

**DANGERS AND CHALLENGES OF SMALL
POWER PLANTS ON THE ELECTRIC GRID****KISERŐMŰVEK OKOZTA VESZÉLYEK ÉS
KIHÍVÁSOK A VILLAMOS HÁLÓZATOKON**BÁLINT Márton¹**Abstract**

Before some time, one was astonished to see in Austria the high wind turbines, and by travelling further in the mountains even in small towns shiny tablets, solar panels appearing on the roofs of the houses. Nowadays in Hungary such sights are more and more widespread, and even if the development of wind turbines has slowed down, thanks to the conscious consumer attitude and incentive application and financial environment the development of small, domestic solar power plants shows an even stronger increase. Such development calls for new challenges to the electrical distribution network, which are crucial for our everyday comfort even if their existence is often unnoticed by most of us. Stable voltage and symmetrical electrical parameters are the main aspects of them. The development of such electric power generation units also means an increase of potential risk of electrocution and electric fire.

Keywords

domestic power plant, distribution network, electrical industry, energy, overload, instability, risks

Absztrakt

Régebben álmélkodva szemléltük a szomszédos Ausztriába érve a hatalmas szélérőműveket, majd tovább haladva a hegyekre a falvakban is felkerültek csillogó táblák, naperőművek a háztetőkre. Néhány év elteltével ez a látvány hazánkban is egyre gyakoribb, és bár a szélérőművek terjedése megtorpant, a háztartási naperőművek a tudatos fogyasztói hozzáállásnak, valamint az ösztönző pályázati és pénzügyi környezetnek köszönhetően annál nagyobb mértékben nőtt. Ez a növekedés azonban korábban ismeretlen kihívások elé állítja a sokak által kevésbé észlelt, ámde a mindennapjaink komfortjához elengedetlen villamos elosztó hálózatot, különösképpen a stabil feszültség, illetve szimmetrikus működés folyamatos biztosítását. Az elektromos termelő egységek elterjedésével párhuzamosan nőtt az áramütés és az elektromos tűz potenciál kialakulásának veszélye.

Kulcsszavak

háztartási kiserőmű, elosztó hálózat, villamosipar, energia, túlterhelés, ingadozás, veszélyek

¹balint.marton@phd.uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0002-5703-5584 | PhD Student, Óbuda University Doctoral School of Safety and Security Sciences | doktorandusz, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola

BEVEZETÉS

Egyre növekvő tendenciát mutat Európában és a világon a gazdaság dekarbonizációja, amelyhez jelentős mértékben járulnak hozzá a különböző energiarendszerek. A Párizsi Megállapodás ambiciózus környezeti céljainak elérése érdekében jelentősen meg kell növelni a megújuló energiaforrások részarányát az energiatermelésben.

Az energiaellátó rendszerek folyamatosan fejlődnek a bevezetésük kezdete óta – ez az ipari forradalom kései időszakára datálható. Jelentős előrelépés történt az energiaellátó rendszerek technológiájában a hatékonyság, a minőség, a biztonság és a megbízhatóság terén, az első kereskedelmi erőműtől (NY City, Pearl Street), amely egyenáramú (DC) generátorokat alkalmazott egy New York-i, egy négyzetmérföldes blokk ellátására, egészen a szárazföldet és a tengereket átszelő, egymástól távol lévő erőműveket összekötő villanyvezetékek széles hálózatáig [1]. Ez az evolúció lehetővé tette, hogy az energiaellátó rendszerek egyre nagyobb jelentőséget kapjanak az emberek életében, valamint a világ gazdaságban. A megbízható energiaellátó rendszereket a modern társadalmak megkülönböztető jegyévé váltak [2].

Egyetlen műszaki rendszer sem teljes mértékben megbízható. Ennek megfelelően elkerülhetetlen a meghibásodások kockázata az elektromos elosztórendszerek (Electrical Distribution System - EDS) esetén. Ennek legkézzelfoghatóbb eredménye általában a fogyasztói oldalon fellépő kiesés. Ugyan gazdaságilag nem motivált – illetve nem is lehetséges - a maximális megbízhatóság elérése, de fontos a kockázatcsökkentés és a befektetési költségek közötti egyensúly megtalálása. Társadalmunk egyre inkább függ a megbízható villamosenergia-elosztástól, továbbá nőtt a költséghatékonyság iránti igény.

KISERŐMŰVEK ÁTTEKINTÉSE

A villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény, valamint a 279/2007. (X.19.) Kormányrendelet 2008-ban bevezette a háztartási méretű kiserőmű fogalmát (HMKE). Az a villamos energiát termelő berendezés minősíthető háztartási méretű kiserőműnek a jelenlegi szabályozás szerint, amely a következő feltételeknek megfelel:

- közcélú kiefeszültségű hálózathoz, illetve kiefeszültségű magán- vagy összekötő vezeték hálózatra csatlakozik,
- erőművi névleges teljesítőképessége nem haladja meg a felhasználó rendelkezésre álló teljesítményének mértékét,
- valamint maximum 50 kVA erőművi névleges teljesítőképességű.

A háztartási méretű kiserőművek hallatán a legtöbb ember fejében a családi házak tetején helyet kapó napelempanellek összessége villanhat fel. Azonban ez a megnevezés, illetve a fentebb felsorolt feltételek további energiatermelő berendezéseket is magukba foglalnak:

- napelemes rendszer,
- szélturbina,
- vízturbina,
- motorhajtású berendezés (dízelmotor, Stirling motor stb.).

Alapvetően minden természetben előforduló energiaforrásunk a napenergiára vezethető vissza. A legtöbb energiát közvetett módon nyerik:

- fotoszintézis, amelyek a növények kémiai energiáját növeli, végül pedig a biomassza és a fosszilis tüzelőanyagok belső energiátartalmát határozza meg,
- párolgás, mint a víz és a gőz körforgása, amely a vízenergia potenciális energiáját határozza meg,
- végül pedig a víz és a levegő áramlása, amely megadja az óceáni áramlások és a szél mozgási energiáját, további a hullámok potenciális energiáját [3].

Azoknak az energiatermelő berendezéseknek, amelyek működése kihasználtsága az időjárási körülményektől jelentős mértékben függ (pl. napelemes rendszer, szélturbinás rendszer, vízturbinás rendszer), a hálózatra gyakorolt fő jellemzői a következők lehetnek:

- a hálózati feszültségprofil változása,
- tranziensek megjelenése be- és kikapcsoláskor,
- rövidzárlati áramok növekedése,
- a termelés és fogyasztás függvényében változó veszteségek mértéke,
- az ellátás minőségére és megbízhatóságára gyakorolt hatások,
- a védelem összehangolásának szükségessége [3].

A növekvő igény az ellátásbiztonság és -megbízhatóság iránt új feladatok elé állítja a tervezőket, fejlesztőket. A munkájukat elsősorban befolyásoló tényezők közé sorolhatjuk például a rendelkezésre álló teljesítmény előrejelzésének bizonytalanságát, a kimenő teljesítmények változásainak nagyságát és sebességét is [3].

A következőkben elsősorban a napelemes rendszerek jellemzésére fektetem a hangsúlyt, ezt pedig az 1. táblázatban látható adatok alapján teszem. Könnyen leolvasható és kiszámolható, hogy (a 2017-es adatok alapján) a háztartási méretű kiserőművek beépített összeteljesítményéből a napelemes rendszerek 99 %-t tesznek ki, emellett a többi erőműtípus termelése és darabszáma elhanyagolható.

<i>Megnevezés</i>	Nap-energia	Szél-energia	Víz-energia	Biogáz	Bio-massza	Termál-metán	Föld-gáz	Dízel	Egyéb	Összesen
<i>Beépített teljesítőképesség [kW]</i>	239960	619	112	115	20	206	291	11	36	241370
<i>Darabszám [db]</i>	29510	84	14	28	1	26	20	1	1	29685
<i>Hálózatra betáplált villamos energia [MWh]</i>	103626	105	387	32	0	553	258	0	125	105086

1. táblázat: HMKE-k energiaforrás szerinti eloszlása hazánkban 2017-ben [4]

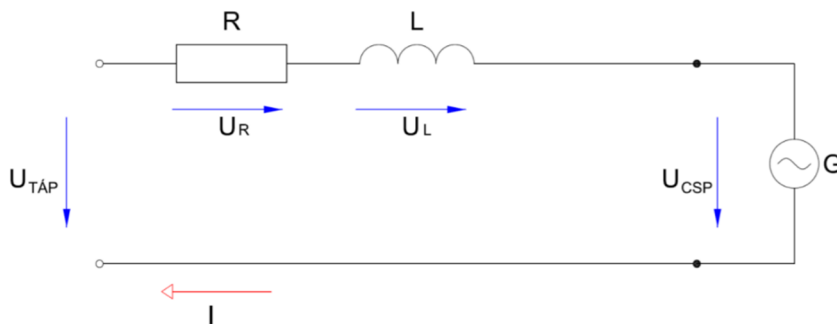
Az 1. táblázatból szintén leolvasható, hogy a szélenergia rendelkezik a második legnagyobb darabszámmal, azonban messze nem hozzá kapcsolódik a második legnagyobb mértékű hálózatra táplált villamosenergia – pedig a beépített teljesítőképesség alapján is a

szélenergia a második helyezett. Szintén látható, hogy 2017-ben több mint 241 MW beépített teljesítménnyel rendelkeztek a HMKE-k, amivel éves szinten több mint 105 GWh energiát sikerült a hálózatra táplálni.

A kiserőművek hálózati számításának alapjai

Először is szeretném bemutatni annak a folyamatnak az elektrotechnikai hátterét, amikor egy napelemes rendszert a közepesfeszültségű hálózatra csatlakoztatunk.

A közepesfeszültségű hálózatra csatlakozó HMKE-kről kijelenthető, hogy azok áramgenerátorként működnek, vagyis a pillanatnyi termelt árama állandó lesz. Az erőműnek a csatlakozási ponton feszültségkülönbséget kell létrehoznia, hogy ezt az áramot be tudja táplálni a hálózatba. Napelemes rendszerek inverterét (ami a termelt egyenáramot váltóárammá alakítva) tetszőleges fázishelyzetűre lehet állítani. Mivel az energiatermelő berendezés tulajdonosának érdekében áll, hogy minél nagyobb hatásos villamos energiát tápláljon a hálózatra (az átvételi árat a hatásos rész után kapja), a fázisszöveget 1 értékre fogja állítani. Így például egy 10 kVA névleges teljesítményű napelemes rendszer 10 kW hatásos és 0 kVAr meddő teljesítményből fog összeadódni. Ezidáig a magyarországi elosztó engedélyesek nem vizsgálták annak a lehetőségét, ha a HMKE nem 1 értékű fázisszöggel üzemel. Egy hálózatra kapcsolt háztartási méretű kiserőmű elvi kapcsolási vázlatát látható az 1. ábrán [5].



1. ábra: Hálózatra kapcsolt HMKE elvi vázlat [5]

Ahogy korábban említettem, a HMKE csatlakozási pontján feszültségemelési kell megvalósítani az erőműnek. Ennek az különbségnek a mértéke pedig a táppont és a csatlakozási pont közötti vezeték impedanciájától függ, és az alábbi képlettel számítható:

$$\overline{U_{Táp}} = \overline{U_{CSP}} + \overline{U_R} + \overline{U_L} \Rightarrow \overline{U_{CSP}} = \overline{U_{Táp}} - (\overline{U_R} + \overline{U_L}) \quad (1)$$

Ahol:

$\overline{U_{Táp}}$ [kV]: a táppont villamos feszültsége,
 $\overline{U_{CSP}}$ [kV]: a csatlakozási pont villamos feszültsége,
 $\overline{U_R}$ [kV]: a fázisvezető ellenállásán eső feszültség [5].

$$\overline{U_R} = \overline{I} \cdot \overline{R} \quad (2)$$

Ahol:

\bar{R} [Ω): az energiaátvitelre szolgáló fázisvezető egyenáramú ellenállása,
 \bar{I} [A]: a hálózat egészén átfolyó áram,

$$\bar{U}_L = \bar{I} \cdot \bar{X}_L \quad (3)$$

Ahol:

\bar{X}_L [Ω): az energiaátvitelre szolgáló fázisvezető induktív reaktanciája.

Amennyiben a HMKE teljesítménytényezője 1, akkor az \bar{U}_R és \bar{U}_L egymással 90-ot zárnak be. A napelemes rendszerekben lévő inverter alkalmas arra is, hogy a megtermelt villamosenergia fázisát szabályozzák. Habár Magyarországon jelenleg nincs előírva a meddőteljesítmény szabályozása, azonban erre külföldön már van példa. Például Németországban a termelők lehetőséget kaptak a teljesítménytényező 5%-os változtatására, mind a két irányba (kapacitív és induktív). Ha a termelést induktív irányba mozgatják, akkor az erőmű feszültségemelése alacsonyabb, ha kapacitív irányba mozgatják, akkor pedig magasabb lesz [5].

ÜZEMZAVAROK

A kiserőművek dinamikus feszültségváltozása

Ha egy HMKE-t szeretnénk a hálózatra csatlakoztatni, akkor alapvetően két tényezőt szükségszerű megvizsgálni:

- a hálózat feszültség a vezeték egyik pontján sem lehet nagyobb az előírtnál
 - o 22 kV esetében 24 kV,
 - o 11 kV esetében 12 kV [5].
- a vezetéken létrehozható feszültségváltozás maximuma:
 - o közepfeszültségen 2%,
 - o kiefeszültségen 3% [5].

Ezen értékeket országunk elosztói engedélyesei által elkészített és a MEKH által deklarált dokumentum tartalmazza (Elosztói Szabályzat - Háztartási méretű kiserőművek elosztóhálózati csatlakozásának műszaki feltételei). Azonban ezeket a mennyiségeket maga az elosztói engedélyes felülírhatja és engedélyezhet akár magasabb mértékű feszültségváltozást is [5].

Egy erőmű csatlakoztathatóságának pontos számítása igen bonyolult, általában számítógépen futó hálózatszámítási programok iterációs megoldásával lehetséges (load flow analízis). Azonban közelítése analitikus úton is lehetséges, ennek az alapvető egyenleteit fogom a következőkben bemutatni, az egyszerűbbtől haladva, az egyre bonyolultabb felé:

$$k = \frac{S_{Z-CSP}}{\sum S_{Gmax}} \quad (4)$$

Ahol:

- k [-]: kiserőmű csatlakoztathatóságára szolgáló arányszám (a korábban bemutatott 2% vagy 3% reciproka),
 S_{Z-CSP} [kVA]: a csatlakozási pont zárlati teljesítménye,
 $\sum S_{Gmax}$ [kVA]: a csatlakozási ponton lévő HMKE maximális teljesítménye [5].

A tagokból is látható, hogy ez az összefüggés nem veszi figyelembe a hálózat fázistolását, sem pedig a HMKE termelésének fázisszögét.

$$\Delta U_{\%} = \frac{S_{Gmax} \cdot \cos(\Psi + \varphi)}{S_{Z-CSP}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Ahol:

- Ψ [°]: a vezeték fázisszöge,
 φ [°]: az erőmű által termelt villamosenergia fázisszöge [5].

Ez az egyenlet ugyan már egy pontosabb közelítést eredményez, azonban 0 értéket is felvehet ($\cos 90^\circ$) esetén, ami nem fordulhat elő a valóságban. Éppen ezért a $\cos(\Psi + \varphi)$ sosem lehet kisebb mint 0,1 [5].

$$\Delta U_{\%} = \frac{S_{Gmax} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X_L \cdot \sin \varphi)}{U_v^2} \cdot 100\% \quad (6)$$

A (6) összefüggés segítségével már képesek lehetünk a vezeték ellenállásán és induktivitásán eső feszültség meghatározására [5].

Végezetül a HMKE csatlakoztathatóságát analitikus közelítéssel megadó (7) összefüggés:

$$\Delta U_{\%} = S_{Gmax} \cdot \frac{S_{Z-TP} - S_{Z-CSP}}{S_{Z-TP} \cdot S_{Z-CSP}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Ahol:

- S_{Z-TP} [kVA]: a táppont zárlati teljesítménye [5].

HMKE hálózati visszahatásai

Feszültségemelkedés és feszültségesés

A hálózati visszahatások sorából a legjelentősebb a hálózati feszültség változására való hatás. Amennyiben a korábban már leírt csomóponti feszültségemelkedés az előírt maximumnál (jelenleg 3%) magasabb, akkor a rendszerben zavarok keletkezhetnek. A másik alapvető eset, amikor a hálózaton nem feszültségemelkedés, hanem feszültségesés következik be. Ez például akkor fordulhat elő, ha a kiserőművet lekapcsolják a hálózatról (pl. egy

védelmi automatika). Természetesen több védelmi automatika kapcsolása esetén, nagyobb, érezhető esés következik be a hálózati feszültségben [6].

Negatív aszimmetria

Az MSZ EN 50160 szabvány (A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői) előírja a maximális negatív sorrendű aszimmetria értékét (háromfázisú fogyasztó esetén kisebbnek kell lennie, mint 2%, egyfázisú fogyasztó esetén pedig 3%-nál). Ez az aszimmetria akár hálózati oldalon, akár fogyasztói oldalról is jelentkezhet [6]:

$$A_x = \frac{X_{negatív}}{X_{pozitív}} \quad (8)$$

Ahol:

A_x [-]: az aszimmetria mértéke,

X_i [V vagy A]: pedig az aktuális mennyiség, feszültség [V] vagy áram [A] alapharmonikus [6]

A HMKE hálózati visszahatásainak lehetséges műszaki megoldásai

Feszültségváltozás csökkentése

A manapság napelemes rendszerekben használatos inverterek impulzusszélesség modulációra képesek. Ugyan jelenleg nem alkalmazzák, de képesek lennének akár induktív, akár kapacitív meddőtermelésre is. Továbbá ehhez egy olyan automatikus szabályozóra is szükség lenne, ami szabályozza a meddőtermelés irányát és mennyiségét (például Németországban már kizárólag ilyeneket alkalmaznak) [6].

Szimmetria biztosítása

Abban az esetben, ha az aszimmetria hálózati, akkor az adott vezető két végpontját szükséges szimmetrizálni. Viszont, ha azt a szimmetriát szeretnénk minimalizálni, amit a terhelés okoz, akkor erre a következő módszerek léteznek:

- szimmetrikusan el kell oszlatni a fogyasztói terhelést,
- adott fogyasztónál szükséges kompenzálni,
- zárlati teljesítményt kell növelni a csatlakozási ponton [6].

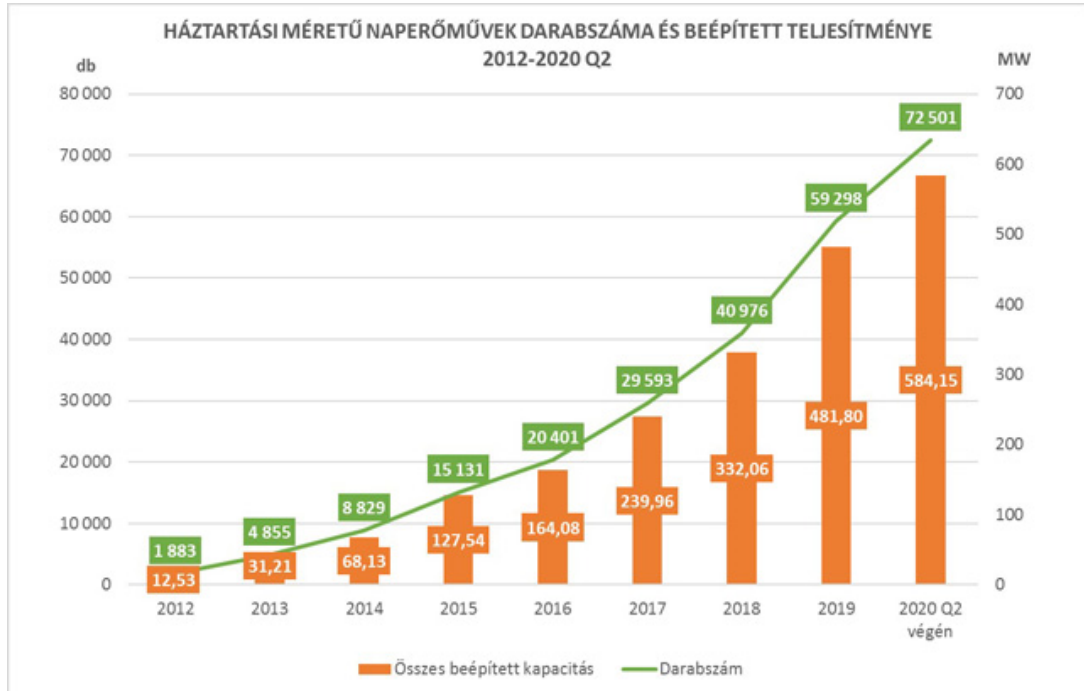
INFRASTRUKTÚRA- ÉS SZEMÉLYVESZÉLYEZTETÉS

A 2. ábrán látható a háztartási méretű napelemes rendszerek rohamos növekedése az elmúlt évtizedben. Vélhetőleg, ha nem is ilyen léptékben, de a tendencia folytatódni fog. ráadásul a szélsőséges időjárási jelenségek a napelemes rendszereket sem kímélik, és ezek terjedésével az energiabiztonság és kármegelőzés kérdése is egyre nagyobb kihívásokat jelentenek, mint ahogy erről Dr Szűcs Endre is ír a „Rendkívüli időjárási viszonyok közötti energiabiztonság megvalósításának lehetőségei családi ház esetében” című dolgozatában. [7].

A napelemes rendszerek esetében két alapvető veszélyforrás említhető meg:

- tüzeset,
- áramütés [8].

Az 1. táblázat 2017-ig tartalmazott adatokat a MEKH közzététele alapján, azonban a 2. ábrán látható, hogy a háztartási méretű napelemek darabszáma és teljesítménye több mint duplájára növekedett.



2. ábra: Háztartási méretű napelemes rendszerek darabszámának és beépített teljesítményének alakulása
(Forrás: <https://www.mnnsz.hu/toretlen-a-haztartasi-meretu-naperomuvek-terjedese/>)

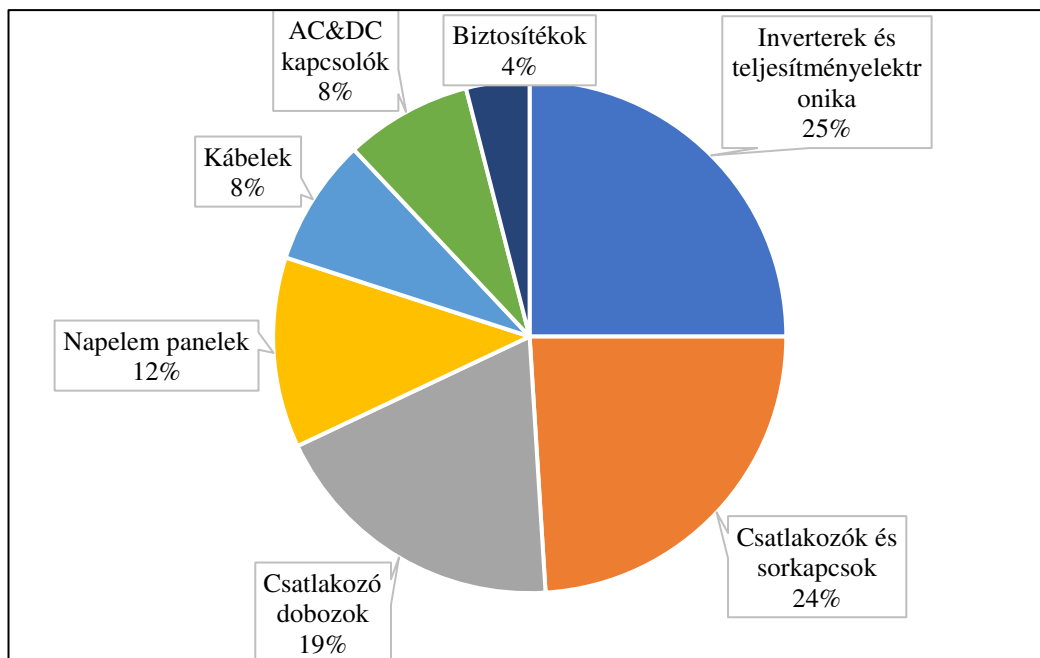
Tűzeset

Magyarországon jelenleg nem található olyan statisztika, amely a napelemes rendszerek tűzeseteit vizsgálná, ezért a nemzetközi esetekből végeztem merítést, ezt prezentálom a továbbiakban (2. táblázat és 3. ábra).

<i>Helyszín idő</i>	Telepítési jellem- zők	Károsodás	Az oltási műveletek akadályai
<i>Bakersfield, CA, USA 2009. április</i>	Kereskedelmi bolt tető 380 kW	A tűz nem károsította a fém tetőfedést	Két külön tűz alakult ki, valamint a DC-leválasztók hiánya miatt egy villanszerelőnek kellett 56 biztosítékot kapcsolnia
<i>Delanco, NJ, USA 2013. szeptember</i>	Raktártető 1,6 MW	A tetőszerkezet 30 000 m ² része megsemmisült	az áramütés veszélye miatt a tűzoltók nem oltották a tetőt
<i>La Farge, WI, USA 2013. május</i>	Irodaháztető 70 kW	A 4 000 m ² alapterületű épület egyik szárnya megsemmisült	A tetőszerkezet lefedése akadályozta a szellőzést és felgyorsította a részleges beomlást
<i>Walldorf, Németország 2014. június</i>	Raktártető	Néhány ezer eurónyi kár	A rendszerek rögzítésére szintetikus gyantalemezt használtak. A tűzoltók az épület elérése előtt megfékeztek a tüzet.
<i>Norderney, Németország 2013. augusztus</i>	Gyárépület tető	Néhány milliós eurónyi kár	A tetőszerkezet összeomlott a napelemekkel együtt.

2. táblázat: Napelemes rendszerekhez köthető tüzesetek médiamegjelenések alapján
(Forrás: <https://pv-magazine-usa.com/2019/08/22/there-are-solar-power-fires-per-year/>)

A 2. táblázatban bemutatott néhány esetből levonható, hogy a napelemes rendszerekhez köthető tüzesetek és az azokból eredő károk mennyisége és milyensége nem függ közvetlenül a napelemes rendszer méretétől.



3. ábra: 1995-2012 közötti németországi napelemrendszerekhez köthető tüzesetek (180 db) kiindulópontjai
(Forrás: <https://pv-magazine-usa.com/2019/08/22/there-are-solar-power-fires-per-year/>)

Átlagos körülmények között egy mai közepes teljesítményű napelem modul kb. 30-40 V egyenfeszültséget jelent, azonban, ha több panelt sorba kötünk, az így adódó feszültség akár az 1000 V egyenfeszültséget is elérheti (a 8-9 A termelt egyenáram mellett). Egyenáram esetén az esetlegesen létrejövő elektromos ívet sokkal nehezebb kioltani, ugyanis nincs nullátmenet. Az előbb leírt mennyiségek mellett akár 10-20 cm-es ív is kialakulhat, ami könnyedén okozhat tüzet – tetőszerkezetre telepített napelemek esetén – a tetőszerkezetben [9].

Az MSZ HD 60364-7-712 szabvány (Épületek villamos berendezéseinek létesítése. 7-712. rész: Különleges berendezésekre vagy helyiségekre vonatkozó követelmények. Nap-elemes (PV) energiaellátó rendszerek (IEC 60364-7-712:2002)) kijelenti, hogy a fotovoltai-ikus rendszerek egyenfeszültségű oldalát folyamatosan feszültség alatt állónak kell feltételezni. Ez akkor is fennáll, ha maga az épület áramtalanítva van. Amennyiben tűz üt ki és a vezetékek sérülnek, azok tovább gerjesztik a tüzet, valamint akár a tűz megfékezését végző tűzoltók áramütését is okozhatják. Az OTSZ (Országos Tűzvédelmi Szabályzat) és a TvMI (Tűzvédelmi Műszaki Irányelv) meghatározzák a napelemes rendszerek egyenoldalának lekapcsolását tüzeset idején. Továbbá előírják, hogy az épületen belüli egyenfeszültségű vezeték hosszát minimalizálni szükséges, illetve automata kapcsoló beépítésével szükséges biztosítani az egyenvezetékek bontását feszültségmentesítés esetén. Külön pont foglalkozik azzal, hogy a csatlakozódobozokon jól látható, feliratot kell elhelyezni, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy a vezetéket állandóan feszültség alatt állónak kell tekinteni (karbantartás-kor megelőzhető a szerelő áramütése). Ez utóbbi célt szolgálja a napelemes rendszer létrejötté figyelmeztető felirat is, amelyet az épület bejáratánál vagy a tűzvédelmi főkapcsolónál szükséges elhelyezni (tűzoltók számára is hasznos információ) [9].



4. ábra: Tetőszerkezeten helyet kapó napelemes rendszer tüzeset után
(Forrás: <https://www.pv-magazine.com/wp-content/uploads/2020/11/fire-pic.jpg>)

Egyenfeszültségű oldalon nem alkalmazhatók az AC hálózatoknál megszokott érintésvédelmi megoldások (TT vagy TN), egyenfeszültség esetén a II. hibavédelmi osztály vagy az ún. kettős szigetelés alkalmazása szükséges. Ezek alapján kijelenthető, hogy az egyenfeszültségű oldalon alkalmazott minden eszköznek meg kell felelnie az 1000 V egyenfeszültségnek, illetve a kettős szigetelésnek is. Ebből kifolyólag nem alkalmazhatók a 400 V váltófeszültségre tervezett berendezések [9].

A napelemmodul hőmérsékletének függvényében változik annak kimeneti feszültsége. A gyártók által megadott értékeket a panel adattábláján a következő bemeneti paraméterek mellett kell érteni: 1000 W/m² fényintenzitás, 25 °C felületi hőmérséklet és 1,5 AM (légtömörség tényező). A napelem modulok kimeneti feszültsége a hőmérsékletcsökkenése mellett emelkedik. Egy tiszta, napfényes, hideg téli napon mért feszültség akár 100 V-tal is nagyobb lehet, mint egy meleg nyári napon mért modulfeszültség. Minden alkalmazott berendezésnek meg kell felelnie ezeknek a szélsőséges viszonyoknak is (kapcsolók, túlfeszültséglevezetők stb.). Ezen információ felett való eltekintésből a rendszertervezéskor, kivitelezéskor keletkezik a legtöbb napelemes tüzeset. Egy nem megfelelően kiválasztott egyenoldali kapcsoló esetében létrejövő elektromos ív nem fog elaludni, így a kapcsoló hamar túlmelegszik, majd kigyullad és tűz keletkezik. Nem csak a kapcsolókra, hanem a csatlakozódobozok megfelelő kiválasztására is nagyobb hangsúlyt kellene fektetnie a tervezőknek, kivitelezőknek. Nem pedig az egyszerűbb és megfelelő minősítéssel nem rendelkező alkatrészek alkalmazására törekedni a költséghatékonyság jegyében [9].



5. ábra: Fotovoltaikus rendszer kapcsolódobozza tüzesetén után
(Forrás: <https://www.villanylap.hu/images/1751-1488969483.jpg>)

Kristensen és társai a tüzesetek hatását vizsgálták lapostetős épületre vonatkozólag, amelyen napelempanelok találhatók. Ehhez magát a tüzet gázégővel reprezentálták, nyolc pontban mérték a hőáramot – ugyanabban a síkban, ahol a gázégő teteje helyezkedett el. A gázégőt a napelempanel középpontja alatt helyezték el. Az eredményeket napelempanel nélküli esettel hasonlították össze, amikor a napelem visszaverő hatása nem érvényesül. Jelentős mértékű hőáramnövekményt mértek a paneles esetben, ez azt jelzi, hogy a panelek nagymértékben hozzájárulhatnak a tető károsodásához, elsősorban azért, mert fokozzák a tetőn terjedő tüzet, amelyre fel vannak szerelve. A mért hőáram nagyobb volt a panel legmagasabb része alatt, két fontos, lánggal összefüggő ok miatt:

- lángelhajlás a panel legmagasabb része felé,
- a panel felületének hőmérsékleteloszlása nem homogén az elhajlott láng következtében, ebből következik, hogy a felhevített panel emissziója sem homogén [10].

A tesztek eredményei rendkívül hasonlóak voltak egy vadonatúj modul és egy negyedik alkalommal tesztelt panel esetében. Kivéve azt az időtartamot, amíg az új napelem alatt lévő vékony fólia égett [10].

Ju és társai szintén a tüzesetek és a napelempanelok kapcsolatát vizsgálták. Pontosabban szintén azt az eshetőséget, amikor a lapostetőre szerelt napelempanelok hátsó oldala tovább gerjeszti a tüzet. A megdöntött napelemek alatt szintén gázégőt használtak hőforrásként, és a panel dőlésszögét, a tetőtől való távolságát, valamint a hőfelszabadulási sebességet (Heat Release Rate – HRR) vizsgálták. Megmérték a lángkiterjedés geometriáját és a lángirradiációs hőáram-eloszlását. Az eredmények azt mutatták, hogy a lángnyújtás hossza

és függőleges vastagsága (azaz a panel hátsó felületétől a lángprofilig mért távolság) a napelem dőlésszögének és a panel-tető távolságának növekedésével csökken, viszont a tűz hőfelszabadulási sebessége nő. Ezeket a tényezőket egybegyúrva javaslatot tettek egy dimenzió nélküli HRR használatára a lángkiterjedés geometriájának egységes számszerűsítésére. Ezenkívül a lángsugárzás és a lánggeometria közötti fizikai összefüggésen alapuló általános egyenletet dolgoztak ki a reradiációs hőáram eloszlásának jellemzésére a tető felületén. Végül javaslatokat fogalmaztak meg a telepítéssel és a tetőfedő anyagok kiválasztásával kapcsolatban, a tetőre telepített napelemes rendszerek alatt kialakulható láng terjedési sebességének csökkentése érdekében [11]

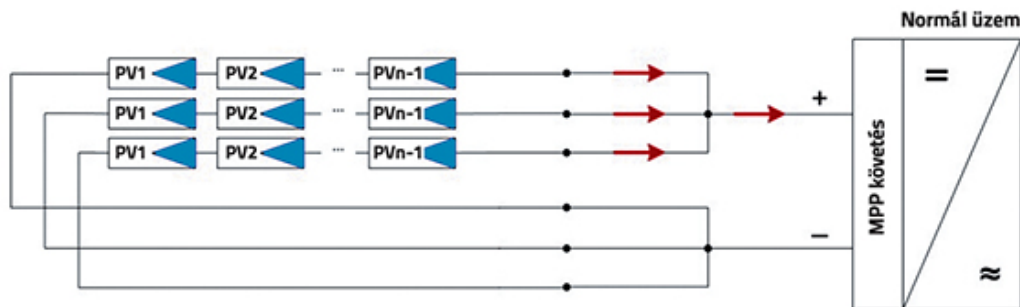
Összefoglalva elmondható, hogy a napelemes rendszerekhez kapcsolódóan két csoportba oszthatók a tűzvédelmi intézkedések:

- megelőző intézkedések, amelyekkel a DC-oldalon létrejövő meghibásodás tűzokozása és a következmények súlyának csökkentése érhető el,
- illetve a mentést segítő intézkedések, amelyekkel az oltásban és mentésben résztvevők áramütése kerülhető el [12].

A megelőző intézkedések általában passzív módon értendők (pl. megfelelő nyomvonal kialakítás, illetve a vezetékek tűzálló anyaggal való körülhatárolása). A mentést segítő intézkedések pedig aktív módon értendők (pl. tűzeseti lekapcsolás) [12].

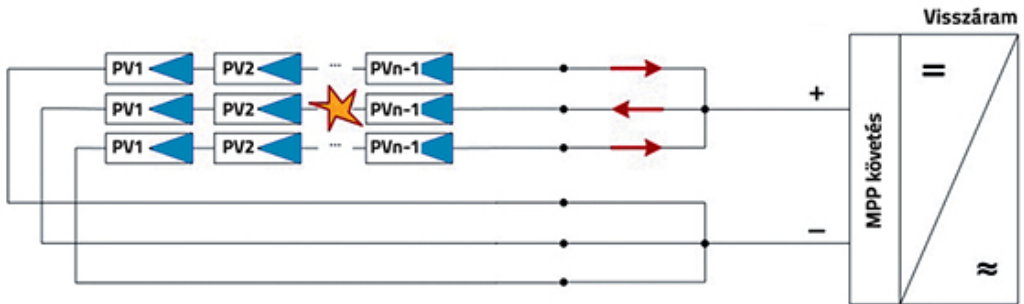
Visszárám

Rövidzár esetén a munkaponti áram mennyiségéhez képest kb. 20%-kal nagyobb a napelem zárlati árama. Napelemes rendszerek esetében a túláramvédelem kialakítása meglehetősen körülményes, erre az igény főleg nagyobb rendszerek esetén értelmezendő (párhuzamosan kötött sztringek esetén). Túláram esetén is végül tűz alakulhat ki, hiszen a modulok felmelegsznek, tönkre mehetnek, egyenáramú ív alakulhat ki, ami tűzhoz vezet [9].



6. ábra: Napelemes rendszer normál működése [9]

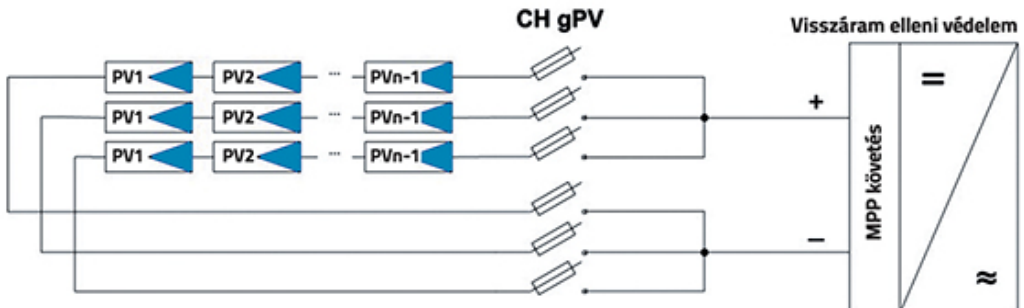
A 6. ábrán látható, hogy a rendszer normális működése során a párhuzamosan kötött sztringek áramai összeadódnak.



7. ábra: Napelemes rendszer egyik sztringjében kialakult zárlat hatása [9].

A 7. ábra az egyik sztringben kialakult zárlat hatását szemlélteti, ekkor a hibapont felé folyik az áram a még jól működő ágakból. Könnyen belátható, hogy a hibapont felé folyó áram nagysága a párhuzamosan kapcsolt sztringek számától függ [9].

A napelemek egyenoldalának túláramvédelme az ún. gPV karakterisztikájú olvadóbetétekkel oldható meg (legalább is, ha megfelelően vannak méretezve). A túl alacsony zárlati áramra választott betét akár intenzív besugárzás esetén is ki tud olvadni, viszont a túl nagy zárlati áramra méretezett betét nem fog kellő védelmet biztosítani. A túláramvédelem méretezésének alapja akár a rendszer földrajzi elhelyezkedése is lehet (északon kisebb áramra, délen nagyobb áramra) [9].



8. ábra: gPV olvadóbetétek elhelyezése a napelemes rendszer egyenoldalán [9]

Az olvadóbetétek szerelése során figyelmet kell arra szentelni, hogy minden sztring mindkét pólusába elhelyezésre kerüljenek (8. ábra). A választott betétek névleges feszültségének nagyobbak kell lennie, mint a maximálisan előfordulható feszültség. Magyarországon a következő ökölszabály követendő a gPV olvadóbetétek méretezése során: a napelem sztring zárlati áramát 1,2-vel megszorozzuk, majd az eggyel nagyobb biztosítékértéssel rendelkező betétet választjuk. Például egy 8,67 A zárlati árammal rendelkező sztring esetén 12 A értékű biztosítókat kell mindkét pólusába szerelni. Nagyobb teljesítményű rendszerekhez kapható invertereknél a gyártók már külön foglalatot is kialakítanak ezeknek a betéteknek, sőt akár magától a gyártótól is lehet kérni, hogy beszerelje a sztringbiztosítókat [9].

Veszélyforrások az inverter váltóoldalán

A hálózatra tápláló inverterek azokkal szinkronban működnek, vagyis hálózati áramszünet esetén az inverternek is szükséges lekapcsolnia (például karbantartás esetén ne fordulhasson elő, hogy a szerelők áramütést szenvednek a hálózatra tápláló HMKE miatt). A hálózati engedélyes a következő védelmi funkciók meglétét írhatja elő a hálózatra csatlakoztatni kívánt inverter esetében:

- rövidzárlat-védelem,
- túlterhelés-védelem,
- feszültségnövekedés-védelem,
- feszültségcsökkenés-védelem,
- frekvenciaeltérés-védelem,
- elosztóhálózati-szigetüzem elleni védelem,
- földzárlatvédelem,
- testzárlatvédelem,
- egyenáramú védelem [9].

Ha összegezni szeretnénk a felsoroltakat, akkor elmondható, hogy a HMKE nem veszélyeztetheti a hálózat biztonságos üzemét, minőségét, szimmetriáját, torzítás- és villogásmentességét. Továbbá hálózati zárlat esetén, arra nem táplálhat rá, illetve a névlegesnél nagyobb áramot sem táplálhat a rendszerbe (max. 10%) [9].

Időjárás okozta veszélyforrások

Mivel a fotovoltaikus rendszereket szabadég alá telepítik (épület tetejére vagy nyílt terepre), és nem csupán néhány évre tervezik élettartamukat, a felhasznált anyagoknak és alkatrészeknek több évtizedig ki kell bírniuk az időjárás viszontagságait. Legnagyobb veszélyt természetesen a villámcsapás jelenti, hiszen a rendszerek nagy mennyiségű fémeket tartalmaznak, amelyekből villamos vezetékek indulnak. Ezek a természeti jelenségek villamos zavarokat idéznek elő, nagyméretű túlfeszültség formájában (nem megfelelő vezetékrendezésből adódó hurkok miatt). Tetőre telepített eszközök esetében akár az épület egyéb készülékeiben is kár keletkezhet (nem csupán a telepített panelekben). Éppen ezért rendkívül fontos a villámvédelem figyelembe vétele a tervezés és a kivitelezés során (pl. megfelelő vezetékvezetés, túlfeszültség-levezetők alkalmazása) [13].

Tetőszerkezetre telepített rendszer esetén a villámvédelmet mindig az épülettel együtt szükséges kezelni. Figyelembe kell venni az adott épületre jellemző évenkénti villámok számát, azt növelő vagy csökkentő tényezőket, vezetékeket, tetőszerkezet kialakítását, minőségét, anyagát, jellegét, pánikveszélyt. A szakma jelenlegi ismerete alapján a tetőre elhelyezett napelemes rendszerek nem növelik az épület villámcsapási kockázatát, azonban négy kockázat követelménye alapján szükséges meghatározni a villámvédelem szükségességét:

- emberi élet elvesztése (R1),
- közszolgáltatás kiesése (R2),
- kulturális örökség elvesztése (R3),
- gazdasági érték elvesztése (R4) [14].

A földre telepített napelemes rendszerek pénzügyi oldaláról megközelítve szintén szükségesek a villámvédelmi intézkedések, hiszen, ha az üzemelés során káresemények történnek, akkor a rendszer után fizetendő biztosítási díj is emelkedik, amely végül csökkenő megtérülési időt eredményez. Bármilyen objektum közvetlen villámcsapás elleni védelmének kialakításának szükségessége statisztikai alagra vezethető vissza. A földre telepítendő napelemes rendszer felületigénye könnyedén meghatározható a helyszínre érkező napsugárzás mennyiségéből, a rendszer tervezett tájolásából, a panelek dőlésszögéből, valamint az egyes rendszerelemek hatásfokából. Ezután villámsűrűségi térképből meghatározható a telepítendő rendszer helyszínére jellemző évenkénti villámcsapások száma, amelyből megadható, hogy évente hány darab villámcsapásra, vagy hány évente kell közvetlen villámcsapásra számítani a napelemes rendszer teljes területén. A villámvédelmi mechanizmusokkal elsősorban a gazdasági kiesés miatt érdemes kalkulálni. A 9. ábra például egy csehországi földre telepített napelemes rendszer egyik panelorát mutatja közvetlen villámcsapás után [14].



9. ábra: Csehországi napelemes rendszer közvetlen villámcsapást követően
(Forrás: <https://www.dehn.hu/sites/default/files/media/files/gyik-09.pdf>)

ÖSSZEFOGLALÁS

A háztartási méretű kiserőművek telepítési üteme egyre csak nő, nem csak hazánkban, hanem a nemzetközi szinten is egyre több döntés születik ezen rendszerek telepítése mellett. A telepített háztartási méretű kiserőművek jelentős hányada napelemes berendezés. Jelen cikkben a háztartási méretű kiserőművekkel kapcsolatos kihívások egy részét mutatam be, elsősorban azokat, amelyek kapcsolatban állnak, állhatnak az elosztói hálózattal.

Először is felvázoltam a háztartási méretű kiserőmű fogalmát, típusait, illetve lehetséges energiaforrásait. Bemutattam, hogy a megújuló energiaforrások szinte mindegyike

visszavezethető a napenergiára. Egyébként a fosszilis energiaforrások (témakörhöz kapcsolódóan pl. dízelmotorral hálózatra termelt villamosenergia) is értelmezhetők megújuló energiaforrásként, csupán a megújulási ciklusuk nem emberi léptékkel felfogható.

Egy rövid áttekintő után, bemutattam a háztartási méretű kiserőművek hálózati számitási alapjait, végezetül pedig rátértem a fő témára, az erőművekkel kapcsolatos üzemzavarokra. Elsőként a hálózatra gyakorolt lehetséges zavarokat soroltam fel és jellemeztem, ide sorolva a dinamikus feszültségváltozást, a feszültségemelkedést, feszültségesést, a negatív aszimmetriát, valamint az ezekre alkalmazható megoldási javaslatokat is bemutattam. Az utolsó fejezetben pedig bemutattam a háztartási méretű kiserőművek esetén szóba jöhető infrastruktúra- és személyveszélyeztetést, megemlítve a lehetséges tüzeseteket, áramütéseket, egyen- és váltóoldali veszélyforrásokat, valamint a szélsőséges időjárás jelenségek okozta veszélyeket és azoknak lehetséges megoldásait.

A cikk írása során világossá vált számomra a téma rendkívüli összetettsége, a rendszerek tervezését és a telepítést végző vállalkozók nagyon nagy felelőssége, hiszen egy-egy alkatrészen (típusán) való spórolás, akár emberéletekbe is kerülhet.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] HUGHES, T. P.: *Networks of power: Electrification in Western society, 1880–1930*. London, England: JHU Press, 1993.
- [2] SMIL, V.: *World history and energy*. Encyclopedia of Energy, 6, 549–561. 2004
- [3] MIKULEC, A. és MIKULIČIĆ, V.: *Influence of Renewable Energy Sources on Distribution Network Availability*. Computer Science, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2011.
- [4] MEKH: *Összefoglaló a nem engedélyköteles – ezen belül a háztartási méretű – kiserőművek adatairól (2008–2017)*. http://www.mekh.hu/download/7/28/60000/nem_engedelykoteles_es_hmke_beszamolo_2008_2017.pdf Letöltve: 2021.05.08
- [5] KOVÁCS, Z.: *A decentralizálódó középfeszültségű hálózatok problémáinak vizsgálata*. Diplomamunka, Miskolci Egyetem, 2018.
- [6] SZABÓ, S.: *Háztartási méretű kiserőművek hatása az elosztóhálózat fejlesztésére*. Szakdolgozat, Miskolci Egyetem, 2017
- [7] Szücs, Endre (2010): *Rendkívüli időjárás viszonyok közötti energiabiztonság megvalósításának lehetőségei családi ház esetében* pp. 12-17. Paper: 8. In: Rácz, Pál (szerk.) IESB2010, Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem
- [8] DÁN, A. és ORLAY, I.: *Háztartási méretű kiserőművek szerepe a jövő energiaellátásában*. Elektrotechnika, A magyar elektrotechnikai egyesület hivatalos lapja. 101. évfolyam, 2008/10, pp. 5-7.
- [9] MVM PARTNER ZRT.: *A napelemes rendszerek technikai veszélyforrásai*. Online cikk, elérhetőség: https://www.mvmpartner.hu/Szolgáltatások/Villamos-energia/Erdekessegek/A_napelemes_rendszerek_technikai_veszelyforrasai?fbclid=IwAR2HB1VuSH7GXeMdYLWRVL4hZ73FC2vUvjDR64CtukadZHNh4wMGjlqLjM Letöltve: 2021.05.09.
- [10] KRISTENSEN et al.: *Fire-induced reradiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs*. Szakmai cikk, Fire and Material, Volume 42, Issue 3, 2018, pp. 316-323.

- [11] JU et al.: *Impact of flat roof-integrated solar photovoltaic installation mode on building fire safety*. Szakmai cikk, Fire and Material, Volume 43, Issue 8, 2019, pp. 936-948.
- [12] KRUPPA, A.: *Épületeken elhelyezett napelemes rendszerek tűzvédelme*. Védelem Katasztrófavédelmi Szemle, 2. szám, 2015. pp. 48-50.
- [13] PÁSZTOHY, T.: *A napelemes rendszerek veszélyforrásai és azok kiküszöbölése*. Szakmai cikk, Villanszerelők Lapja, 2012. május.
- [14] DEHN: GYAKORI KÉRDÉSEK, ONLINE CIKKEK, ELÉRHETŐSÉGEK:
1. <https://www.dehn.hu/sites/default/files/media/files/gyik-09.pdf>
2. <https://www.dehn.hu/sites/default/files/media/files/gyik-10.pdf>
3. <https://www.dehn.hu/sites/default/files/media/files/gyik-11.pdf>
Letöltve: 2021.05.09.