



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT



ÓE-KVK

Hallgató neve:

Szemán Ádám Gábor

2021.

Hallgató törzskönyvi száma:

T008450/FI12904/K

Kötelezően választható tantárgycsoport: Energetikai Informatika



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Szemán Ádám Gábor

Szakedolgozat száma: SZD21090213457203

Törzskönyvi száma: T008450/FI12904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Villamosenergetikai specializáció

A dolgozat címe: Szélerőmű tervezése

A dolgozat címe angolul: Wind power plant design

A feladat részletezése: 1. Szakirodalom

2. Berendezések kiválasztása

3. Kiviteli terv készítése

4. Költségek és megtérülési idő számítása

Intézményi konzulens neve: Dr. Holcsik Péter

A kiadott téma elévülési határideje: -

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 12. 03.

P.H

.....
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:



.....
belső konzulens

.....
külső konzulens



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2021. 12. 06.

.....
Kandó Kálmán
hallgató aláírása

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

Szélerőmű tervezése

Szakdolgozat

Konzulens:
Dr. Holcsik Péter

Készítette:
Szemán Ádám Gábor



szeman.adam@stud.uni-obuda.hu

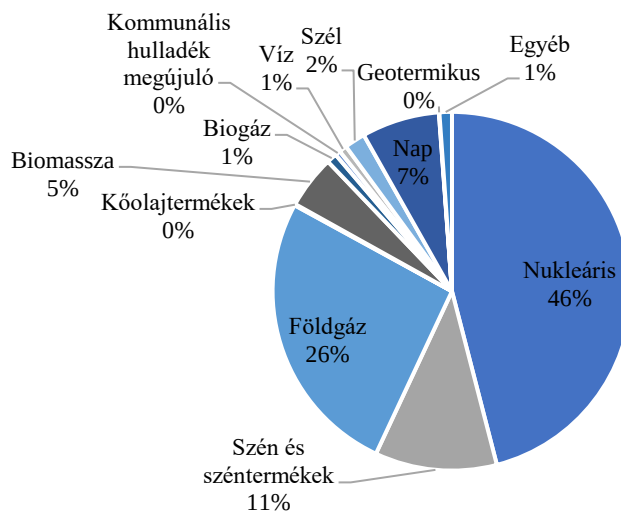
Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	4
2	Szélerőművek általános bemutatása.....	7
2.1	Szélerőművek csoportosítása	7
2.1.1	Telepítés helye szerint.....	7
2.1.2	Tengely állása szerint	7
2.1.3	Lapátok száma szerint	7
2.2	Szélerőművek felépítése, működési elve	8
2.3	A szélerőművek alkalmazásának előnyei	9
2.4	A szélerőművek alkalmazásának hátrányai	10
2.4.1	Kiszámíthatatlan termelés	10
2.4.2	Zaj.....	10
2.4.3	Látvány.....	11
2.4.4	Madárvédelem.....	12
2.5	Nemzetközi kitekintés.....	13
2.6	Szélenergia helyzete Magyarországon.....	14
2.6.1	Alapadatok	14
2.6.2	Szélviszonyok.....	15
2.6.3	Jogszabályi korlátok.....	16
3	HMKE.....	18
4	Családi ház villamosenergia ellátásának megtervezése	21
4.1	Kiválasztott helyszín bemutatása	21
4.2	Teljesítmény igény meghatározása	22
4.3	Szükséges berendezések kiválasztása	23
4.3.1	Szélerőmű.....	23

4.3.2	Energiatároló	25
4.3.3	Inverter	26
4.3.4	Kábelek.....	29
4.3.5	Védelmek	31
4.4	Kész rendszer vizsgálata	33
4.4.1	Termelt energia	34
4.4.2	Működés	34
4.4.3	Megtérülés	35
5	Összegzés	39
6	Summary	40
7	Irodalomjegyzék.....	41
8	Ábrajegyzék	45
9	Táblázatjegyzék.....	46
10	Mellékletek.....	47
1.	Az épület alaprajza.....	47
2.	Helyszínrajz, nyomvonalrajz	47
3.	Egyvonalas rajz	47

1 Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben nyilvánvalóvá vált, hogy a világ villamos energia igényének fosszilis tüzelőanyagok elégetésével való kielégítése nem fenntartható folyamat, így elindult a megújuló energiák térnyerése. Húsz évvel ezelőtt az EU-27 teljes villamos energia felhasználásának még csak 15,63%-át fedezte megújuló forrásokból, mára ez az arány már 38,2% [1]. Magyarországon a bruttó villamosenergia termelés energiahordozóinak megoszlását a 2020. évben az 1. ábra mutatja be.



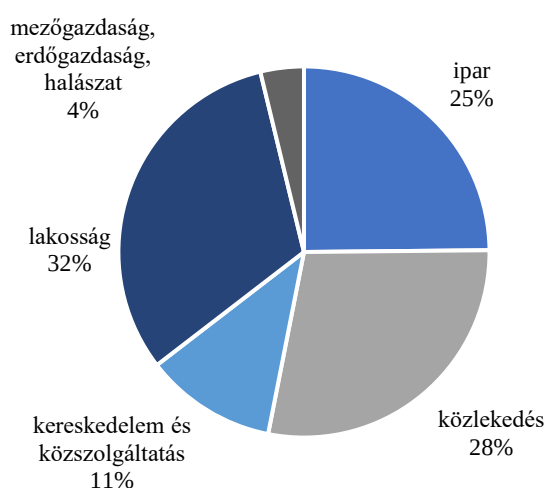
1. ábra. A bruttó villamosenergia termelés energiahordozóinak megoszlása Magyarországon (2020) [2]

A fenti ábra alapján látható, hogy hazánkban a legnagyobb mértékben nukleáris energiahordozókból állítjuk elő a villamos energiát, a második és harmadik helyen pedig fosszilis energiahordozók: a földgáz, valamint a szén- és széntermékek állnak. A megújuló energiaforrások közül a legnagyobb hányadot a nap energiáját felhasználva állítjuk elő, 5%-os hányad alatt van jelen a biomassza, a szél, a víz, valamint a kommunális hulladékból felszabaduló hő hasznosítása.

A megújuló energiaforrások villamosenergia termelésre való hasznosítása különböző erőművekben valósulhat meg. Egyrészt beszélhetünk több MW teljesítményű létesítményekről – ún. nagyerőművekről: atomerőművek, szénrel fűtött erőművek, biomassza erőművek, hulladékhasznosító erőművek, napelemparkok, szélfarmok stb., melyek túlnyomórészt az országos vagy regionális villamos energia hálózat részét alkotják. Másrészt beszélhetünk 50 MW kapacitásnál kisebb erőművekről, mely kategórián belül megkülönböztetjük a 50 kVA

alatti beépített villamos teljesítményű erőműveket, melyek célja egy háztartás villamos energia igényének kielégítése, és melyek csak az esetlegesen keletkezett felesleget továbbítják a villamos energia hálózatba.

Az ágazati energiafelhasználás elemzése alapján mind Magyarországon, mind az Európai Unió tagállamaiban a legnagyobb energiafogyasztók a háztartások. A lakossági-háztartási energiafelhasználás (2019. évi adatok alapján) a magyar végső energiafelhasználás 32%-át teszi ki (2. ábra), megelőzve ezzel az ipar és a közlekedés energiafelhasználását [3]. Ez a magas hazai arány jól szemlélteti, hogy a lakosság fontos szerepet tölt be az energiamérleg alakításában. Így nagy potenciál rejlik a lakossági célú beruházásokban az energiahatékonysági és energiamegtakarítási célok elérése érdekében.

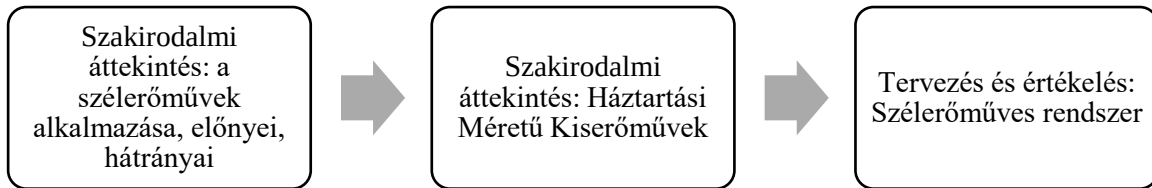


2. ábra. Az egyes ágazatok részesedése a végső energiacélú felhasználásból [3]

A szél egyike azon megújuló energiaforrásoknak, melyet az emberiség már régóta használ, szakdolgozatom keretében ezen felhasználás modern, háztartásokban alkalmazható változatának bemutatásával foglalkozom.

A dolgozatom második fejezetében általános áttekintést nyújtok a szélerőművek típusairól, ezek előnyeiről és hátrányairól, valamint megvizsgálom elterjedtségüket nemzetközi és magyar viszonylatban. A harmadik fejezetben röviden bemutatom mi is az a háztartási méretű kiserőmű (továbbiakban: HMKE), majd a negyedik fejezetben a szakdolgozat fő témájával, egy családi ház villamosenergia igényének szélerőművel történő ellátásával foglalkozom. A célkitűzés a megfelelő helyszín és berendezések kiválasztása után részletesen megvizsgálni ezen berendezések fontos paramétereit, majd ezekből összeállítani egy olyan rendszert, amely akár

önállóan is képes lehet ellátni a választott lakóépület villamosenergia igényét áramszünet esetén. Végezetül céljaim között szerepel megvizsgálni egy ilyen rendszer pénzügyi vonzatát annak érdekében, hogy kiderüljön, megérné-e egy ilyen rendszer beruházásába fektetni. A dolgozat főbb célkitűzéseit a 3. ábra mutatja be.



3. ábra. A dolgozat felépítése, célkitűzései

2 Szélerőművek általános bemutatása

2.1 Szélerőművek csoportosítása

A szélerőművek csoportosítása több szempont alapján is történhet, ezek közül mutatom be a leggyakoribbakat.

2.1.1 Telepítés helye szerint

Gyakran osztják fel őket elhelyezkedésük szerint:

- in-land: szárazföld belsejében létesített erőmű (ilyenek vannak Magyarországon);
- on-shore: tengerparton létesített erőmű (alkalmazásuk legfontosabb előnye, hogy jobbak a szélviszonyok, mint az előbbinél);
- off-shore: szárazföldtől távol, tengeren/óceánon létesített erőmű (on-shore-nál is jobb szélviszonyok jellemzőek).

Az off-shore szélerőművek telepítése nagyobb kihívás, mint szárazföldi társaiké, viszont a magasabb átlag szélesebségeknek köszönhetően igen elterjedt megoldás [4].

2.1.2 Tengely állása szerint

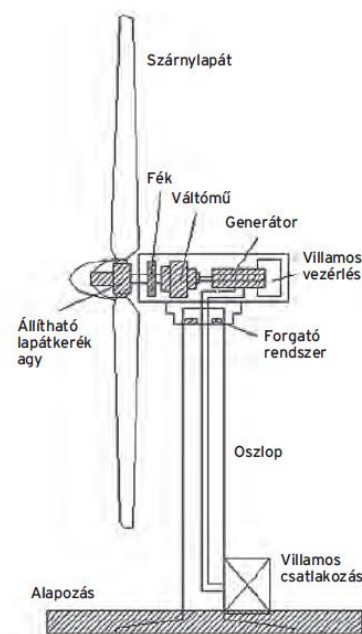
A tengelyelrendezés szerint vízszintes és függőleges tengelyű változatok különböztetők meg. Jelenleg szinte kizárólag vízszintes tengelyű szélerőművek működnek szerte a világon. Annak köszönhetik népszerűségüket, hogy egyre magasabb tornyokra helyezve egyre nagyobb szélesebségekhez férnek hozzá, míg függőleges tengelyű társaik a földfelszín közelében maradtak, ahol kevésbé fúj a szél, így kevesebb energiát tudnak termelni [5].

2.1.3 Lapátok száma szerint

Csoportosítás lehetséges továbbá a vízszintes tengelyen lévő lapátok száma szerint. A legegyszerűbb változat az egylapátos, illetve kétlapátos kivitel, melyeknél a lapátok kiegyensúlyozása problémát jelent [5]. Villamosenergia termelésben a legelterjedtebb a háromlapátos kivitel, mely a világ szélerőmű állományának legnagyobb hányadát adja, de általánosságban elmondható, hogy minél több lapátja van egy szélkeréknek, annál alacsonyabb fordulatszámon működik megfelelően, ami a hatásfokot is befolyásolja [5].

2.2 Szélerőművek felépítése, működési elve

A jól ismert háromlapátos vízszintes tengelyű szélerőmű felépítését a 4. ábra mutatja be:

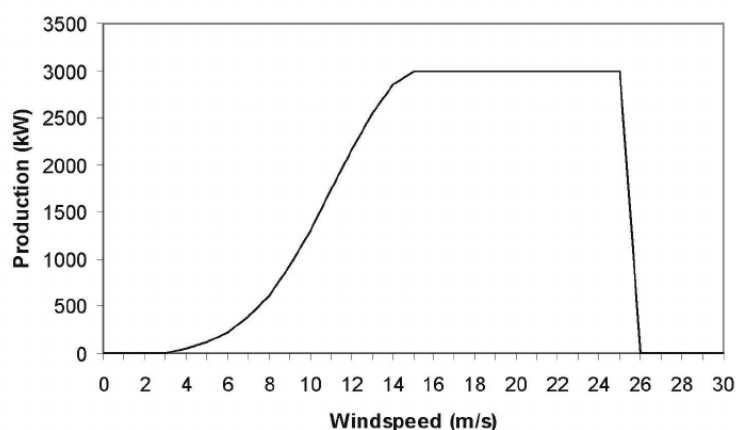


4. ábra. Szélerőmű részei [5]

A gondola egy monopól cső- vagy acélrácsos szerkezetű oszlopon helyezkedik el. A turbina tengelyének egyik végén a lapátok találhatók, melyek állítható szögét egy lapátkerék-agy biztosítja. Minél nagyobb szöget zárnak be a lapátok a szél irányával, annál nagyobb légellenállást képviselnek és annál kisebb fordulatszámon fognak forogni. A tengelyen tovább haladva található egy fékező mechanizmus, mely a túlzott fordulatszám növekedést hivatott megakadályozni, például viharos szélben. Ez után következik egy váltómű, mely a lapátok fordulatszámát a generátoréhoz igazítja. Ezek vezérléséért és felügyeletéért egy vezérlő egység a felelős. A gondola és az oszlop csatlakozásánál található a forgató rendszer, amely a gondolat folyamatosan a kellő irányba fordítja [5] [6].

A lapátok forgásának megindulásához szükséges egy minimum szélsébség, mely általában 2-4 km/h körül mozog. Ezt követően növekvő szélsébségekhez meredeken növekvő villamosenergia termelési görbe tartozik, amíg el nem éri az erőmű névleges sebességét. Amikor az erőmű energia termelése elérte a maximumot, nagyobb szélsébségek már nem tudják növelni a kiadott teljesítményt. Fontos szerepet játszik még a maximális szélsébség: ennek elérésekor ($\sim 10-11$ m/s) a szélerőmű leáll, mert a lapátok forgási sebessége már

veszélyesen gyors lenne. A névleges és maximális szélességek típusonként jelentősen eltérnek [7]. Egy szélérőmű teljesítménygörbéjére mutat példát az 5. ábra.



5. ábra. Példa egy szélérőmű teljesítménygörbéjére¹

2.3 A szélérőművek alkalmazásának előnyei

Az első és legfontosabb érv a szélérőművek telepítése mellett természetesen az, hogy megújuló energiaforrások. Vitathatatlan, hogy a megújuló energiaforrások jelentik a jövőt és ebben kiemelt szerepe van a szél hasznosításának is. Az egyre modernebb technológiák megjelenésével nagyobb és jobb turbinákat készíthetünk és a szélességek előrejelzésében is fejlődés tapasztalható, így a szélenergia felhasználásában folyamatos növekedés várható az elkövetkező években, évtizedekben [4] [8].

A tapasztalatok azt is mutatják, hogy a szélérőművek integrálása a villamosenergia rendszerbe egy különleges előnnyel jár: napelemes rendszerekkel párhuzamosan üzemeltetve kisimítja a termelési görbét. Ennek oka igazán egyszerű: jó időben jobban süt a nap és kevésbé fúj a szél, míg viharos időben erősebb a szél, viszont nem süt a nap. Mindez azt eredményezi, hogy a két villamosenergia termelő rendszer kiegészíti egymást és közös termelési görbéjük jobban közelít az egyeneshez, így jobb menetrendezhetőséget biztosít [7] [8].

A szélenergia térnyerése jelentősen csökkentheti az adott ország energiainportját, energia-kiszolgáltatottságát, így növelheti az ellátásbiztonságot [7].

¹ Ábra forrása:

https://www.researchgate.net/profile/Lucy_Cradden/publication/228662718/figure/download/fig1/AS:301915951910915@1448993780514/Power-curve-for-Vestas-V90-3-MW-wind-turbine-Vestas-2004.png

2.4 A szélérőművek alkalmazásának hátrányai

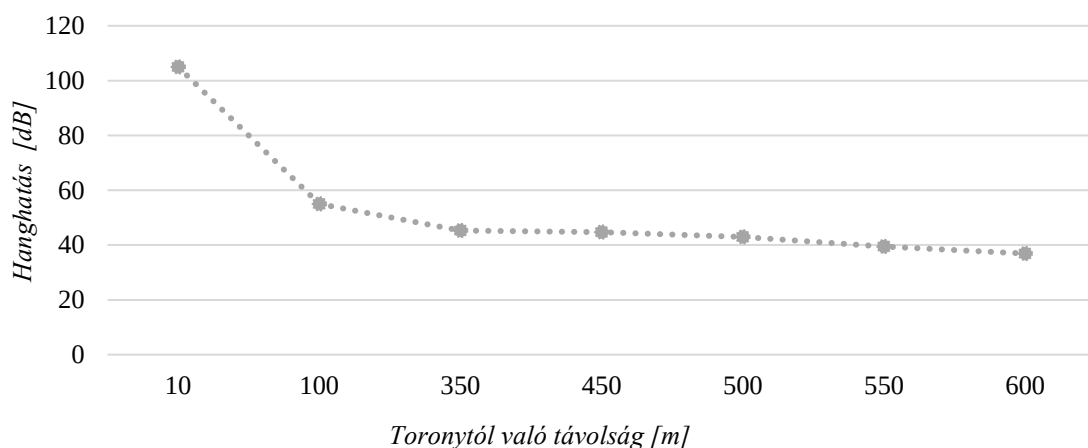
Az alábbiakban a szélérőművek kapcsán leggyakrabban felhozott ellenérveket, aggodalmakat fejtem ki.

2.4.1 Kiszámíthatatlan termelés

Az anyatermészetet nem tudjuk befolyásolni, nem mondhatjuk meg neki, hogy mikor és milyen gyorsan fújjon a szél, ezért a szélérőművek termelése erősen ingadozó lehet. Ez a kiszámíthatatlanság valós problémát jelent, hiszen sajnos ma még nem rendelkezünk olyan technológiákkal, melyek segítségével a villamos energiát rendszerszinten, nagy mennyiségben tárolni tudnánk. Azonban ez nem csak a szélérőművekre vonatkozik, ugyanezzel a problémával küzdenek a napelemes rendszerek is, sőt, valamilyen szinten a vízerőművek is, hiszen a vízhozam az évszakokkal együtt változik [5] [7].

2.4.2 Zaj

További problémát okozhat az erőművek által generált zaj, mely széliránytól függően több száz méteren belül okozhat kellemetlenséget az ot lakóknak. Ebből kifolyólag, több országban is a zajszint alapján korlátozzák az ilyen erőművek telepítését. Az okozott hanghatás a szélérőműtől távolodva egyre csökken (6. ábra), 100 méterre már csak 50-60 dB, ami egy normál beszélgetésnek felel meg. A szél irányától függően a hang szintje akár 10 dB-el is csökkenhet [5].



6. ábra. Szélérőmű által generált zaj a távolság függvényében [5]

2.4.3 Látvány

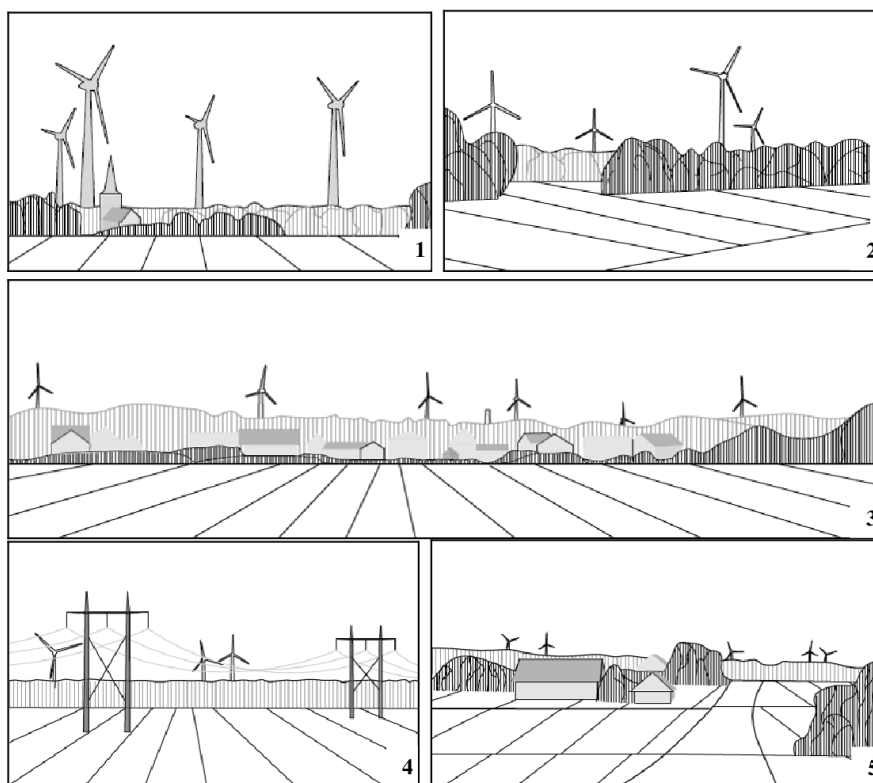
Gyakran felmerül, hogy a szélérőművek rontják a látképet, tönkre teszik a táj szépségét (7. ábra). Ez egy elég szubjektív téma, mindenkinek más az ízlése, de véleményem szerint ez a fejlődés velejárója, és biztosra veszem, hogy a most látványosságoknak tekintett holland szélmalmoknak is voltak ellenzői saját korukban.



7. ábra. Tájkép szélérőművekkel²

A szélérőművek épített és természeti környezetre gyakorolt hatásával nagyon sok tanulmány foglalkozik. A láthatóságot befolyásoló legfontosabb tényezők: oszlopméret, a lapátok színe, a lapátok száma, a megfigyelési távolság, a természeti környezet változatossága, napszak. Egy litván tanulmány példákat mutat be, hogy ezen tényezők milyen együttállások esetén milyen láthatósági viszonyokat hoznak létre: (1) vizuálisan domináns, (2) általánosan domináns, (3) érzékelhető, (4) nem domináns, (5) háttérelem, nem releváns. Ezeket az eseteket mutatja be a 8. ábra [9]. Az ábrák alapján látható, hogy a szélérőművek nem minden esetben okoznak nagymértékű vizuális hatást a természeti környezetben.

² Ábra forrása: <https://reneweconomy.com.au/wp-content/uploads/2019/10/crookwell-stage-3-wind-Countryside-landscape-and-wind-farm-optimised-1280x720.jpg>



8. ábra. Szélturbinák láthatósága különböző esetekben [9]

2.4.4 Madárvédelem

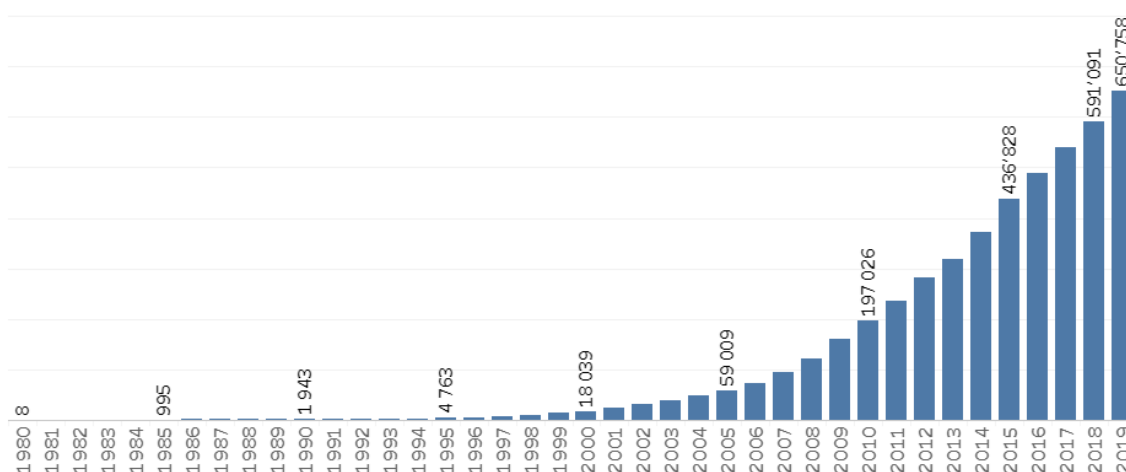
Tagadhatatlan, hogy olykor bekövetkeznek olyan balesetek, mikor madarak nekirepülnek a szélerőmű lapátjainak és ezért sok környezetvédő elítéli a szélerőműveket. Ezért fényvisszaverő- illetve eltérő színű festési mintákat használnak a madarak figyelmének felkeltésére. Fontos azonban számításba venni, hogy az ezen balesetek okozta madárveszteségek száma jócskán elmarad a más okokból bekövetkezett balesetektől: például az épületek üvegfelületei, a légiközlekedés, vagy éppen a nagyfeszültségű vezetékek sokkal több balesetért felelősek, tehát ilyen okok nem indokolják a szélerőművek visszaszorítását [7].



9. ábra. Lapátok fényvisszaverő csíkokkal³

2.5 Nemzetközi kitekintés

A világon a szélérőművek számában jelentős növekedési trend tapasztalható. Az élvonalban az Egyesült Államok és Kína áll, ez a két ország rendelkezik a világ teljes szélérőmű kapacitásának több, mint felével. Azonban az európai országok sincsenek elmaradva, és bár egyenként nem rendelkeznek nagy beépített teljesítménnyel, kontinens szinten Ázsia után a második helyet foglalja el Európa. Kína nagyrészt off-shore farmok telepítésével szerezte meg az első helyet, míg Európában és Amerikában az on-shore szélérőművek vannak többségben [4] [10].

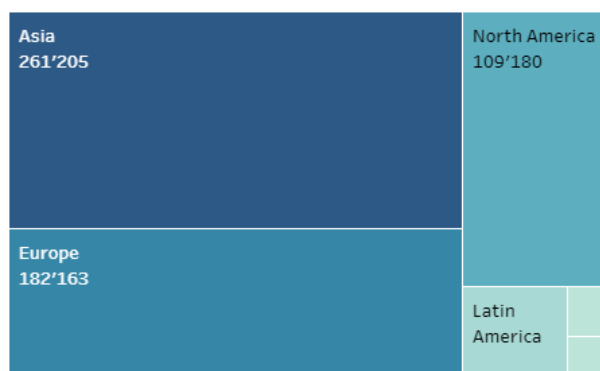


10. ábra. Szélérőművek globális beépített teljesítménye [MW] [10]

³ Ábra forrása:

https://www.windsystemsmag.com/wp-content/uploads/Images/Articles/2013_Jan/0113_BASFspread.jpg

2020. évi adatok alapján az EU-27 villamos energia termelésének szél által biztosított része közel 400 TWh, ez alapján 20 év alatt 1750%-os növekedés volt ezen a téren [11].

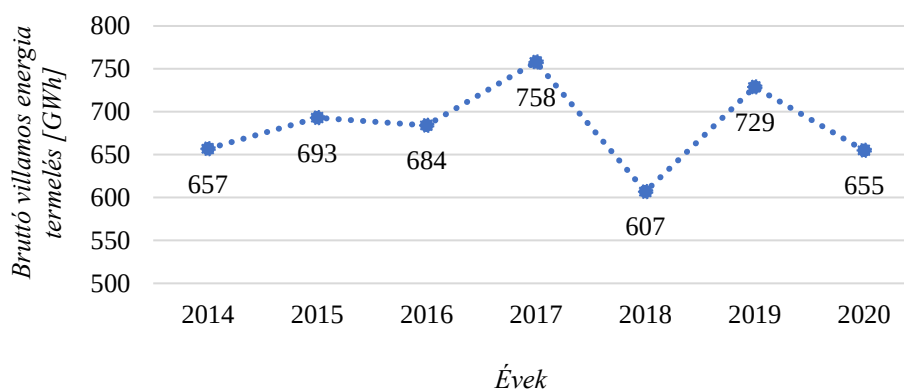


11. ábra. Beépített teljesítmény eloszlása kontinensek szerint [MW] [10]

2.6 Szélerenergia helyzete Magyarországon

2.6.1 Alapadatok

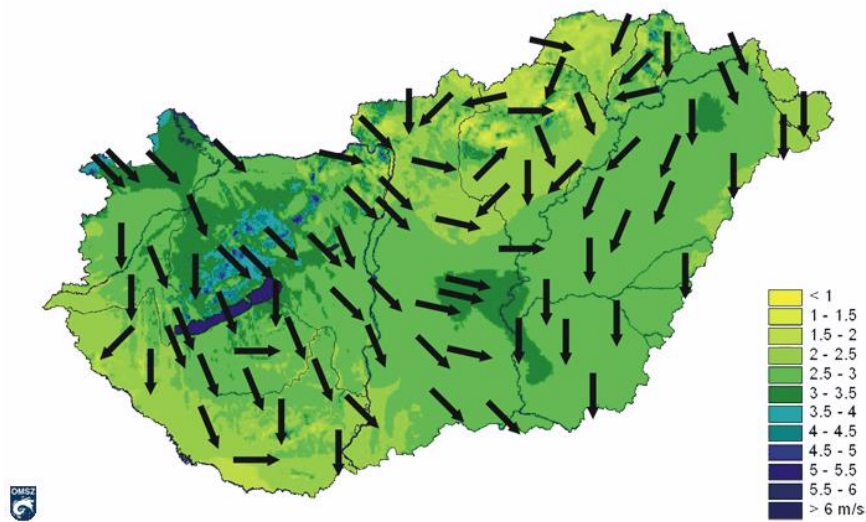
Sajnos Magyarországra nem vonatkozik a nemzetközileg megfigyelhető növekedő trend a telepített szélerőművek számában. Az első magyar szélerőmű 2000-ben épült meg és 2013-ig folyamatosan növekedett a számuk, azonban azóta stagnálás tapasztalható. 2020-ban Magyarországon 655 GWh villamos energia termelése történt szélerőművel [2]. A jelenleg itthon telepített egyedi szélerőművek teljesítménye 225 és 3000 kW között mozog. Összesen 329 MW-nyi beépített teljesítményű szélerőmű üzemel Magyarországon. Ez az összes termelés mindössze közel 2%-a [2]. A szélerőművek által termelt bruttó villamosenergia-termelés magyarországi változását mutatja be a 12. ábra.



12. ábra. Szélerőművek által termelt villamosenergia-termelés változása (2014-2020) [2]

2.6.2 Szélviszonyok

Hazánkban úgy tartják, hogy a szélviszonyok erőmű telepítés szempontjából kedvezőtlenek. Az évi átlagos szélsébség viszonylag alacsony, évente átlagban 122 szeles nap van (széllökések meghaladják a 10 m/s-ot), amiből 35 viharos napnak számít (széllökések meghaladják a 15 m/s-ot) [12]. A magyarországi átlagos szélsébségeket és uralkodó szélirányokat mutatja be a 13. ábra.

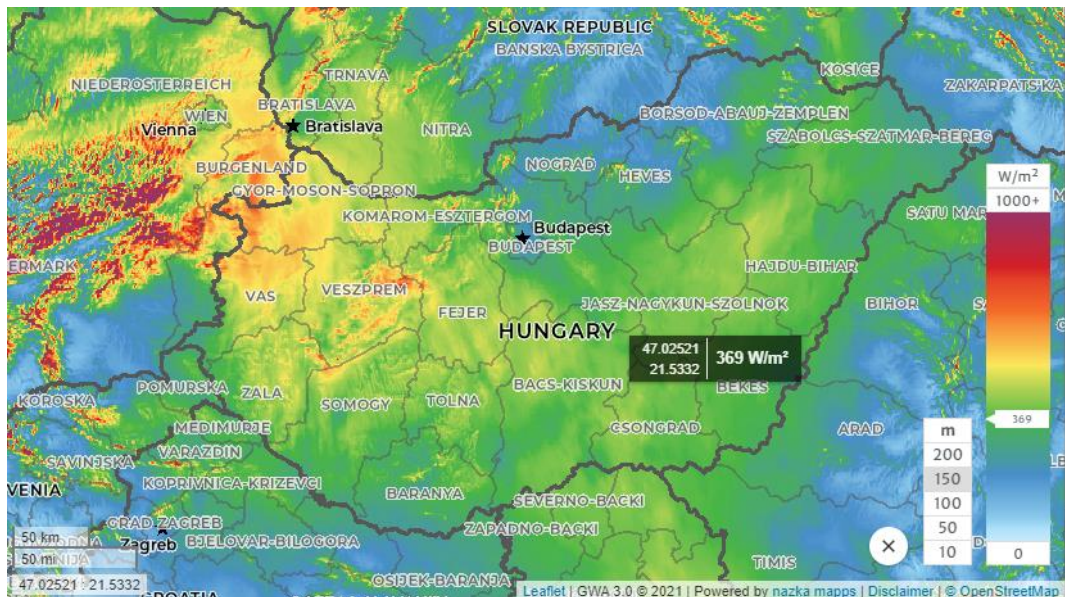


13. ábra. Az évi átlagos szélsébségek [m/s] és az uralkodó szélirányok Magyarországon (2000-2009)⁴

Azonban ezek az adatok nem festenek számunkra teljes képet. Nagyobb magasságokban (100-150 m) Magyarország jelentős részén megfelelőek lennének a szélviszonyok szélérőművek telepítésére, a Global Wind Atlas szerint átlagosan 250-800 W/m² szélkapacitás érhető el az ország területén: a legkisebb Dél-Magyarországon és az Északi-középhegységben, a legnagyobb a Balaton környékén, a Dunántúli-dombságban, illetve az Alpokalján [13]. A magyarországi szélenergia potenciált mutatja be 150 m-es magasságban a 14. ábra.

⁴ Ábra forrása:

https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/images/abra1.png



14. ábra. Szélenergia potenciál Magyarországon 150 méteren [13]

2.6.3 Jogsabályi korlátok

Az iparág hazai visszaesése 2010-ben kezdődött, amikor visszavontak egy 410 MW-ról szóló kapacitásbővítési pályázatot, ezzel jelentősen visszaesett a megépülő erőművek száma [8].

A legnagyobb csapást azonban a 253/1997. (XII.20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről (OTÉK) [14] 2016-ban megjelent módosítása jelentette, amely többek között a következőket tartalmazza:

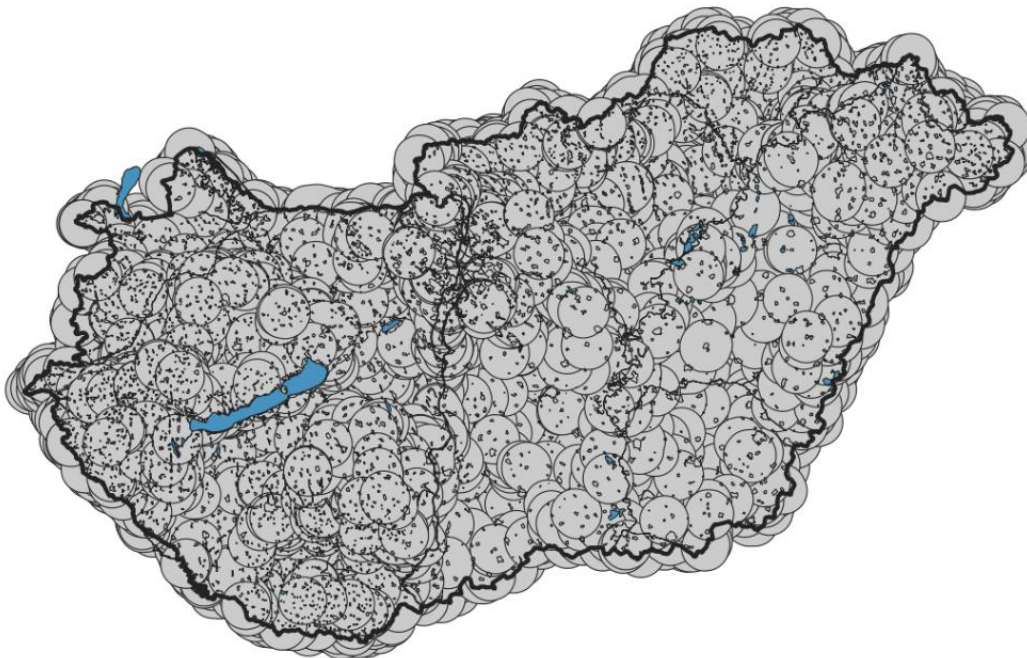
10. § (4) Építési övezetben és annak határától számított 12 000 méteren belül - a háztartási méretű kiserőműnek számító szélerőmű kivételével - szélerőmű, szélerőmű park nem helyezhető el.

25/A. § (1) A háztartási méretű kiserőműnek számító szélerőmű kivételével, szélerőmű, szélerőmű park kizárólag a 29. § szerinti mezőgazdasági, valamint a 30/B. § (2) bekezdés c) pontja szerinti, a megújuló energiaforrások hasznosításának céljára szolgáló különleges övezetben helyezhető el.

25/A. § (2) A Magyar Honvédség által üzemeltetett radaroktól számított 40 km, valamint a katonai repülőterektől számított 15 km-en belül új szélerőmű, vagy szélerőmű park nem helyezhető el, a meglévő szélerőművek építménymagassága nem növelhető, a

szélerőmű parkok nem bővíthetők. E területeken kívül új szélerőmű vagy szélerőmű park akkor létesíthető, a meglévő szélerőművek építménymagassága akkor növelhető, a szélerőmű parkok akkor bővíthetők, ha igazolható, hogy a tervezett szélerőmű vagy szélerőmű park létesítése és működése honvédelmi és katonai képességcsökkenést nem okoz.

Mindez röviden azt jelenti, hogy Magyarország területén gyakorlatilag nem létesíthető új 0,5 MW-nál nagyobb teljesítményű szélerőmű. Az alábbi általam készített térkép a fenti korlátozásokat jól illusztrálja.



15. ábra. Nagy teljesítményű szélerőmű telepítésének szempontjából tiltott területek (saját ábra)⁵

A már korábban említett kiszámíthatatlanság, a Magyarországon uralkodó alacsony átlagos szélsébség és a tájromboló hatás lehetnek a fő okok, amik ezekhez a döntésekhez vezettek [15]. A jövőben sem számíthatunk enyhülésre, sőt, a Nemzeti Energia- és Klímaterv [16] 2030-ra a szélerőművek teljes megszűnésével számol, tehát a meglévő erőművek a várható életciklusuk (25 év) leteltével elbontásra kerülnek, nem lesz lehetőség a rekonstrukcióra [7] [8].

⁵ Készült QGIS szoftverben, OpenStreetMap használatával.

3 HMKE

Az OTÉK [14] korábban említett korlátozása alól kivételt képeznek a kisebb teljesítményű szélenergia-termelő berendezések:

*„32. § (3) * A 0,5 MW-nál kisebb névleges teljesítőképességű, villamos energiát termelő erőmű - a szélenergia-termelő és a szélenergia-termelő park kivételével - a helyi építési szabályzat rendeltetést, valamint a beépítettség megengedett legnagyobb mértékét meghatározó előírásaira tekintet nélkül elhelyezhető*

a) kereskedelmi, szolgáltató gazdasági terület, ipari, egyéb ipari és általános gazdasági terület, - temető területét kivéve - különleges terület építési övezetben, továbbá

b) közúti és kötöttpályás közlekedési terület, közmuvelhelyezési terület, hírközlési terület, egyéb erdő terület, általános mezőgazdasági terület övezetben, - temető területét, burkolt vagy fásított köztér és sétány területet kivéve - különleges beépítésre nem szánt terület övezetben.”

A „háztartási méretű kiserőművek” - röviden HMKE-k - olyan villamosenergia termelő berendezések, amelyek:

- közcélú kisfeszültségű hálózathoz, illetve kisfeszültségű magán- vagy összekötő vezeték hálózatra csatlakoznak;
- névleges teljesítőképességük nem haladja meg a felhasználó rendelkezésre álló teljesítményének mértékét;
- maximum 50 kVA erőművi névleges teljesítőképességűek [17].

A legelterjedtebb ilyen berendezések a háztetőre szerelhető napelemek, de HMKE-nek minősülő szélenergia-termelő, sőt, vízerőművek is léteznek. Annak tehát nincs különösebb akadálya, hogy kis méretű szélenergia-termelőt telepítsünk, de természetesen figyelembe kell venni a helyi településrendezési szabályozásokat. A forgalmazók is meglátták ebben a lehetőséget, így több termék közül is választhatunk, ha ilyen berendezést szeretnénk telepíteni [17].

16. ábra Kis szélérőművek⁶

A magyar villamosenergia rendszer adatait elemezve látható, hogy a HMKE-k teljesítménye az elmúlt években rohamosan nőtt, 2016 óta közel háromszorosára. 2019-ben a beépített összteljesítőképesség 480,85 MW volt, melynek 99%-át az ún. „időjárásfüggő” megújuló technológiák adják, ezen belül a szélenergia teljesítőképessége igen csekély: 0,70 MW, mely a teljes HMKE teljesítmény 0,14%-a [18].

1. táblázat. Háztartási méretű kiserőművek teljesítőképessége Magyarországon, 2016-2019 [MW] [18]

Év	2016	2017	2018	2019
Időjárásfüggő technológiák	164,75	240,18	332,76	480,07
ebből napenergia	164,08	239,45	332,06	479,22
ebből szélenergia	0,61	0,62	0,56	0,70
ebből vízenergia	0,06	0,11	0,14	0,14
Nem időjárásfüggő technológiák	0,70	0,68	0,81	0,78
Összesen	165,45	240,86	333,57	480,85

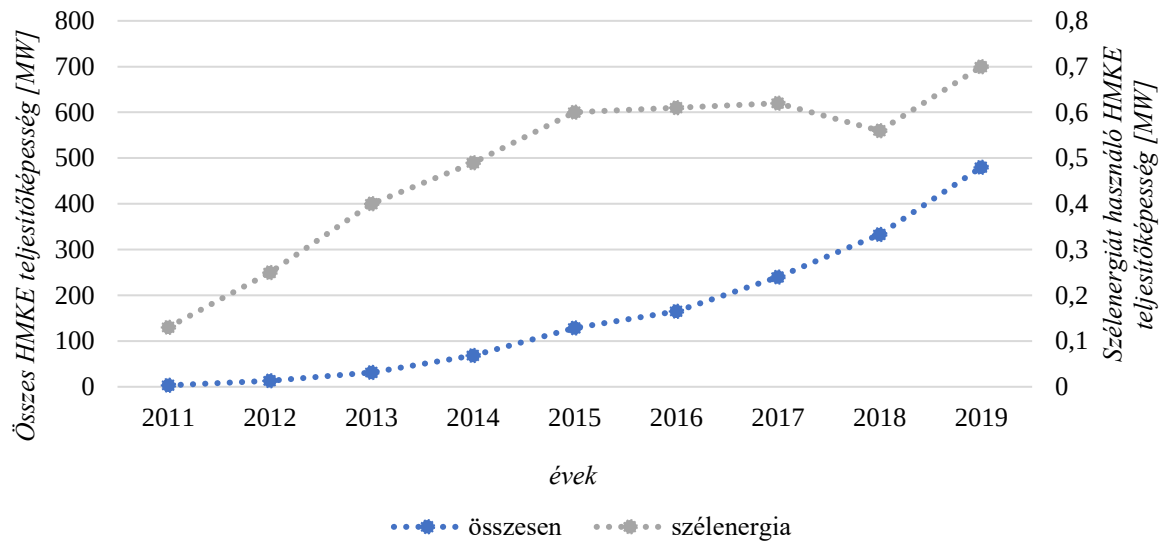
A 2011–2019 időszakban vizsgálva a teljes HMKE, valamint a szélenergia-alapú HMKE teljesítményt, látható, hogy a teljes teljesítmény folyamatos emelkedő tendenciát mutat, míg a szélenergia-alapú teljesítmény egy 2018-as kiugró értéktől eltekintve szintén folyamatosan emelkedik.

⁶ Ábrák forrása:

[7246, Spec Sheet, Domestic, Skystream, REV F - Print copy \(xzeres.com\)](#)

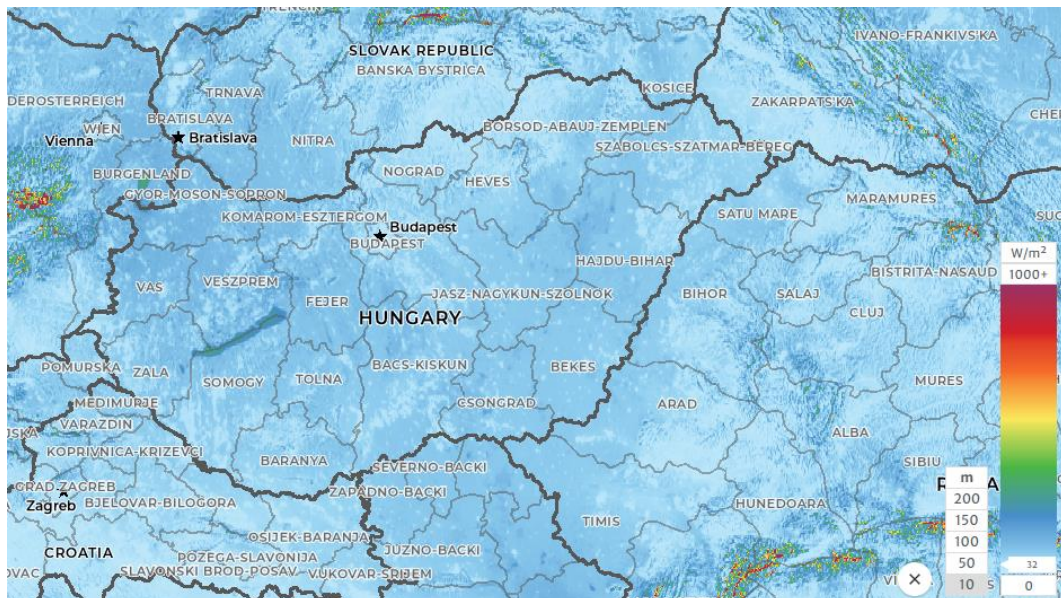
[4000 1 11 Montana 5 kW \(fortiswindenergy.com\)](#)

[Aeolos Wind Turbine Company – 20kw Wind Turbine – Small Horizontal Axis Wind Generator – Aeolos 20kw Turbine \(windturbinestar.com\)](#)



17. ábra. Háztartási méretű kiserőművek teljesítőképessége Magyarországon, 2011-2019 [MW] [18]

A háztartási szél erőművek átlagos magassága 10–15 m között alakul, mely magasságon a szélerenergia potenciál a korábban már említett Global Wind Atlas alapján Magyarországon ~30–170 W/m² között alakul [13].



18. ábra. Szélerenergia potenciál Magyarországon 10 méteren [13]

4 Családi ház villamosenergia ellátásának megtervezése

A szakdolgozatom további részének témája egy kertes családi ház villamos energia szükségletének tisztán szélből nyert energiával való ellátása. Ez, a kezdeti elképzelésemhez képest lényegesen nagyobb kihívással járt. Napelemes HMKE rendszerekkel számos kutatás, tanulmány, szakdolgozat stb. foglalkozott már, azonban szélérőművek esetében ez nem mondható el, erősen limitált volt a forrásanyag, amiből dolgozni tudtam. A szakdolgozat sikeres elkészítéséhez kellően nagy átlagos szélesebességgel és megengedő település rendezési szabályokkal rendelkező helyszínt, továbbá olyan berendezéseket kellett találnom, melyek segítségével a megfelelő termelési szint elérhető.

4.1 Kiválasztott helyszín bemutatása

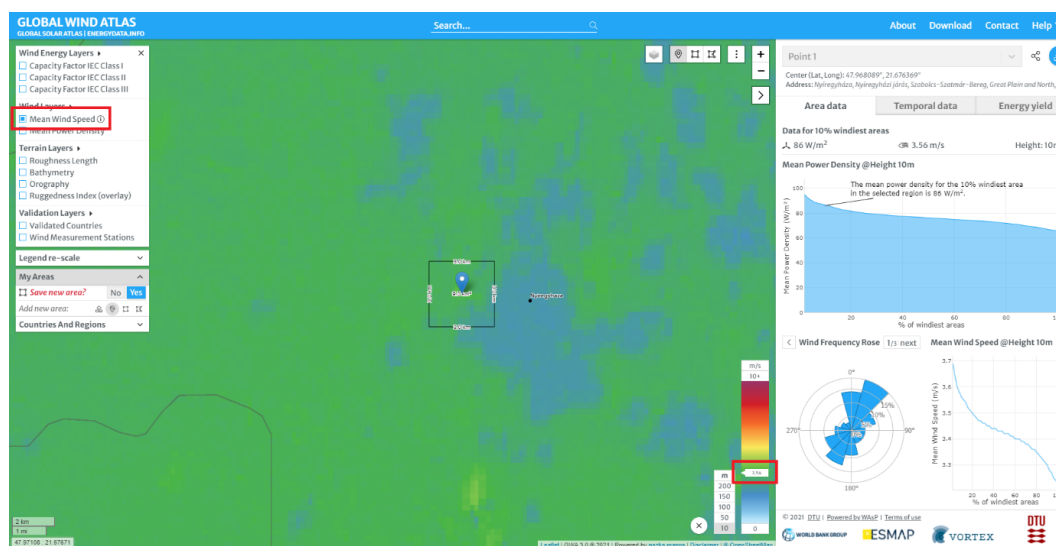
Az első és legfontosabb szempont a helyszín keresése során az átlag szélesebesség értéke volt, melyhez a Global Wind Atlas térképét használtam fel [13]. Nyíregyházi lakosként először a környéken kezdtem keresni és nem sokkal később találtam is egy megfelelőnek tűnő helyet. Ezután meg kellett vizsgálnom a helyi településrendezési szabályokat [15] annak érdekében, hogy kiderüljön, nem tiltott-e szélérőmű telepítése az adott területen.

Mindezek alapján a kiválasztott helyszín egy családi házas telek Nyíregyháza-Vargabokor területén. Vargabokor egy külvárosi, kvázi-tanyasi terület, így a környéken nincsenek magas épületek, amelyek a szél sebességére negatív hatással lennének.



19. ábra. Nyíregyháza-Vargabokor műholdas nézet [19]

A Global Wind Atlas [13] adatai alapján a területen az átlagos szélesség 3,56 m/s, ami nem kifejezetten magas érték, azonban ennél jelentősen jobb adottságú terület nem állt rendelkezésre.



20. ábra. Képernyőkép a kiválasztott helyszín szélviszonyairól [13]

A választott telek a Településszerkezeti Tervlap alapján Mezőgazdasági általános terület területfelhasználási kategóriába tartozik [15]. Ez alapján, ahogyan az a Helyi Építési Szabályzatban [15] is olvasható, a szélerőmű elhelyezésének nincsen akadálya:

„(4) A mezőgazdasági zónákban szélerőmű a szakhatósági vélemények figyelembe vételével elhelyezhető.”

4.2 Teljesítmény igény meghatározása

A teljesítmény igény meghatározásához egy valódi, újjépítésű kertesházat vettem alapul. A szóban forgó épület egy egyszintes, 83 m² hasznos alapterületű, 4 szobás családi ház. Speciális nagy fogyasztó nincs, így az épület átlagosnak tekinthető. Az épület alaprajza az 1. számú mellékletben látható.

Több hónapnyi villanyszámla adatait megvizsgálva (2. táblázat), a fogyasztás általában 90 és 110 kWh/hónap között mozgott, így arra jutottam, hogy 100 kWh/hónap villamosenergia fogyasztás tekinthető átlagosnak. Ebből az adatból kiindulva kezdtem el a megfelelő berendezések utáni kutatást.

2. táblázat. A választott lakóépület havi villamosenergia fogyasztása [kWh]

Év, hónap	2021. január	2021. február	2021. március	2021. április	2021. május	2021. június
villamosenergia fogyasztás [kWh]	92	101	98	96	102	110

4.3 Szükséges berendezések kiválasztása

Magán a szélérőművön kívül számos berendezésre van még szükség egy jól működő villamosenergia termelő rendszer kialakításához (21. ábra). Ilyen például az akkumulátor telep, az inverter és többféle védelmi berendezés is, ezek kiválasztását részletezem a továbbiakban.

Számolásaim során azzal az egyszerűsítéssel éltem, hogy az adott területen folyamatosan az átlagos szélességnek megfelelő (3,56 m/s) szél fúj.



21. ábra. Az eszközök kiválasztásának folyamata

4.3.1 Szélérőmű

A szélérőmű kiválasztását már rögtön az első paraméter, a „Cut-in speed” megnevezítette, vagyis az a szélesség, ahol az erőmű elkezd villamosenergiát termelni. A kutatásom elején először csupán olyan szélérőművek kerültek a látószögembe, melyek esetén a már említett 3,56 m/s-os szélesség nem, vagy csak alig lett volna elegendő a turbinalapátok megforgatásához. Olyan szélérőművet kellett találnom, amely kifejezetten alacsony szélességekre lett kifejlesztve.

A másik és egyben legfontosabb paraméter a szélérőmű adott szélességhez tartozó teljesítménye volt. Olyan eszközt kellett találnom, ami már alacsony szélességeken nem csak elindul, de ezen felül szignifikáns teljesítmény leadással is rendelkezik. A korábban meghatározott teljesítmény igény alapján, a szélérőműnek az átlagos szélességhez tartozó

pillanatnyi teljesítménye, a 100 kWh-ás havi fogyasztásból visszszámolva, közel 138,8 Watt kellett, hogy legyen a megfelelő termelés elérése érdekében.

$$\frac{100 \text{ kWh}}{30 \text{ nap} * 24 \text{ h}} = 138,8 \text{ W} \quad (1)$$

Ennek megfelelően olyan erőművet kellett keresnem, amely már elindulás után rögtön ilyen nagyságrendű termelésre képes. A szélerőművek teljesítmény karakterisztikája miatt ez azt eredményezte, hogy jelen esetben nem volt elég egy kis, néhány száz wattos turbina, hanem több kilowattos rendszerekben kellett gondolkoznom.

Ez a két feltétel erősen korlátozta a kiválasztható szélerőművek számát, míg végül hosszas keresés után az Avant Garde Innovations Ltd. AVATAR-III elnevezésű szélerőművére esett a választásom, melyet az alábbiakban részletesen bemutatok [20] [21].

Az AVATAR-III egy 3 kW-os névleges teljesítményű szélturbina, mely ezt a teljesítményt 11 m/s és afelett éri el. Maximális teljesítménye 3015 Watt. A Cut-in szélesebesség értéke 2,3 m/s, ami számomra kiváló érték, hiszen így már bőven az átlagos sebesség alatt is termelni tud az erőmű. A legnagyobb szélesebesség, amit a turbina még rongálódás nélkül el tud viselni figyelemre méltó 60 m/s (216 km/h). Ennek köszönhetően nem kell amiatt aggódni, hogy egy nagy viharban a szélerőműben bárminemű kár keletkezne. Ez részben az úgynevezett „*Auto-Furling*” rendszernek köszönhető, amely nagy szélesebesség esetén elforgatja a gondolát a turbinalapátokkal, ezzel megvédve őket a túl gyors forgástól.

Ami a pillanatnyi teljesítményt illeti, ezt a gyártó táblázatos formában adta meg 1 m/s-os osztásokban, így jelen esetben a számomra fontos 3,56 m/s-hoz tartozó értéket csak közelítéssel lehet megtalálni. A táblázat alapján 3 m/s-hoz 80 Watt, míg 4 m/s-hoz 192 Watt tartozik. A pontok között közel lineáris átmenetet feltételezve a 3,56 m/s-hoz tartozó érték 142,7 Watt.

$$80 + \frac{192 - 80}{100} * 56 = 142,7 \quad (2)$$

Ez kellően nagy érték a korábban felállított követelmény eléréséhez, így a kiválasztott szélerőmű ebből a szempontból is a célnak megfelelőnek bizonyult.

A szélérőmű 48 V DC kimenettel rendelkezik, melyet beépített elektronika stabilizál. A maximális kimeneti áram így:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3000 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 62,5 \text{ A} \quad (3)$$

A szélérőműbe beépítve találhatunk még egy úgynevezett „*dump-load*” rendszert is. Ez arra szolgál, hogy a szélérőmű ne tudjon terhelésmentes állapotba kerülni. Amennyiben fúj a szél és a turbina termelni tud, de nincsen terhelés a hálózaton (jelen esetben nincs bekapcsolva egy háztartási fogyasztó sem és az akkumulátor sem tölthető tovább), akkor bekapcsolja a *dump-load*-ot ami az éppen megtermelt energiát elfogyasztja. Ez nyilván nem praktikus helyzet, ugyanis ekkor az energiát elpazaroljuk, azonban ennek a rendszernek fontos biztonságtechnikai szerepe van, ugyanis nagy szélességnél terhelés nélkül a szélturbina súlyos károkat szenvedhet.

A gyártó leírása alapján a szélérőmű minimum 20 éves üzemidővel rendelkezik. A rotor átmérője 14 láb, ami megközelítőleg 4,2 méter, ez a gondolával egy 10 méter magas fém, csővázas toronyra kerül felszerelésre, így a szélérőmű teljes magassága hozzávetőlegesen 12 méter lesz. Biztonsági szempontokat figyelembe véve, elővigyázatosságból ajánlott a szélérőművet úgy elhelyezni, hogy a magasságával megegyező sugarú körben ne legyen semmilyen más építmény, amit megrongálhatna abban az esetben, ha a torony szerkezeti integritása kárt szenvedne és eldőlné. Ezt elkerülendő fontos a megfelelő alapozás elkészítése.

4.3.2 Energiatároló

Az akkumulátor telep kiválasztásakor a termelési csúcsok és völgyek kisimításán túl szempont volt az épület villamosenergia ellátási biztonságának növelése is. Ez alapján olyan eszközt kellett keresnem, amely elég nagy kapacitással rendelkezik a ház villamosenergia igényeinek biztosítására hosszan tartó áramszünet esetén is.

A kiválasztás során arra törekedtem, hogy az akkumulátor képes legyen minimum egy teljes napig ellátni a házat villamosenergiával. Egy napi átlag fogyasztás 3,3 kWh, így ehhez legalább 68,75 Ah-s akkumulátor telepre volt szükség (lásd 4. egyenlet).

$$\frac{3,3 \text{ kWh}}{48 \text{ V}} = 68,75 \text{ Ah} \quad (4)$$

Végül a választásom az OSM LFPWall termékére esett, azon belül is a 100 Ah-s modellre [22]. Egy ekkora kapacitású akkumulátor segítségével közel másfél napig megoldható a ház villamosenergia ellátása, illetve szelesebb napokon nagy mennyiségű energiát el tud tárolni későbbi felhasználás céljára. A kiválasztott tároló töltési- és kisütési árama 100 Amper, mely jelen esetben bőven elegendő, hiszen a szélérőmű maximális árama 62,5 A. Az LFPWall, ahogy azt a neve is mutatja, falra szerelhető kivitelben készült, továbbá IP55-ös védelemmel van ellátva.

4.3.3 Inverter

A legmegfelelőbb inverter kiválasztásának során váratlan problémába ütköztem. Korábbi felületes kereséseim során az volt a tapasztalatom, hogy több száz gyártó több ezer terméke közül válogathat a vásárló. Magyarországon a villamosenergia szolgáltatóknak több száz ajánlott típust tartalmazó listái vannak, amelyekből a beruházó válogathat [23]. Azonban sajnos azzal kellett szembesülnöm, hogy ezek az inverterek mind kizárólag napelemes rendszerekhez lettek kifejlesztve, így én nem használhatom fel ezeket, mivel előre be nem látható problémák merülhetnek fel, ha egy olyan rendszerhez kapcsolom hozzá, amihez eredetileg nem tervezték.

Ezek után a figyelmem más, ritkább inverter típusok felé irányult. Ekkor találkoztam az úgynevezett „kombinált hibrid” inverter típussal, amely felkeltette érdeklődésemet. Nevének „kombinált” része arra utal, hogy nem csak inverter funkciókat lát el a berendezés, hanem más hasznos tudással is felruházták. Ilyen például, hogy tartalmaz beépített akkumulátor töltőt, amely számomra igen nagy könnyebbséget jelent a tervezés folyamán. A „hibrid” elnevezés pedig arra utal, hogy nem csak egy, hanem akár több DC/AC átalakítót is tartalmaz, sőt, AC/AC átvitelre is képes lehet. Mindez azt is jelenti, hogy nem kifejezetten napelemes felhasználásra fejlesztették ki, bár arra is kiválóan használható lenne.

Az inverter kiválasztása során nem volt szabad elfeledkezni arról, hogy bár a korábbi számításaim során a teljesítmény még a 150 Wattot sem érte el, a valóságban nem mindig az átlag szélsőbesség van jelen, így könnyen előfordulhat, hogy a szélérőmű teljes kapacitáson működik. Emiatt csak olyan inverter jöhetett szóba, mely képes a szélérőmű csúcsteljesítményének megfelelően egy 3 kW-os rendszer tartós működtetésére. Ezen felül

természetesen a bemeneti feszültségének meg kellett egyeznie a szélérőmű kimeneti feszültségével, 48 Volttal.

Ezek alapján a választásom a Studer Innotec SA. Xtender szériájának XTM 4000-48 típusára esett [24]. Az elnevezés kissé félrevezető, ugyanis 4000 VA-el (25°C-on) csupán 30 percig képes működni, míg folytonosan legfeljebb 3500 VA-t visel el. Azonban ez jelen esetben nem is fontos, hiszen a szélérőmű legfeljebb 3015 Wattot képes leadni, így ez az inverter elegendő. A nevében található második szám pedig a bementi feszültség szintjére utal, ami 48 V.

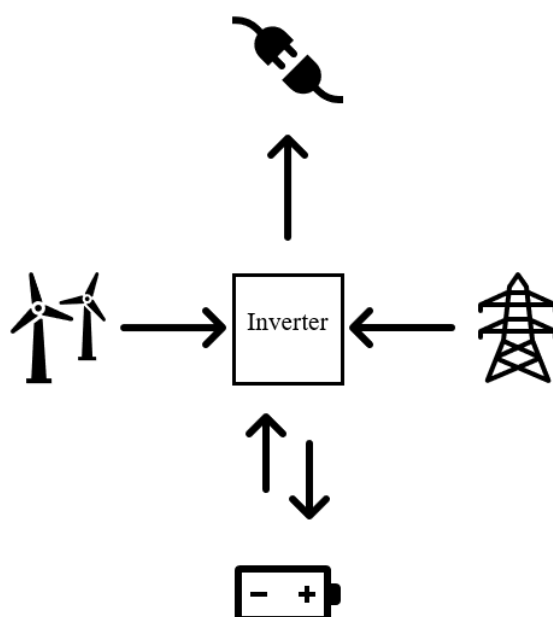
Ahogy azt fentebb említettem, az inverter számos hasznos tulajdonsággal rendelkezik. Először essen szó a legfontosabbról, magáról az inverter funkcióról. Ebben az üzemmódban a szélérőmű által termelt 48 Voltos egyenfeszültséget a kisfeszültségű hálózat számára megfelelő 50 Hertzes, 230 Voltos, szinuszos feszültséggé alakítja. Ideális esetben a szélérőmű folyamatosan termelne, így az eszköz csak ebben a módban üzemelne, azonban a valóság sajnos nem ilyen, így szükség van a többi funkciójára is.

Következőnek essen szó a gyártó által „*transfer relay*”-nek, azaz átviteli relének nevezett üzemmódról. Az inverter rendelkezik váltakozó feszültségű bemenettel is. Amennyiben ezen a bemeneten a feszültség paraméterei megfelelnek a beállított értékeknek, akkor az inverter képes átváltani átviteli üzemmódba. Ebben az esetben egyszerűen összeköti a váltakozó feszültségű be- és kimeneteit. Jelen esetben ez a bemenet a kisfeszültségű elosztóhálózatra csatlakozik, így a ház áramellátása biztosított, még tartós szélcsend és az akkumulátor lemerülése esetén is. Bár ezzel a megoldással jelentősen egyszerűsíthető a hálózati topológia, ugyanakkor ez azt is jelenti, hogy a teljes ház villamosenergia ellátása az inverteren keresztül történik, ami az inverter adott rendszerének meghibásodása esetén azzal a kockázattal jár, hogy ház ellátása megszűnik. Ennek kiküszöbölésének érdekében mérgegni lehet egy „elkerülő” ág kiépítésének lehetőségét, mellyel a háztartási- és az elosztóhálózat összeköthető az inverter megkerülésével, annak meghibásodása esetén.

Harmadikként pedig az akkumulátor töltő mód következik. Ahogy azt a neve is mutatja, ilyenkor az akkumulátor töltése az inverter fő feladata. Ez történhet mind a szélérőmű által generált energiával, mind pedig az elosztó hálózatról. Az utóbbi azért kifejezetten hasznos, mert így biztosítható az akkumulátor töltöttségének fenntartása arra az esetre, ha a szélérőmű

tartósan nem tud termelni, mégis fent akarjuk tartani az akkumulátoros üzem lehetőségét áramkimaradás esetére.

Végezetül pedig természetesen elérhető az akkumulátoros üzemmód. Amennyiben sem az egyen-, sem a váltakozó feszültségű bemeneten nem érkezik villamosenergia, úgy az inverter képes az akkumulátorról – annak töltöttségi szintjétől és terheléstől függően – ellátni a ház energia igényét, így kvázi egy, az egész házra kiterjedő szünetmentes tápegység is rendelkezésre áll.



22. ábra. Energia áramlási irányok (saját ábra)

Ennyi funkció egy eszközbe való integrálása után elvárható, hogy az inverter rendelkezzen a megfelelő védelmi eszközökkel is a biztonságos működés érdekében.

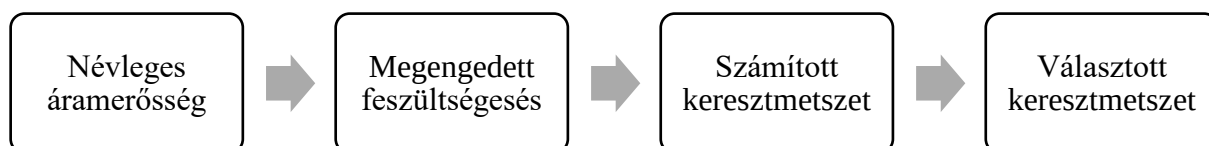
Túlterhelés vagy zárlat esetén az inverter – beállítástól függően – néhány másodpercre lekapcsol, majd újraindul annak reményében, hogy ezalatt megszűnt a hiba és visszatérhet normál üzemállapotba. Amennyiben egy ilyen esemény egymás után többször is bekövetkezik, úgy az inverter végleg lekapcsol és csak manuálisan indítható újra. Hasonlóan viselkedik abban az esetben is, amikor a rákapcsolt akkumulátor feszültsége jelentősen megnövekszik.

Elégtelen szellőzés vagy megnövekedett külső hőmérséklet esetén túlmelegedés következhet be, ilyenkor az inverter automatikusan korlátozza az üzemi teljesítményét mindaddig, amíg a probléma fennáll.

Az akkumulátor bemeneten történő felcserélt polaritás okozta károsodás ellen az inverter egy teljesen elektronikus védelemmel van ellátva, melynek köszönhetően a helyes polaritás visszaállítása után az eszköz hibamentesen működik tovább.

4.3.4 Kábelek

A rendszer kiépítéséhez kétféle új DC kábelre van szükség. Az első a szélturbina és az inverter, közötti kapcsolat megteremtésére szolgál. A háztól való távolság alapján 20 méternyi kábelt ítéltünk szükségesnek. A második kábelre az inverter és az akkumulátor között van szükség, amihez 2 méter kábel elegendő. A szükséges keresztmetszet meghatározásához először szükség van a kábelben folyó legnagyobb áramerősség meghatározására. Ez a szélerőmű esetében számolással, míg az akkumulátor esetében az adatlapon szereplő legnagyobb töltési/kisütési áram leolvasásával történt. Ezután a megengedett feszültségesés kiszámításával a szükséges keresztmetszet is meghatározható. Mivel kábeleket csak adott véges számú keresztmetszetben gyártanak, így a számított érték után az ahhoz legközelebbi elérhető keresztmetszetet kell kiválasztani.



23. ábra. Kábelméretezés lépései

A százalékos feszültségesés mindkét esetben: $\varepsilon = 1 \%$.

Réz kábel fajlagos ellenállása: $\rho = 1/56 \Omega\text{mm}^2/\text{m} = 0,01786 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

A szélerőmű kábelének hossza: $l_{\text{sz}} = 20 \text{ m}$.

A kábel árama:

$$I_{szt} = \frac{P}{U} = \frac{3000 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 62,5 \text{ A} \quad (5)$$

Megengedett feszültségesés:

$$e_{szt} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U}{2} = \frac{1}{100} * \frac{48 \text{ V}}{2} = 0,24 \text{ V} \quad (6)$$

Szükséges keresztmetszet:

$$A_{szt} = \frac{\rho}{e_{szt}} * I_{szt} * l = \frac{0,01786 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}}{0,24 \text{ V}} * 62,5 \text{ A} * 20 \text{ m} = 93 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

Ehhez a 95 mm²-es keresztmetszet van a legközelebb.

Az akkumulátor kábelének hossza: $l_{akk} = 2 \text{ m}$.

Az akkumulátor maximum töltési/kisütési árama az adatlap alapján: $I_{akk} = 100 \text{ A}$.

Megengedett feszültségesés:

$$e_{akk} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U}{2} = \frac{1}{100} * \frac{48 \text{ V}}{2} = 0,24 \text{ V} \quad (8)$$

Szükséges keresztmetszet:

$$A_{akk} = \frac{\rho}{e_{akk}} * I_{akk} * l = \frac{0,01786 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}}{0,24 \text{ V}} * 100 \text{ A} * 2 \text{ m} = 14,88 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

Ehhez a 16 mm²-es keresztmetszet van a legközelebb.

A keresztmetszetek meghatározása után típust kellett keresnem, mely során az NYV típusra esett a választásom [25] [26]. Ezt egy PVC szigetelésű erőátviteli kábel, melynek névleges árama az általam vizsgált két keresztmetszet esetén:

- 95 mm² esetén 336 A;
- 16 mm² esetén 127 A;

mely értékek a korábban meghatározott áram értékek alapján megfelelőek. A szélérőműhöz 2 darab, 20 méteres, 1x95 mm²-es, az akkumulátorhoz pedig az egyszerűbb kábelvezetés miatt egy darab, 2 méteres, 4x16 mm²-es kábelt választottam.

4.3.5 Védelmek

A védelmek kiválasztása során az MSZ EN 61400 szélérőművekről szóló szabvány 61400-2-es kis szélérőművekről szóló fejezetéhez fordultam segítségül. Védelmek témakörében a szabvány sajnos csak a földelést és a túlfeszültség védelmet érinti részletesebben, a többi témakörben csaupán általános útmutatásokat ad.

Az első dolog, amire a szabvány kitér, az a szélérőmű földelése. Az ajánlás alapján közvetlenül a szélérőműnél helyi földelést kell kialakítani, még hozzá rúdföldelő segítségével. Ennek hosszáról nem nyilatkozik, azonban ajánlást tesz arra, hogy minimum 50 mm²-es rúdföldelőt szükséges alkalmazni, attól függetlenül, hogy az milyen anyagból készült. Megemlíti továbbá, hogy a helyi földelés kialakítása miatt nem szükséges a szélérőmű és a mögöttes hálózat földelésének összekötése.

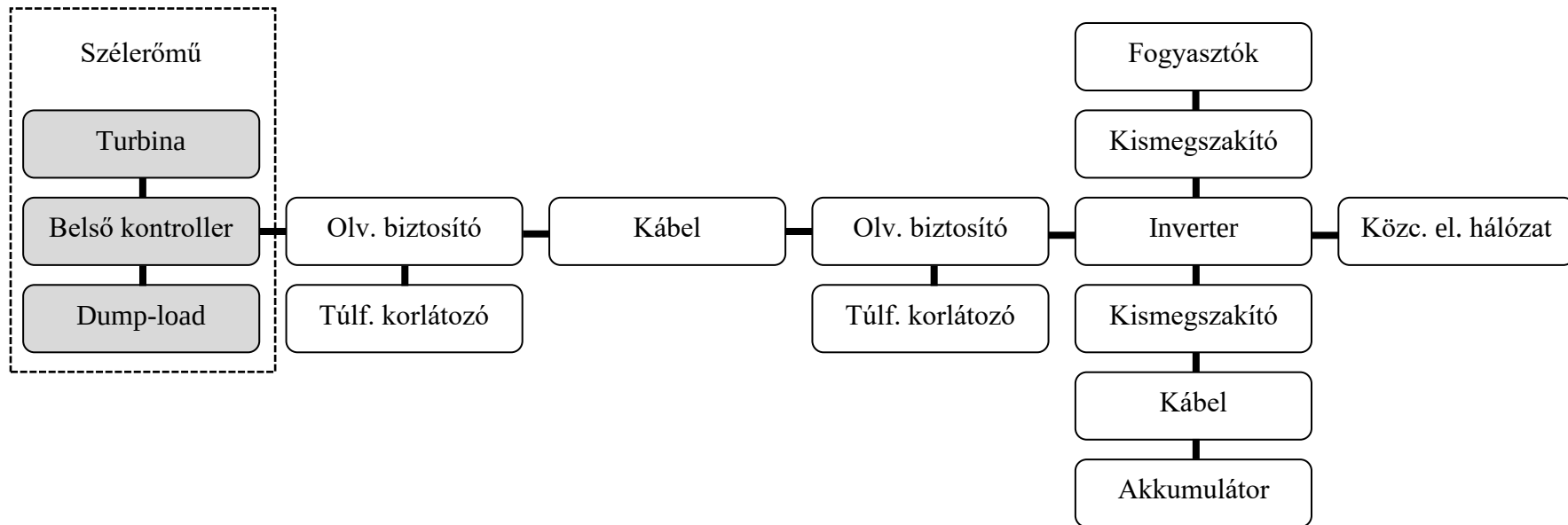
Túlfeszültség védelem tekintetében a szabvány túlfeszültség korlátozók alkalmazását írja elő. Két ilyen eszköz telepítéséről ír, az egyiket közvetlenül a szélérőműnél, a helyi földeléssel együtt szükséges telepíteni, a másikat pedig a kábelek épületbe való belépési pontjánál. Az utóbbit az épület főföldelőjére szükséges csatlakoztatni. Mivel a túlfeszültség korlátozó nem soros eleme a hálózatnak, így az üzemi áram nagysága figyelmen kívül hagyható, tehát nem szükséges a nagy keresztmetszetű kábellel történő csatlakozás, így egy hagyományos eszköz is megfelel. Erre a célra az ára miatt egy Eaton túlfeszültség korlátozót választottam [27]. Ez egy kétpólusú eszköz, így mindkét kábel csatlakoztatható.

A szabványban említett eszközökön, illetve az inverterbe integrált védelmeken kívül további túláram védelmi eszközök telepítését ítéltam szükségesnek. Egyet-egyét a két túlfeszültség korlátozó mellé, egyet az inverter váltakozó áramú kimenetére, illetve egyet az akkumulátor oldali hálózatrész védelmére:

- Az első kettő a szélérőmű és a kábele védelmére szolgál. Ezen az áramkörön, ahogy azt az előző fejezetben kiszámoltam, maximum 62,5 A tud folyni, így ide egy-egy 63 Amperes olvadó biztosítót választottam [28] [29]. Azért olvadó biztosítót és nem kismegszakítót, mert a kábel nagy keresztmetszete a kismegszakítóba való bekötést nem teszi lehetővé.
- A harmadik arra az esetre ad védelmet, ha ház villamos hálózatán következne be hiba, hogy az az elosztó szekrényben található kismegszakítók meghibásodása esetén se hathasson vissza az inverterre, ne károsíthassa azt. Az inverter maximális kimeneti árama a fogyasztók irányába 56 A, amihez a legközelebbi szabványos érték 63 A, így egy ilyen névleges árammal rendelkező B típusú kismegszakító telepítését terveztem ebbe az áramkörbe [30].
- A negyedik pedig az akkumulátor zárlata ellen védi majd a rendszert. Ahogy már korábban kifejtettem, az inverter akkumulátor kimenetén a maximális áramerősség 50 A, így ide egy 50 Amperes B típusú megszakító kerül beépítésre [31].

4.4 Kész rendszer vizsgálata

A tervezett rendszer elvi felépítését mutatja be a 24. ábra.



24. ábra. A tervezett rendszer elvi felépítése (saját ábra)

4.4.1 Termelt energia

Végezetül megvizsgáltam, hogyan alakul a létesített rendszer villamosenergia termelése és milyen pénzügyi vonzata lenne, ha valóban megépítésre kerülne. A 4.3.1 fejezetben tárgyalt átlagos szélességhez tartozó teljesítménnyel számolva egy havi termelés a következőképpen alakul.

$$W = P * t = 142,7 \text{ W} * (24 \text{ h} * 30 \text{ nap}) = 102,76 \text{ kWh} \quad (10)$$

Mint látható, a tervezett 102,76 kWh érték eléri a korábban célul kitűzött 100 kWh/hónap termelési célt, így sikeresen elértem, hogy a családi ház teljes villamosenergia igényét tisztán megújuló energiával lehessen ellátni.

4.4.2 Működés

A rendszer sokoldalúságának köszönhetően a ház villamosenergia ellátása rugalmasan kezelhető. Az alábbiakban részletezem a rendszer viselkedését különböző helyzetekben, a legjobbtól a legrosszabbig haladva.

A legjobb esetben a szél nagy sebességgel fú, ilyenkor a termelés egy része a ház fogyasztását elégíti ki, a másik része pedig az akkumulátort tölti folyamatosan. Amennyiben olyan helyzet állna elő, hogy tartósan nagy sebességű szél fúj és az akkumulátor nem tölthető tovább, akkor a dump-load rendszer bekapcsol és elfogyasztja a felesleges energiát.

Ha nincs elegendő szél, akkor ideális esetben az akkumulátorról kerül ellátásra a ház villamos energiával. Ahogyan azt a 4.3.2-es fejezetben ismertettem, az akkumulátor közel másfél napig képes ezt a feladatot ellátni.

Végezetül, abban az esetben, ha tartósan nincs termelés és az akkumulátor is lemerült, akkor az inverter átáll átviteli módba és a közcélú hálózatról vételez energiát. Ilyenkor a ház fogyasztásának kielégítése élvez prioritást, de az akkumulátor töltése is folyik a háttérben, hogy áramkimaradás esetére készenlétben legyen.

Mint látható, a rendszer szinte minden esetben biztosítani tudja a szükséges energiát, csupán tartós szélcsenddel párosított hosszú áramszünet esetén kerül veszélybe a ház villamosenergia ellátása, de ez egy nagyon szerencsétlen helyzet lenne és remélhetőleg ilyen sosem fordul majd elő.

4.4.3 Megtérülés

A beruházás költségei a 3. táblázatban kerültek összegzésre. Számításba vettem mind a beépített berendezések, mind pedig a telepítés becsült költségét is. Az alacsony szélsébség miatt szükséges jelentős túlméretezés okán a berendezések árai a várttól jelentősen eltérnek. Már maga a szélérőmű több, mint egymillió Forintba kerül és ehhez jön még hozzá egy nagy teljesítményű inverter, egy nagy kapacitású energiatároló és az egyéb szükséges eszközök. Azon termékek esetében, ahol nem tudtam pontos árat meghatározni, a piacon elérhető hasonló termékek árát vettem alapul.

3. táblázat. A szélérőmű létesítésének költségei

Rendszerkomponens	Költség [HUF] ⁷
Szélérőmű	3 350 USD = 1 079 538
Inverter	1 365 900
Akkumulátor	1 300 USD = 418 925
Kábelek	214 444
Kábel (1 × 95, 40 m)	207 440
Kábel (4 × 16, 2 m)	7 004
Védelmek	59 200
Túlfesz. korlátozó × 2	51 740
Olvadó biztosító aljzat + betét × 2	4 152
Kismegszakító B63	1 718
Kismegszakító B50	1 590
Telepítés ⁸	400 000
földmunka + alapozás + szerkezetállítás	250 000
villamos szerelés	150 000
Összesen	3 538 737

⁷ 2021. november 17-i árfolyamon 1 € = 365, 03 HUF; 1 USD = 322, 25 HUF.

Forrás: <https://www.mnb.hu/arfolyamok>

⁸ Költségek forrása: *Építőipari Költségbecslési Segédlet*. Budapest : Építésügyi Tájékoztatási Központ Kft., 2020.

Annak érdekében, hogy megtudjam, érdemes-e a szélturbina telepítését gazdasági szempontokat figyelembe véve elvégezni, a dinamikus beruházás-gazdaságossági számítások egyik alapvető jellemzőjét, a nettó jelenértéket (továbbiakban: NPV) számítottam ki a beruházástól vett 20. év végére, ugyanis a szélturbinák várható élettartama kb. 15-20 év és az alkalmazott szélturbina esetén a gyártó is minimum 20 év működést garantál. Jelen esetben a beruházásunk a 0. évben egy 3 538 737 HUF értékű befektetéssel kezdődik, majd az első évtől megkezdődik az energiatermelés, ezzel együtt azonban karbantartási ráfordításokat igényel. A bevételeket (a megtermelt energia ára) és a kiadások (fenntartás és karbantartás), tehát magukat a pénzmozgásokat a 4. táblázat mutatja be. A nettó jelenérték számítás előnye, hogy figyelembe veszi a pénz időértékét, így a beruházás megkezdése előtt kiszámítható a beruházás nyereségessége. A számítások során a diszkontrátát a Magyar Nemzeti Bank által becsült átlagos infláció (3%) mértékéhez igazítottam [32]. Megjegyzendő, hogy a diszkontráta meghatározása a legtöbb közgazdasági szakirodalom szerint meglehetősen bonyolult és legtöbbször becslésen alapul [33] [34].

Az erőmű üzemeltetésének, fenntartásának költségeivel kapcsolatban a szakirodalomban eltérő adatok találhatóak. A legtöbb szakirodalom a fenntartási költséget a megtermelt kWh-ra bontva adja meg, mely a szélerőmű típusától függően hozzávetőleg 0,05 €/kWh⁹ [35]. Számításaim során én ezzel az értékkel számoltam.

A megtervezett szélerőmű telepítésének húsz év múlva vett értéke: $NPV_{20} = -3\,166\,409 \text{ HUF}$, tehát az erőmű összesen 362 328 HUF hasznot termelt. Gazdasági alapelveket tekintve, amennyiben $NPV_i > 0$ akkor javasolt a beruházás megvalósítás; ha $NPV_i < 0$, akkor nem javasolt a megvalósítás, mert vagyonszétválással jár; ha $NPV_i = 0$ akkor a ráfordításaink pont megtérülnek a beruházás hozamaiból. Tehát pusztán gazdasági szempontokat figyelembe véve a szélerőmű telepítése nem javasolt, hiszen befektetésünk az erőmű élettartamának végén még mindig negatív.

A beruházás megtérülési ideje igen hosszú, bőven túlmutat a szélerőmű várható élettartamán: 150 év.

⁹ 2021. november 17-i árfolyamon 1 € = 365, 03 HUF; 1 USD = 322, 25 HUF.

Forrás: <https://www.mnb.hu/arfolyamok>

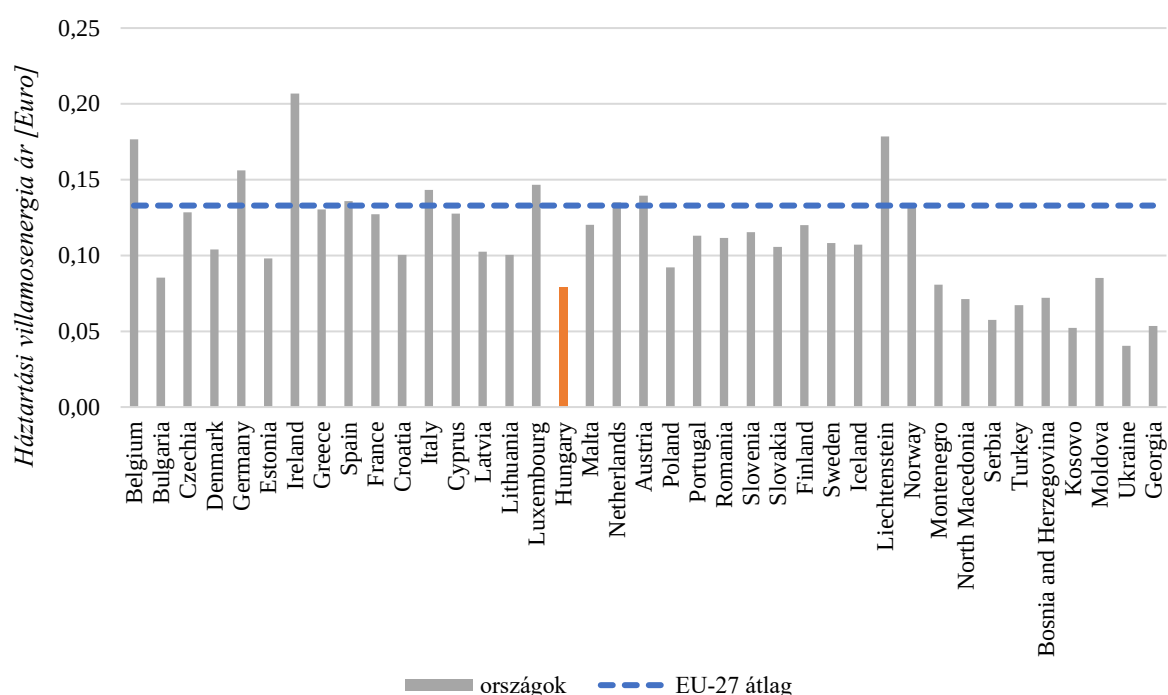
4. táblázat. A beruházás pénzügyi mozgásai a telepítéstől számított 20. évig [HUF]

Évek	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bevétel	-	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859
Kiadás	3 528 737	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504
Nettó pénzügyi mozgás	- 3 528 737	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354
Diszkontált nettó pénzügyi mozgás		23 645	22 956	22 287	21 638	21 008	20 396	19 802	19 225	18 665	18 122
Kumulált haszon		23 645	46 601	68 888	90 527	111 535	131 931	151 733	170 958	189 624	207 746
Egyenleg	- 3 505 092	- 3 482 136	- 3 459 849	- 3 438 210	- 3 417 202	- 3 396 806	- 3 377 004	- 3 357 779	- 3 339 113	- 3 320 991	

Évek	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Bevétel	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859	46 859
Kiadás	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504	22 504
Nettó pénzügyi mozgás	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354
Diszkontált nettó pénzügyi mozgás	17 594	17 081	16 584	16 101	15 632	15 177	14 735	14 305	13 889	13 484
Kumulált haszon	225 340	242 421	259 005	275 106	290 738	305 915	320 649	334 955	348 844	362 328
Egyenleg	- 3 303 397	- 3 286 316	- 3 269 732	- 3 253 631	- 3 237 999	- 3 222 822	- 3 208 088	- 3 193 782	- 3 179 893	- 3 166 409

Számításaim során az elektromos áram díját végig állandónak (bruttó 38 HUF/kWh) vettem, mivel a villamosenergia díjakat Magyarországon jelenleg jogszabályok szabályozzák (pl. 2007. évi LXXXVI. törvény a villamosenergiáról; ITM rendeletek, MEKH határozatok stb.), így változásuk kiszámíthatatlan.

Elemezve az EU-27 országok nettó (energiadíjakkal és rendszerhasználati díjakkal együttesen vett), háztartási villamosenergia árait (25. ábra) látható, hogy Magyarország a 0,0789 €/kWh egységgel jócskán az EU-27 átlag alatt van, mely 2021. első félévében 0,1329 €/kWh.



25. ábra. Háztartási villamosenergia költségek Európa országaiban, 2021. első félév [36]

Amennyiben a villamosenergia ára hazánkban is az EU-27 átlaghoz közeli lenne (~ bruttó 61 HUF/kWh), az természetesen befolyásolná a megújuló energiák, így pl. a szélenergia hasznosításának versenyképességét és megtérülését is. Az általam tervezett beruházás esetén az EU-27 átlaggal kalkulálva az $NPV_{20} = -2\,744\,485$ HUF-ra, míg a megtérülési idő 73 évre módosulna.

5 Összegzés

Szakdolgozatom keretében megvizsgáltam a modern szél erőművek működését, alkalmazási módjait, valamint előnyeit és hátrányait. Nemzetközi viszonylatban jól látható a megújuló energiaforrások, köztük a szél erőművek egyre növekvő térnyerése. Magyarországon a megújulók közül a napelemek terjedtek el nagyobb mértékben, míg a szél erőművek háttérbe szorultak. Hazánkban új, 0,5 MW-nál nagyobb teljesítményű szél erőmű a jogszabályi korlátok miatt gyakorlatilag nem építhető és a meglévők felújítása, karbantartása sincs tervben. Háztartási szinten a nap és szél közötti termelési különbség még hangsúlyosabb. Ettől függetlenül úgy ítélt meg, tanulságos lehet egy pusztán szél energiát hasznosító rendszer megtervezése.

A szükséges berendezések kiválasztása során nehézséget okozott a viszonylag alacsony átlagos szélesség, az ebből adódó túlméretezés szükségessége és a pusztán szél energiát hasznosító rendszerek ritkaságából adódó információhiány. Az egyes rendszerkomponensek kiválasztása során fontos szempont volt az ellátásbiztonság, azaz, hogy a tervezett szél erőműves rendszer a helyszínen várható átlagos szélesség esetén is termeljen annyi energiát, ami a családi ház ellátásához szükséges. Szintén az ellátásbiztonságot kívántam fokozni akkumulátor beépítésével, mely az épület villamosenergia igényét 1,5 napig képes kielégíteni.

Mindezeket figyelembe véve sikerült olyan eszközöket találnom és beterveznem, melyek megfelelnek az általam támasztott legfontosabb követelményeknek (megfelelő termelési szint elérése, ellátásbiztonság) és sikerült egy olyan rendszert kialakítanom, mely biztosítja a családi ház villamosenergia ellátását.

Elvégeztem továbbá az általam tervezett rendszer egyszerű gazdasági vizsgálatát, a nettó jelenérték kiszámítását a szél erőmű várható működési idejének tekinthető 20 éves időtartamon. Tekintve, hogy az NPV negatív lett, köznapi kifejezéssel azt mondhatjuk, hogy a beruházás „nem éri meg”, hiszen számunkra az jelentős vagyronvesztéssel jár. Ennek fő oka a túlméretezésből adódó jelentős költségnövekedés, illetve a hazánkban alacsony villamosenergia árak. A nemzetközi árak vizsgálata által kiderült, hogy más európai országokban ugyanezen rendszer megtérülési ideje akár a felére is csökkenhetne.

6 Summary

In the framework of my thesis, I examined the operation, application methods, advantages, and disadvantages of modern wind turbines. Internationally, the growing use of renewable energy sources, including wind farms, is evident. Solar panels have become more widespread among renewables in Hungary, while wind farms have been pushed into the background. Due to legal restrictions, a new wind power plant with a capacity of more than 0.5 MW cannot be built in Hungary, and no renovation or maintenance of the existing ones is planned. At the household level, the difference in production between sun and wind is even more pronounced. Nonetheless, I thought it might be instructive to design a system that utilizes only wind energy.

The selection of the necessary equipment was hampered by the relatively low average wind speed, the consequent need for oversizing, and the scarcity of information due to the rarity of wind-only systems. An essential aspect in the selection of the individual system components was the security of supply, i.e., that the planned wind power system would produce as much energy as needed to supply the family house even at the average wind speed expected on the site. I also wanted to increase the security of supply by installing a battery that can meet the building's electricity needs for 1.5 days.

Taking all this into account, I was able to find devices that met the most important requirements (achieving the right level of production, security of supply) and managed to develop a system that ensures the supply of electricity to the family house.

I also performed a simple economic examination of the system I designed, calculating the net present value over a period of 20 years, which can be considered as the expected operating time of the wind farm. Given that the NPV has become negative, we can say in common terms that the investment is "not worth it" as it involves a significant loss of assets for us. The main reason for this is the substantial increase in costs due to oversizing and the low electricity prices in Hungary. An examination of international prices has shown that the payback period of the same system could be halved in other European countries.

7 Irodalomjegyzék

1. **Our World in Data.** Share of electricity production from renewables. [Online] [Hivatkozva: 2021. október 18.] <https://ourworldindata.org/grapher/share-electricity-renewables?tab=table>.
2. **Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal.** Bruttó villamosenergia-termelés éves adatai 2014-2019. [Online] [Hivatkozva: 2021. október 10.] <http://www.mekh.hu/eves-adatok>.
3. —. Eurostat típusú országos részletes energiamérleg (éves) 2014-2019. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. október 10.] <http://www.mekh.hu/eves-adatok>.
4. **Global Wind Energy Council.** *Global Wind Report 2021*. Brüsszel : Global Wind Energy Council, 2021.
5. **Tóth, László.** *Hagyományos és megújuló energiarendszerek*. Budapest : Szaktudás Kiadó Ház, 2016.
6. **Kádár, Péter.** *Szél erőművek*. Budapest : Óbudai Egyetem, 2015.
7. **Munkácsy, Béla.** *Szélerőenergia a 21. században - és Magyarországon*. Budapest : Energiaklub Szakpolitikai Intézet és Módszertani Központ, 2020.
8. **Bartek-Lesi, Mária, és mtsai.** *Megújulóenergia-felhasználás Magyarországon*. Budapest : Corvinus Egyetem, 2019.
9. *Visual Impact Assessment of Wind Turbines on Landscape in Šilalė Region.* **Abromas, Jonas, Grecevicus, Petras és Peikienė, Nijolė.** [szerk.] Asta Raupelienė. 2015. Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development 2015. kötet.
10. **World Wind Energy Association.** Global wind installations. [Online] [Hivatkozva: 2021. április 14.] <https://library.wwindea.org/global-statistics/>.
11. **Our World in Data.** Wind power generation, 2020. [Online] [Hivatkozva: 2021. május 10.] <https://ourworldindata.org/grapher/wind-generation?tab=chart>.
12. **Országos Meteorológiai Szolgálat.** Magyarország szél viszonyai. [Online] [Hivatkozva: 2021. április 20.] https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/.
13. **Global Wind Atlas.** [Online] [Hivatkozva: 2021. április 20.] <https://globalwindatlas.info/>.

14. **Jogszabály.** 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről. [Online] [Hivatkozva: 2021. szeptember 04.] <https://njt.hu/jogszabaly/1997-253-20-22>.
15. **Nyíregyháza MJV Polgármesteri Hivatala.** Nyíregyháza megyei jogú város hatályos településrendezési eszközei. [Online] 2020. [Hivatkozva: 2021. 10 12.] <http://varoshaza.nyiregyhaza.hu/varoshaza/telepuelesrendezesi-terv?jjj=1638275640662>.
16. **Innovációs és Technológiai Minisztérium.** *Nemzeti Energia- és Klímaterv.* Budapest : Innovációs és Technológiai Minisztérium, 2019.
17. **E.ON.** HMKE Hírek, információk. [Online] [Hivatkozva: 2021. április 20.] <https://www.eon.hu/hu/hmke.html>.
18. **Alföldi, Gábor, és mtsai., [szerk.].** *A magyar villamosenergia-rendszer 2019. évi adatai.* Budapest : Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, 2020.
19. **E-KÖZMŰ.** Közműtérkép. [Online] [Hivatkozva: 2020.. október 26.] <https://ekozmu.e-epites.hu/alkalmazas/lakossag/menu/terkep/tajekoztatas/kozmuterkep>.
20. **Avant Garde Innovations.** Avatar 3kW. [Online] 2019. [Hivatkozva: 2021. 10 12.] <https://avantgarde.energy/product/avatar-5kw/avatar-3kw/>.
21. **Indimart.** Avatar III 3kW. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 10 12.] <https://www.indiamart.com/proddetail/avatar-iii-3kw-21576611030.html>.
22. **OSM.** Wall mounted 48v Lifepo Battery. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 10 12.] <https://osmbattery.com/portfolio-items/48v-lifepo4-5kwh-energy-storage-system-battery/>.
23. **E.ON.** Alkalmazható inverterek listája. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 10 12.] <https://www.eon.hu/content/dam/eon/eon-hungary/documents/hmke/nyomtatvanyok/alkalmazhato-inverterek-listaja.pdf>.
24. **Studer Innotec.** XTM 4000-48. [Online] [Hivatkozva: 2021. 10 12.] <https://www.studer-innotec.com/en/product-details/xtender-series/xtm-4000-48-298>.
25. **Elektrikstore.** Erőátviteli / földkábel NYY 1x95. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 11 20.] <https://elektrikstore.hu/Eroatviteli-foldkabel-NYY-O-E-YY-O-1x95-mm2-fekete-sodrott->

rez-PVC-szigetelesu-0-6-

1K?utm_source=argep.hu&utm_medium=cpc&utm_campaign=price_comparison_site&utm_term=25201095.

26. —. Erőátviteli / földkábel NY 4x16. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 11 20.] <https://elektrikstore.hu/Eroatviteli-foldkabel-NYY-J-E-YY-J-4x16-mm2-fekete-tomor-rez-PVC-szigetelesu-0-6-1Kv->.

27. —. EATON 170485. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 11 26.] <https://elektrikstore.hu/Eaton-170485-SPDT3-280/2-komplett-tulfesz-levezeto>.

28. —. EATON 148599. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 11 26.] <https://elektrikstore.hu/Eaton-148599-FCFBD02DI-1-Olvadobiztosito-aljzat-D>.

29. —. EATON 288946. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 11 26.] <https://elektrikstore.hu/Eaton-288946-Z-D02/SE-63-Olvadobiztosito-betet-D02>.

30. —. EATON 194727. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 11 26.] <https://elektrikstore.hu/Eaton-194727-HL-B63/1-Kismegszakito-1P-63A-B-karak>.

31. —. EATON 194726. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. 11 26.] <https://elektrikstore.hu/Eaton-194726-HL-B50/1-Kismegszakito-1P-50A-B-karak>.

32. **Magyar Nemzeti Bank.** Gyors helyreállítás és 2022 elejétől mérséklődő infláció. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. október 25.] <https://www.mnb.hu/letoltes/ir-infografika-2021-09-hu.pdf>.

33. *A kalkulatív kamatláb ("diszkontráta") meghatározásának ajánlott és alkalmazott módszerei.* **Szücsné Dr. Markovics, Klára.** (4), 2014., Controller Info, II. évf., kötet, old.: 8-13.

34. **A. Brealey, Richard és C. Myers, Stewart.** *Modern vállalati pénzügyek.* Budapest : Panem Könyvkiadó, 2005.

35. *Determination of wind potential characteristics and techno-economic feasibility analysis of wind turbines for Northwest Africa.* **Boudy, Bilal, és mtsai.** Vol. 218, 2021., Energy, old.: 119558. ISSN 0360-5442.

36. **Eurostat.** Electricity prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards).

[Online] [Hivatkozva: 2021. november 15.]

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_204/default/table?lang=en.

37. **European Wind Energy Association.** Wind Energy - Operation and Maintenance Costs of Wind Generated Power. [Online] 2021. [Hivatkozva: 2021. szeptember 25.]

<https://www.wind-energy-the-facts.org/operation-and-maintenance-costs-of-wind-generated-power.html>.

8 Ábrajegyzék

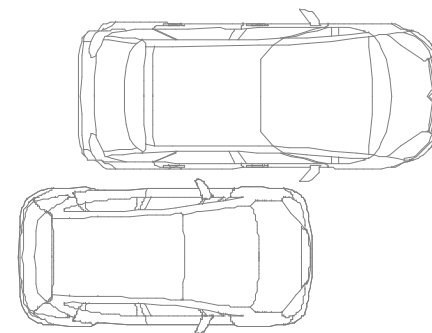
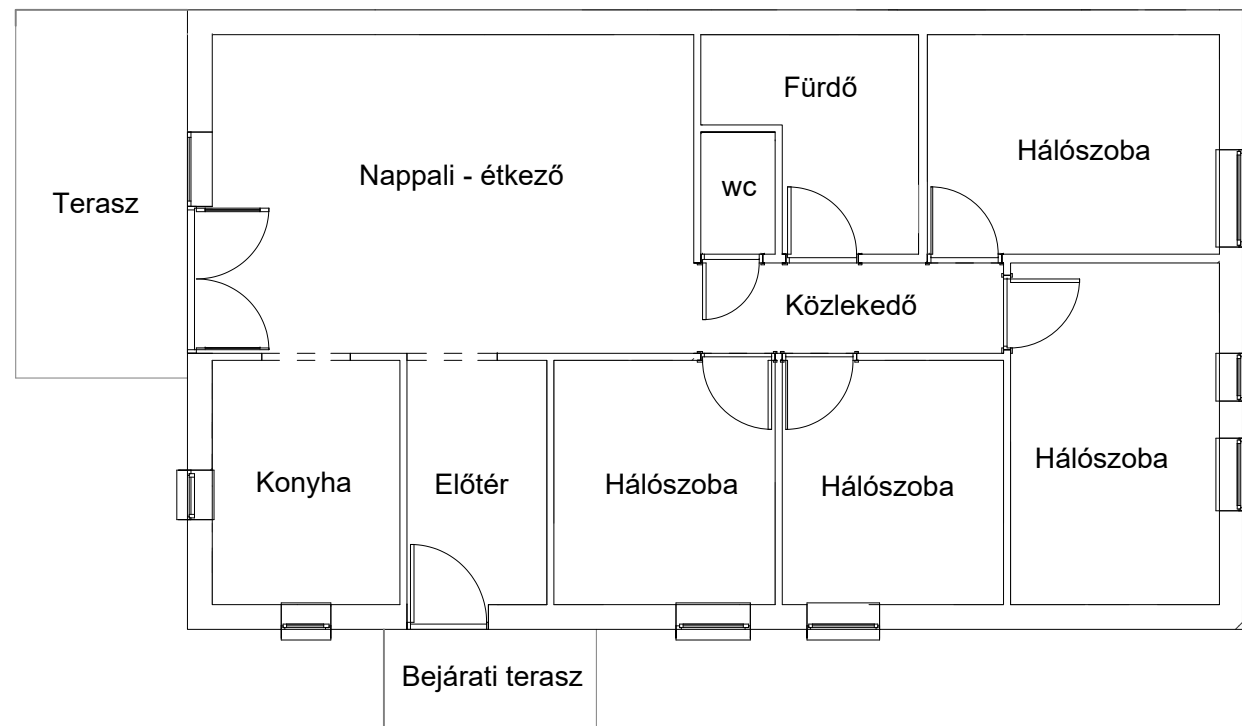
1. ábra. A bruttó villamosenergia termelés energiahordozóinak megoszlása Magyarországon (2020) [2].....	4
2. ábra. Az egyes ágazatok részesedése a végső energiacélú felhasználásból [3]	5
3. ábra. A dolgozat felépítése, célkitűzései	6
4. ábra. Szélerőmű részei [5].....	8
5. ábra. Példa egy szélerőmű teljesítménygörbéjére	9
6. ábra. Szélerőmű által generált zaj a távolság függvényében [5]	10
7. ábra. Tájkép szélerőművekkel.....	11
8. ábra. Szélturbinák láthatósága különböző esetekben [9]	12
9. ábra. Lapátok fényvisszaverő csíkokkal.....	13
10. ábra. Szélerőművek globális beépített teljesítménye [MW] [10].....	13
11. ábra. Beépített teljesítmény eloszlása kontinensek szerint [MW] [10].....	14
12. ábra. Szélerőművek által termelt villamosenergia-termelés változása (2014-2020) [2]....	14
13. ábra. Az évi átlagos szélesebségek [m/s] és az uralkodó szélirányok Magyarországon (2000-2009).....	15
14. ábra. Szélenergia potenciál Magyarországon 150 méteren [13]	16
15. ábra. Nagy teljesítményű szélerőmű telepítésének szempontjából tiltott területek (saját ábra)	17
16. ábra Kis szélerőművek	19
17. ábra. Háztartási méretű kiserőművek teljesítőképessége Magyarországon, 2011-2019 [MW] [18]	20
18. ábra. Szélenergia potenciál Magyarországon 10 méteren [13]	20
19. ábra. Nyíregyháza-Vargabokor műholdas nézet [19]	21
20. ábra. Képernyőkép a kiválasztott helyszín szélviszonyairól [13]	22
21. ábra. Az eszközök kiválasztásának folyamata	23
22. ábra. Energia áramlási irányok (saját ábra).....	28
23. ábra. Kábelméretezés lépései	29
24. ábra. A tervezett rendszer elvi felépítése (saját ábra).....	33
25. ábra. Háztartási villamosenergia költségek Európa országaiban, 2021. első félév [36]	38

9 Táblázatjegyzék

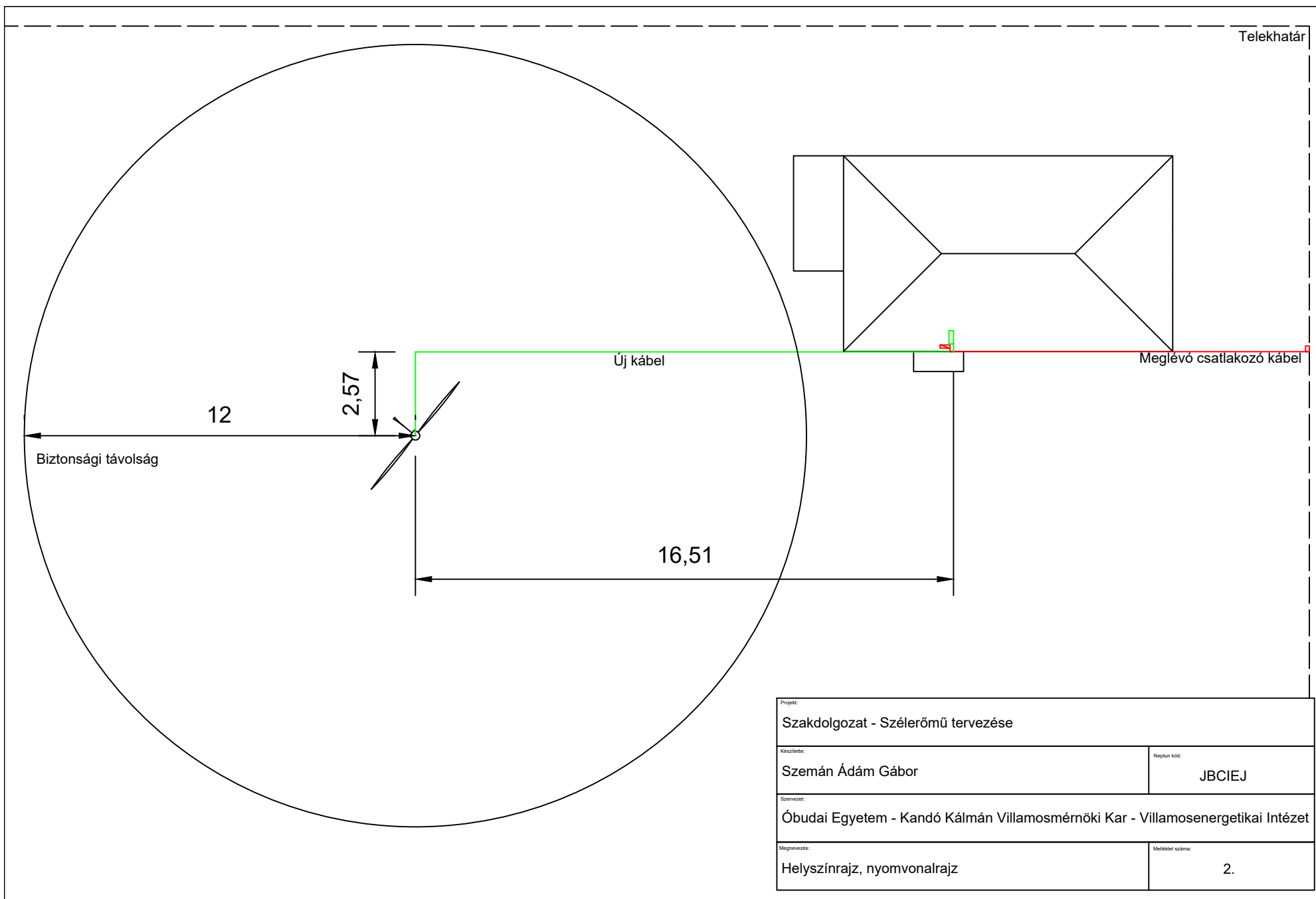
1. táblázat. Háztartási méretű kiserőművek teljesítőképessége Magyarországon, 2016-2019 [MW] [18]	19
2. táblázat. A választott lakóépület havi villamosenergia fogyasztása [kWh]	23
3. táblázat. A szél erőmű létesítésének költségei	35
4. táblázat. A beruházás pénzügyi mozgásai a telepítéstől számított 20. évig [HUF]	37

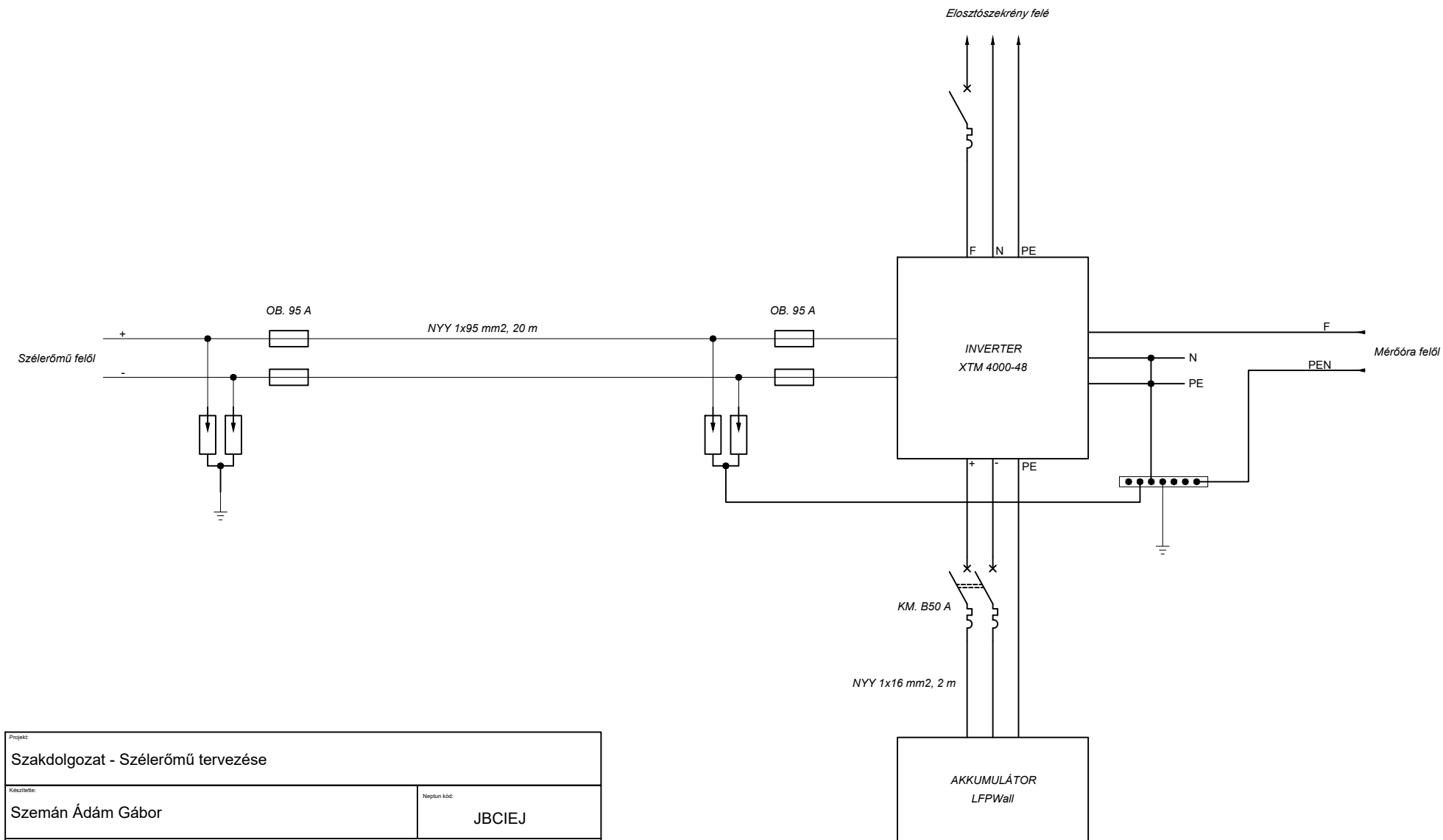
10 Mellékletek

1. Az épület alaprajza
2. Helyszínrajz, nyomvonalrajz
3. Egyvonalas rajz



Projekt: Szakdolgozat - Szélerőmű tervezése	
Készítette: Szemán Ádám Gábor	Neptun kód: JBCIEJ
Szervezett: Óbudai Egyetem - Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar - Villamosenergetikai Intézet	
Megnevezés: Az épület alaprajza	Melléklet száma: 1.





Projekt: Szakdolgozat - Szélérőmű tervezése	
Készítette: Szemán Ádám Gábor	Neptun kód: JBCIEJ
Szervezett: Óbudai Egyetem - Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar - Villamosenergetikai Intézet	
Megnevezés: Egyvonalas rajz	Melléklet száma: 3.