



**KOMORÓCZKI
ESZTER**

ELTE-TTK-Geográfus MSc
hallgató
eszterkomoroczki@gmail.com

SOHA TAMÁS
ELTE-TTK-PhD hallgató
tamas.soha@gmail.com



Vertikális kétoldalas napelemes zajvédő falak telepíthetőségi és energiatermelési potenciálvizsgálata a Budapest-Szob vasútvonal mentén

KOMORÓCZKI, ESZTER
ELTE-TTK-Geographie - MSc
Studentin
eszterkomoroczki@gmail.com

SOHA TAMÁS
ELTE-TTK-PhD Student
tamas.soha@gmail.com

**Potentialprüfung im Hinblick auf
Installationsmöglichkeit und Energieerzeugung
von beiderseitigen photovoltaischen
Schallschutzwänden installiert entlang der
Eisenbahnstrecke Budapest-Szob**

**Installation and energy potential generation
study of bifacial PV modules used as noise
barrier at Budapest-Szob railway**

Összefoglaló

Az itt bemutatott cikkünkben az első szerző OTDK pályamunkájának legfontosabb eredményeit kívánjuk bemutatni, mely során két, egymással közvetlen kapcsolatban nem álló környezeti problémával foglalkoztunk, melyek egy technológiai ötvözéssel mégis összeköthetők. Ezek a napenergia-hasznosítás, mint az energia és klímaválság lehetséges megoldásának egyik eleme és a zajvédelem, mint a környezeti zajterhelésre adott válasz. A két egymástól látszólag független környezetvédelmi problémára megoldást nyújthat a gyakorlatban még innovatívnak számító napelemes zajvédő falak telepítése. A kutatás célja felhívni a figyelmet a zajszennyezésre, amely igen elhanyagolt terület a környezetvédelemben, a vasút fenntarthatósági fejlesztéséig, hiszen ez az egyik legkevésbé környezetbarát közlekedési mód, valamint a napelemek telepítési nehézségének egyik lehetséges megoldására. Továbbá a kétoldalas napelemek épített környezetbe való integrálásnak egy módjának bemutatása, energiapotenciál vizsgálata és ehhez megfelelő olyan módszertan kidolgozása térinformatikai szoftver alkalmazásával a 70-es számú vasútvonalra vonatkozóan, mely eljárás akár más területekre is alkalmazható.

Zusammenfassung:

Der Artikel beinhaltet die wichtigsten Ergebnisse der OTDK-Ausschreibungsarbeit des ersten der beiden Autoren. Es erfolgt die Behandlung von zwei miteinander nicht unmittelbar verknüpften Umweltproblemen, die durch eine technologische Paarung miteinander doch vereint werden können. Als solche ist die Sonnenenergie-Ausnutzung (Photovoltaik) als ein Element der möglichen Lösungen für die Energie- und Klimakrise, sowie für den Schallschutz als auf die Umweltbelastung gegebene Antwort. Für die Lösung der beiden – miteinander scheinbar nicht verknüpften – Umweltschutzprobleme könnte die Installation von in der Praxis als innovativ bezeichneten Photovoltaik-Schallschutzwänden eine Lösung bieten. Als Ziele der Forschung sind zu nennen: die allgemeine Aufmerksamkeit auf die Geräusch-/Schallverschmutzung als auf ein sehr vernachlässigtes Gebiet vom Umweltschutz, sowie auf die Entwicklungserhaltungsmöglichkeiten der Eisenbahn, da diese doch eine der Verkehrsarten mit geringster Umweltschädigung ist, sowie auf eine mögliche Lösung/Erarbeitung betreffs Installationsschwierigkeiten von Photovoltaikanlagen zu lenken. Darüber hinaus erfolgt die Vorführung der Integration von Zweiseiten-Photovoltaikmodulen inkl. Energiepotential-Prüfung, sowie die Erarbeitung einer entsprechenden Bearbeitungsart unter Einsatz einer Rauminformatik-Software für die Bahnstrecke Nr. 70, die sogar auf anderen/weiteren Gebieten auch anwendbar sind.

Summary

In this article, we present the most relevant results of a project which was applied in a students' conference by the first author, in which we dealt with two unrelated environmental problems, which can still be connected by a technological combination. These are the utilization of solar energy as a mitigation actor to the current energy and climate crisis, and noise protection as a response to environmental noise pollution. The solution to the two seemingly independent environmental problems can be found in the installation of solar PV noise barriers, which device is an innovative solution. The aim of the research is to draw attention to noise pollution, which is an underestimated topic in environmental protection, to the sustainable development of railways, as it is one of the most environmentally friendly modes of transport and one of the possible solutions to the difficulty of installing solar panels. Further goals of the paper are presenting a way to integrate bifacial solar panels into the built environment, to investigate the energy potential and developing an appropriate methodology using GIS software for railway line 70, which can be applied to other areas.

Technológiai áttekintés

A napelemes zajvédő falak (Photovoltaic noise barrier, PVNB) vizsgálatához két, egymással közvetlen kapcsolatban nem álló környezeti problémát szükséges megvizsgálni.

Az egyik, hogy bár a napenergia-hasznosítás kulcsfontosságú elem a klímaváltozás elleni küzdelemben,

a napelemek gyakori kritikája, hogy sík felületi jellegük miatt nagy a helyigényük. A fenntartható energiagazdálkodás érdekében azonban elsősorban barnamezős, vagy a már meglévő infrastruktúrához való közvetlen beépítést kell előnyben részesíteni a mezőgazdasági szempontból értékes földterület ilyen módon való hasznosításával szem-

ben. Bár a napelemek beépítése a zsúfolt városi környezetbe problémás lehet, az épített környezet sok lehetőséget kínál olyan napelemes rendszerek telepítésére, melyek nem igényelnek többlet helyet, hiszen sok, napenergia hasznosítás szempontjából kihasználatlan terület áll rendelkezésre, pl. házak, parkolók, gyárak tetején; kerítések és falak



1. ábra: a) és b) kétoldalas napelemes vasúti zajvédő fal Münsingenben; c) és d) kétoldalas napelemes zajvédő fal Uden közelében az A50-es autópálya mentén (Forrás: T. Nordmann et al. 2012, M. de Jong. 2015 és heijmans.nl 2019)

felületén vagy akár a közvilágítást biztosító lámpaoszlopokon. A napelemes rendszerek jellemzője, hogy a megtermelt villamos energiának jellegzetes napi termelési görbéje van, Európában dél körül termelődik a legtöbb, hiszen a napelemek optimális tájolása általában dél felé történik. Ez sok esetben komoly hatással van az árampiac alakulására. Napjainkban megfigyelhető tendencia, hogy a fogyasztók villamos energia igénye a szolgáltató felé napközben lezuhan, ami a napelemek egyre nagyobb elterjedésével magyarázható. Reggel és este pedig hirtelen nagyon nagy villamos energia igényt kell kiszolgálnia a közműnek. A napelemek árának csökkenése és a technológiai fejlődés következtében a közelmúltban egyre elterjedt egy új telepítési trend, miszerint a paneleket nyugat és kelet felé tájolják, ezzel megnövelve az egységnyi területre telepíthető aktív felületet. Ez azonban azt is ered-

ményezi, hogy egy délben jelentkező termelési csúcs helyett, kettő lesz. Hasonlóak a körülmények a kétoldalas napelemek esetében is, melyeknek mindkét oldala képes villamos energiát előállítani. Ezek a keletre és nyugatra tájolt napelemek remekül ki tudják egészíteni a délre tájolt berendezéseket. A délelőtti és a délutáni napsugárzást hasznosítva segíthetnek abban, hogy minél több órában ki tudják szolgálni a felhasználók villamos energia igényeit a napelemek. Ezzel esetlegesen csökkentve a hirtelen emelkedő igényeket a szolgáltató felé és jobb hálózati integrációt eredményezve, hiszen akkor termelnek, amikor a legnagyobb a villamosenergia igényük a fogyasztóknak.

A másik környezeti probléma a zajszennyezés, mely a környezetvédelemben elhanyagolt terület, mivel nem jelentkezik azonnal az egészségkárosító hatása, pedig hosszú távon komoly egészségügyi kocká-

zatokkal jár. Jelenleg a magyar lakosság majdnem fele él magas zajszintű területen. A gyakori jelentős zajterhelés károsíthatja a hallást és az idegrendszert, valamint az emberi komfortérzetet is negatívan befolyásolhatja. A zajok forrása általában antropogén eredetű, mint pl. az építkezésből, szabadidős tevékenységekből vagy a közlekedésből származó zajok. Bár a közlekedés és szállítmányozás egyik legfenntarthatóbb módja a vasút, zajterhelése komoly kihívást jelent a környezetvédelem számára. A közlekedésből származó zajok mérséklésének egyik lehetősége zajárnyékoló falak telepítése.

Mindkét említett környezeti problémára megoldást nyújthat a napelemekkel kombinált zajvédő fal, mely praktikus módja annak, hogy a megújuló alapú villamosenergia-termelést integráljuk az épített környezetbe. Ez az egyik legolcsóbb módszer nagyméretű, hálózatra csatlakoztatott napelemes rendszerek telepítésére, hiszen ezen berendezéseknek egyik legnagyobb előnye, hogy két szerepet látnak el, védik a településeket a forgalom zajától és villamos energiát állítanak elő. Ennél a megoldásnál nincs szükség többlet helyre, hiszen zajvédő falra az egyre növekvő forgalom mellett a vasútvonalak és főutak mentén amúgy is szükség van, felületük pedig napelemek telepítésére optimális, hiszen napenergia hasznosítás szempontjából, hatalmas, potenciális, kihasználatlan felületek. Így a két funkció nem foglal el külön-külön helyet a sokszor amúgy is zsúfolt városi környezetben. További előny, hogy közel van a villamosenergia-fogyasztókhoz, így igen kevés veszteséggel jár az energia szállítása (A. Vallati et al. 2015).

A Bern közelében fekvő Münsingenben 2008 végén helyezték üzembe az első kétoldalas PVNB-t vasútvonal mentén. A fal vertikális telepítésű, oldalai félig átlátszóak és keletre és nyugatra néznek (1. ábra a) b)). A hollandiai Uden közelében

lévő 400 méter hosszú kétoldalas PVNB az A50-es autópálya keleti oldalán a forgalom zajától védi a lakosságot (heijmans.nl 2019). A fal magassága öt méter és a felső négy méteren az üvegbe kétoldalas napelemek vannak beépítve (Pv magazine, 2017). A fal alapvetően keletre és nyugatra néz, de az energiatermelés maximalizálása érdekében a zajvédő falat nem csak pontosan az észak-déli tengelyen helyezték el. (1. ábra c) d)).

A PVNB-k alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata csak az előző évtizedekben jelent meg, elsősorban az európai és ázsiai szakirodalomban. A napelemek ily módon való alkalmazása, melynek fő célja az épített környezetbe való integrálással a helytakarékosság, innovatív, pionír területnek számít. Olyan jellegű térinformatikai alapú szakirodalom hiányában, melynél a PVNB-k villamosenergia potenciálját egy egész vonal mentén vizsgálják és a módszertan átvihető akár más földrajzi területre is, saját módszertan kidolgozása indokolt.

A kutatás során egy, a környezetvédelem két különböző területét ötvöző technológia feltáráásával és potenciálvizsgálatával foglalkoztunk. Több környezetvédelmi szempontot és problémát figyelme kellett vennünk a vizsgálathoz. Egyrészt, bár a napelem az aktív megújuló energiaforrás hasznosítás egyik legelterjedtebb módja, nehézsége, hogy nagy a területigénye. Másrészt, bár az egyre növekvő zajszennyezés komoly egészségügyi kockázattal jár, elhanyagolt téma, mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalomban. Harmadrészt, az egyre nagyobb mobilitást igénylő társadalmunk a közlekedéssel és szállítmányozással óriási környezetterhelést végez. Hogy ezt csökkentjük, az olyan kevésbé környezetkárosító közlekedési módokat és azoknak infrastruktúráit kell előnyben részesíteni, mint amilyen a vasút. Kutatásunk során, a három említett szempont figyelembevétele alapján a vasút melletti kétoldalas

napelemes zajvédő falak vizsgálatával foglalkoztunk. Arra kerestük a választ, hogy Magyarországon mekkora energia-potenciállal lehet kalkulálni egy közepes hosszúságú vasútvonal mentén telepített kétoldalas PVNB esetében.

Mintaterület

A kutatás mintaterülete a MÁV Zrt. Pest megyében található 70-es számú, kétvágányú, villamosított vasútvonala, a magyar és az európai törzshálózat tagja. A 62,9 km hosszú Budapest-Szob vasútvonal sok tényező alapján ideális a kutatás szempontjából. A mintaterület kijelölése során a legfontosabb feltétel az volt, hogy a választott vonalas infrastruktúra elem fő futása észak-dél irányú legyen, hiszen a kétoldalas PVNB-k keleti és nyugati tájolás mellett tudják leadni a legnagyobb teljesítményt. A 70-es vasútvonal jelentős része megfelel a tájolási kritériumnak és a Dunakanyar adta változatos tájolási lehetőségek miatt egyúttal a módszertan validálása is megtörténhet. Fontos szempont volt továbbá, hogy sűrűn lakott legyen a vonal térsége, valamint, hogy a települések mellett ne, vagy alig legyenek zajvédő falak. A vonal mentén nagy lélekszámú, Budapest agglomerációjához tartozó települések fekszenek azonban jelenleg csupán Dunakeszinél és Vácnál van egy-egy rövid szakaszon zajvédő fal. A legtöbb, 70-es vonal menti agglomerációs település népessége az elmúlt években nőtt, így a lakosság egyre nagyobb hányada van kitéve a magas zajterhelés jelentette egészségügyi kockázatoknak, a probléma fokozódása pedig feltételezhető. A 70-es egy forgalmas elővárosi és nemzetközi közlekedési folyosó, mely 2018-ban Magyarország legforgalmasabb vasútvonala volt (mavcsoport.hu).

A térinformatikai-alapú potenciálvizsgálathoz a 70-es vasútvonal nyomvonalát, a jelenlegi zajvédő-

falakat tartalmazó állományt, valamint az ortofotókat a MÁV Zrt-től kaptuk, ezenkívül az Országos Területrendezési Tervből (OTRT) származó 2006-os település belterület, folyó és megye állományokat használtuk.

Térinformatikai-alapú potenciálvizsgálatok

A vizsgálat első lépésében a lehetséges PVNB-k elhelyezésével foglalkoztunk. A MÁV Zrt. meghatározása szerint 3,2–4 m üzemi közlekedési teret kell kialakítani a vezetett nyomvonal és a zajárnyékoló fal között (Buskó A. 2019). Ezért az ArcMap 10.4 szoftverben a vasútvonal keleti és nyugati oldalára is a vágányoktól számítva 3,5 m-re határoztuk meg a zajvédő fal elméleti nyomvonalát. A két fal nyomvonalát 10 méteres szakaszokra osztottuk, a később elvégzett számítások számára elérhető részletesebb felbontás érdekében. Ezeket értelmezhetjük a vasútvonal mellett létesítendő zajvédő falak egyes szakaszaiként. A PVNB-k teljesítményét a tájolás nagymértékben befolyásolja, ezért meghatároztuk az eredményül kapott szakaszok azimut szögét. Egy elméleti, 90°-os tájolású szakasz észak-déli tengelyű volna, tehát az ilyen tájolásban elhelyezett fal oldalai keletre és nyugatra néznének, így az ehhez közel eső értékű szakaszok lennének optimálisak kétoldalas napelemek telepítésére. Kétoldalas PVNB-t az energiatermelés maximalizálása érdekében nem csak pontosan az észak-déli tengelyen érdemes elhelyezni, hanem ettől bizonyos mértékű eltérés esetén is, ezért a legkedvezőbb 90°-hoz képest előbb 20° („nagyon ajánlott”), 25° („ajánlott”) majd 30° („kevésbé ajánlott”) eltérést engedtünk keleti és nyugati irányba is, az ennél nagyobb szögeltérés esetén azt feltételeztük, hogy nem kedvező vertikális kétoldalas PVNB telepítésére. A GIS-es (geographic information

system) potenciálbecslés eredményei alapján a 70-es vasútvonal jelentős része beleesik a kedvező tájolási kategóriákba (60°-120°) (2. ábra).

A tájolás mellett a termelést a DNI (Direct Normal Irradiance, direkt merőleges sugárzás (értéke 1168 kWh/m²/év sokéves átlag a mintaterületen, forrás: solargis.com)), a Nap azimut szöge, magassága és a modul hatékonysága is befolyásolja. A felületre érkező potenciális besugárzást a nap-éj egyenlőség idejére számoltuk ki, és azt vetítettük az egész évre, mintegy átlagként. A számításokat Guo et al. (2013) alapján végeztük el. Az így megkapott éves fajlagos energiatermelési adatok jól korrelálnak a tájolási kedvezőség alapján kapott képpel.

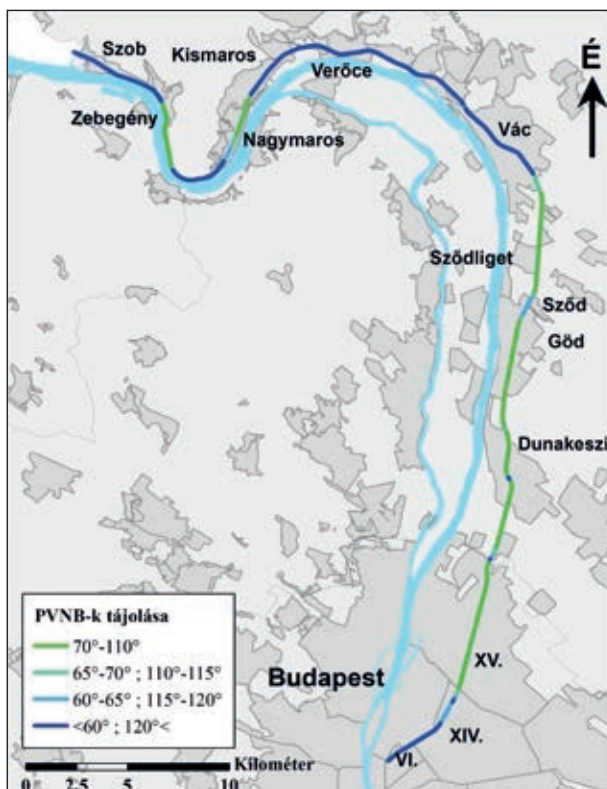
A 10 m-es szakaszok két dimenzióba való kiterjesztése érdekében a PVNB-k 5 méteres falmagasságával számoltunk. Buskó A. (2019) és X. Sun et al. (2018) alapján a lábazati falelem 1 méter magas (melyek nem

hasznos felületét számításba vettük), a felső 4 méterre pedig zajárnyékoló falelemnek kétoldalas napelem modulokat feltételeztünk az udeni PVNB mintájára. A korábban eredményül kapott kWh/m² adatokat felszoroztuk a 4 méteres falelem magassággal és a 10 méter hosszú szakaszokkal, így megkaptuk, hogy az egyes szegmensek 400+400 m²-nyi felületén mennyi villamos energiát lehet elméletileg megtermelni egy év alatt, ideális körülmények között. Az 5 méteres falmagasságra mind a két funkció maximális kikapcsolása miatt van szükség. A magasabb fal a nagyobb felület miatt hatékonyabb villamosenergia termelést és jobb zajárnyékolást biztosít. A fal a lakosságot védi a vasúti közlekedés okozta zajterheléstől, ezért azon vonalmenti szakaszokon van rájuk szükség, amelyek a települések belterületén belül helyezkednek el. A 70-es vasútvonal 75%-a esik ilyen területre, így sok, PVNB-vel potenciálisan beépíthető

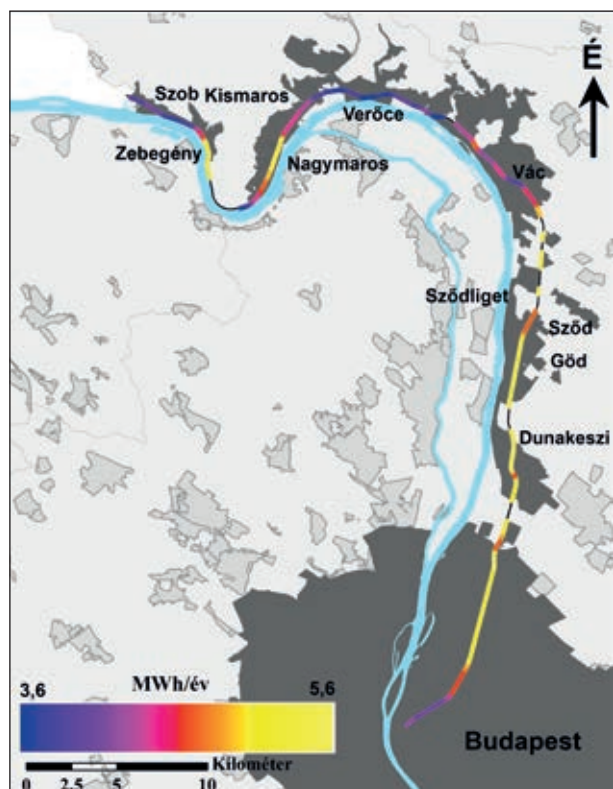
területtel lehet számolni (3. ábra)

A vertikális telepítésű PVNB-k legnagyobb előnye, hogy nincs szükség többlet helyre, hiszen egy amúgy is szükséges tereptárgyba integrálják a napelemeket. Ha az összes, a mintaterületen lévő települési belterületre javasolt PVNB évi 47,6 GWh potenciálját konvencionális, azaz kereskedelmi naperőmű-telepekkel megegyező módú telepítéssel termelnék meg, a megvalósításához 87 hektárra lenne szükség. Azonban a PVNB-knek is van minimális területfoglalásuk, a mintaterületen lévő települési belterületre javasolt zajvédő falak 95,5 km-es hosszal és 0,3 m-es falvastagsággal, 2,9 hektár földterületet foglalnának el, ez a 87 hektárnak csupán a 3%-át teszi ki.

A terepi megfigyelés alapján elmondható, hogy a vonal a belterületre eső szakaszok jelentős hányadán a lakóépületek közvetlen környezetében halad, a vágányok pedig gyakran vasúti töltésen, az épületek



2. ábra: A PVNB-k tájolása a kedvezőségi kategóriák alapján



3. ábra: A település belterületeken belül futó, 4 méter aktív falelemes PVNB-k potenciális éves villamosenergia-termelése

magasságával egy szinten futnak, így a zajhatás még jelentősebb, azonban zajvédelem csak rendkívül kevés esetben történik (az egész vasútvonal mentén összesen csupán 3037 méteren). Azokat a szakaszokat, ahol jelenleg van zajvédő fal a továbbiakban levontuk a számításból, hiszen ezeken a területeken már megvalósult a zajvédelem.

A fenti tényezők miatt a vasútvonal-menti teljes belterületre indokolt zajvédő fal telepítése, azonban gazdasági szempontból nem feltétlenül éri meg mindenhova kétoldalas PVNB-t telepíteni, hiszen kedvezőtlen tájolás esetén csökken a napelemek teljesítménye. Ezért a kutatás további szakaszaiban azt feltételeztük, hogy a korábban meghatározott kedvezőségi kategóriák szerinti "nem kedvező" kategóriába tartozó szakaszok, vagyis a 60°-nál kisebb és a 120°-nál nagyobb azimut szögű szegmensek esetében, PVNB helyett hagyományos zajvédő falakat telepítenek. Így az összes belterületre feltételezett napelemes zajvédő falaknak csupán 54%-a maradt PVNB-vel potenciálisan beépíthető szakasz a mintaterületen.

A reggeli és az esti órákban az egymástól 12 méter távolságra feltételezett 5 méter magas falak árnyékolhatják egymást, az árnyékos órákban a falak nem, vagy csak korlátozottan képesek villamos energiát termelni, így a korábbi számításokból levontuk az árnyékos időintervallumokat. A keleti oldalon lévő szakaszok esetében a reggeli órákban, a nyugati oldalon lévők esetében pedig a délutáni órákban volt jelen árnyékhát. A számítás alapján, a falak egymásra gyakorolt árnyékhátása szempontjából legkedvezőtlenebb komponensek esetében (melyek egyben a legkedvezőbb tájolási kategóriájúak is), a nyugati falak reggel 7:30-ig, a keleti falak pedig este 16:30-tól voltak árnyékban a szemközti fal miatt. A legkisebb árnyékhátást elszenvedő falak esetében is ugyanígy alakul az árnyékos időtartam kevés különb-

séggel a legárnyékosabbhoz képest, ezért a továbbiakban minden nyugati fal esetében a reggeli, és minden keleti falnál pedig az esti órákat a továbbiakban levontuk a számításból abban az esetben, ha van feltételezett szemközti fal.

A már megvalósult projektek esetében megfigyelhető, hogy a PVNB-k gyakran félig átlátszóak az aktív felületek csempés elrendezésének köszönhetően, azért, hogy jobban simuljanak a település látképébe. A kutatás során fontos ennek a lehetséges telepítési körülménynek is a figyelembevétele, hiszen a 70-es vasútvonal Dunakanyar menti településeket is keresztez, emiatt a városkép védelem kiemelt jelentőségű, így a kutatás további részében, azt feltételeztük, hogy a PVNB-k a 4. ábrán látható módon félig átlátszóak. Ilyen jellegű telepítés esetében, a falaknak csak a 60%-a aktív felület, a fennmaradó területek pedig inaktív, általában üveg felületek, mely alapján a 10 méteres szegmensek évi fajlagos villamos energia potenciáljából 40%-ot levontunk. Ezenkívül a falak vandalizmus biztosak, hisz a falfirkák könnyen eltávolíthatóak róla, ha pedig az üveglap sérülne meg, a modularitás miatt könnyen kicserélhetőek.

Az így eredményül kapott PVNB-vel potenciálisan beépíthető területek és az azokra vonatkozó évi fajlagos villamosenergia-termelés, egy realisabb képet nyújt arról, hogy az esetleges telepítés esetén, hova

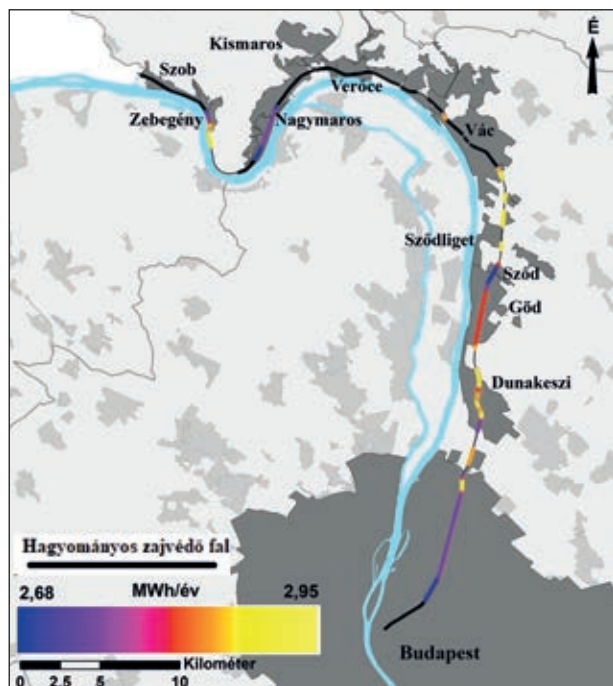
lenne valóban érdemes vertikális kétoldalas PVNB-t építeni, és hova hagyományos zajvédő falat, valamint arról, hogy mennyi villamosenergia-termelésre lehet számítani (5. ábra).

A továbbiakban megvizsgáltuk, hogy a fenti tényezőkön kívül milyen egyéb hatások befolyásolhatják még a villamosenergia-termelést. A MÁV Zrt-től kapott (2011 és 2014 között készült) ortofotók alapján az Arcmap 10.4 szoftverben interpretáltuk, hogy mely területeken árnyékolja növényzet, épület vagy felüljáró az elméleti PVNB nyomvonalát. A vizsgálat során a vágánymenti tereptárgyak lehetséges árnyékkerét kör alakú poligonokkal határoztuk meg. A továbbiakban a poligonok alatti területeket tekintettük a nyomvonal menti árnyékos helyszíneknek. Bár az árnyékhát vizsgálat során törekedtünk, hogy konzekvensek legyünk, az interpretálás bizonyos fokú szubjektivitással járt.

A vegetáció kapcsán a légi felvételek interpretációja során maradtak kérdéses területek, ahol az ortofotók alapján inkább bokros, felhagyott terület van, ezért újbóli terepi megfigyelés indokolt. A terepi validáció során megvizsgáltuk a kérdéses szakaszokat, mely során kiderült, hogy a vonal mentén a fák jelentős hányada fehér akác (*Robinia pseudoacacia*), mely hazánkban egy inváziós faj, ezen kívül jelen van a területen még az erdei iszalag



4. ábra: Félig átlátszó vasúti PVNB Münsingennél (Forrás: T. Nordmann et al. 2012)



5. ábra: Kedvező tájolási kategóriájú PVNB-k potenciális éves villamosenergia-termelése és a potenciális hagyományos zajvédő falak helye



6. ábra: Elvadult területek a 70-es vasútvonal mentén (saját felvételek)

(Clematis vitalba), mely mérgező, a közönséges komló (Humulus lupulus), valamint több egyéb faj mely elburjánzva, kezeletlenül van jelen a vonal mentén (6. ábra), így árnyékhatásukat nem feltétlenül szükséges figyelembe venni, hiszen ezen növények nem képviselnek számottevő ökológiai értéket, így az esetleges telepítés során valószínűleg eltávolítanák őket a területről.

Ezért a kutatás során két esetet vettünk figyelembe. Az első esetben minden területet, mely során a növényzet árnyékolná a falat, levontunk a számításból azt feltételezve, hogy a telepítés során nem történik növényirtás. A második esetben a terepi validáció és a légifelvétel interpretálás együttes alkalmazásával levontuk azokat a területeket, melyeken főleg olyan növények dominálnak, melyek kezeletlenül, elvadulva vannak jelen a területen, valamint esztétikailag sem járulnak hozzá pozitívan a települések tájképéhez. A 7. ábrán az interpretáció egyik kérdéses területe látható Nagymarosnál, a terepi validáció alapján (6. ábra b)) a vágány jelen esetben vasúti töltésen fut, alatta

pedig kezeletlen, elburjánzott, bokros társulás van. A 7. ábrán látható, hogy míg az első esetben ezen területet is levontuk a PVNB-vel potenciálisan beépíthető területekből, a második esetben már számításba vettük, hiszen számottevő ökológiai, vagy esztétikai érték hiányában a társulás eltávolítható a területről, vagy vissza-

szorítható olyan szintre, hogy a napelmelek termelését ne befolyásolja.

A továbbiakban mindkét esetben az árnyékolt területekre kétoldalas PVNB helyett hagyományos zajvédő falat feltételeztünk, hiszen bár energiatermelésre nincs lehetőség, a zajterhelés csökkentésére továbbra is szükség van.



7. ábra: Árnyékolt területek meghatározása Nagymarosnál térinformatikai szoftverben. 1. kép: első eset, 2. kép: második eset

	Nagyon ajánlott				Ajánlott				Kevésbé ajánlott				Hagyományos zajvédő fal	
	Termelhető E (GWh/év)		Szakaszok hossza (km)		Termelhető E (GWh/év)		Szakaszok hossza (km)		Termelhető E (GWh/év)		Szakaszok hossza (km)		Szakaszok hossza (km)	
	Első eset	Második eset	Első eset	Második eset	Első eset	Második eset	Első eset	Második eset	Első eset	Második eset	Első eset	Második eset	Első eset	Második eset
Budapest	1,31	1,64	4,60	5,79	1,4	1,77	4,93	6,25	1,95	2,48	6,91	8,78	15,93	14,06
Dunakeszi	1,33	1,77	4,61	6,16	1,44	1,91	5,01	6,62	1,51	1,99	5,24	6,93	3,74	2,05
Göd	0,79	0,86	2,73	3,00	0,85	0,93	2,97	3,24	1,10	1,18	3,85	4,14	6,67	6,38
Szód és Szödliget	0,02	0,02	0,07	0,07	0,02	0,02	0,07	0,07	0,03	0,04	0,12	0,14	0,52	0,5
Vác	0,20	0,26	0,68	0,90	0,31	0,42	1,07	1,47	0,35	0,47	1,24	1,64	12,67	12,27
Verőce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,83	6,83
Kismaros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,57	2,57
Nagymaros	0,26	0,36	0,93	1,26	0,44	0,63	1,55	2,22	0,74	0,95	2,65	3,40	12,86	12,11
Zebegény	0,22	0,24	0,76	0,81	0,23	0,25	0,80	0,86	0,23	0,25	0,80	0,86	4,20	4,14
Szob	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,32	6,32
Összesen	4,12	5,16	14,38	17,99	4,70	5,93	16,40	20,73	5,92	7,36	20,81	25,89	72,31	67,23

1. táblázat: A 70-es vonal menti településeknél feltételezett PVNB-k kumulált fajlagos éves elméleti maximális villamosenergia-termelése a kedvezőségi kategóriák függvényében, valamint a szükséges hagyományos zajvédő falak hossza településenként az első és a második eset alapján

Az 1. táblázat alapján elmondható, hogy a két eset között, ha az összes javasolt PVNB megépülne, 5 kilométernyi potenciális PVNB hossz differencia van. Ha a telepítés során nem történne egyáltalán növényirtás, vagyis az első eset valósulna meg, de minden kedvező tájolású PVNB-t kiviteleznének, akkor évi 1,4 GWh-val kevesebb villamos energia potenciállal lehetne számolni a mintaterületen a második esethez képest. A második eset során csak a kezeletlen, elvadult területek árnyékhatast hagytuk figyelmen kívül. Az értékes és esztétikailag igényes fás társulások és egyéb növények árnyékhatast ebben az esetben is figyelembe vettük, hiszen ezeket az esetleges telepítés alkalmával érintetlenül kell hagyni. A második eset alapján javulhat a városkép, hiszen eszerint az elvadult területek kezelése szükségessé válik. A vizsgált két eset közül a második ad realisabb képet a mintaterületben rejlő telepítési lehetőségekről.

A 8. ábra bemutatja, hogyan változott a kutatás során az egyre szigorúbb feltételek bevonásával a PVNB-k villamos energia potenciálja a kedvezőségi kategóriák függvényében. Az 1-es számú oszlopok a kutatás azon állapotát mutatják be, mely során az összes belterületre PVNB van feltételezve, a 2-es számú oszlopok azt, amikor csak a kedvező tájolású területekre van félig átlátszó PVNB feltételezve. A falak

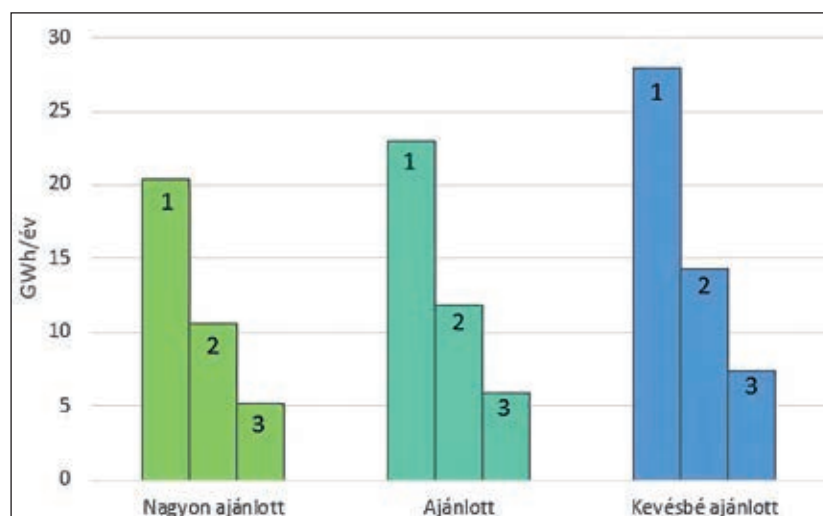
egymásra gyakorolt árnyékhatast is figyelembe véve, a 3-as számú oszlopok pedig a 2. esetet mutatják be, tehát ahol figyelembe van véve a vegetáció árnyékhatast is, de csak azokon a területeken melyeknél valóban indokolt. Jól látható, hogy az egyes szűkítésekkel, hogy csökken a mintaterületen PVNB-vel megtermelhető energia potenciál.

A legpontosabb képet a 3-as számú oszlopok adatai mutatják, azt feltételezve, hogy az esetleges telepítés során ez az eset valósul meg, és mindhárom kedvezőségi kategóriába tartozó PVNB-t megépítik, több mint 67 km hagyományos zajvédő fal telepítése lenne indokolt. A fennmaradó 26 km-en, pedig a PVNB-k évi 7,4 GWh villamosenergia termelésére lehetne számítani, mely Du-

nakeszi 2018-as háztartások részére szolgáltatott villamosenergia mennyiségének a 16%-át teszi ki (adatforrás: KSH).

Összefoglalás

Kutatásunk során arra kerestük a választ, hogy Magyarországon mekkora energia potenciállal lehet kalkulálni közepes hosszúságú vasútvonal mentén elhelyezett PVNB-k esetében. A kutatás során egyre szigorítottuk a telepítés feltételeit és egyre több szempontot vettünk figyelembe, hogy minél pontosabb potenciál-becslést tudjunk adni. Mivel a PVNB pionír technológiának számít, kevés megvalósult projekttel, nincs még egy jól meghatározott



8. ábra: Az egyes kategóriák alapján feltételezhető fajlagos éves villamosenergia-termelés a kutatás egyes fázisaiban

telepítési elv, ezért minden leválogatás után indokolt külön megvizsgálni az adott tényezők függvényében elérhető energia-potenciált, hiszen bizonytalan, hogy az esetleges telepítés során a kivitelező, mely feltételeket fogja figyelembe venni. A szakirodalom és a vizsgálat alapján kivitelezés esetén a második eset megépítését javasoljuk, hiszen ebben az esetben a falak félig átlátszóak, így jól illeszkednek a környezetbe, továbbá figyelembe veszi a növényzet árnyékhatását, de csak azokon a területeken, melyeken ez valóban indokolt. A kutatás energia-potenciál eredményeit az időjárási viszonyok erősen befolyásolhatják. A vizsgálat során csak a vertikális kétoldalas PVNB-k lehetőségeit vizsgáltuk a mintaterületen, azonban az eredmények tovább árnyalhatók egyoldalas PVNB-k telepítésnek lehetőségének megadásával. A kutatás alapján elmondható, hogy a 70-es vonal, kedvező kétoldalas PVNB-k telepítésére és mivel jelenleg nagyon kevés zajvédő fal van a vonal mentén, indokolt a zajvédelmi intézkedések újragondolása, különösen most, a vonal felújítása előtti időszakban. A vertikális kétoldalas PVNB-k esetében maguk a napelemek egyben a falelemek, így nem kell külön-külön legyártani őket, ezzel is csökkentve a projekt ökológiai lábnyomát. A falak megépülésükkel csökkentenék a zajszennyezést a térségben és jelentős földterület használat nélkül hasznosítanák a napenergiát. Magyarország első PVNB-je népszerűsítene a vasúti közlekedést és a megújuló energiaforrások hasznosítását, valamint felhívna a figyelmet a zajvédelemre, mint fontos környezetvédelmi szakterületre. A kidolgozott módszertan más magyarországi vasútvonalra is átültethető, azok térinformatikai állományainak birtokában.

A napelemes zajvédő falak hasznosságára, megtérülésére a kutatás jelen fázisában még nincs megbízható adat, mivel a már megvalósult

projektek egyelőre kísérleti fázisban vannak, így a gazdasági megterülettel kapcsolatos adatok még nem publikusak. Mivel a PVNB-k nem hagyományos napelemekből állnak, hanem speciális, direkt az adott területre gyártott panelekből, nem lehet a jelenleg piacon lévő átlag kétoldalas napelemek költségeivel számolni. Ennek a problémának a feltárása, a költségek bemutatása a következő kutatásunk témája lesz, lehet.

A cikk alapjául szolgáló dolgozattal Komoróczy Eszter 2021. április 6-án prezentációs, valamint első díjat nyert az OTDK-n. (Országos Tudományos Diákköri Konferencián).

A szerzők szakmai életútja:

Komoróczy Eszter

2020-ban végzett geográfusként az ELTE TTK-n (Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán). Szakdolgozatához inspirációt, ösztönzést és támogatást két nagyapja, Csárádi János és Dr. Komoróczy István adott. Jelen szöveg szakdolgozatának továbbgondolásából született, OTDK pályamunka fontosabb eredményeit mutatja be. Jelenleg az ELTE-n végzi mesterszakos tanulmányait geoinformatika szakirányon.

Soha Tamás

Egyetemi tanulmányait az SZTE-n (Szegedi Tudományegyetemen), és az ELTE-n végezte, 2017-ben lett okleveles geográfus. Jelenleg az ELTE Földtudományi Doktori Iskolájának utolsó éves doktorandusz hallgatója. Kutatási területe a fenntartható energiagazdálkodási technológiák kapcsolata a földrajzi térrel, regionális és országos léptékű energetikai koncepcióalkotás és tervezés, térinformatikai és más szoftveres eszközök segítségével. A jelen kutatás ötletgazdájaként Komoróczy Eszter szakdolgozati és OTDK témavezetője.

Irodalomjegyzék

Buskó A. 2019: A MÁV Magyar Államvasutak Zrt. vonalhálózata mellett beépített zajárnyékoló falak állagnyilvántartása, előírások, 117 p.

de Jong, M. (2015): Solar Highways Benchmark Study.– Solar Energy Application Center (SEAC), Eindhoven, 40 p.

Guo S. – Walsh T. M. – Peters M. 2013: Vertically mounted bifacial photovoltaic modules: A global analysis.– Energy 61. pp. 447-454.

Heijmans, What about... Solar Highways, The silent strength, 2019. március 5.: <https://www.heijmans.nl/en/stories/what-about-solar-highways/>

KSH: Éves településstatistikai adatok 2018-as településszerkezetben (A háztartások részére szolgáltatott villamosenergia mennyisége)

MÁV csoport: Egyre többen használják a vasutat, 2019. január 24.: <https://www.mavcsoport.hu/mavstart/belfoldi-utazas/egyre-tobben-hasznaljak-vasutat>

Nordmann T. – Vontobel Th. – Clavadetscher L., 2012: 15 Years of practical experience in development and improvement of bifacial photovoltaic noise barriers along highways and railway lines in Switzerland.– 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. pp. 3843 – 3847.

Pv magazine: Netherlands to install solar highway noise barriers, 2017. október 13.: <https://www.pv-magazine.com/2017/10/13/netherlands-to-install-solar-highway-noise-barriers/>

Solargis: Solar resource maps of Hungary, Direct Normal Irradiation (© 2019 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis): <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/hungary>

Sun X. – Khan M. R. – Deline C. – Alam M. A., 2018: Optimization and performance of bifacial solar modules: A global perspective.– Applied Energy 212. pp. 1601–1610.

Vallati, A. – de Lieto Vollaro, R. – Tallini, A. – Cedola, L. (2015): Photovoltaics noise barrier: acoustic and energetic study. – Energy Procedia 82. pp. 716 – 72