnagyobb mennyiségű szennyező anyag ipari tevékenység, illetve közlekedés során jut a levegőbe. A környezetszennyezés az elmúlt időszakban jelentősen megnövekedett, amely legfőképp a folyamatos technikai fejlesztésekhez szükséges energia előállításából adódik.

Mára már bebizonyosodott, hogy az emberiség létfenntartásához nélkülözhetetlen az energia, viszont a folyamatos fejlődés, továbbá az energiapazarló és környezetszennyező életmód hosszú távon a természeti erőforrások kimerüléséhez, ökológiai katasztrófákhoz vezethet. Környezetünket és egyben saját érdekeinket is szolgálja, ha a jövőben az energiát ésszerű keretek között, tudatosan használjuk fel és a meglévő energiaforrásokkal takarékosan bánunk. Az egyik leghatékonyabb megoldás a megújuló energiaforrásokra épülő innovatív technológiák népszerűsítése. A legismertebb alternatív energiák közé tartozik a nap,- szél,- víz,- geotermikus energia és a különböző formában megjelenő biomassza.

A megújuló energiaforrások legfontosabb előnye, hogy a hasznosítás során nem bocsátanak ki üvegházhatást okozó gázokat, mivel nem használnak fel fosszilis energiahordozókat. További előny az energiahordozók árától való függetlenség. Ez csökkenti a megújuló energiarendszerek üzemeltetési költségeit és kockázatait is. Az alternatív energiaforrások legnagyobb hátránya a nagy beruházási költség, amely gyakran nagyobb, mint a nem megújuló energiaforrásokon alapuló erőműveké.^[1]

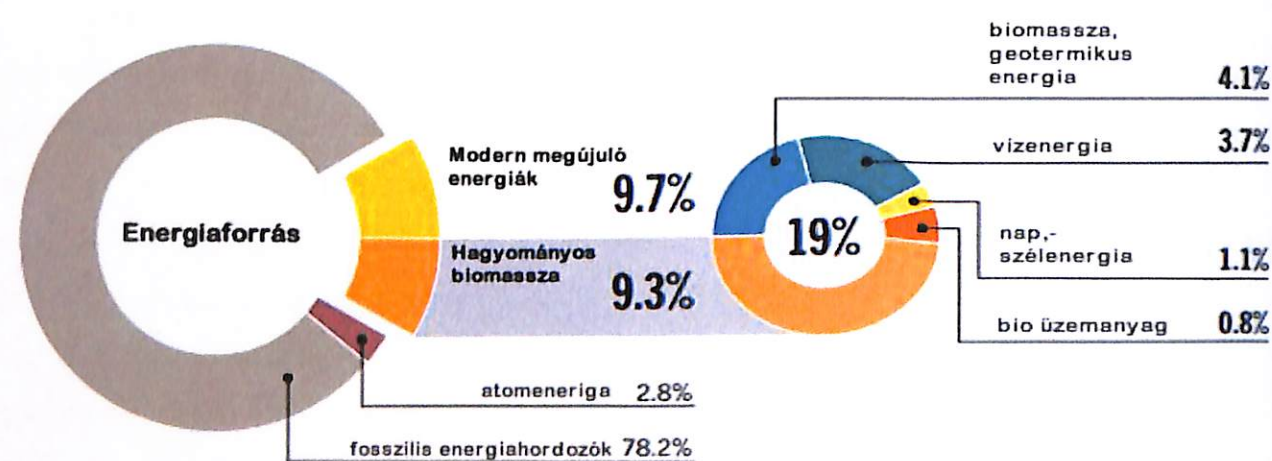
A jövőben minden országnak törekednie kell arra, hogy a természeti adottságainak megfelelően a fellelhető energiaforrásait hasznosítsa. A környezetszennyező életmód nemzetközi összefogással megállítható. Jelenleg a kutatóintézetek olyan innovatív technológiák kifejlesztésére törekednek, amelyek lehetőséget nyújtanak azoknak a hátrányos helyzetű országoknak is, ahol nem tudnak a megújuló energiaforrásokat hasznosító erőművek kiépítésére elegendő anyagi forrást,- területet biztosítani, vagy esetleg kedvezőtlen földrajzi adottságokkal rendelkeznek.

Jelen dolgozat célja, olyan műszaki megoldások felkutatása és bemutatása, amelyek kiépítésével javítható a magyarországi autópályák közlekedésbiztonsága és csökkenthetők az útfenntartási és üzemeltetési költségek. Részletes leírást ad olyan innovatív technológiákról, amelyek a gyorsforgalmi utak közvetlen környezetében fellelhető megújuló energiaforrásokból, továbbá a közlekedő járművekben rejlő lehetőségekből villamos energiát képesek előállítani. Megmutatja, milyen módon tudjuk eltárolni az így keletkezett elektromos áramot, továbbá felvázolja a különböző felhasználási alternatívákat.

2. A megújuló energiaforrások szerepe az energia kínálat és a folyamatosan növekvő kereslet között.

2.1. A rendelkezésre álló energiaforrások megoszlása a Földön

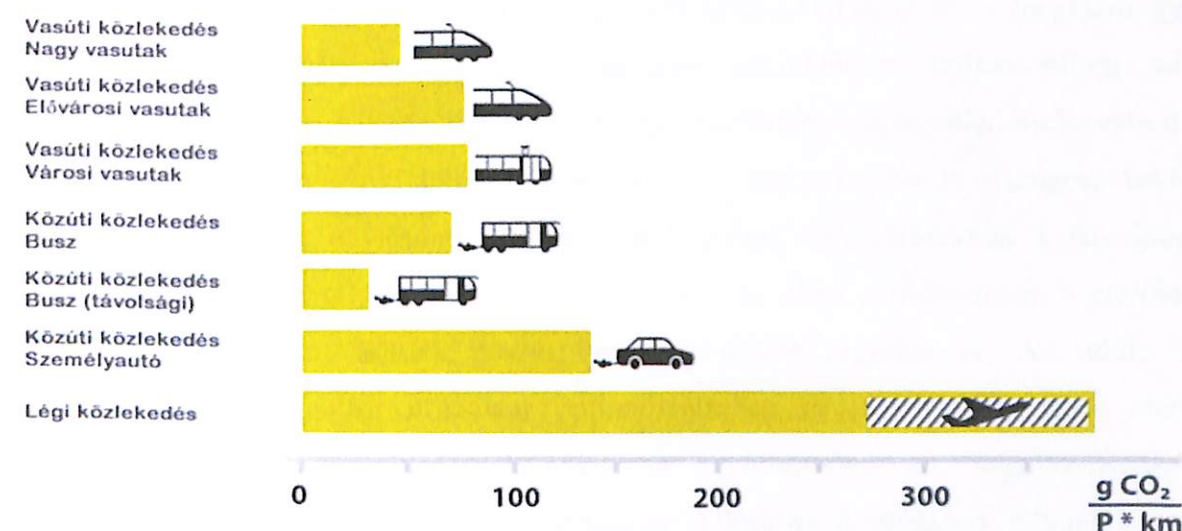
Napjainkban az energia közel 80%-át fosszilis tüzelőanyagok adják, 1/3 részben olaj, 1/4 részben szén, 1/5 részben földgáz, a többi pedig más energiaforrásokból származik: atom,- és vízenergiából, illetve egy töredékrésze nap,- szél,- geotermikus és egyéb energiából. Mára már bebizonyosodott, hogy a gazdasági jólét egyik alapfeltétele a megfelelő energiaellátás és ennek a teljesítése mindig is kihívás volt az emberiség számára. A folyamatos fejlődés, és a népességnövekedés hatására megnövekedett az energia iránti igény. Minél többen vagyunk, annál több energiára van szükségünk. Földünk olajkészlete azonban kifogyóban van és előállítása egyre nagyobb beruházást igényel. Ellenben a szén olcsó és még mindig viszonylag sok van belőle, de ezeknek a fosszilis tüzelőanyagoknak az elégetése nagyban hozzájárul a klímaváltozáshoz. A felgyülemelő sok szén-dioxid miatt nő a Föld globális hőmérséklete. Ahhoz, hogy ezt a folyamatot megállítsuk, a jövőben ésszerűsíteni kell az energiafogyasztást, és csökkenteni kell a fosszilis tüzelőanyagok felhasználását. A növekvő igények kielégítésére egyre több energiát kell termelnünk, így a tüzelőanyagok elégetésének csökkentéséből adódó energiahiány pótlására megoldást nyújthatnak a kimeríthetetlen energiaforrások. (nap,- szél,- geotermikus és egyéb megújuló energiaforrások)



1. ábra: Az energiaforrások globális eloszlása (2011)

2.2. Megújuló energiaforrásokra épülő technológiák alkalmazásának fontossága a gyorsforgalmi utakon

A mai modern világban, a közlekedés az egyik legmeghatározóbb környezetszennyező tényező más iparágak mellett. Az urbanizációs folyamat hatására megnőtt a helyváltoztatási igény és ebből adódóan megnövekedett a közlekedési célú eszközök gyártása is, így gyakorlatilag már az előállítás során is jelentős mértékű szennyező anyagok keletkeznek. A közlekedés során a levegőszennyezés elsősorban a benzin,- és gázolaj üzemű motorok működése közben keletkező gázok miatt következik be. A szennyeződés mértékét legfőképp a járművek kategóriája, száma, korszerűsége, és műszaki állapota határozza meg, továbbá attól is függ, hogy a gázok milyen magasságban kerülnek a légterbe.^[1] A legtöbb mennyiségű CO₂ a folyamatosan növekvő légi közlekedés során jut a levegőbe, melyet a jóval nagyobb üzembe helyezett gépjárművel rendelkező közúti közlekedés követ. A világ szinte minden táján számos kutatást és fejlesztést végeznek, amelyek eredményeként ez a hatás csökkenthető.



1. ábra: CO₂ ekvivalens kibocsátás (gramm/utaskilométer)

A hagyományos belsőégésű motorokat hybrid üzemű hajtások váltják fel. A járművek mozgatásához szükséges energiát így nem a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével állítják elő, hanem egy integrált akkumulátorból nyerik. Az új technológia alkalmazásával a járművek közvetlen környezetre káros hatást nem bocsájtanak ki. Ez a fejlődési irány azonban csak akkor lehet eredményes, ha a közutakat is modernizáljuk, megfeleltetjük a jelen,- illetve a jövőbeni elvárásoknak. Ehhez újabb forgalomtechnikai eszközök és egyéb szolgáltatást nyújtó elektromos berendezések szükségesek, amelyek működtetése további energiát igényel.

Hosszú távon, ésszerű megoldást az alternatív energiák maximális kihasználása nyújtana. Az autópályák és autóutak funkciójából eredően, a nap,- és szélenergián kívül a járművek mozgásából is számos energia hasznosítható.

3. Magyarországi autópályák, autóutak jellemzői

3.1. Gyorsforgalmi úthálózat kialakulásának áttekintése

A középkorban szekérutak kötötték össze a falvakat, amelyek vonalvezetését leginkább a talaj,- és tulajdonviszonyok, továbbá a terepviszonyok alakították. Egyes területek útellátottságát jellemzően a települések száma határozta meg.

A későbbiekben az így kialakult nyomvonalakhoz igazodva épült ki az alsóbbrendű közúthálózat. Majd ezt követően a forgalmi szempontból jelentős csomópontok, nagyobb városok minél egyenesebb vonalú összekötése volt a cél. A technikai újításoknak köszönhetően a különböző felszíni formák csekély mértékben befolyásolták az útvonal kialakítását. A főútvonalak magassági vonalvezetése a földmunka egyensúlyára törekedve helyenként magas töltéseken, vagy mély bevágásokban került kiépítésre. Az így kialakított többközpontú városhálózat struktúrája eltér az alsóbbrendű közúthálózat logikájától.^[2]

Gazdasági szempontból lényeges előrelépés volt a nagyobb városok összekötése. azonban a modernizáció hatására a főutak teljesítőképessége csökkent. Az egyszintű keresztezésekkel épült keskeny utak nagymértékben akadályozták a forgalom gyors és balesetmentes lebonyolítását, ezért az országos közúthálózat fejlesztésében minőségi változásra volt szükség. A kapacitás pótlására egy sugárirányban terjedő, Budapest-centrikus autópálya hálózatot terveztek, amely jelenleg is fontos részét képezi az országos,- továbbá az európai közlekedésnek egyaránt. Ezek a gyorsforgalmi utak elsősorban a járműforgalom gyorsabb és biztonságosabb közlekedését szolgálják, továbbá a főúthálózattól eltérően nem csak kiemelt városokat kötnek össze, hanem nagyobb régiókat is. Az eddig kiépült egyközpontú gyorsforgalmi úthálózat optimalizáláshoz és a végleges célok eléréséhez azonban újabb bővítések szükségesek. Mára már egyértelművé vált, hogy az ország egyes területein található nagyobb városok gazdasági fejlődését a meglévő úthálózat csak kis mértékben segíti, ezért fontos hogy ezek a települések egymással is kapcsolatba kerüljenek. Az elmúlt évtizedekben az egyközpontú hálózat miatt, a legtöbb város gazdasági folyamatai a kedvezőbb közlekedési feltételek miatt a főváros felé irányultak. Az, hogy a magyarországi gyorsforgalmi úthálózat megfeleljen a jövőbeni elvárásoknak, elsősorban a már meglévő főirányokra merőleges pályaszakaszok kiépítésével érhető el.

3.2. A gyorsforgalmi utak legfőbb jellemzői^[3]

- Irányonként kettő, vagy több forgalmi sávból és egy leállósávból állnak.
- A forgalmi irányok egyértelmű fizikai elválasztását szalagkorlát biztosítja, helyenként előre telepített növényzettel kiegészítve.
- A gyorsforgalmi utak közúti,- és vasúti keresztezése külön-szintű.
- A közlekedési csomópontokban és a pihenőhelyeknél a gépjárművek le,- és felhajtására gyorsító,- és lassítószalag szolgál.
- Tömegközlekedési járművek megállóhelyei az autópályán nem helyezhetők el.
- Az autópályákat és autóutakat a közvetlen szomszédos területektől kerítés, vagy más fizikai akadály választja el.

3.3. Közlekedés az autóutakon, autópályákon^[4]

- Autópályán és autóúton, valamint az azokra való ráhajtásra szolgáló úton (az előjelző táblától kezdődően) csak olyan gépjárművel, illetőleg gépjárműből és pótkocsiból álló járműszerelvénnel szabad közlekedni, amely sík úton legalább 60 km/óra sebességgel képes haladni; ezeken az utakon más jármű közlekedése tilos.
- Az autópályán és az azonos irányú forgalom számára legalább két forgalmi sávval rendelkező autóúton a párhuzamos közlekedés szabályait kell alkalmazni.
- Műszaki okból megállni csak a leállósávon, illetőleg az útpadkán szabad, a járművet azonban onnan is mielőbb el kell távolítani.
- Autópályára és autóútra út menti ingatlanról, valamint útnak nem minősülő más területről tilos ráhajtani, illetőleg oda behajtani.

3.4. A gyorsforgalmi utak üzemeltetése

A tervezési és kivitelezési folyamatok után a közút kezelője köteles a közlekedésbiztonsági és környezetvédelmi előírásoknak megfelelően eljárni. Az országos közutak kezelésének szabályozásáról szóló 6/1988. (III.11.) KHVM rendelet szerint, a közút,- kategóriájának és kiépítettségének, valamint a forgalom,- nagyságának és időszakos változásának figyelembe vételével a gyorsforgalmi utak és ezek csomóponti ágai I. szolgáltatási osztályba tartoznak. Ez a besorolási szint sűrű ellenőrzési folyamatokat igényel és az esetleges hibák legrövidebb idejű helyreállítását határozza meg.^[5] A magyarországi gyorsforgalmi úthálózaton jelenleg öt zártkörű részvénytársaság végez üzemeltetési,- és fenntartási feladatokat.

3.4.1. Közútkezelői tevékenységek:^[5]

- nyilvántartási feladatok:

A közút kezelője, vagy az általa megbízott szervezet a közutakról, azok műtárgyaitól és tartozékairól nyilvántartást köteles vezetni.

- ellenőrzési feladatok:

Az utakat, azok tartozékait és műtárgyait az I. szolgáltatási osztálynak megfelelő gyakorisággal szakszerű felügyelet alatt kell tartani.

- út,- és műtárgy üzemeltetés feladatok:

A közút kezelőjének minden időszakban biztosítani kell közutak, hidak, átereszek, műtárgyak és úttartozékok megfelelő működését és használhatóságát.

- út,- és műtárgy fenntartási feladatok:

Az útburkolat, úttartozékok, műtárgyak ellenőrzése során felmerülő hibákat és károsodásokat szolgáltatási osztálytól függően meghatározott idő alatt helyre kell állítani.

- közúti információszolgáltatási feladatok:

Az intelligens közlekedési rendszerek kiépítésére, fejlesztésére, üzemeltetésére, valamint a közlekedők részére történő információ átadás céljára TIC (Traffic Information Center) Közlekedési Információs Központ működik, amelyet az Útinform lát el.

- fejlesztési feladatok:

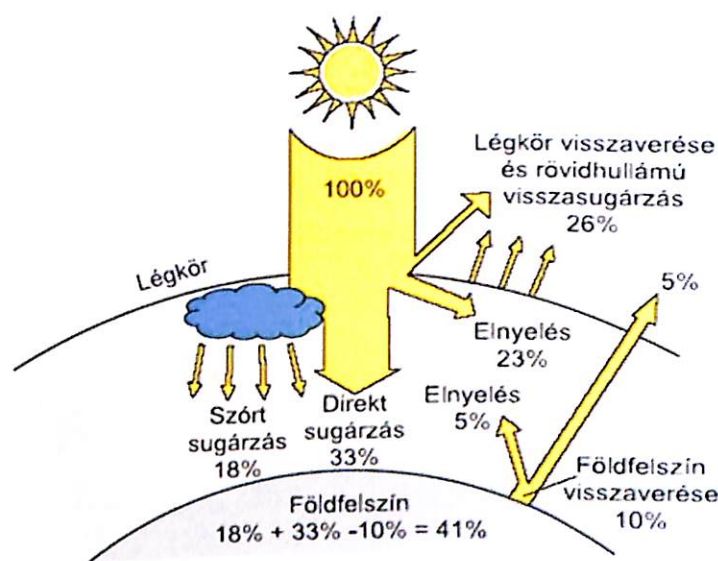
A gyorsforgalmi utak gazdaságos üzemeltetése,- és a forgalom biztonságos lebonyolítása érdekében a közút kezelőjének folyamatos fejlesztéseket kell végeznie.

4. A megújuló energiaforrások hasznosításainak technológiai lehetőségei gyorsforgalmi utakon

4.1. A napenergia hasznosítása

4.1.1. A napenergia fogalma és legfőbb jellemzői

Földünk egyik leglényegesebb energiaforrása a napenergia, amely a Napban lejátszódó magfúziós folyamatok során jön létre. Legfontosabb tulajdonsága, hogy kimeríthetetlen, továbbá hatást gyakorol más alternatív energiaforrások keletkezésére is. A Napból érkező energia, elsősorban ibolyántúli, látható és infravörös sugárzás formájában érkezik a Földre, de kisebb mennyiségben kibocsát még más frekvenciájú elektromágnes sugárzást is. A teljes energiamennyiségnek a tízmilliárdod része éri el a földi légkör legfelső részét, amelynek 26 %-a visszaverődik, 23 %-át pedig a légköri gázok és a vendéganyagok elnyelik, majd hővé alakítják át. A földfelszín tehát a teljes sugárzás 51 %-a éri el, amelyből 33 % közvetlen (direkt) és 18 % szórt (diffúz) sugárzás. A felszín elérve a napsugárzás 10 %-a visszaverődik, amelynek a légköri gázok már csak 5 %-át képesek átalakítani hővé, a többi elvész a világűrben.



2. ábra: A napsugárzás eloszlása

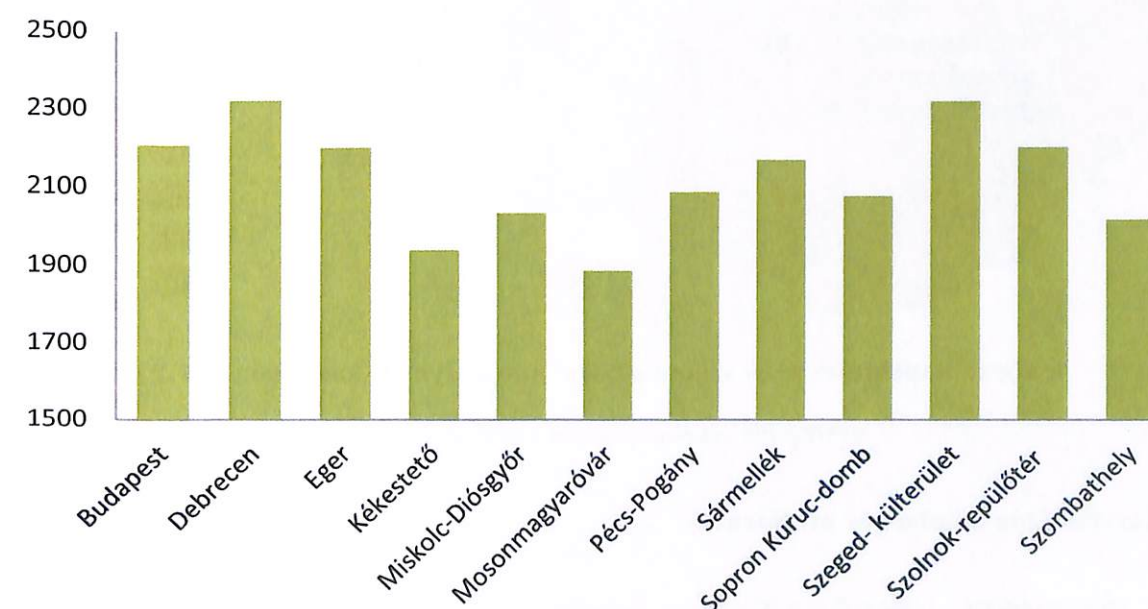
A földfelszínen észlelhető napsugárzás erőssége egyenlőtlen eloszlású. Ez leginkább a földrajzi elhelyezkedéstől függ, hiszen a különböző szélességi fokokban változik a Napból érkező sugárzás beesési szöge.

A napsugárzás erőssége függ attól is, hogy milyen évszak van, illetve adott időben milyen időjárási viszonyok uralkodnak a vizsgált területen (pl.: felhős időben alacsonyabb a sugarak erőssége).^[6]

4.1.2. A napenergia hazai adottságai

Magyarország a földrajzi fókuszát szerinti az északi szélesség 45°48' és 48°35', a keleti hosszúság 16°5' és 22°58' között terül el, tehát a felszínre érkező sugarak beesési szögei az ország különböző pontjain csekély mértékben változnak, így hazánkban a napsugárzás erősségét elsősorban az éghajlat befolyásolja, amely az ország viszonylag kis területe és sík felülete ellenére rendkívül változékony. Ennek fő oka, hogy több éghajlati hatás egyaránt jelen van hazánk területén: a kiegyenlített hőmérsékletjárású, csapadékos óceáni; a szélsőséges hőmérsékletű, kevés csapadékú kontinentális; illetve a nyáron száraz, télen csapadékos mediterrán éghajlat.^[7]

A magyarországi gyorsforgalmi utakon alkalmazható napenergiát hasznosító eszközök optimális helyének megválasztása az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései és számításai alapján történik. A 2013. évre vonatkozóan számított napfényadatok szerint a napsütéses órák száma átlagosan 2120 óra/év. A legtöbb besugárzás általában júliusban jellemző, annak ellenére, hogy ilyenkor a nappalok már rövidebbek, mint júniusban, viszont a felhőzet mennyisége csekélyebb. Az elmúlt évek átlagától eltérően április és augusztus között, továbbá októberben és decemberben is nagyobb értékeket mértek.



3. ábra: Napsütéses órák száma a hazai gyorsforgalmi utak 50 km-es körzetében található állomások mérései alapján (2013)

Ma már a fejlett technológiáknak köszönhetően a felhősebb időszakban is van lehetőség a napenergia hasznosítására, azonban mégis lényeges a kedvezőbb helyek meghatározása, hiszen ezeken a területeken a hasznosító eszközök jóval hosszabb idejű és egyben nagyobb teljesítményű működésre képesek, így a megtérülési idő is rövidebb. Hazánkban a napsütés időtartama két komponens szerint változik, egyrészt Északról Dél felé, valamint Nyugatról Kelet felé növekszik, ebből következik, hogy a napenergia hasznosítás szempontjából a legkedvezőbb az M5 jelű autópálya teljes hossza, ahol a 2013-as adatok szerint a napsütéses órák száma átlagosan 2200-2300 közé tehető. Ideális szakasz még az M35 és az M3 jelű autópálya keleti része, ahol az átlagos napfénytartam a tavalyi évben 2300 óra/év körül alakult. Az ország Dunántúli részét, az északi területekhez hasonlóan már kevesebb napfény éri évente. Az M6-os autópálya teljes hosszán, elhelyezkedéséből adódóan szinte szabályszerűen az országos átlaghoz közeli értékek a jellemzőek. Éves szinten a legkevesebb napfény az M1-es és az M7-es autópályát éri.



4. ábra: Napsütéses órák száma a hazai autópálya szakaszokon (2013)

4.1.3. Hasznosítás lehetséges módozatai

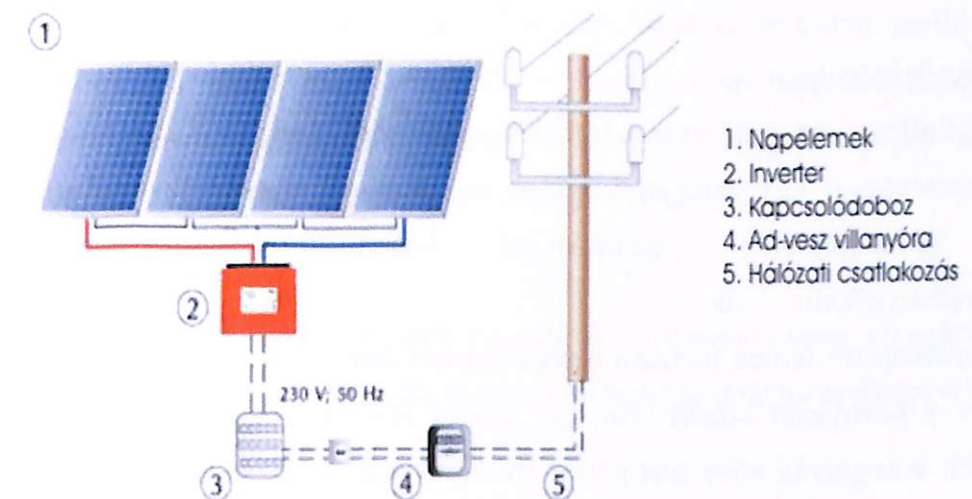
A napenergia közvetlen hasznosításának módjai alapvetően két fő csoportba sorolhatóak. Az egyik az úgynevezett passzív hasznosítás, amikor az energia előállításához külön kiegészítő eszközöket, berendezéseket nem alkalmaznak. Legtöbb esetben az épületek

fűtésénél (tájolás, szerkezeti anyagok megválasztása, hatékony szigetelés...) találkozhatunk ilyen jellegű megoldásokkal, ezért a gyorsforgalmi utak üzemeltetésében elsősorban az aktív energiahasznosító technológiák az elterjedtebbek, amelyek különböző eszközökkel alakítják át a Nap energiáját végenergiává. Az aktív napenergia hasznosításának legismertebb fajtái a napelemes, illetve napkollektoros rendszerek.

4.1.3.1. Napelemes (fotovoltaikus) rendszerek^[8]

A napelem egy olyan eszköz, amely a Naptól érkező sugarak energiáját közvetlen egyenáramú villamos energiává képes átalakítani. Teljesítménye függ a fény beesési szögétől, a megvilágítás intenzitásától, a hatásfoktól, a cellák hőmérsékletétől, továbbá a csatolt terheléstől. Beépítésük szerint megkülönböztetünk fix, illetve napkövető modulokat, amelyek nagyobb teljesítményű működésre képesek.

A napelemes rendszer közvetlen a hálózatra kapcsolható, vagy lehetőség van szigetüzemű működtetésre is, ahol az előállított villamos energia tárolását akkumulátorok végzik. Utóbbi a gyorsforgalmi hálózat egyes szakaszain ideális megoldást nyújt a különböző forgalomirányítási,- és biztonságtechnikai eszközök üzemeltetésére. (pl.: segélykérő telefonok)

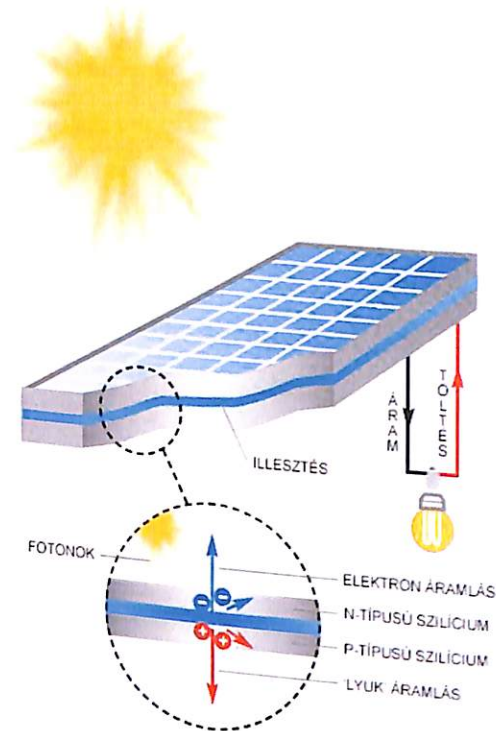


5. ábra: Napelemes rendszer felépítése

4.1.3.1.1. Működési elv

A napelem működésének mechanizmusa a fénylektromos hatáson alapul, amely szerint a fény elnyelődésekor mozgásképes töltött részecskéket generál. Ezeket a részecskéket az elektrokémiai potenciálok, illetve az elektron kilépési munkák különbözőségéből adódó

beépített elektromos tér rendezett mozgásra kényszerít. A keletkezett egyenáramot akkumulátorok segítségével tárolhatjuk, vagy megfelelő inverter segítségével akár azonnal felhasználhatjuk.

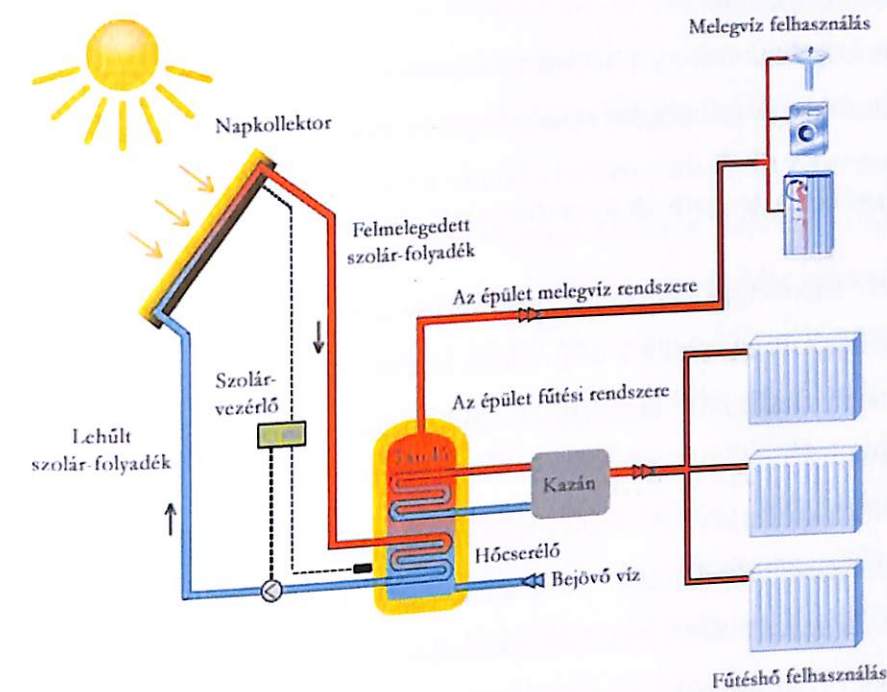


6. ábra: Napelem cella működése

4.1.3.2. Napkollektorok

A napkollektoros rendszerek legfőbb jellemzője, hogy a Nap energiáját a lehető legkisebb veszteséggel egy közvetítő közeg segítségével hőenergiává alakítják át, amely különböző épületgépészeti eszközökkel hasznosítható. Elsősorban épületek fűtésrendszereiben alkalmazzák.

A fényátersztő lemez feladata a napsugárzás áteresztése és a hőszigetelés biztosítása az elnyelő és a környezet között. Anyaga szerint lehet üveg, vagy műanyag. Az elnyelő rétegben zajlik a sugárzás hővé alakulása, valamint a hő átadása a hőhordozó közegnek. A hőszigetelés pedig korlátozza a hátoldali veszteséget.



7. ábra: Napkollektor működése

4.1.4. A napkollektorok és napelemes rendszerek környezeti hatásai

4.1.4.1. Terület felhasználás

A napelemes modulok felülete viszonylag nagy, rendszerbe kötve, pedig csak egymás mellé helyezhetőek el, ezért az autópályák és autótutak mellett kiépíthető napelemek természetes ökoszisztémára gyakorolt hatása jelentős, bár függ a táj topográfiájától, az érzékeny ökoszisztémáktól való távolságtól és a biodiverzitástól.

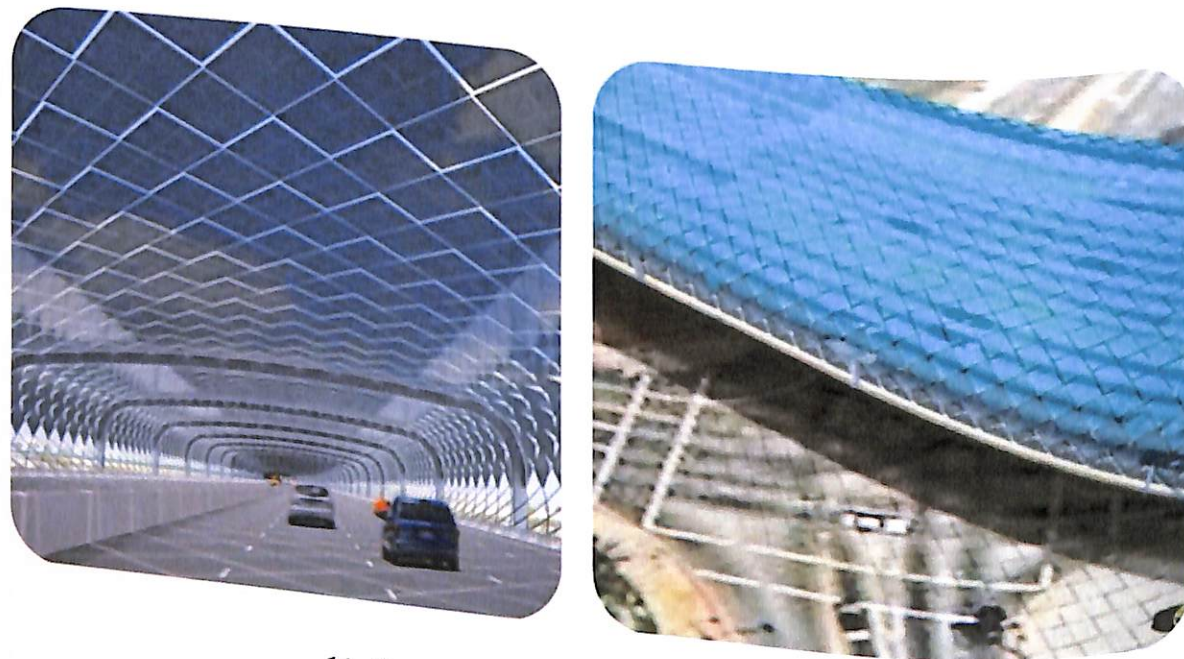
4.1.4.2. Zajhatás

A napenergiát hasznosító eszközök telepítését és üzemeltetését vizsgálva, minimális zajhatás csak a szerelés közben fordul elő, amely nem haladja meg az építkezéseknél szokásos mértéket.

4.1.4.3. Szennyezőanyag kibocsátás

A napelemes rendszerek normál működése mellett káros anyag nem keletkezik. Technológiai tűz esetén előfordulhat, hogy kismértékben szennyező anyagok kerülnek a levegőbe.

Egy komplexebb elgondolás szerint a napelemek elhelyezésére a pályaszerkezet fölé kiépített vázszerkezet szolgálna. A modulok megfelelő védőréteggel kiegészítve nem csak hasznosítási funkciót látnának el, hanem megvédenék a pálya szerkezetét a különböző időjárási-éghajlati elemek rongáló hatásaitól. A burkolatok jellemző hibái, hogy a meleg hatására felgyűrődnek, vagy deformálódnak, tartós hideg esetén megfagynak, illetve repedések keletkeznek, továbbá a pályaszerkezet alá kerülő vizek csökkenthetik a talajréteg teherbírását. Az ilyen jellegű hibák javítása költséges és csökkenti a burkolat élettartamát. A speciális fedőszerkezet kiépítése hosszútávon megfelelő megoldást nyújthat a pályaszerkezet védelmére és a Nap energiájának hasznosítására. A magas beruházási költség megtérülési ideje az energiahasznosító folyamat mellett, az üzemeltetési,- és fenntartási feladatok számszerű csökkenéséből határozható meg.



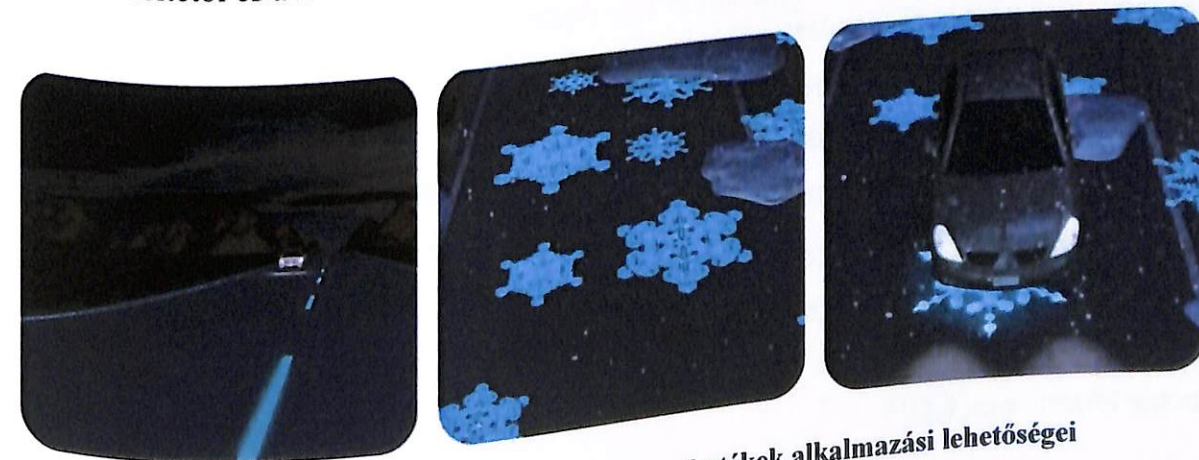
11. ábra: Napelemek az autópálya fölött

A napelemek elhelyezését a mérnökök egy jövőszerű alternatíva szerint a burkolatba beágyazva képzelik el. Az aszfaltburkolatú pályaszerkezet építésénél mesterséges és természetes adalékanyagokat (kőzúzalék, homok, mészköliszt) használnak, továbbá bitumen kötőanyagot, amelyet a kőolaj lepárlásából nyernek. A jövőben egy olyan pályaszerkezet kiépítésére kellene törekedni, amely nem tartalmaz kőolaj alapú kötőanyagot, és más burkolattípusokkal szemben jóval nagyobb az élettartama. A leghatékonyabb megoldást egy olyan panelekből kiépíthető út adná, amely napelemekből áll, ezáltal villamos energia állítható elő. Ez a rendszer lehet az alapja a modernizált utaknak. A gyorsforgalmi utak, a panelekbe beépített processzorok, szenzorok, világító,- és egyéb eszközök segítségével képesek lennének felismerni a közlekedésre veszélyt jelentő időjárási viszonyokat.

rendellenességeket és azokról még megfelelő időben tájékoztatást adni a közlekedésben résztvevők felé.

A gyorsforgalmi utakon különböző világító technológiák alkalmazásával az éjszakai közlekedés biztonsága növelhető. Léteznek olyan anyagok, amelyek abszorbeálják a fény fotonjait, majd az eredeti gerjesztéshez képest kisebb intenzitással kisugározzák azokat.^[9] Ez a kémiai folyamat a foszforeszkálás. A fény alacsony teljesítőképessége miatt, elsősorban az autópályák, autóutak azon szakaszain érdemes alkalmazni, ahol a pályaszerkezet megvilágítása éjszakai órákban nem indokolt. Felhasználási lehetőség szerint az útburkolati jelzéseket foszforeszkáló anyagokkal egészítenék ki, megnövelve így az éjszakai közlekedés biztonságát.

A foszforeszkáló jelekhez hasonló megoldás egy úgy nevezett dinamikus festék, amely főként téli időszakban segítené a forgalom biztonságos lebonyolítását. Fagy hatására az útburkolat csúszóssá válik és ilyenkor a balesetek száma is megnövekszik. A tervezők nagyon egyedi és látványos alternatívával álltak elő, miként lehet a járművezetőket időben figyelmeztetni a fennálló veszélyről. Az útburkolat felületére hőmérséklet-érzékeny festékekkel hópelyheket festenének, amely a „fagy miatt kialakult csúszós felület”-et szimbolizálná. Amint a hőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá esik, fénylő hópelyhek rajzolódna ki az út felszínén, így a járművezetők tudni fogják, hogy a biztonságos közlekedés érdekében érdemes a jármű sebességét az időjárási viszonyoknak megfelelően megválasztani, nagyobb követési távolságot tartani és mellőzni a hirtelen fékezést. Ez a megoldás rendkívül hasznos lehet a gyorsforgalmi utak üzemeltetői és a közlekedésben résztvevők számára egyaránt.^[10]



12. ábra: Foszforeszkáló,- és hőérzékeny festékek alkalmazási lehetőségei

Az utóbbi években megnövekedett járműforgalom biztonságos, gazdaságos és akadálymentes lebonyolításához kedvező lehetőségeket nyújt a napenergia hasznosítása, azonban térben és időben változóan, előre csak részben meghatározó mértékben áll

rendelkezésre, ezért az energiaigény,- és kereslet egyensúlyának folyamatos fennmaradását több alternatív energiaforrásra épülő technológia egyidejű kiépítésével, illetve az előállított energia hosszabb idejű tárolásával biztosítható.

4.2. A szélenergia hasznosítása

4.2.1. A szél keletkezése és fogalma

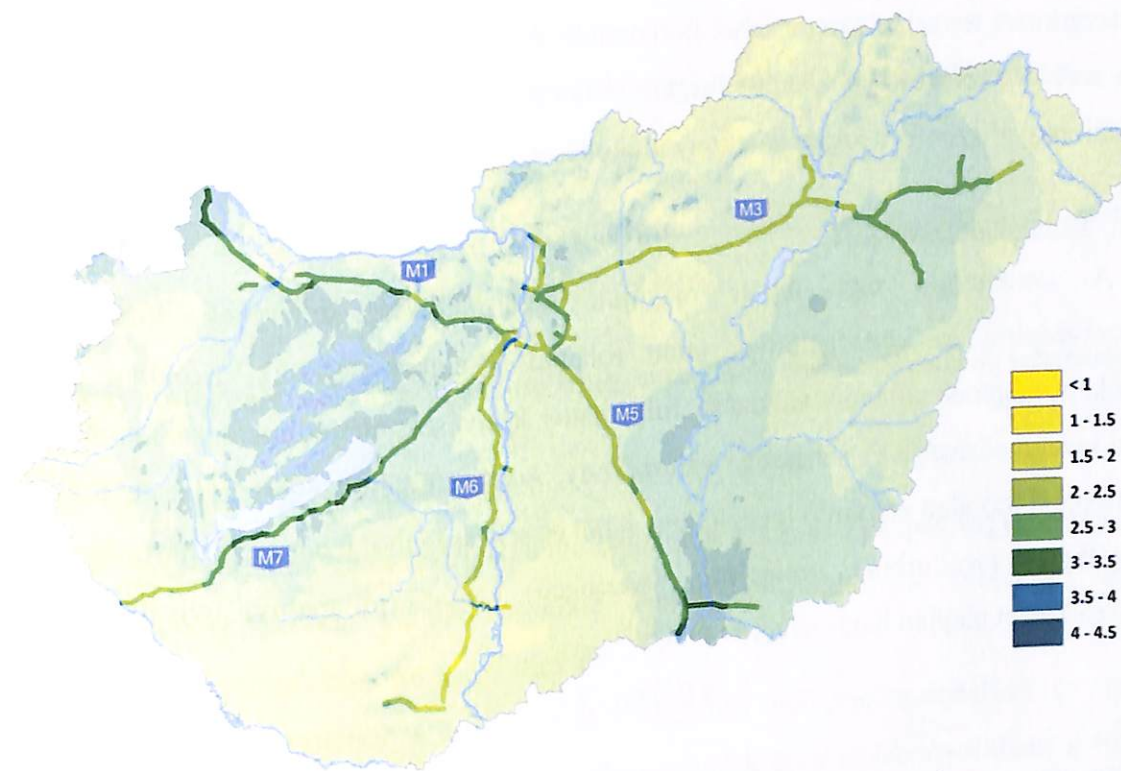
A földfelszín eltérő mértékű felmelegedése a felszín feletti légkörben légnyomás különbségeket hoz létre, amelynek kiegyenlítésére a levegőrészecskék mozogni kezdenek az alacsonynyomású területek irányából a magasnyomású területek felé. Minél nagyobb a légnyomás (hőmérséklet) különbség két terület között, annál nagyobb lesz a részecskeáramlás sebessége. Ez a vízszintes mozgás a szél.

A felszínen található építmények, fák, megakadályozzák a szél egyenes mozgását, valamint a talaj menti levegőrétegben gyakran széllekökéseket és örvényeket idéznek elő, ami a szélenergia hasznosítása szempontjából kifejezetten hátrányos, ellenben a nagyobb domborzati formákkal, amelyek előnyösen befolyásolják a szél sebességét.^[11]

4.2.2. Hazai szélviszonyok áttekintése

A magyarországi szélviszonyok tökéletesen megfelelnek a szélenergia hasznosításának. Hazánkban az általános cirkuláció által meghatározott alapáramlás és a domborzati viszonyok befolyásolják leginkább a szélviszonyok kialakulását. Magyarország területén a leggyakoribb szélirány jellemzően északias. Az általános cirkuláció északnyugati irányú, fő áramlása a Dunántúl keleti felén és a Duna - Tisza közén érvényesül leginkább, míg a Tiszántúli részekén északkeleti az uralkodó szélirány. A mérsékelt öv szelei azonban nem tekinthetők állandónak, a leggyakoribb szélirány relatív gyakorisága általában 15-35 % között alakul.

Magyarország évi átlagos szélesebsége 2-4 m/s között ingadozik, ez alapján hazánk mérsékelt szélterületek közé sorolható. A havi átlagos légmozgás éves menetében általában áprilisban jelentkezik a maximum, míg a legalacsonyabb értékeit augusztus és október között veszi fel.^[12]



13. ábra: Szél erőssége (m/s) a hazai autópálya szakaszokon

A szélenergia hasznosítására elsősorban az ország északnyugati területén található M1 jelű autópálya rendelkezik a legjobb adottságokkal, majd az M7, amely kicsit Délebbre helyezkedik el. A 2013-as mérési,- és számítási adatok alapján, ezeken a területeken a szél sebessége átlagosan 2,5 m/s felett alakul. A többi autópálya szakaszon közel azonos értékek figyelhetők meg az elmúlt évben. A szél sebessége átlagosan 1,5 és 3 m/s között változik.

4.2.3. A szélenergia hasznosításának lehetséges módjai

A szélenergia hasznosításában alapvetően a fő irányzatot a hálózatra csatlakoztatható szélenergia termelők jelentik. A szélenergia teljesítménye ideális megoldást nyújt a fosszilis energiahordozók felhasználásának csökkentésére. Hatalmas méretűből adódóan, a gyorsforgalmi utak közvetlen közelében nem helyezhetőek el, ezért ezeken a területeken elsősorban a lokális felhasználásban ismert lassújárású villamos szélenergia termelők (szélgenerátorok), szélgenerátorok alkalmazására van lehetőség.

4.2.3.1. Szélgenerátor működési mechanizmusának elve

A szélgenerátor működési elve kifejezetten egyszerű. A szél mozgási energiája speciális lapátszerkezet alkalmazásával forgó mozgássá alakítható át, amelyből egy generátor segítségével villamos energia állítható elő. Kedvező beruházási költsége az egyszerű működéséből adódik, továbbá a szélgenerátorok karbantartása és javítása is költséghatékony.

A lapátszerkezet tengelye szerint lehet horizontális és vertikális elhelyezésű. Utóbbi előnye, hogy a szél bármely irányból képes forgatni, ellenben a hagyományos megoldással, amely csak széliránnyal szemben képes hatékony működésre.

4.2.3.2. Teljesítménytényező

A szélenergia egy olyan megújuló energiaforrás, amelynek kihasználása környezetvédelmi és költségelőnyei miatt rohamos ütemben fejlődik, azonban a szél teljesítőképességének állandó változása folyamatos kihívások elé állítja a szakembereket, mivel a levegő sűrűsége és sebessége változó. A teljesítőképességet egy adott felületen meghatározott idő alatt átáramló levegő tömegéből és sebességéből lehet meghatározni. Egy szélkerék (szélturbina, szélerőmű, szélerőgép) várható pillanatnyi teljesítményét a következő képlet alapján határozhatjuk meg:^[13]

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta$$

Ahol:

P: a szélkerék teljesítménye,

$\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$ a levegő sűrűsége,

$A = r^2 \pi = d^2 \pi / 4$ a lapátok által súrolt terület mérete (r a lapátok hossza, $d = 2r$ a szélkerék átmérője),

v: a szél sebessége, amely mellett a pillanatnyi teljesítményt meghatározzuk,

η : a szélkerék hatásfoka.

4.2.4. A szélerőgépek alkalmazásának környezeti hatásai

4.2.4.1. Terület felhasználás

A szélgenerátorok telepítése minimális időt vesz igénybe, ezért az építési folyamat során a környezet, csak csekély mértékben kerül átalakításra.

4.2.4.2. Zaj,- és rezgésekibocsátások:

A kisteljesítményű szélgenerátorok működése közben elvégzett infrahangvizsgálatok szerint a keletkező szintértékek olyan alacsonyak, hogy az emberi szervezetre nem gyakorolnak semmiféle káros hatást.

4.2.4.3. Élővilágot érő hatások:

A szélenergia hasznosítása elsősorban az állatvilágra, főként a madarakra jelenthet veszélyt, azonban a kis átmérőjű lapátkerekek időben észlelhetőek és elkerülhetőek.

4.2.4.4. Károsanyag-kibocsátások:

A szélgenerátorok működésének nincs közvetlen károsító hatású kibocsátása.

4.2.4.5. Hulladékkeletkezés:

Hulladék keletkezése, csak a szélgenerátorok építése közben fordul elő minimális mennyiségben, továbbá az előállított energia tárolásánál.

4.2.5. A gyorsforgalmi utakon fellelhető levegőmozgások hasznosításainak lehetőségei

4.2.5.1. A természetes szél hasznosítása

A gyorsforgalmi utak energiaigénye leginkább a kis és közepes fogyasztású családi házakhoz, cégekhez és vállalkozásokhoz hasonlítható, ahol a szükséges energiát kisteljesítményű szélgenerátorokkal állítják elő.

Megvalósítás szempontjából a legkedvezőbb telepítési hely, az autópályák és autóutak melletti kihasználatlan zöld terület. Itt a szélgenerátorok építése lebonyolítható a forgalom zavarása nélkül. Az előállított energia az előírásoknak megfelelően, a föld alatt elvezetve felhasználható a közeli műszaki eszközök működtetésére, vagy akkumulátorok segítségével eltárolható.

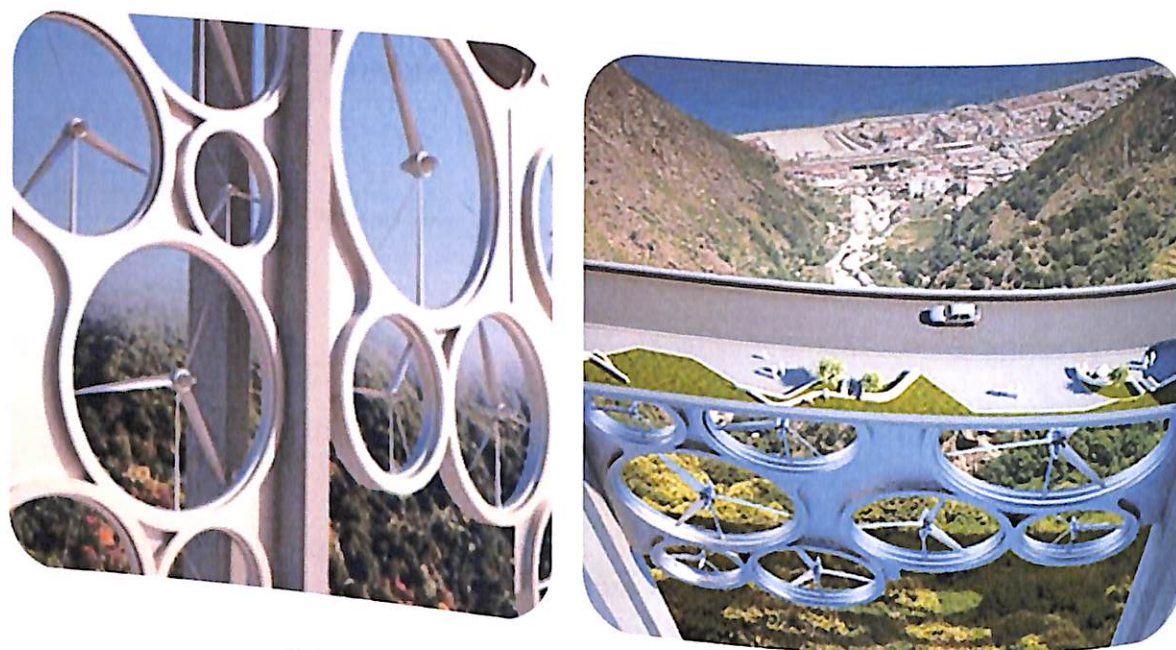
A napelemek alkalmazásához hasonlóan, a szélenergia hasznosításában is a helytakarékosságra, és a gazdaságosságra törekednek. Számos olyan forgalomirányítási és biztonságtechnikai eszköz található a gyorsforgalmi utakon, amely szélkerekekkel kombinálva, a működéshez szükséges energiát helyben állítaná elő.



14. ábra: Szigetüzemben működő szélenergia hasznosítás

Érdemes megemlíteni a völgyhidakban rejlő lehetőségeket is, mivel a hatalmas méretű pillérek, akár nagyobb szélerőművek tartószerkezeteként is szolgálhatnak. Ez a megoldás

hatékony működése mellett egyedi látványt nyújtana, amely turisztikai látványosságként is fontos szerepet tölthetne be a hazai idegenforgalomban.^[14]



15. ábra: Szélenergia hasznosítása völgyhídon

4.2.5.2. A járművek mozgása közben létrejövő menetszél hasznosítása

A megújuló energiaforrások egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy gyakorlatilag folyamatosan rendelkezésünkre állnak. Léteznek azonban olyan energiaforrások is, amelyek emberi beavatkozással termelődnek újra. Ilyen például a menetszél, ami a járművek mozgása közben keletkezik. Erőssége függ a gépjármű felületétől, sebességétől, továbbá minimális mértékben a természetes szél irányától és erősségétől. Hasznosítása rendkívül egyszerű. A forgalmi sávokhoz közeli, kisméretű szélkereket az elhaladó járművek irányából érkező széllelőkések megforgatnak és az így létrejövő mechanikai energia könnyedén egyenáramú villamos energiává alakítható át, amely akár (a biciklire szerelt dinamó működéséhez hasonlóan) közvetlen áramot szolgáltat. A technológia egyszerű működési elvéből adódóan rendkívül alacsony beruházást igényel, fenntartási költsége pedig minimális. A szélkerekek egymástól függetlenül működnek, így a felmerülő műszaki hiba könnyedén javítható. Szerkezeti kialakítása akár felhasználható az ellentétes forgalmi irányok fizikai elválasztására. A járművek mozgásából származó szélenergia, az ismert hasznosítási technológiától eltérően, akár más módon is átalakítható villamos energiává. Egy magyar designdíjas elképzelés a kihasználatlan, hangszigetelő falak felületét reaktív textíliával borítaná be. A hasznosítás lényege, hogy a textíliák alá piezoelektromos kristályokat helyeznének, amelyeket a járművek

mozgása közben keletkező lökéshullámok összenyomnak, így a piezoelektromosság (lásd: 4.3.1.) hatására elektromos feszültség alakul ki.

4.3. Piezoelektromos hasznosítás^[15]

4.3.1. A piezoelektromosság fogalma

Egyes kristályokban a különböző előjelű töltéscentrumok mechanikai deformáció hatására szétválhatnak, ezáltal a kristály szélei között elektromos feszültség alakul ki. A folyamat megfordítható: ha az ilyen, úgynevezett piezoelektromos anyagokra elektromos feszültséget kapcsolunk, akkor a hosszúságuk megváltozik.

4.3.2. Piezoelektromos tulajdonsággal rendelkező anyagok alkalmazhatósága az energiatermelésben

A jármű mozgatásához energia szükséges, amelyet belső égésű motoroknál az üzemanyag elégetése, vagy a ma már egyre nagyobb teret hódító elektromos üzemű motoroknál a beépített akkumulátorok adják. Működés közben az előállított energia csak egy része használatra kerül a mozgáshoz és hasznos kiegészítők üzemeltetéséhez (pl.: légkondicionáló), a többi energia kihasználatlanul kárba vész. A közlekedő járművek súlyukból adódóan folyamatos terhelést fejtenek ki az útestre, amelyben alakváltozás következik be. Ezt a függőleges deformációt, a járművek mozgásához szükséges teljes energia egy része okozza. Az alakváltozás arányos a jármű súlyával és az útburkolat merevségével.



16. ábra Piezoelektromos generátor (IPEG™)

A járművek mozgásából származó mechanikai terhelés speciális generátorokkal átalakítható. A hasznosító eszköz működésének alapja a piezoelektromos kristályok, amelyekben összenyomódás hatására elektromos feszültség keletkezik. Megfelelő mélységben elhelyezve a speciális generátor képes hasznosítani a járműből származó terhelést, anélkül hogy befolyásolná a mozgásához szükséges energiaigényét. Elsősorban új autópálya, és autópályánál telepíthető, mivel az utólagos elhelyezés csak az útburkolat bontásával végezhető el, ami jelentősen megnövelné a beruházási költséget. A technológia egyszerű működésű és 1 km-es szakaszon akár 400 kWh energia előállítására is képes.

4.3.3. Speciális generátorok teljesítménye

A speciális generátorok piezoelektromos kristályokat tartalmaznak, amelyek terhelés hatására elektromos feszültséget állítanak elő. Teljesítményük függ a forgalom intenzitásától és a különböző járműtípusok terheléseitől. A tervezők szerint egy speciális generátor 50 kN terhelés hatására 2,5 Joule energiát képes előállítani. Feltételezzük, hogy egy 40 tonnás kamionnak megközelítőleg 400 kN a súlyereje, 8 kerék esetén 50 kN/db. Egy forgalmi sávban 100 méteres szakaszon nagyjából 800 speciális generátor helyezhető el. Így az előállítható energia:

$$W = \frac{G}{2} \cdot n_{gen} \cdot 0,05 = \frac{400}{2} \cdot 800 \cdot W_{gen} = 8000 J = 0.002216 kWh$$

Ahol:

G: Alátámasztásra kifejtett erő nagysága

n_{gen} : A speciális generátorok száma

W_{gen} : A generátor 1kN terhelés hatására 0,05 Joule-t képes előállítani

4.3.4. Hazai adottságok

A piezoelektromos generátorok optimális működéséhez fontos az ideális hely meghatározása. Az országos közutakra vonatkozó keresztmetszeti forgalmi adatokból megállapítható, hogy a hazai gyorsforgalmi úthálózat mely szakaszai a kedvezőbbek. A generátorok maximális kihasználásához elsősorban azok a legmegfelelőbb helyek, ahol nagyobb a teherforgalom.

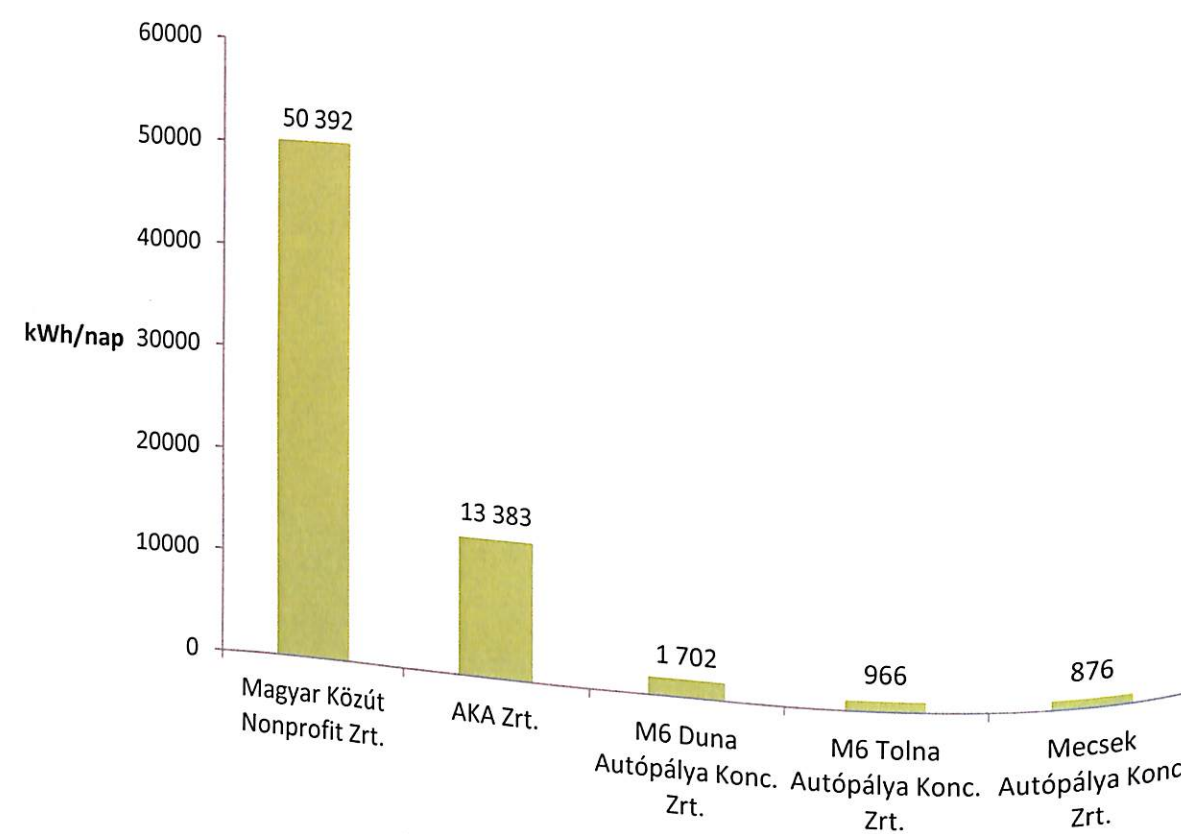
2013. évi átlagos napi teherforgalmat vizsgálva, a legnagyobb értékek az M1 jelű autópályán és az M0-ás déli szektorában figyelhetők meg, ahol a tavalyi év mérései alapján több mint 10000 tehergépkocsit számoltak. A többi autópályán jól látható, hogy a Budapest centrikus hálózathoz adódóan a főváros irányába növekszik a teherforgalom. A legtöbb

szakaszon átlagosan 2500-4000 tehergépkocsit számoltak. Az autópályák teljes területét vizsgálva az átlagos napi minimum teherforgalom jellemzően nagyobb, mint 1000 j/nap.^[16]



17. ábra: Magyarországi autópályák forgalmi jellemzői (2013)

Az autópályák maximális kihasználása mellett, miszerint a megépült szakaszon piezoelektromos generátorokat alkalmazva, 2013. évi átlagos napi forgalmat figyelembe véve, 250 kN/tehergépkocsi terhelést feltételezve az előállítható energia mennyisége a következőképp alakulna kezelőnkénti bontásban:



18. ábra: Az IPEG által előállítható energia

4.3.5. Piezoelektromos hasznosítás környezeti hatásai

4.3.5.1. Terület felhasználás

A piezoelektromos generátor az útburkolat alá helyezhető, ezért nincs hatása az ökoszisztémára.

4.3.5.2. Zaj- és rezgésekibocsátások:

A piezoelektromos eszközök telepítését és üzemeltetését vizsgálva, minimális zajhatás csak a szerelés közben fordul elő, amely nem haladja meg az építkezéseknél szokásos mértéket.

4.3.5.3. Élővilágot érő hatások:

A speciális generátorok az útburkolat alatt kerülnek kialakításra, így az élővilágra semmiféle hatást nem gyakorolnak.

4.3.5.4. Károsanyag-kibocsátások:

A piezoelektromosság elvén működő hasznosításnak nincs közvetlen károsító hatású kibocsátása.

4.3.5.5. Hulladékkeletkezés:

Hulladék keletkezése, csak a speciális generátorok közben fordul elő minimális mennyiségben, továbbá az előállított energia tárolásánál.

4.4. Mechanikus energia hasznosítása

A közlekedő járművek mozgási energiájának hasznosítására létezik egy rendkívül egyszerű és alacsony beruházási költségeket igénylő megoldás. A speciális forgalomlassító bordákon és függőleges irányú alakváltozás következik be terhelés hatására, amely könnyedén forgó mozgássá alakítható át. Ez a szerkezet, a szélturbinákhoz hasonlóan egy generátort működtet, amely a mechanikai munkát villamos energiává alakítja át. Hatékonysága függ a forgalom intenzitásától és a terhelés nagyságától. A szerkezet előnye, hogy egyszerű mechanizmusából adódóan minimális karbantartást igényel és hiba esetén könnyen javítható. Ez a technológia leosztóknál, különböző szolgáltatói egységeknél, vagy megfelelő kialakítással, akár mobil eszközöknél is alkalmazható. Utóbbi kifejezetten előnyös lehet a fenntartási,- vagy üzemeltetési munkálatoknál, ahol a forgalom lassítása mellett képes lenne a veszélyt jelző műszaki eszközök energiaigényének ellátására.

5. Energiahasznosító technológiák összehasonlítása

A különböző energiaforrásokat hasznosító technológiák teljesítményét és szerkezeti kialakítását, továbbá anyagfelhasználását számos tényező befolyásolhatja, ezért összehasonlításuk többnyire csak megközelítőlegesen végezhető el. Akadnak persze olyan tulajdonságok is, mint pl. a környezetszennyező hatás, amelyről egyértelműen megállapítható, hogy a megújuló energiaforrások hasznosítása kedvezőbb a fosszilis energiahordozókénál. Érdemes megemlíteni, hogy Magyarország földrajzi elhelyezkedését tekintve, a különböző alternatív energiaforrásokból kiemelkedő teljesítmény elérésére nem képes, viszont mindegyikből átlagos energiatermelést tud produkálni, amely mindenkép előnyt jelent a beruházás megtérülési idejét tekintve.

Energiaforrás	Szél	Nap	Szén	Olaj és gáz	Piezoelektromos kristály
Megtérülési idő (év)	12-30	20-30	15-20	10-13	4-8
Megbízható	✗	✗	✓	✓	✓
Tiszta	✓	✓	✗	✗	✓
Munkahelyteremtő	✓	✓	✓	✓	✓
Környezetbarát hasznosítás	✓	✓	✗	✗	✓
Alacsony karbantartási költségek	✓	✗	✗	✗	✓
Energiatermelés ciklusa megegyezik a csúcsfogyasztás ciklussal	✗	✗	✓	✓	✓

19. ábra: Az energiaforrások összehasonlítása

Az autópályák esetében az előállított energia elsősorban a forgalomirányítási,- és biztonságtechnikai eszközök üzemeltetéséhez szükséges, ezért fontos egy megbízható rendszer kiépítésére törekedni. A szél,- és napenergia hasznosítását az időjárási viszonyok, a piezoelektromos generátorok teljesítményét pedig a forgalom intenzitása határozza meg. Utóbbi azonban mégsem tekinthető bizonytalan energiaforrásnak. A forgalom intenzitását tekintve előfordulhatnak kisebb ingadozások, de az szinte kizárt, hogy ne közlekedjenek

járművek az autópályákon. Természetesen a szél,- és napenergia hasznosító eszközök energiatárolók közbeiktatásával részét képezhetik egy megbízható rendszernek, de ebben az esetben számolni kell a többletköltségekkel.

A felgyorsult fejlődési folyamatokból adódóan, ma már lényeges szempont a munkahelyteremtés. Az energiahasznosító eszközök előállításában, telepítésében és üzemeltetésében fontos az emberi erőforrás közreműködése.

6. Nemzetközi példák az autópálya fejlesztésre

Feltehetően a közúti közlekedésben érdemleges változás nem várható a közeljövőben. A legtöbb technológia még fejlesztési stádiumban van. Ilyen például a Solar Roadways projekt is, amelyet egy amerikai házaspár, Julie és Scott Brusaw dolgozott ki. A fejlesztés lényege, hogy az útpálya felületét olyan speciális napelemekből építenék meg, amelyek elektromos energiát termelnek. 2014 márciusában elkészült az első prototípus egy parkolóban, amely jelenleg is tesztelés alatt áll.^[17]

Hasonló helyzetben van a Haim Abramovich professzor és csapata által kifejlesztett IPEG (Innowattech Piezo Electric Generator) is, amelyet 2008. december 30-án mutattak be először. Az izraeli kutatók alapfeltételezése az volt, hogy speciális generátorokat helyeznének a burkolat alá, amelyek a járművek mozgásából származó mechanikus energiát alakítanák át elektromos energiává. A tervek ígéretesnek tűntek, de a mai napig nagyobb áttörést mégsem sikerült elérniük.

A szél hasznosítása köthető talán legkevésbé össze az autópályákkal. Ennek fő oka, hogy a különböző technológiák kiépítéséhez nem nyújtanak nagyobb előnyt más helyszínekkel szemben. Gazdasági szempontból viszont fontos, az autópályák egyes részeiben rejlő lehetőségek kihasználása. Erre megfelelő példa a németországi Töging város melletti szakasz, ahol a zajvédő töltéseken napelemeket helyeztek el. Szakértők szerint, a német autópályák melletti töltések 80 %-a alkalmas ilyen jellegű beruházásra.^[18]

7. Az energiatárolás fontossága a megújuló energiaforrások gyorsabb elterjedése szempontjából

A megújuló energiarendszerek rendkívül kedvező lehetőségeket nyújtanak a jövő energiahasznosításában. Legfontosabb előnyük, hogy nem bocsájtanak ki üvegházhatást okozó gázokat. További előny, az energiahordozók árából való függetlenség, amely jóval alacsonyabb üzemeltetési költségeket igényel a fosszilis tüzelőanyagokat felhasználó technológiákkal szemben. Ennek ellenére a megújuló energiaforrásokra épülő rendszerek alkalmazása viszonylag lassú ütemben terjed. Ennek fő oka, hogy a beruházási költségük gyakran meghaladják a nem megújuló energiaforrásokra épülő erőművekéit. További hátrányt jelent még, hogy a változó időjárásból adódóan alternatív energiaforrásaink nem mindig akkor állnak rendelkezésünkre, amikor arra szükségünk lenne. Tehát a jövőben egy olyan rendszer kiépítésére kell törekedni, amely biztosítani tudja az energia kereslet és kínálat közötti egyensúlyt napszaktól, - és időjárási viszonyoktól függetlenül. Erre ad optimális megoldást, ha a hálózatba energiatárolókat integrálunk.

Az energia tárolására számos alternatíva létezik. Az egyik legmegfelelőbb megoldást az akkumulátortelepek nyújtják, amelyek az elmúlt években jelentős fejlődést mutattak. Ennek fő oka, hogy számos területen megnőtt az energiatárolási igény. (pl.: az autógyártók egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek az elektromos autók gyártására, amelyek optimális működéséhez hosszán tartó energiatárolás szükséges.)

Követelmények az energiatárolási technológiával szemben:

- Ciklikusan feltölthető, kisülhető legyen
- Nagy hatásfok
- Hosszú ön kisülési idő
- Hosszú élettartam (vezérlő elektronikát is beleértve)
- Újrafelhasználható anyagok, minimális környezeti hatás
- Egyszerű installálhatóság, alacsony fenntartási költségek
- Szinuszos feszültségkimenet, alacsony felharmonikus tartalom, gyors kapcsolási idő

8. A jövő energiatermelő autópályái

8.1. Felmerülő problémák és lehetőségek

Magyarország a transzeurópai közlekedési hálózat közép régiójában helyezkedik el, ebből adódóan viszonylag kis területe ellenére számos kereskedelmi folyosó halad át rajta. A legutóbbi gazdasági válság hatására visszaesett a közúti,- és vasúti teherszállítás, azonban az elmúlt évek statisztikái azt mutatják, hogy újra feltörekvően van a nemzetközi szállítmányozás. Tehát a jövőben mindenképp számolni kell a teherforgalom növekedésével.

Az áruszállítást végrehajtó teherautó jóval nagyobb terhelést fejt ki az útburkolatra, mint egy személyautó, továbbá működése közben lényegesen több szennyező anyag keletkezik, amely a levegőbe kerülve üvegházhatást okoz. Ahhoz, hogy az ily módú környezetszennyezést csökkenteni, a pályaszerkezet élettartamát pedig növelni tudjuk ésszerű döntésnek tűnhet a teherforgalom korlátozása. Ezt azonban gazdasági okokból nem tehetjük meg. Tehát a jövőben, a fenntartható fejlődést figyelembe véve törekedni kell egy olyan rendszer kiépítésére, amely megfelel az elvárásoknak. A feltételek teljesítésére számos technológiai fejlesztés létezik, azonban ezek működtetéséhez az eddigieknél lényegesen több energia szükséges. Az autópálya egy olyan építmény, ahol lehetőség van egyszerre több alternatív energiaforrás hasznosítására is. Ilyen például a fent említett nap,- és szélenergia, továbbá a járművek közlekedése közben keletkező felesleges energia. Az utóbbihoz szükséges berendezések hatékony működéséhez a nagyobb méretű és tömegű járművek a kedvezőbbek. Ebből következően az autópályák tervezésekor egyaránt figyelembe kell venni a teherforgalomból adódó kedvező és kedvezőtlen tulajdonságokat is, amelyeket érdemes szelektíven kezelni. A tehergépjárművek működése közben keletkező környezetre,- és a pályaszerkezetre káros hatásokat úgy kell csökkenteni, – lehetőség szerint akár megszüntetni – hogy az energiatermelés szempontjából kedvező tulajdonságok továbbra is felhasználhatóak legyenek.

Már számos tudományos-fantasztikus műben jelenítettek meg olyan futurisztikus elképzeléseket, miszerint repülő járművek váltják fel a jelenlegi szárazföldi közlekedést. Napjainkban több koncepciót is megvalósítottak, de ezek elterjedése és tömeggyártása csak az igény növekedésével érhető el. Statisztikailag igazolt tény, hogy a repülés a közlekedés legbiztonságosabb módja, ennek ellenére az emberek többsége mégis a szárazföldi közlekedést választja. Ennek okai pl. a magasságtól, vagy a zuhanástól való félelem. Ezek a különböző fóbiák leküzdhetőek, így idővel a légi közlekedés népszerűbbé válhat, amely lehetővé tenné a repülő járművek bevezetését, de ehhez akár még több száz évet is várni kell.

Ezért a jövőbe tekintve, ésszerűnek tűnő megoldást egy olyan technológia adna, ahol a forgalom lebonyolítása továbbra is a felszín közelében történik.

A jelenlegi közúti közlekedésnek számos hátránya van. A pályaszerkezet szinte állandó terhelésnek és különböző időjárási viszontagságoknak van kitéve, így folyamatos karbantartást igényel. További problémát jelentenek még a járművek működése közben keletkező szennyező gázok, amelyek a levegőbe jutva károsan hatnak a környezetre. Utóbbi megoldásként megalkották a hybrid üzemű járműveket, amelyek hajtását elektromos áram szolgálja, így mozgás közben nem keletkeznek levegőt szennyező anyagok, de hosszabb utak esetén töltést igényelnek, ami akár több óráig is eltarthat.

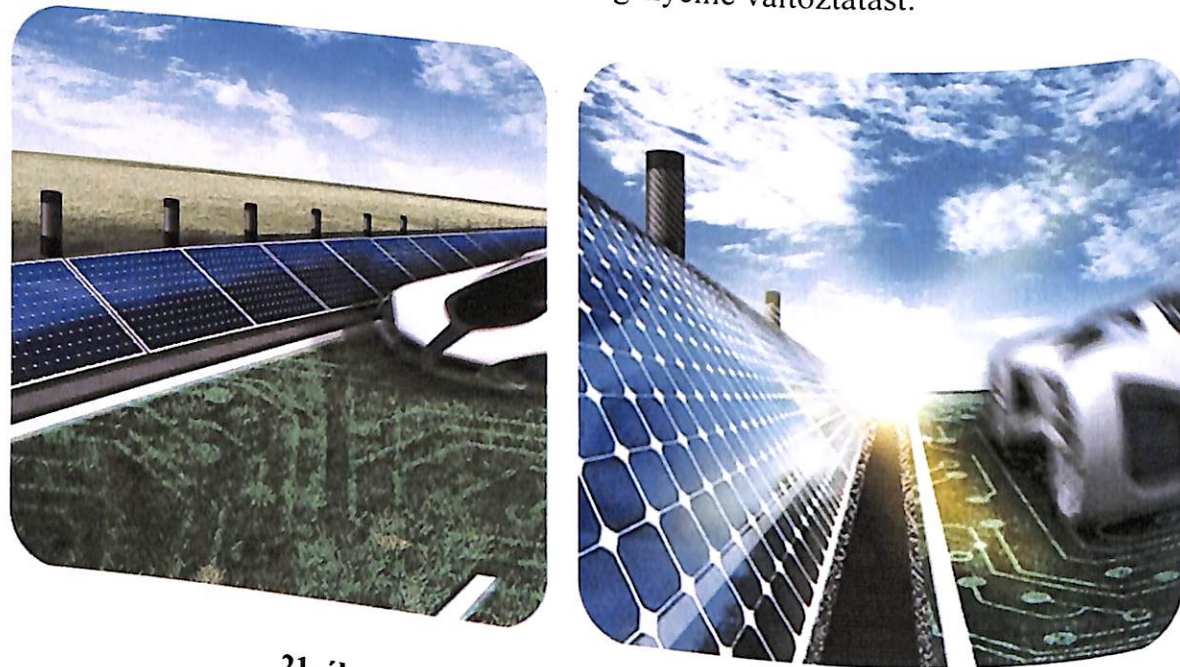


20. ábra: Tervezést meghatározó szempontok

A cél tehát egy olyan autópálya megalkotása, amely teljes mértékben környezetbarát, képes megfelelni az adott kor elvárásainak, látványos és környezetbe illő a megjelenése, a pályaszerkezete jóval hosszabb élettartamú, biztonságos, továbbá könnyedén üzemeltethető, fenntartható.

A járműfejlesztésekért felelős tervezők és a közutak építetőinek közös gondolkodása eredményes és attraktív megoldásokhoz vezethet. A lebegő mágnes vasutak működését alapul véve, lehetséges alternatíva egy olyan pályaszerkezet kialakítása, ahol a járművek pályán tartását mágneses mező végezné. A technológia sajátossága, hogy nem igényel egybefüggő teherhordó felületet, így a napjainkban ismert burkolattípusokat speciális gyepfugas térkövek váltanának fel. A nagyméretű távtartók által biztosított fugahézagok lehetővé teszik az esővíz elszívárogtatását, így a fagy hatására jelentős alakváltozás nem következne be a pálya szerkezetében. Ez a környezetbarát megoldás nem csak impozáns megjelenést ad az autópályáknak, de hosszútávon kedvező fenntartási,- és üzemeltetési költségeket is garantál,

mivel hosszabb ideig képes megőrizni eredeti állapotát a hagyományos útburkolatokkal szemben. Előre gyártott elemekből is megépíthető, így az esetleges hibák nagyobb felület bontása nélkül is helyreállíthatóak. A lebegtető alternatíva az autópályákon jelenleg alkalmazott keresztmetszeti elrendezésekben nem igényelne változtatást.



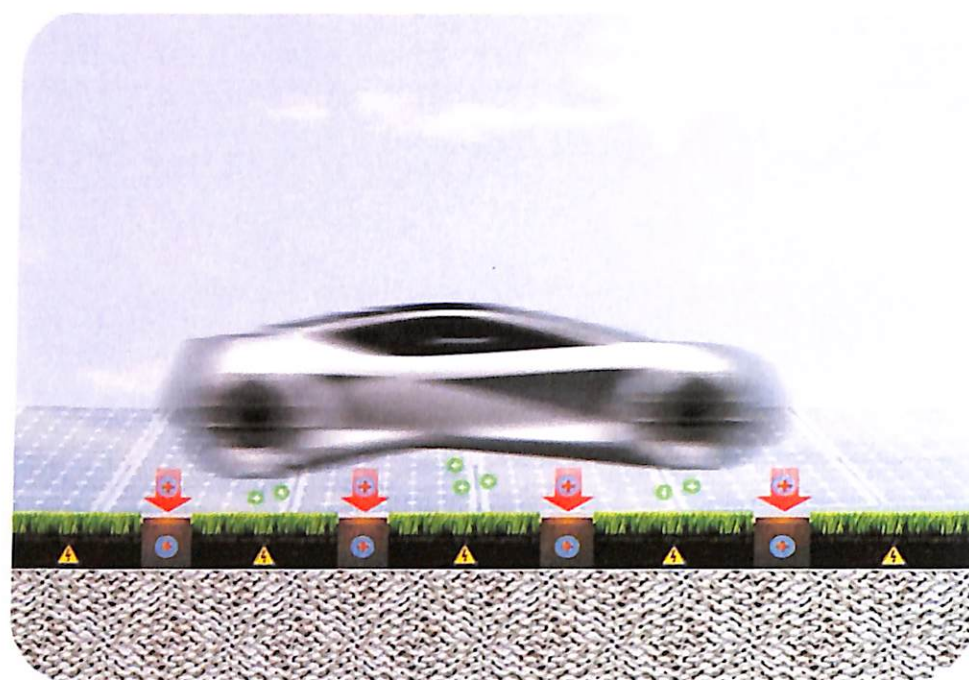
21. ábra: Energiatermelő autópálya a jövőben

A mágneses lebegtetés nagyobb méretű és tömegű járművek esetében nehezen alkalmazható, ezért célszerű a kombinált fuvarozás (ROLA) előtérbe helyezése. Jelenleg egyetlen villamos mozdony egyszerre akár 25 kamiont képes szállítani, ami több mint 600 személyautó össztömegéből adódó terheléstől, környezetre káros szennyezőanyagoktól és zajhatásoktól mentesíti a közutakat. Ennek ellenére a közúti szállítás az árumozgatás elterjedtebb formája, hiszen nem kell a teherautóknak a vasúti menetrendekhez igazodni, továbbá a legtöbb esetben csak nagyobb kerülőkkel ejthető útba egy-egy olyan vasútvonal, ahol kamionokat szállítanak. Jelen helyzetben állami támogatásokkal próbálják népszerűsíteni a ROLA használatát. Ideális megoldás lehet tehát egy olyan kötőpályás szállítási mód kiépítése, amely a forgalmasabb kereskedelmi útvonalak közelében elhelyezhető, így a jövőben sokkal rugalmasabb kombinált fuvarozás biztosítható, továbbá a nagyobb méretű járművek elkülönítése lehetővé tenné a mágneses pályaszerkezet kiépítését a személyautók számára.



22. ábra: Kombinált fuvarozás a jövőben

A járművek környezetre káros hatásait elsősorban a napjainkban egyre népszerűbb hybrid üzemű motorok alkalmazásával csökkenthetjük. A technológia hátránya, hogy a robbanómotoros személyautókhoz hasonlóan, nagyobb távolságok megtételéhez az elektromos járművek is töltést igényelnek, azonban esetükben ez a folyamat akár több óráig is eltarthat. A jövőben mindenképp olyan irányú fejlesztéseket kell végezni a közutakon, amelyek segítik az elektromos járművek akadálymentes és megszakítás nélküli közlekedését. Az elektromos energiaátadás leglényegesebb tulajdonsága, hogy akár közvetlen kapcsolódás nélkül is kivitelezhető, így a napjainkban ismert üzemanyagtöltő állomásoktól eltérően, a töltési folyamat menetközben is elvégezhető. Jelenleg ez a technológia még kísérleti stádiumban van. A fejlesztés során számos olyan problémával állnak még szemben, amelyek miatt a közúti közlekedésben még nem alkalmazható.



23. ábra: Lebegő autó jövőképe

8.2. Energiatermelés a jövő autópályáin

A kötöttpályás teherszállítási mód, és az egyedi töltő pályaszerkezet is csak abban az esetben tekinthető környezetkímélő megoldásnak, ha a működtetéshez szükséges energiát alternatív energiaforrásokból állítják elő. Az autópályákon gyakorlatilag minden időpontban biztosítani kell az akadálymentes és biztonságos közlekedést. Energiahasznosítás szempontjából hazánk egyes területein a szél,- máshol pedig a Nap energiája a kedvezőbb, ezért érdemes egy átfogó hálózatot kialakítani, aminek segítségével egyensúlyba tartható az energiaelosztás.

A már fentebb megismert hasznosító technológiák többsége a burkolat bontásával,- és átépítésével, vagy a forgalom hosszabb idejű szüneteltetésével telepíthető. Gazdasági szempontból tehát fontos lehet, ha a jövőben sorra kerülő pályafelújítási műveletekkel egy időben az alternatív energiákat hasznosító eszközök kiépítésére is nagyobb hangsúlyt fektetünk. A megfelelő technológia megválasztásánál számos tényezőt figyelembe kell venni. A napkollektoros, illetve napelemes energiatermelés elsősorban a déli részeken kedvező. Az alap elgondolás számos, más jellegű funkcióval vegyíthető. Ilyen pl. egy modern pihenőhely, ahol a parkoló járművek felett kollektorokat helyeznének el, amelyek útba mélyített fűtőszálakat látnának el szükséges energiával, így gyakorlatilag a teljes terület szárazon tartható a téli időszakban is.

Napelemes hasznosítás során ipari mennyiségű áram előállítása, elsősorban nagy felületű panelekkel lehetséges. A burkolatba mélyített modulok, csak a helytakarékosság szempontjából kedvezőek, mivel a napelemek maximális kihasználásához fontos a megfelelő dőlésszög megválasztása. A nagyméretű panelek így elsősorban a pályafelület melletti, erre a célra telepített töltésen kaphatnak helyet.

A szélenergia hasznosítására az összes megismert alternatíva alkalmazható. A 10-12 méteres magasságban elhelyezhető kisebb teljesítményű szélgenerátorok működését csak a szél erőssége befolyásolja. Gyakorlatilag a keresztmetszeti elrendezésben bárhova elhelyezhetőek.

A menetszél hasznosítása rendkívül kedvező megoldás. A napelemekhez hasonlóan megkülönböztethetünk kis, illetve nagyméretű hasznosító eszközöket. A generátorok egyszerű működésükből adódóan könnyedén javíthatóak, vagy akár cserélhetőek is.

A járművek mozgása közben keletkező felesleges energia hasznosítására kiváló megoldást nyújthat a nemrégiben kifejlesztett piezoelektromos kristályokat felhasználó speciális generátor. Teljesítményét a felületét érő terhelés határozza meg, amely a tehergépjárművek esetében jóval nagyobb, mint a személyautóknál. A már megismert elgondolás szerint kombinált fuvarozás váltaná fel a jelenlegi formát. A vasúti sínek rugalmasságát kihasználva a speciális generátorok ebben az esetben is kiváló megoldást nyújtanak, sőt hozzáférhetőség szempontjából még akár kedvezőbb is.

9. Összegzés

Az autópálya egy olyan létesítmény, amely az igényeknek megfelelően, ügyelve a biztonság fenntartására, képes a nagyobb intenzitású forgalom gyors lebonyolítására. Az urbanizációs folyamat hatására azonban megnőtt a helyváltoztatási igény, továbbá a közlekedő járművek száma is megnövekedett, ezért fontos a fenntartható fejlődési stratégia szerinti gondolkodásmód. Az autópályákon olyan irányú fejlesztéseket kell elvégezni, amelyek kielégítik a jelen szükségleteit és elvárásait, ügyelve arra, hogy a jövő generációk is képesek legyenek hasonló célú folyamatok elvégzésre.

A technológia fejlesztések és a népességnövekedés hatására megnőtt az energiaigény, azonban a fosszilis energiahordozók készlete kimerül, ezért kitermelésük egyre bonyolultabb és költségesebb. A globális energiaszükséglet kielégítésére lehetőség szerint az alternatív energiaforrások hasznosítására kell törekedni, mivel az energiatermelés mellett fontos, hogy környezetre káros anyagokat nem bocsájtanak ki.

A jövőben mindenképp előnyt jelentene a járműipar és a gyorsforgalmi utak tervezőinek együttműködése és egy közös cél kitűzése. Így nem csak a járművezetés élményét lehetne újabb szintre emelni, hanem az autópályák üzemeltetésében és fenntartásában is jelentős fejlődés érhető el.

Lehetséges alternatíva egy olyan autópálya hálózat kiépítése, ahol a biztonságos és gyors közlekedést szolgáló technológiák működéséhez szükséges energiát helyben állítanak elő a már megismert módok alkalmazásával. Hazánk kedvező földrajzi elhelyezkedéséből adódóan több megújuló energiaforrás hasznosítására is alkalmas, ebből kifolyólag az előállítható energia mennyisége alapja lehet egy olyan fejlett autópálya hálózat megalkotásának, amelynek üzemeltetése, valamint fenntartása gazdaságos és környezetbarát technológiákkal elvégezhető, továbbá képes a várható forgalomnövekedésből adódó elvárások, és szükségletek teljesítésére.

Irodalomjegyzék

- [1] KISGYÖRGY Lajos–SCHUCHMANN Gábor (2001): *Közlekedéstervezés – Utak*. Budapest: Műegyetemi Kiadó
- [2] FLEISCHER TAMÁS (1994): *A magyar gyorsforgalmi úthálózat kialakításának néhány kérdéséről*. Közlekedéstudományi Szemle XLIV.(1994) 1.szám (január)
- [4] 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól
- [5] 6/1998. (III. 11.) KHVM rendelet az országos közutak kezelésének szabályozásáról
- [8] FERENCZI Ödön (2007): *Áramtermelés nap- és szélenergiából*. Budapest: Cser Kiadó
- [9] MARKÓ László főszerkesztő (2001): *Egyetemes lexikon*. Magyar könyvklub,
- [11] HALLENGA, Uwe (2009): *A szélenergia hasznosítása*. Budapest: Cser Könyvkiadó

Internetes források:

- [3] http://www.epito.bme.hu/uvt/oktatas/feltoltesek/BMEEOUV-SN3/gyorforgalmi_utak_spec_uzemeltetese.pdf
- [6] <http://www.napelemek.net/index.php/nap-mint-energiaforras>
- [7] http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/altalanos_leiras/
- [10] <http://www.smarthighway.net/>
- [12] www.met.hu
- [13] http://ekh.kvk.uni-obuda.hu/downloads/szelgenerator/szelgeneratorokrol_altalaban/szelenergia_atalakitas_a.pdf
- [14] <http://inhabitat.com/solar-wind-turbine-bridge-repurposes-viaduct-for-public-space/solarwind1/>
- [15] www.innivattech.co.il
- [16] <http://internet.kozut.hu/Lapok/forgalomszamlalas.aspx>
- [17] <http://www.solarroadways.com/intro.shtml>
- [18] <http://www.toeing.de/>

Ábrajegyzék

Ábraszám	Ábra címe	Oldalszám
1. ábra	Az energiaforrások globális eloszlása (2011)	7.
2. ábra	CO ₂ ekvivalens kibocsátása (gramm/utaskilométer)	8.
3. ábra	A napsugárzás eloszlása	13.
4. ábra	Napsütéses órák száma a hazai gyorsforgalmi utak 50 km-es körzetében található állomások mérései alapján (2013)	14.
5. ábra	Napsütéses órák száma a hazai autópálya szakaszokon (2013)	15.
6. ábra	Napelemes rendszer felépítése	16.
7. ábra	Napelem cella működése	17.
8. ábra	Napkollektor működése	18.
9. ábra	Szigetüzemben működő világítás	19.
10. ábra	Napelem modulok az autópálya mellett	20.
11. ábra	Napelemek az autópálya fölött	21.
12. ábra	Foszforeszkáló,- és hőérzékeny festékek alkalmazási lehetőségei	22.
13. ábra	Szél erőssége (m/s) a hazai autópálya szakaszokon	24.
14. ábra	Szigetüzemben működő szélenergia hasznosítás	26.
15. ábra	Szélenergia hasznosítása völgyhídon	27.
16. ábra	Piezoelektromos generátor (IPEG TM)	28.
17. ábra	Magyarországi autópályák forgalmi jellemzői (2013)	30.
18. ábra	Az IPEG által előállítható energia	31.
19. ábra	Az energiaforrások összehasonlítása	33.
20. ábra	Tervezést meghatározó szempontok	38.
21. ábra	Energiatermelő autópálya a jövőben	39.
22. ábra	Kombinált fuvarozás a jövőben	40.
23. ábra	Lebegő autó jövőképe	41.

Ábrák forrása:

1. ábra: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2013/gsr2013_lowres.pdf
2. ábra: www.atmosfair.de
3. ábra: <http://www.napelemek.net/index.php/nap-mint-energiaforras>
4. ábra: Saját készítésű diagramm az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései alapján
5. ábra: Saját készítésű ábra az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései alapján
6. ábra: <http://www.olcsonapelemek.hu>
7. ábra: http://napelem.net/napelemes_rendszer/napelem_mukodese.php
8. ábra: http://arenaoktatas.hu/aktualis/ujabb_arenas_innovacio.html
9. ábra: <http://www.medors.in/product/24wp-solar-street-light-12-hrs-m24sl12/>
10. ábra: <http://financialconservation.blogspot.hu/2012/11/solar-highway-in-germany.html>
11. ábra: <http://www.manstham.com>
12. ábra: <https://www.studioroosegaard.net/projects>
13. ábra: Saját készítésű diagramm az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései alapján
14. ábra: http://www.brightgreenenergy.co.uk/green_column.asp
http://www.aerodyndesign.com/small_wind_turbine/small_wind_turbine.htm
<http://www.relumination.com/led-lighting-paired-with-solar-and-wind-power-equals-more-savings/led-lighting-paired-with-solar-and-wind-power-equals-more-savings>
15. ábra: <http://www.infoniac.com/environment/solar-wind-bridge-that-harnesses-wind-and-solar-energy.html>
16. ábra: www.innowattech.co.il
17. ábra: Saját készítésű ábra a 2013. évi országos közúti keresztmetszeti forgalomszámlálás eredményei alapján
18. ábra: Saját készítésű diagramm
19. ábra: www.innowattech.co.il
20. ábra: Saját készítésű ábra
21. ábra: Saját készítésű ábra
22. ábra: Saját készítésű ábra
23. ábra: Saját készítésű ábra