



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT



ÓE-KVK

Hallgató neve: Horváth Dániel Attila

2021.

Hallgató törzskönyvi száma: T008123/FI12904/K



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Horváth Dániel Attila
Szakedolgozat száma: SZD21090213459009
Törzskönyvi száma: T008123/FI12904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: villamosmérnöki
Specializáció: Villamosenergetikai specializáció

A dolgozat címe: 5 MW-os napelempark tervezése Velence Város részére
A dolgozat címe angolul: 5 MW capacity solar park for the city of Velence
A feladat részletezése: 1. Napelempark tervezett helyszínének ismertetése
2. A panelek és berendezések kiválasztása
3. Kábelhálózat méretezése
4. Hálózatra való csatlakozás kialakítása
5. Védelmek és monitoring rendszer

A kiadott téma elévülési határideje: -

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

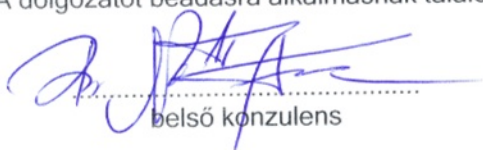
A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 12. 13.

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. 12.14.

Kandó Kálmán

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Bevezető	1
1. A terület bemutatása, teljesítmény meghatározása	2
1.1 A település energiaigénye	2
1.2 A terület kiválasztása	2
2. Eszközök kiválasztása.....	4
2.1. A napelem modulok	4
2.2 Inverter	5
2.3. Tartószerkezet és elrendezés	7
2.4. Transzformátor	10
3. Kábelek méretezése.....	14
3.1 Sztring és DC gyűjtődoboz között	14
3.2. DC gyűjtőtől inverterig	15
3.3 Inverterről transzformátorig.....	16
4. Védelmek	16
4.1. Túláramvédelem.....	16
4.1.1 DC oldal	16
4.1.2 AC oldal KIF-en.....	17
4.1.3. AC oldal KÖF-n	19
4.2 Áramütéselleni védelem.....	20
4.3 Villámvédelem	21
4.4 Vagyonvédelem.....	22
4.5 Mérő-, és monitoring rendszer	23
5. Hálózatra való csatlakozás	24
Összefoglaló	25
Summary	26
Irodalomjegyzék.....	27
Ábrajegyzék	28

Bevezető

Dolgozatom témája egy 5 MW teljesítményű napelem park tervezése, amelyet több indok miatt választottam. A jelenlegi társadalom egyik jellemzője az állandó energiaéhség. Hagyományos erőműveket már nem igazán éri meg létesíteni, egyre nagyobb a nyomás az alternatív energiaforrások használatára. Erre az egyik kitűnő módszer a napelemek telepítése. Kis koromtól kezdve, több mint 20 évig éltem Velence városban, és idővel feltűnt, hogy a település körül rengeteg kihasználatlan terület fekszik. Adta magát az ötlet, hogy a fenti két problémát egyszerre orvosolhassuk. Ha az ötletem megvalósulhatna, akkor egy olyan energiaforrással gazdagodhatna a város, amely, ha kiváltani nem is tudná teljesen az energiaigényeket, de mindenképpen segítené a környezettudatosabb energiafelhasználást a városban.

1. A terület bemutatása, teljesítmény meghatározása

1.1 A település energiaigénye

Velence egy 8000 lelket számoló kisváros, amely 50 kilométerre a fővárostól. A KSH legutolsó felmérése szerint 2200 fogyasztói ponttal rendelkezett a település [1], viszont ebből sok a nyaraló. Egy napelempark a legnagyobb teljesítményét nyáron tudja leadni pont, amikor a lokális fogyasztás is megnő a nyaralók miatt. Szintén a KSH mérései alapján az egy fogyasztói pontra eső felvett energia 1463 kWh [2]. Ebből könnyen meghatározhatjuk az egész település energiaigényét:

$$1463 \text{ kWh} \cdot 2200 = 3218,6 \text{ MWh}$$

Napelemekkel ekkora energiaigényt nem lehet kiszolgálni, illetve a település elhelyezkedése sem ad nagy mozgásteret a szóba jöhető területek kiválasztásakor. Mivel az összes alállomás messze van, saját alállomást pedig nem éri meg létesíteni, ezért a hálózatra való csatlakozás miatt csak egy 5 MW összteljesítményű napelempark építése lehetséges.

1.2 A terület kiválasztása

Először felvettem a kapcsolatot a helyi önkormányzattal, akik két potenciális területet is javasoltak. Mindkettő jelenleg kihasználatlan, de vannak lényegi eltérések közöttük. Az első egy volt szeméttlerakó telep, de sajnos több szempontból sem lenne megfelelő. Egyrészt viszonylag kicsi, mindössze 3 hektáros, másodrészt rengeteg környezeti átalakítással járna, hogy kivitelezhető legyen egy napelempark.

A másik terület az előző rendszer idejében laktanyaként szolgált, a rendszerváltás után viszont több telekre lett szétosztva. Lényegesen nagyobb, közel 8 hektáros,

beépítettsége nem éri el az 1%-ot_[4]. A szóban forgó telekhez magánút vezet és ami talán még fontosabb, a korábbi felhasználási módból adódóan már rendelkezik egy kiépített 20 kV-os szabadvezetékkel, amely pont a város felé halad.

A fentebbiek alapján a volt laktanya területe ideálisabb lenne egy napelempark megvalósítására, mind a területnagysága, mind pedig a hálózatra való csatlakozás szerint is.



1.2/1. ábra: 050/4 Hrsz telek_[3]

A volt laktanya a 050/4-s helyrajzi számmal jelölt terület, amelyhez a 050/7-es helyrajzi számmal rendelkező közforgalom elől elzárt magánút, amely a Velencét Pusztaszabolccsal összekötő útról vezet a volt laktanya felé [3].

2. Eszközök kiválasztása

2.1. A napelem modulok

Mivel a maximum teljesítményünk nem haladhatja meg az 5 MW-ot és a területünk sem olyan hatalmas, így érdemes nagyteljesítményű modulokat választani. Az ilyen napelemek általában monokristályos kialakításúak. Ennél a technológiánál a cellákat olyan szilíciumból alakítják ki, amely egyetlen tömböt alkot. A monokristályos napelemek jobban teljesítenek a direkt napfényben, mint a szórt fényben. Továbbá, olyan panelre van szükség, amely jól bírja a környezeti hatásokat. A kiválasztott modellnek a fentebbi feltételeknek kell megfelelnie, a választás a Phono Solar Twinplus PS450M4-24/TH típusú modelljére esett [5]. A modul a következő paraméterekkel rendelkezik:

Teljesítmény (P_{mpp}):	455 W
Munkaponti áram (I_{mpp}):	10,94 A
Munkaponti feszültség (U_{mpp}):	41,6 V
Rövidzárlati áram (I_{SC}):	11,47 A
Üresjárási feszültség (U_{OC}):	49,37 V
Hőmérsékleti együttható üresjárási feszültségen 25 °C-n:	-0,3%
Hőmérsékleti együttható rövidzárási áramon 25 °C-n:	0,05%
Cella technológia:	monokristályos

2.1./1. ábra: A napelem modul adatai [5]

2.2 Inverter

A napelemparkot úgy próbáltam megtervezni, hogy lehetőleg minél kisebb modulokból álljon. Úgy gondoltam előnyösebb, ha jobban szét van tagolva a rendszer, mert meghibásodás esetén nem esik ki a hálózathoz az egész rendszer, illetve könnyebb lenne a karbantartás is. Az inverter kiválasztásakor szempont volt a viszonylag kevés bemenet szám, és a nagy teljesítmény. Ezeknek megfelel a Fronius Tauro Eco 100-3-D eszköze, amely a következő paraméterekkel rendelkezik [17]:

Bemenet

Feszültségtartomány:	580-930 V
Max bemeneti feszültség:	1000 V
Max bementi áram:	355 A
Max DC teljesítmény:	150 000 W
MPP-trackerek száma:	1
Bemenetek száma:	3

2.2./1. ábra: Inverter bemeneti oldalának adatai [17]

Kimenet

AC névleges teljesítmény:	100 000 W
AC maximális teljesítmény:	100 000 VA
Min. cosφ:	0,10
Max. hatásfok:	98,5%

2.2./2. ábra: Kimeneti oldal adatai [17]

A bemenetek számából adódik a sztring kiosztás is, amelynek a meghatározásában segítségemre volt a Fronius kalkulátora. Egy bemenetre négy sztring fog kapcsolódni, és

egy-egy sztringben 17 darab napelem panel lenne elhelyezve. Ez a következő bemeneti teljesítményt fogja jelenteni [6]:

$$4 \times 17 \times 455 \text{ W} = 30,94 \text{ kW bemenetenként, illetve}$$

$$3 \times 30,94 \text{ kW} = 92,82 \text{ kW inverterenként [6].}$$

A bemenetekhez egy kábel segítségével juttatnám el az energiát oly módon, hogy a 17 panelből álló sztringekből négyet egy DC gyűjtő dobozban fognék össze, majd onnan vezetném az inverter bemenetéig. A layout működését ellenőrizendően érdemes elvégezni a következő számítást [10]:

A legnagyobb feszültség akkor fog fellépni, amikor az évben a leghidegebb van [10].

$$T_1 = -25 \text{ °C}$$

$$U_{0C} = 49,37 \text{ V}$$

$$STC = 25 \text{ °C}$$

$$\Delta T = T_1 - STC_{[10]} = -25 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = -50 \text{ °C}$$

$$U_{0C} + (\Delta T \cdot k U_{0C}) / 100 \cdot U_{0C [10]} = 49,37 + (-50 \cdot (-0,3)) / 100 \cdot 49,37 = 56,77 \text{ V}$$

17 modul esetén $17 \cdot 56,77 = 965,09 \text{ V}$, az inverter maximális feszültsége 1 kV, tehát ez a sztring kiosztás alacsony hőmérsékleten is működik.

A legkisebb feszültség akkor lép fel, ha a legmelegebb nap van az évben, és így sokkal nagyobb a cellák hőmérséklete is [10].

$$T_1 = 75 \text{ °C}$$

$$U_{0C} = 49,37 \text{ V}$$

$$STC = 25 \text{ °C}$$

$$\Delta T = T_1 - STC_{[10]} = 75 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 50 \text{ °C}$$

$$U_{0C} + (\Delta T \cdot k U_{0C}) / 100 \cdot U_{0C [10]} = 49,37 + (50 \cdot (-0,3)) / 100 \cdot 49,37 = 41,9 \text{ V}$$

17 modulnál ez $17 \cdot 41,9 = 713,5 \text{ V}$, bőven a feszültség határon belül vagyunk.

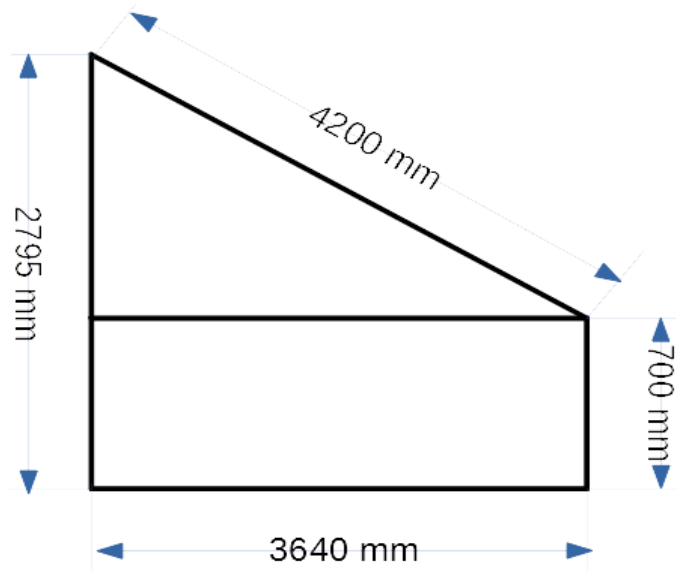
A fenti számítások szerint a Fronius Tauro Eco 100-3-D alkalmas a neki szánt feladat ellátására.

2.3. Tartószerkezet és elrendezés

Tartószerkezetnek a Magyarországon az egyik leggyakrabban alkalmazott Würth tartószerkezetet választottam, amely minden eleme vagy alumíniumból vagy pedig edzett acélból készül, hogy a minél tartósabban ellen tudjon állni a környezeti viszonyoknak [7].

Egy sztringben 17 darab napelem tábla helyezkedne el úgy, hogy egymás alatti két sorban lennének elhelyezve, a felső sorban kilenc, az alsó sorban pedig nyolc táblával, és ezek lennének sorba kötve.

Adja magát a kérdés, hogy milyen messzire helyezhetünk el egymás mögé két sztringet úgy, hogy ne árnyékolják be egymást. A következő számítás segíthet a kérdés megoldásában:



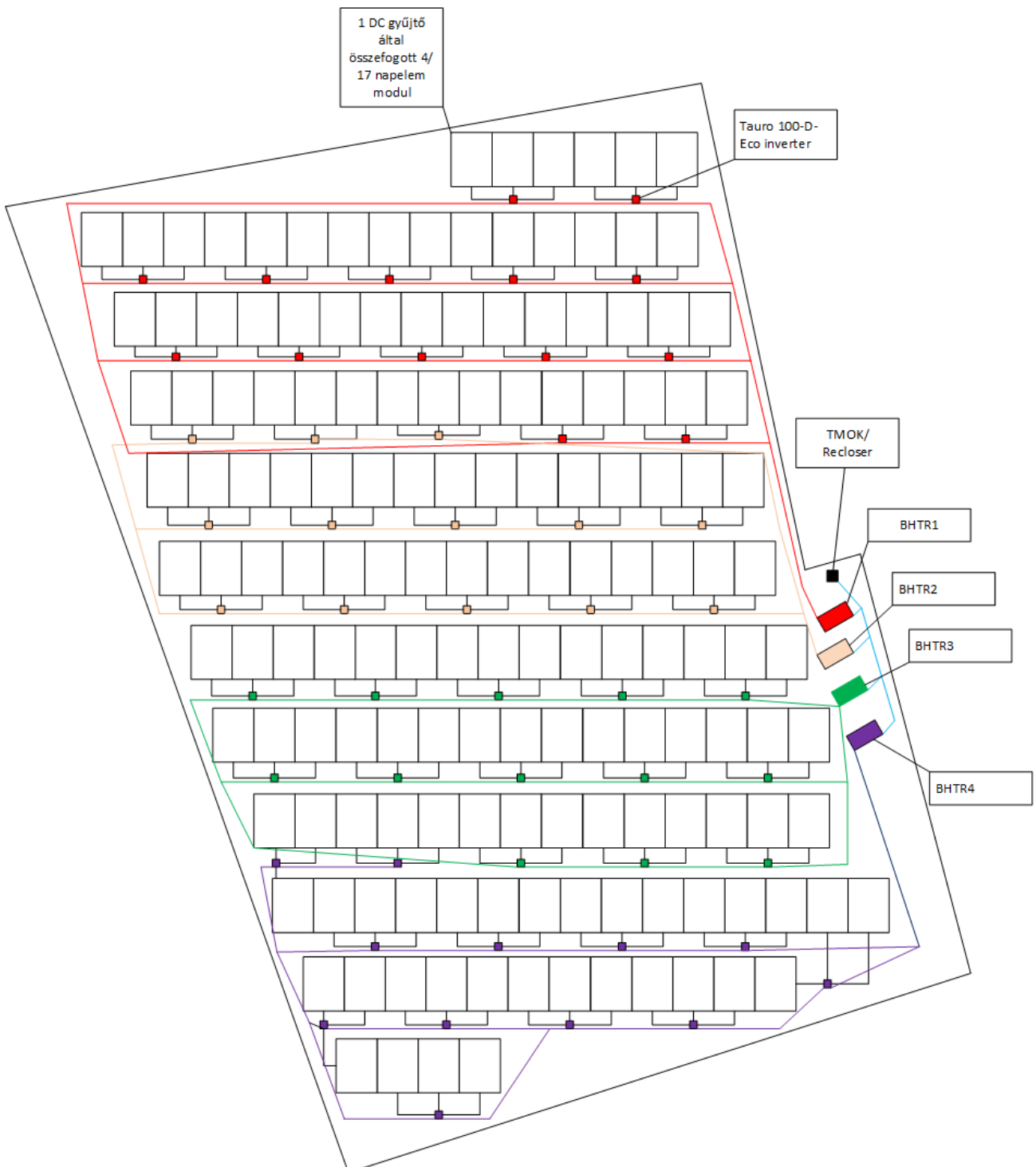
2.3./1. ábra: Napelem sztring oldalnézete, saját készítés

A földtől 70 centiméterre helyezkednének el a napelemek alja, 30°dőlésszöggel, déli tájolással, így a napsugarak legrosszabb beesési szöge téli napfordulókor lehetséges, amely 19°-t jelent. Ebben az esetben:

$$a = 2795 - 700 = 2095 \text{ mm}$$

$$\alpha = 19^\circ$$

$$\gamma = 180^\circ - 90^\circ - 19^\circ = 71^\circ$$



2.3./3. ábra: Naperőmű elvi rajza, saját készítés

2.4. Transzformátor

A naperőmű egyik legfontosabb eleme a megfelelő transzformátor. Olyan transzformátorra lenne szükségünk, amely kompakt, megbízható, könnyen karbantartható és nem egy főtranszformátorral szeretném a közép feszültségre való emelést megoldani, hanem legalább négy darab, egymástól független berendezéssel. A célom ezzel az, ha esetleg meghibásodás vagy karbantartás miatt az egyik transzformátor kiesne a hálózathoz, akkor ne az egész erőművet kelljen lekapcsolni, hanem csak egy részét. A fenti feltételeknek teljesen jól megfelel a Mátrai Erőműnél is alkalmazott BHTR típus, az Energobit cég által fejlesztett és telepített Robust Solar 1,250 MVA-s, belső kezelőterű transzformátor állomása [9].

Szintén a transzformátorhoz tartozik egy Energobit által kifejlesztett fémtokozott kapcsolóberendezés, amelyet kifejezetten ehhez a típushoz fejlesztettek ki [9]. A Mod 6 kapcsolóberendezés légszigetelésű, íválló, továbbá moduláris felépítésű, ezáltal karbantartása és javítása is egyszerű [9]. A kapcsoló berendezések 3 cellából állnak, 2 darab szakaszolókapcsolós betáp cellából, 1 darab IMP fix, beépített megszakítóval rendelkező cellából áll [9]. A kapcsoló berendezés névleges feszültsége 22 kV, névleges árama 630 A, és a névleges termikus határárama 16 kA [9].



2.4./1. ábra: Robust 1,25 MVA BHTR [9]

1.1	Gyártó			Energobit
1.2	Mező típus			...
1.3	Hivatkozott szabvány			IEC 60298
2	MŰSZAKI ADATOK			
2.1	Névleges feszültség		kV	22
2.2	Névleges maximális feszültség		kV	24
2.3	Névleges frekvencia		Hz	50
2.4	Névleges áramerősség, Gyűjtősin		A	630
2.5	Termikus hátáram (1 s)		kA	16
2.6	Szigetelési feszültség szint 50 Hz/1 mn (kV eff.)		kV	50
2.7	Szigetelési feszültség szint 1.2/50 μ s (kV csúcs)		kV	125
2.8	Fázisok száma			3
2.9	Fémtokozás által biztosított védelem			IP 3X
2.10	Az alállomás típusa			belső
3	MÉRETEK			
3.1	LM szakaszolókapcsoló, motoros hajtású betáp/leágazó cella			
	a) mélység		mm	1100
	b) szélesség		mm	500
	c) magasság		mm	1600+252

2.4./1. táblázat: A BHTR műszaki adatai [9]

ECO-T oil immersed transformer - three phase - outdoor use - without enclosure (IP00) ECO-T olajszigetelésű transzformátor - három fázisú - kültéri kivitel - burkolat nélkül (IP00)					
According to IEC 60076-1 standard – Az IEC 60076-1 szabvány szerint -			ECO A0Bk(Al/Al)		Losses veszteségű
Rated power (ONAN): Névleges teljesítmény (ONAN):	1250	kVA	Vector group: Kapcsolási csoport:	Dyn5	
Frequency: Frekvencia:		50 Hz	Windings HV/LV: Tekercselés KÖF/KIF:	Al/Al	
Rated high voltage: Névleges primer feszültség:	22000	V	Rated low voltage: Névleges szekunder feszültség:	420	V
Rated HV insulation level: Névleges szigetelési szint:	24	kV	Rated LV insulation level: Névleges szigetelési szint:	1.1	kV
Applied voltage to industrial freq.: Ipari frekvenciás próbafezültség:	50	kV	Applied voltage to industrial freq.: Ipari frekvenciás próbafezültség:	10	kV
B.I.L. (1,2/50 µs) :	125	kV	B.I.L. (1,2/50 µs) :	N/A	kV
HV tapping from 5 position: (de-energized) KÖF megcsapolás 5 pozícióból: (feszültség mentesen)	+/- 2.5	%			
High voltage connections Középfeszültségű csatlakozók	Porcelain bushings-DIN42531 Porcelán, DIN 42531		Low voltage connections Kisfeszültségű csatlakozók	Porcelain bushings-DIN42530 Porcelán, DIN 42530	
Connections type: Csatlakozók típusa:			Connections type: Csatlakozók típusa:		
Cables incoming: Csatlakozók elhelyezkedése:	Top A burkolaton		Cables incoming: Elhelyezkedése:	Top A burkolaton	
Number of connections: Csatlakozók száma:	3		Number of connections: Csatlakozók száma:	4	
Electrical characteristics Villamos paraméterek			Site conditions Környezeti feltételek		
No load losses: Üresjárási veszteség:	950	W	Altitude: Telepítési magasság:	<=1000 m	
Load losses at (ONAN) 75°C: Rövidzárási veszteség (AN) 75°C-on:	11000	W	Maximum ambient temperature: Legmagasabb környezeti hőmérséklet:	40°C	
Impedance voltage: Rövidzárási feszültség:	4	%	Minimum ambient temperature: Legalacsonyabb környezeti hőm.:	-25°C	
Tolerances: Tűrések:	According to IEC 60076-1 and ecodesign" EU rules, (EU) No 548/2014 of 21.05.2014 IEC 60076-1 szabvány szerint és" ecodesign" (EU) No 548/2014 of 21.05.2014		Daily average temperature: Napi átlag hőmérséklet:	30°C	
Thermal characteristics Hőmérsékleti paraméterek			Yearly average temperature: Éves átlag hőmérséklet:	20°C	
Thermal insulation class: Hőmérsékleti szigetelési osztály:	Class F F osztály		Electrostatic screen: Elektrosztatikus háló:	No	
Windings temperature rise: Tekercs hőmérséklet emelkedés:	65 K		Rectifier supply: Egyenirányító táplálás:	No	
Oil temperature rise: Olaj hőmérséklet emelkedés:	60 K				

2.4./2. ábra: Az olajszigetelésű transzformátor műszaki adatai [9]

MOD 6 KÖF Kapcsolóberendezések	MOD 6 24 KV 630 A 16 KA moduláris felépítésű, beltéri, légszigetelésű, íválló, fémtokozott kapcsolóberendezés. LM szakaszolókapcsolós (terheléskapcsoló), motoros hajtású betáp/leágazó cella SAREL IM6 24 kV motoros hajtású 3 pozíciós szakaszolókapcsoló: zárt, nyitott, földelt és földelőkapcsoló. A szakaszolókapcsoló motoros hajtása a telemechanikai rendszerbe való egyszerű beillesztést biztosítja	darab	2
	MOD 6 24 KV 630 A 16 KA moduláris felépítésű, beltéri, légszigetelésű, íválló, fémtokozott kapcsolóberendezés. IMPt fix, beépített vákuummegszakítóval és védelemmel ellátott transzformátor betáplálás. SAREL IM6 24 kV kézi hajtású 3 pozíciós szakaszolókapcsoló (terheléskapcsoló): zárt, nyitott, földelt és földelőkapcsoló. Vákuummegszakító típusa ABB VD4-R. A megszakító motoros hajtású, 24 Vcc. 3 darab beltéri áramváltó, 3 darab beltéri feszültségváltó Védelem SEL 751-A.	darab	1
Kelékek	Hajtókar	pcs.	1
	Feszültségérzékelő/kijelző	pcs.	3
	Földzárlat kijelző típusa EKL 3.1 betáp/leágazó cellák számára.	pcs.	2

2.4./2. táblázat: Kapcsolóberendezés műszaki adatai [9]

Ahogy az a fenti táblázatból látszik, a kapcsolóberendezés több, cserélhető modulból áll, amelyek között saját, beépített zárlati védelem is található.

3. Kábelek méretezése

A naperőműben rengeteg kábel segítségével továbbítanánk az energiát, de nem mindegy, hogy a különböző feladatok ellátásához, mekkora keresztmetszetű kábelre van szükségünk.

3.1 Sztring és DC gyűjtődoboz között

A kábeleket feszültségesésre kell méreteznünk, amelyben a következő képlet van segítségünkre [8]:

$$A = (\rho * I_N * l_{\max}) / e \text{ [8]}, \text{ ahol}$$

e – mértékadó feszültség

ρ – réz kábel sűrűsége ($0,0175 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$)

I_N – vezetőre eső névleges áram (A)

$l_{\max}$ – a leghosszabb vezető (m)

A sztring és DC gyűjtő közötti távolság nagyjából 8 méter, a mértékadó feszültségünket pedig a megengedett százalékos feszültség esés és legnagyobb feszültség alapján határozzuk meg, amelyet 1%-nak választunk.

$$e = (\varepsilon/100) * (U/2) \text{ [8]} = 0,01 * (17*49,37/2) = 4,19 \text{ V}$$

Ebből következik a keresztmetszet:

$$A = (0,0175 * 10,94 * 8) / 4,19 = 0,37 \text{ m}^2$$

Ehhez a mérethez a legközelebbi szabványméret $0,75 \text{ mm}^2$.

A kábeleket melegedésre is ellenőriznünk kell, az ehhez szükséges adatokat a lenti táblázat foglalja össze. A táblázat alapján elég lenne nekünk egy $0,5 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű kábel, de napelemes rendszereknél előírás a minimum 4 mm^2 kábelek alkalmazása, így mi is ezt választjuk [18].

A vezető keresztmetszete mm²	Megengedett terhelés „A” www.novill.hu						Biztosító betétek
	A csoport		B csoport		C csoport		
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	
0.5	7	-	10	-	13	-	-
0,75	10	-	13	-	16	-	-
1	12	-	16	-	20	-	6
1.5	16	13	20	17	25	22	10
2.5	21	16	27	21	34	27	16
4	27	21	36	29	45	35	20
6	35	27	47	37	57	45	25
10	48	36	65	51	78	61	35
16	63	51	87	68	104	82	50
25	83	65	115	90	137	107	63
35	110	86	143	112	168	132	80
50	140	110	178	140	210	165	100
70	175	140	220	173	260	205	125
95	215	175	265	210	310	245	160
120	255	205	310	245	365	285	200
150	295	235	355	280	415	330	250
185	340	270	405	320	475	375	315
240	400	300	480	380	560	440	400
300	470	375	555	435	645	510	500
400	570	455	690	540	770	605	630
500	660	530	820	640	880	690	-

3.1./1. ábra: Kábelek melegedési táblázata [13]

3.2. DC gyűjtőtől inverterig

A gyűjtődobozoktól az inverterekig is méreteznünk kell a kábeleket, 2 dolog változik itt, az áramerősség és a távolság, minden más hasonlóan számolandó, mint az előző esetben. Az inverter és a gyűjtődoboz közötti legnagyobb távolság 18 méter, a legnagyobb áram pedig $4 \cdot 10,94$ A. Ezek alapján:

$$e = (\varepsilon/100) \cdot (U/2)_{[8]} = 0,01 \cdot (17 \cdot 49,37/2) = 4,19 \text{ V}$$

$$A = (0,0175 \cdot 4 \cdot 10,94 \cdot 18) / 4,19 = 3,28 \text{ mm}^2$$

Ehhez a mérethez a legközelebbi szabványméret a 4 mm^2 , melegedés szempontjából is ez a keresztmetszet a mérvadó, amely amúgy is a minimális méret a nappelemesrendszereknél [18].

3.3 Inverteről transzformátorig

A legnagyobb távolság a két berendezés között nagyjából 250 méter. A megengedett százalékos feszültségesésünk pedig továbbra is 1%. A számítások a következőképpen alakulnak:

$$e = (\varepsilon/100) * (U_n/\sqrt{3})_{[8]} = 0,01 * 230,9 \text{ V} = 2,3 \text{ V}$$

$$A = (\rho * I_N * l_{\max})/e_{[8]} = (150 * 250 * 0,0175) / 2,3 = 285,32 \text{ mm}^2$$

A legközelebbi szabványos érték a 300 mm² keresztmetszetű kábel, így legalább ilyen vastag kábelt kell alkalmazni [18].

4. Védelmek

Az egyik legfontosabb dolog, hogy a megfelelő védelmeket válasszuk meg, ugyanis ezek egyszerre fogják óvni a berendezéseket és az esetleg ott tevékenykedő emberek életét is.

4.1. Túláramvédelem

Túláramnak azon áram értékeket nevezzük, amelyek a névleges áramértékeknél magasabbak. Ezen áramok huzamosabb ideig nem tarthatóak fent, mert felmelegíthetik a vezetőket, roncsolhatják a szigetelőket és egyéb károkat okozhatnak. Egy napelemparkban több feszültség szint és feszültség nem is jelen van, ezért több különböző túláramvédelmi eszközt kell kiválasztanunk.

4.1.1 DC oldal

A korábban már említettek alapján egy inverterre három DC gyűjtődoboz által összefogott, összesen 12 sztring kapcsolódik. Azért, hogy esetleges meghibásodás miatt ne az egész inverter kapcsoljon le, érdemes sztringenként egy-egy olvadóbiztosítékot

helyezni a gyűjtődobozokba. Hiba esetén így csak egy sztring esne ki. A biztosítékok méretezése a következőképpen néz ki:

Egy sztringben 17 modul van sorba kötve, tehát:

$$I_{SC} = 11,38 \text{ A} \quad \Delta T1 = -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$I_{SC} + (\Delta T * k I_{SC}) / 100 * I_{SC} = 11,38 + (-50 * 0,05) / 100 * 11,38 = 11,09 \text{ A}$$

$$I_{SC} = 11,38 \text{ A} \quad \Delta T2 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$I_{SC} + (\Delta T * k I_{SC}) / 100 * I_{SC} = 11,38 + (50 * 0,05) / 100 * 11,38 = 11,66 \text{ A}$$

Amennyiben figyelembe veszünk egy 1,25-ös értékkel bíró biztonsági tényezőt, akkor 14,5 A-t kapunk. Ehhez legközelebbi értékben a 16 A-s olvadóbetét esik. Ezeket a gyűjtődobozokban lehetne elhelyezni. Érdekes még továbbá egy szakaszoló kapcsolót is elhelyezni minden sztringnél, így manuálisan is le lehetne választani a sztringet a hálózatról karbantartás céljából.

A Tauro 100-s inverter minden bemenetén rendelkezik egy megszakítóval is így, ha esetleg az olvadóbiztosíték nem is olvadna ki, akkor a teljes bemenetet leválasztaná a kismegszakító.

4.1.2 AC oldal KIF-en

Az inverterek 0,4 kV-os kábeleken keresztül lennének a transzformátorhoz vezetve, ahol egy gyűjtősínen összesen 13 inverter kimenete lenne összefogva. A Tauro 100-as inverter kimenetén 152 A folyik ki normál üzemállapotban. A gyűjtősín előtt egy olvadóbiztosítékból és egy megszakítóból álló túláramvédelmet helyezünk el. Az olvadóbiztosíték kioldási értékét érdemes nagyobbra választani, mint a megszakítóét, hogy csak akkor olvadjon ki, ha a kismegszakító nem tudott valamilyen oknál fogva működni.

Ezek alapján egy olyan megszakítót kell keresnünk, amely 152 A névleges áramot képes vezetni, viszont efölött már adjon kioldást. Erre a célra megfelel például a Schneider által gyártott Compact NSX megszakító, amelynek a névleges áramértéke megválasztható 16 A és 630 A között [16]. Esetünkben, ha a 160 A névleges áramot elviselő megszakítót választjuk, akkor az inverterünk 152 A-es üzemi áramára nem ad kioldást, de bármilyen hiba esetén fellépő túláram esetén viszont igen. Amennyiben 160 A-es a megszakítónk, akkor egy 200 A-es késes olvadóbiztosíték lenne a tartalékvédelem a megszakító meghibásodása esetén [15].



4.1.2./1. ábra: 200A-s késes olvadóbiztosíték
[15]



4.1.2./2. ábra: Compact NSX megszakító [16]

4.1.3. AC oldal KÖF-n

Az Energobit által fejlesztett Robust transzformátorok MOD6-os kapcsolókészülékekkel vannak felszerelve [9]. A MOD6 egy moduláris felépítésű, légszigetelésű, íválló és fémtokozott berendezés, amely 630 A névleges áramértéken működik [9]. Rendelkezik egy ABB, motoroshajtású vákuummegszakítóval, illetve egy kézi hajtású, 3 állású (zárt, nyitott, földelt) szakaszoló kapcsolóval [9]. A megszakító maximum 16 kA-ig biztonságosan képes zárlati áramok megszakítására [9].



4.1.3./1. ábra: MOD6 kapcsolóberendezés [9]

4.2 Áramütéselleni védelem

A napelemes rendszerek esetében nagyon fontos az áramütés elleni védelem, ugyanis az inverter hiába kapcsolja ki az AC oldalt a hálózat kiesése miatt, a DC oldal akkor is feszültség alatt marad, így lehet, hogy az inverter le lett választva AC oldalon, az inverter és napelemek közötti kábeleken, illetve a napelem sztringeken esetünkben akár 850 V is lehet. Éppen ezért a napelemes rendszerek DC oldalát mindig feszültség alatt állónak kell tekinteni.

A fentiek miatt az erre vonatkozó szabvány előírja, hogy DC oldalon kötelező a kettős szigetelés alkalmazása, továbbá biztosítani kell a megfelelő földelést is. A földelést érdemes úgy kivitelezni, hogy villámvédelemnél felhasználható legyen. A DC oldalon a földelést a tartószerkezetek látják el, mivel a lábaik több mint egy méter mélyre vannak leverve a talajba, illetve az egymás mellett lévő tartószerkezetek alumínium sodronnyal vannak egyenpotenciálra csavaros kötéssel rögzítve. Továbbá a hasonló rendszerek esetében földelő hálót szoktak alkalmazni, amely az egész létesítmény alatt terül el, amely összességében egy négyzethálóra hasonlít, amelyben a téglalapok él hosszúsága 10 méter a rövidebb oldalon és 50 méter a hosszabb oldalon. A földelőhálót legalább 70 centiméter mélyre kell telepíteni.

A földelőhálóra a létesítményt körülvevő kerítést is rá kell kötni, az egymás mellett lévő kerítéselemek, oszlopok acélszalaggal és csavaros kötéssel vannak egymáshoz rögzítve és több helyen is horganyzott acélszalaggal csatlakozik a földelő rendszerre [10].

A napelemparkhoz kapcsolódó transzformátoroknak saját földelő rendszere van és ezek a földelő rendszerek minden transzformátor mellett csatlakoznak a fő földelőháléhoz [9].

4.3 Villámvédelem

A napelempark biztonságos működésének érdekében villámcsapás elleni védelmet is létesítenünk kell. A villámokat felfogó rendszert a megfelelő feltételek mellett egybe lehet építeni a DC oldali földelőrendszerrel. A villámvédő rendszer feladata, hogy felfogja a villámot és biztonságosan levezesse azt a földbe a megfelelő keresztmetszetű vezetőn. Három részből áll: felfogó, levezető és a földelő. A felfogó a tartószerkezetre rögzített, legalább 45 centiméter hosszú acélrudakból áll, amelyek a levezető rendszerhez csatlakoznak.

A felfogók közötti távolságot az alábbi módon határozhatjuk meg:

A föld és a felfogó vége közötti távolság: $h_1 = 325$ centiméter

Lefedettségi terület szöge: $\alpha = 75^\circ$

Napelem legfelső pontja és a föld közötti távolság: $h_2 = 280$ centiméter

$x = \operatorname{tg} \alpha * h_1 - \operatorname{tg} \alpha * h_2 [10] = 3,73 * 325 - 3,73 * 280 = 167,94$ centiméter

A felfogórudak között így $2 * 1,7$ méter, azaz 3,4 méterre kell elhelyeznünk, hogy biztonsággal védje a modulokat.

A betonházas építmények tetejére minimum 20 centiméter magas kiemeléssel felfogó védővezetőt kell telepíteni, és két átellenes saroknál legalább 60 centiméter hosszú felfogó rudat kell beépíteni. A felfogók között maximum 50 centiméter lehet a távolság. A felfogók mind össze vannak kötve egymással, illetve a betonház egyik oldalán, az adott oldalon található összes felfogó csatlakozik a földelőhálózathoz. Ez a vezeték a faltól legalább 10 centiméteres távolságban helyezhető el.

4.4 Vagyonvédelem

A földre telepített rendszerek esetében különös tekintettel kell lennünk magának a napelemparknak a védelmére. A legegyszerűbb és legolcsóbb megoldás az, ha acélkerítést építünk az erőmű körül, a két méteres biztonságítávolságot betartva [10]. Egy probléma van ezzel, hogy ez sajnos nem legbiztonságosabb megoldás.

Egy sokkal költségesebb megoldás, ha kamerarendszert telepítünk, lehetőség szerint olyat, amely csak mozgás érzékelésekor kezd el rögzíteni, így kiküszöbölhető, hogy feleslegesen tároljuk a felvételeket, amin nem történik semmi. A kamerarendszer lehetővé teszi mind a megfigyelést, mind a rögzítést, amely egy későbbi ellenőrzéskor jól jöhet. További előny, hogy kamerák 0-24 képesek működni, és nincs szükség emberi felügyeletre, csak akkor, ha valami probléma akad.

A legideálisabb megoldás, a fenti két módszer együttes alkalmazása, így az észrevétlen illetéktelen behatolás esélyét a minimumra tudjuk csökkenteni.

4.5 Mérő-, és monitoring rendszer

Sosem árt, ha tisztában vagyunk a naperőművünk aktuális termelésével, azért is, mert különben nem tudjuk meg, hogy szükség van-e valamilyen beavatkozásra, esetleg karbantartásra.

Az invertereken áthaladó teljesítményeket távolról is lehet felügyelni, ugyanis a Fronius Tauro 100-as inverterek képesek a vezetéknélküli távoli elérésre a Fronius saját szoftverén keresztül [17]. Szintén ezen a szoftveren keresztül elérhetőek a 15 perces teljesítmény adatok [17].

Nemcsak az invertereket lehet egyenként monitorozni, hanem most már teljes egészében online lehet figyelni a napelemmodulokat is, szintén egyenként. Így fény derülhet arra is, hogy melyik napelemmodul hibásodott meg, és szükséges javításokat meg lehet ejteni.

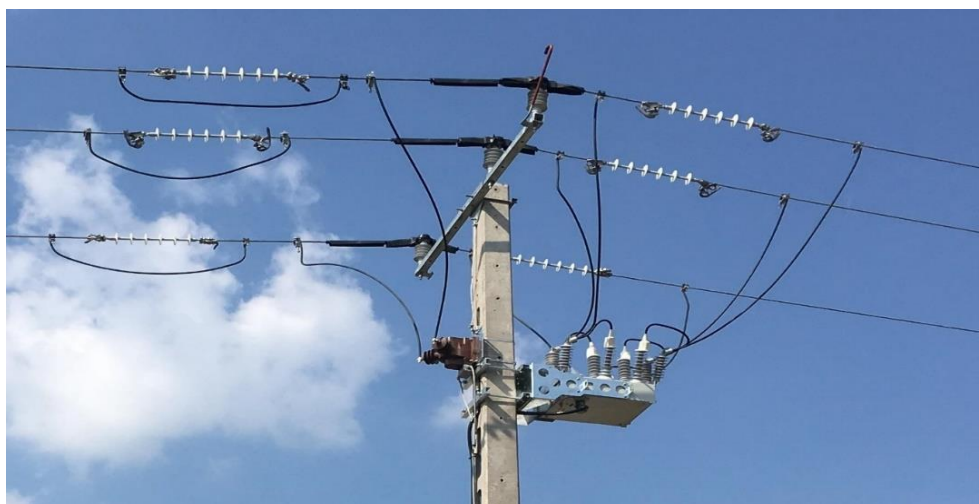
A Robust típusú BHTR-ben található MOD6-os kapcsolóberendezés rendelkezik 3 áram-, és 3 feszültségváltóval, erről működnek a védelmirelék érzékelései, illetve a különböző mérőműszerek is [9].

Található a rendszerben egy további mérésipont, ha TMOK helyett a Tavrida által fejlesztett Recloser-t használunk a hálózatra való csatlakozáskor [11]. A Recloser ugyanis saját mérőváltókkal rendelkezik, amelyek egyrészt a védelmeket működtetik, másrészt pedig további ellenőrzési lehetőséget nyújt [11].

5. Hálózatra való csatlakozás

Az erőmű csatlakozása a közcélú hálózatra 22 kV-os szinten történik. A hazai gyakorlatban általában egy kézi működtetésű, földelőképes oszlopkapcsolót szoktak alkalmazni [10]. Amint a korábbiakban már említettem, a terület már rendelkezik egy 22 kV-os, a település felé vezető kiépített szabadvezeték hálózattal, így csak a végfeszítő oszlopra kell egy ilyen berendezést felszerelni, továbbá szükséges egy túlfeszültség korlátozó elhelyezése is [10]. A maximális feszültség szint 24 kV lehet. A felszerelendő berendezés egy légszigetelésű kapcsoló berendezés, gázszigetelésű kapcsolókészülékkel [10].

A tanulmányaim során megismerkedhettem a szintén Tavrida által kifejlesztett Recloser névvel bíró kapcsolóberendezéssel, amely sok szempontból jobb választásnak tűnik a hazai TMOK-kal szemben [11]. Lényegében ez egy olyan megszakító, amely érzékeli és megszakítja a mögötte fellépő zárlatokat, mindezt úgy, hogy visszakapcsoló automatikával is rendelkezik, így nem szükséges kezelőszemélyzet a hálózatra való visszacsatlakozásra [11]. Az eszköz mellé felszerelt mérőváltók segítségével, pedig a termelt energia is ellenőrizhető marad [11].



5./1. ábra: Recloser [11]

Összefoglaló

Dolgozatomban Velence városának tulajdonában lévő kihasználatlan terület felhasználására tettem kísérletet. A dolgozatban vázolt napelempark meglétesülése esetén a környező települések, de főleg Velence energiamixében jelentősebb részt tenne ki egy zöldebb, megújuló energiaforrás, amely teljesen nem tudná kiváltani a fogyasztást, de mindenféleképpen kisegítené a település villamosenergia ellátását.

A dolgozatban a terület bemutatása után a felhasználni kívánt berendezéseket mutattam be, majd a különböző feladatokat ellátó kábelek méretéről is ejtettem pár szót. Bemutattam a különböző védelmi-, és monitoring rendszereket, amelyek a létesítményben kerülnének elhelyezésre. Végezettül két különböző, a hálózatra való csatlakozási módszerről is írtam, amely segítségével a megtermelt energia eljuthat a fogyasztókhoz.

Summary

In my dissertation, I attempted to use an unused landscape owned by the city of Velence. In the case of the existence of the solar park outlined in the dissertation, a greener, renewable energy source would play a more significant role in the energy mix of the surrounding settlements, but especially in Velence, which would not be able to replace consumption, but it would help the settlement 's electricity supply. In the dissertation, after the presentation of the area, I presented the equipment to be used, and then I also spoke a few words about the size of the cables performing different tasks. I presented the different protection and monitoring systems that would be used in the facility. Finally, I also wrote about two different methods of connecting to the grid, with the help of which the produced energy can reach the consumers.

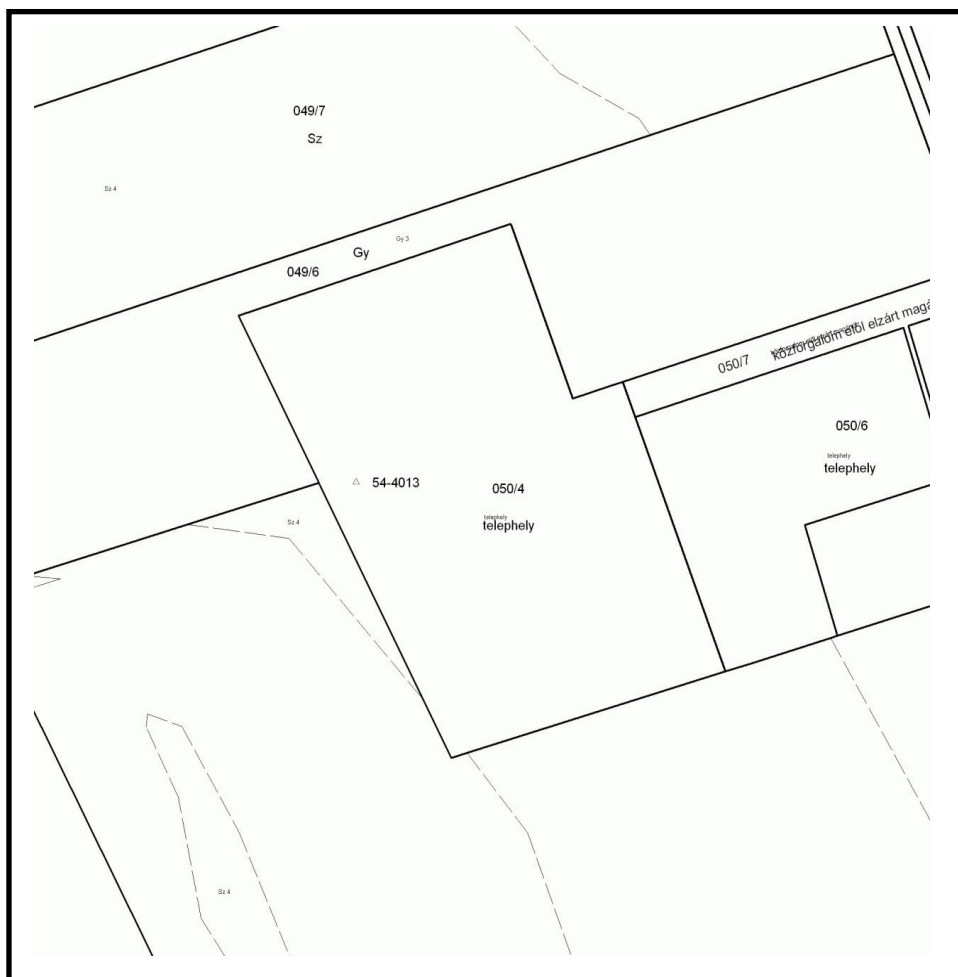
Irodalomjegyzék

- [1] <http://www.ksh.hu/interaktiv/terkepek/mo/komm.html?mapid=ZRS991>
- [2] http://www.ksh.hu/apps/hntr.telepules?p_lang=HU&p_id=25016
- [3] Velence külterület 50/4 e-hiteles térképmásolat
- [4] Velence külterület 50/4 nem hiteles tulajdoni lap
- [5] Phono Solar Twinplus adatlap
- [6] <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>
- [7] https://www.wuerth.hu/media/downloads/pdf/prospektusok/Solar_magyar_2018_07.pdf
- [8] Dr. Novothny Ferenc: Villamosenergetika I, ÓE KVK 2050, 2010, Budapest, 273-276. o.
- [9] Energobit Robust bemutató, www.energobit.com
- [10] KÖF-re tápláló napelemes rendszer, szakdolgozat
- [11] Wéber Zoltán előadása:
http://www.mee.hu/files/files/2_weber_zoltan_arpad_uj_2019_05_30_mee_eloadas_energobit_.pdf
- [13] <https://www.novill.hu/magazin-fooldal/567-vezetkek-terhelhetosege-meretezese>
- [14] Wéber Zoltán előadása:
http://www.mee.hu/files/files/b4_weberz.pdf?fbclid=IwAR1c4anhW5TkCZNYdM0HryaHauybDuuzXnY6QaOU1DUdvL71AtglKKhxNU8
- [15] https://www.onlinevill.hu/wp-content/uploads/wc-websyx/prod_img/3553_bussmann_nh02_200a_gg_gl_120ka_500v_p01.png
- [16] https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=PB107513&p_File_Type=rendition_288_png&default_image=DefaultProductImage.png
- [17] https://www.europe-solarstore.com/download/fronius/Fronius_Tauro_50_100-3-D_Direct_Datasheet.pdf

[18] https://www.elektroprofi.hu/dynamic/Katalogusok/01_Kabel.pdf

Ábrajegyzék

1.2/1.-es ábra: Velence 050/4-es helyrajzszámú külterülete



2.1./1.-es ábra: Phono Solar Twinplus napelempanel adatai

Teljesítmény (P_{mpp}):	455 W
Munkaponti áram (I_{mpp}):	10,94 A
Munkaponti feszültség (U_{mpp}):	41,6 V
Rövidzárlati áram (I_{SC}):	11,47 A
Üresjárási feszültség (U_{OC}):	49,37 V
Hőmérsékleti együttható üresjárási feszültségen 25 °C-n:	-0,3%
Hőmérsékleti együttható rövidzárási áramon 25 °C-n:	0,05%
Cella technológia:	monokristályos

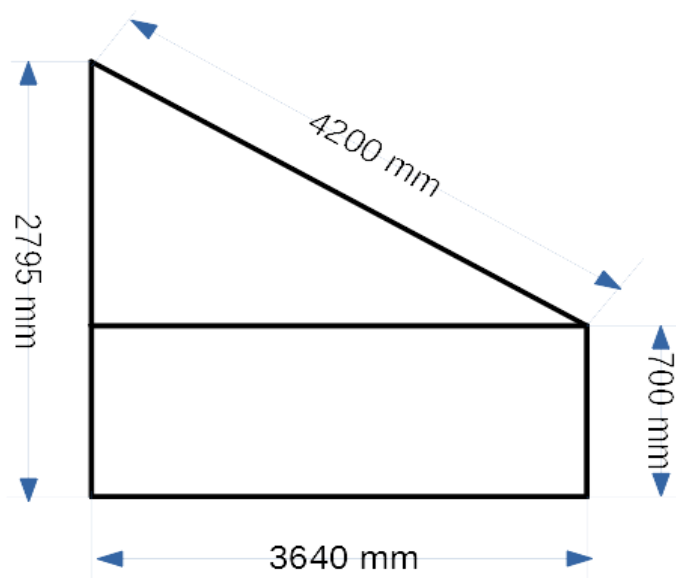
2.2./1.-es ábra: Fronius Tauro Eco 100-D-3 inverter bemeneti adatai

Feszültségtartomány:	580-930 V
Max bemeneti feszültség:	1000 V
Max bementi áram:	355 A
Max DC teljesítmény:	150 000 W
MPP-trackerek száma:	1
Bemenetek száma:	3

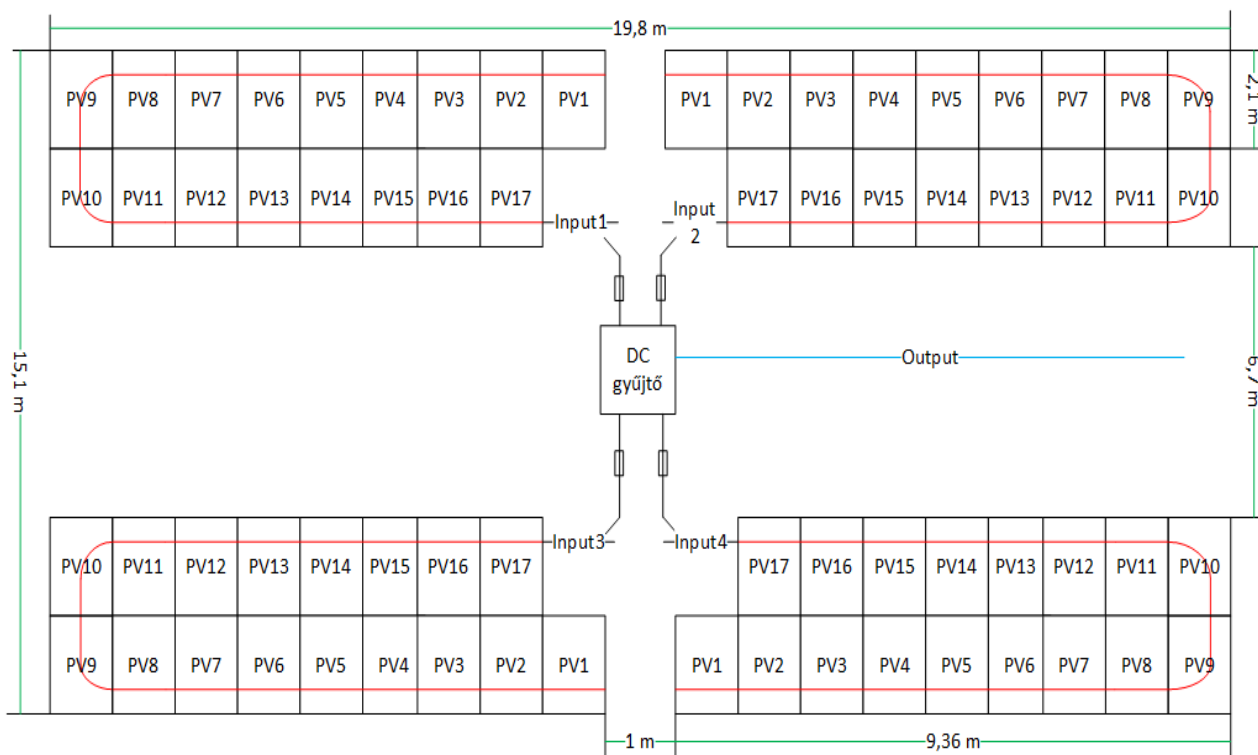
2.2./2.-es ábra: Fronius Tauro Eco 100-D-3 inverter kimeneti adatai

AC névleges teljesítmény:	100 000 W
AC maximális teljesítmény:	100 000 VA
Min. $\cos\phi$:	0,10
Max. hatásfok:	98,5%

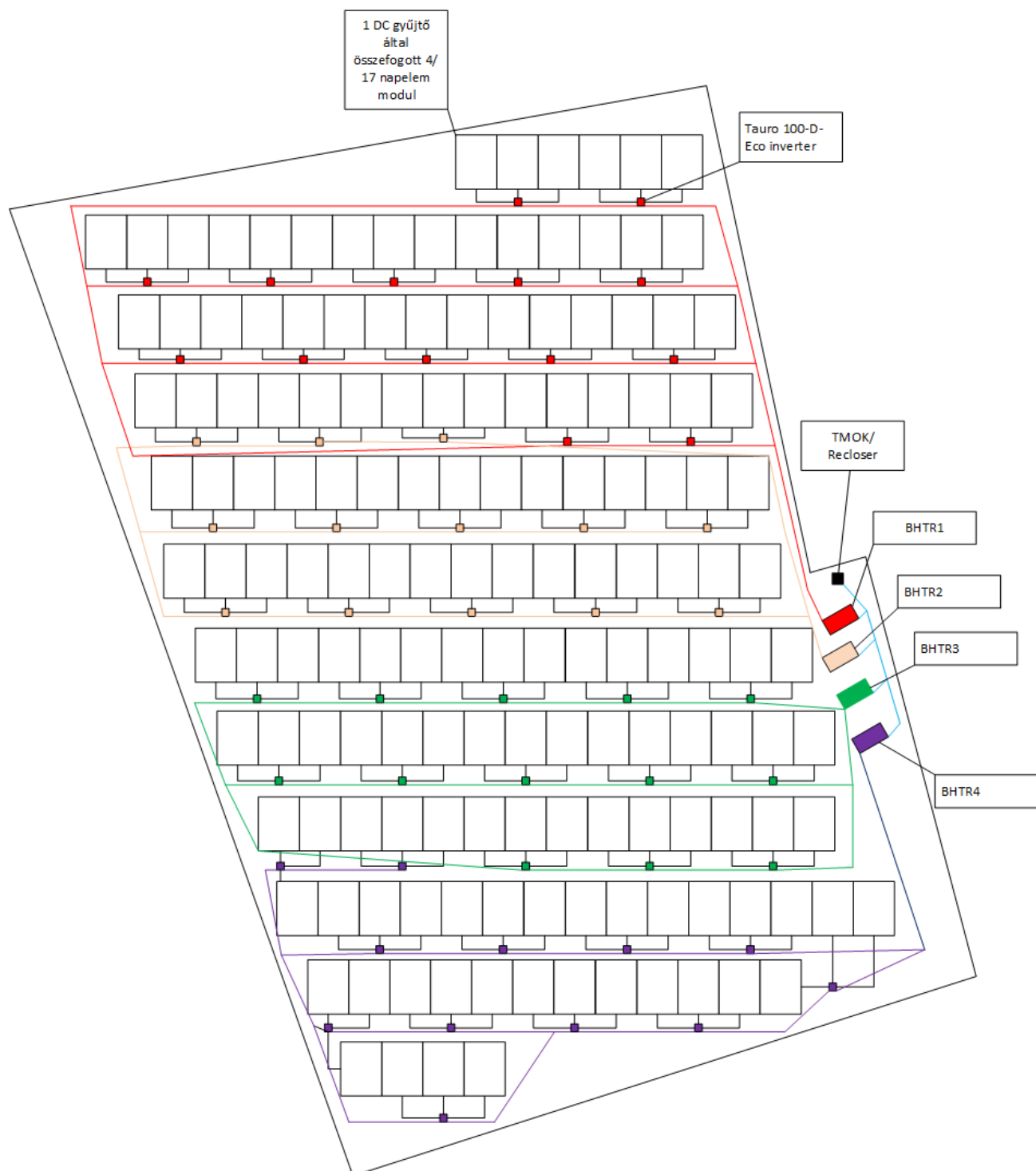
2.3./1.-es ábra: Napelemsztring oldalnézetből



2.3./2.-es ábra: Napelemsztring elvi kapcsolási rajza



2.3./3.-as ábra: Napelempark elvi kapcsolási rajza



2.4./1.-es ábra: Energobit Robust BHTR, külső nézet



2.4./2.-es ábra: Olajszigetelésű transzformátor adatai

ECO-T oil immersed transformer - three phase - outdoor use - without enclosure (IP00) ECO-T olajszigetelésű transzformátor - három fázisú - kültéri kivitel - burkolat nélkül (IP00)					
According to IEC 60076-1 standard – Az IEC 60076-1 szabvány szerint -			ECO A0Bk(Al/Al)		Losses veszteségű
Rated power (ONAN): Névleges teljesítmény (ONAN):	1250	kVA	Vector group: Kapcsolási csoport:	Dyn5	
Frequency: Frekvencia:	50	Hz	Windings HV/LV: Tekercselés KÖF/KIF:	Al/Al	
Rated high voltage: Névleges primer feszültség:	22000	V	Rated low voltage: Névleges szekunder feszültség:	420	V
Rated HV insulation level: Névleges szigetelési szint:	24	kV	Rated LV insulation level: Névleges szigetelési szint:	1.1	kV
Applied voltage to industrial freq.: Ipari frekvenciás próbafezültség:	50	kV	Applied voltage to industrial freq.: Ipari frekvenciás próbafezültség:	10	kV
B.I.L. (1,2/50 µs) :	125	kV	B.I.L. (1,2/50 µs) :	N/A	kV
HV tapping from 5 position: (de-energized) KÖF megcsapolás 5 pozícióból: (feszültség mentesen)	+/- 2.5	%			
High voltage connections Középfeszültségű csatlakozók	Connections type: Porcelain bushings-DIN42531 Csatlakozók típusa: Porcelán, DIN 42531		Low voltage connections Kisfeszültségű csatlakozók	Connections type: Porcelain bushings-DIN42530 Csatlakozók típusa: Porcelán, DIN 42530	
Cables incoming: Csatlakozók elhelyezkedése:	Top A burkolaton		Cables incoming: Elhelyezkedése:	Top A burkolaton	
Number of connections: Csatlakozók száma:	3		Number of connections: Csatlakozók száma:	4	
Electrical characteristics Villamos paraméterek			Site conditions Környezeti feltételek		
No load losses: Üresjárási veszteség:	950	W	Altitude: Telepítési magasság:	<=1000 m	
Load losses at (ONAN) 75°C: Rövidzárási veszteség (AN) 75°C-on:	11000	W	Maximum ambient temperature: Legmagasabb környezeti hőmérséklet:	40°C	
Impedance voltage: Rövidzárási feszültség:	4	%	Minimum ambient temperature: Legalacsonyabb környezeti hőm.:	-25°C	
Tolerances: Tűrések:	According to IEC 60076-1 and ecodesign" EU rules, (EU) No 548/2014 of 21.05.2014 IEC 60076-1 szabvány szerint és" ecodesign" (EU) No 548/2014 of 21.05.2014		Daily average temperature: Napi átlag hőmérséklet:	30°C	
Thermal characteristics Hőmérsékleti paraméterek			Yearly average temperature: Éves átlag hőmérséklet:	20°C	
Thermal insulation class: Hőmérsékleti szigetelési osztály:	Class F F osztály		Electrostatic screen: Elektrosztatikus háló:	No	
Windings temperature rise: Tekercs hőmérséklet emelkedés:	65 K		Rectifier supply: Egyenirányítós táplálás:	No	
Oil temperature rise: Olaj hőmérséklet emelkedés:	60 K				

3.1./1.-es ábra: Kábelek melegedési táblázata

A vezető keresztmetszete mm²	Megengedett terhelés „A” www.novill.hu						Biztosító betétek
	A csoport		B csoport		C csoport		
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	
0,5	7	-	10	-	13	-	-
0,75	10	-	13	-	16	-	-
1	12	-	16	-	20	-	6
1.5	16	13	20	17	25	22	10
2.5	21	16	27	21	34	27	16
4	27	21	36	29	45	35	20
6	35	27	47	37	57	45	25
10	48	36	65	51	78	61	35
16	63	51	87	68	104	82	50
25	83	65	115	90	137	107	63
35	110	86	143	112	168	132	80
50	140	110	178	140	210	165	100
70	175	140	220	173	260	205	125
95	215	175	265	210	310	245	160
120	255	205	310	245	365	285	200
150	295	235	355	280	415	330	250
185	340	270	405	320	475	375	315
240	400	300	480	380	560	440	400
300	470	375	555	435	645	510	500
400	570	455	690	540	770	605	630
500	660	530	820	640	880	690	-

4.2.1./1.-es ábra: 200 A-es olvadóbiztosíték



5.1./1.-es ábra: Recloser

