

Radioaktív hulladéktároló bővítésének villamosenergia-ellátása

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
1. A kis és közepes aktivitású hulladékok	5
1.1 Kategorizálás és kezelés	5
1.2 Az atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése	5
2. Az energiaellátó-rendszer leírása	8
2.1 Terhelésszámítás	9
2.2 IT rendszer, Érintésvédelem	11
2.3 Szigetelés-ellenőrző készülék (ÁSZE)	12
2.4 Védőföldelési rendszer	13
3. Számítások	14
3.1 Kiindulási adatok:	14
3.2 Kábelek fajlagos ellenállásai.....	15
3.3 Kábelméretezés feszültségesésre	17
3.4 Érintésvédelem.....	20
3.4.1 Világítási fogyasztók.....	20
3.4.2 Szellőztető motor	22
3.4.3 Szabványossági felülvizsgálat	24
3.5 Záratszámítás	25
3.5.1 Zárlat a 0,4kV-os fogyasztónál	27
3.5.2. Zárlat a 230V-os világítási fogyasztónál.....	30
4. Jövőbeli tervek, összegzés	34
Összefoglaló	36
Summary	37
Irodalomjegyzék.....	38
Ábrajegyzék	39

Mellékletek	40
M.1. Villamosenergia-ellátás egyvonalas kapcsolási rajz/1	41
M.2. Villamosenergia-ellátás egyvonalas kapcsolási rajz/2.....	42

Bevezetés

A TDK dolgozat célja az eddig elkészült Bábaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló bemutatása, és a jövőbeli bővítés villamosenergia-ellátásának megtervezése.

A dolgozat részletesen ismerteti a tervezett két új tároló kamra (I-K3, I-K4) - világítási fogyasztók és szellőztetés - ellátásának megtervezését. A dolgozat első részében bemutatásra kerül a magyarországi kis és közepes aktivitású hulladékok kezelése és elhelyezése. Legfőképp a Paksi Atomerőmű hulladékainak tárolása miatt épült bábaapáti hulladéktároló felszíni és felszín alatti létesítményeinek építése és működése. Komplex képet kapunk az itt alkalmazott energiaellátó rendszerről és az új tároló kamrák rendszerbe való illeszthetőségéről. A dolgozat számításokkal támasztja alá a bővítés lehetőségét. Nem tér ki minden részletre, a legnagyobb hangsúlyt a villamos energia igény felmérése, a terhelésszámítás, a kábelek méretezése és a zárlatszámítás kapja, melyek a védelmek kiválasztásához szükségesek. Részletezi a dolgozat a bányában alkalmazott érintésvédelmi rendszert, ami különleges megoldásokat kívánt. A befejező rész bemutatja a hulladéktároló jövőbeli életét, a radioaktív hulladékkezelés illetve a hulladéktároló szükségességét és aktualitását.

A radioaktív hulladékok kezelése, elhelyezése, napjaink problémája is, és még az emberiség létezik, az is lesz, még ha közeljövőben át is térünk a fúziós korszakba. Jelentős a félelem és az ellenérzés a témával kapcsolatban, mert a hulladékok végleges elhelyezését nem lehet egyszer és mindenkorra megoldani, ez egy hosszú folyamat, ami átnyúlhat a következő évszázadba is. A félelem abból adódhat, hogy a sugárzás jelenlétét kis mennyiségben nem érzékeljük, és amit nem látunk, nem érzünk, nem tudunk megfogni, ahhoz eleve félelemérzet társul. Tudomásul kell vennünk, hogy szükségünk van az atomenergiára, a nukleáris iparra illetve a nukleáris orvostudomány előnyeire. Ma már túl késő lenne úgy dönteni, hogy ne legyen nukleáris berendezésünk. Mára jelentős mennyiségű, a nukleáris berendezésekből származó hulladék halmozódott fel a világon. Ezek biztonságos elhelyezéséről előbb-utóbb gondoskodnunk kell. Céлом, hogy bemutassam, hogy kellő óvintézkedések mellett a radioaktív hulladék biztonsággal kezelhető, tárolható. [\[1\]](#)

1. A kis és közepes aktivitású hulladékok

1.1 Kategorizálás és kezelés

Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékoknak minősülnek azok az anyagok, melyben a hőfejlődés az elhelyezés során elhanyagolható ($<2\text{kW/m}^3$). Rövid élettartamúnak számít ezen belül az a hulladék, melyben a radionuklidok felezési ideje 30 év vagy kevesebb, és csak korlátozott koncentrációban tartalmaz hosszú élettartamú alfa-sugárzó radionuklidokat (400Bq/g). Hosszú élettartamú kis és közepes hulladék közé soroljuk azt a hulladékot, melyben a felezési idő ill. az alfa-sugárzó nuklidok koncentrációja meghaladja a rövid élettartamú hulladékok határértékét.

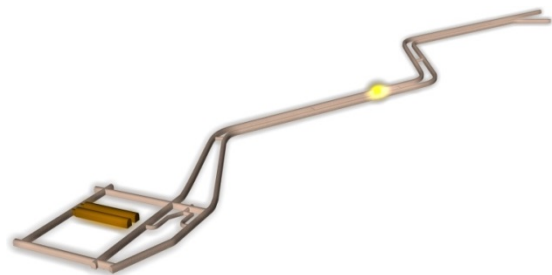
Cél a minimalizálás, amire számtalan technikai megoldás létezik: hulladékok tömörítése, így a térfogat csökkentése vagy szerves anyagok égetése vagy pirolízises hamvasztása. A folyékony hulladékok kezelésére kémiai lecsapatást, elpárologtatást, ioncserét és membrántechnikás leválasztást alkalmaznak.

De hogyan kezelik a különböző típusú radioaktív hulladékokat a Paksi Atomerőműnél?

A paksi erőműben a keletkező szilárd radioaktív hulladékot tömöríthető és nem tömöríthető részre válogatják szét, majd egy 500kN -os présszel összenyomják, ami átlagosan ötszörös térfogatcsökkenést eredményez. A primerköri aktív csurgalék vizet iszap gyűjti össze, melyet gyöngykovaföld hozzákeverésével szilárdítanak meg, majd a szilárd hulladékkal együtt 200 literes fémhordókba helyezik.[\[1\]](#)

1.2 Az atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése

A Paksi Atomerőmű nukleáris hulladékát ma már nem Oroszország területén, hanem Magyarországon helyezik el. Hazánkban korábban Püspökszilágyon volt olyan létesítmény, ami nukleáris hulladékok ideiglenes tárolását látta el. A sugárzó hulladékok végleges tárolására országunk nem volt



1. ábra: Lejtőszakna

felkészülve. Mivel a püspökszilágyi létesítményt nem tudták oly mértékben bővíteni, hogy az kielégítse az erőmű teljes igényét, ezért 1993-tól kutatás indult az erőművi hulladékok végleges tárolására. 1996-ban a földtani vizsgálatok Üveghuta (Bátaapáti) térségét javasolták, mert itt igen közel a felszínhez, kb. 20-30m-re gránitot (homogén alapkőzet, geológiailag stabil, kiválóan zár) találtak, ami kiváló lehet az ilyen tároló kialakítására.

A 2005-ben tartott népszavazáson Bátaapáti lakossága is elfogadta a tervet, 91% igennel szavazott a tároló megépítésére. A földalatti kutatás elvégzéséhez 2 db egyenként 1700 m hosszú, 10%-os lejtésű, egymástól 25 m távolságban párhuzamosan haladó lejtősaknát hajtottak ki (1. ábra) speciális robbantásos technikával. Az 1. ábrán jól látszik, hogy lejtősaknák aljánál már elkészült kettő tároló kamra (I-K1 és az I-K2). A további vágatok ezek mellett párhuzamosan fognak majd elhelyezkedni.



2. ábra: Felszíni tároló



3. ábra: Robbantásos technika

2008-tól megkezdődött a hulladékcsomagok beszállítása a technológiai épületbe, egy speciálisan erre a célra kialakított, hatósági engedéllyel rendelkező járművel. A 3000 db hordó befogadására képes csarnokban addig maradnak a hordók, míg el nem készül a végső tároló betontömb.[\[2\]](#)

Az átmeneti tárolóba a már említett speciális kocsik egy fuvarral 4x4 db hordót szállít. A hordók acél és teflonbevonatúak, kétfélét különböztethetünk meg. A történelmi hordókat, melyben nem tudni, hogy pontosan mi van, és a sima hordókat, melyekről tudjuk, hogy mit tárolnak bennük.

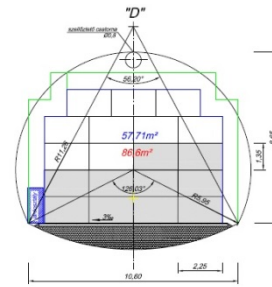
Egy ilyen hordó 200kg-os. Ezeket kilencesével vasbeton konténerbe teszik, és kitöltik őket betonnal. (lásd 4. ábra)



4. ábra: Betontömbbe ágyazott hordó

A kitöltés után kb. 13-15 tonnát nyomnak. A betonnal való kitöltés után kerülnek le a 250 méter mélyen lévő kamrákba.

Elhelyezésük az 5. ábrán látható. A kamrában négy betontömb kerül egymás mellé, majd négy réteg betontömböt helyeznek még rá, a tetejére pedig csak három betonkocát állítanak a bánya ívelt kialakítása miatt. [10.]



5. ábra: Betontömbök elrendezése

A lejtősaknák bejáratánál légszilip van, ami a szükséges szelektivitást biztosítja. A nyugati akna már teljesen kész, végig betonozott, itt szállítják a már kész betontömböket is. A keleti aknát még nem betonozták le, mert ezen járnak még a munkagépek a további bővítés miatt. A falakon a gránitból folyamatosan folyik a víz, - ezek úgynevezett csurgalék vizek - amik kb. még 20-30 évig jelentenek gondot. Utána elfogynak a kis repedésekből folyó utánpótlások. A csurgalék vizet gyűjtik, tisztítják. Mivel lúgos víz, ezért szénsavasítják, hogy beállítsák a PH értékét, majd felszínre szivattyúzzák. Jelenleg 1 kamra üzemel, melyben 7470 hordó fér majd el. A bányában a legfontosabb a folyamatos szellőztetés, vízmentesítés és a biztonságtechnika fenntartása, ezért ezeket a berendezéseket a szünetmentes táplálás is el tudja látni villamos árammal.



6. ábra: Keleti akna



7. ábra: Nyugati akna

A 6-7. képeken jól látszik a keleti és nyugati akna kiépítési szintje közötti különbség.

2. Az energiaellátó-rendszer leírása

A hulladéktárolónak egyoldalú, középfeszültségű, 20kV-os betáplálása van, amely a 22/6/0,4 kV-os transzformátorhoz kapcsolódik. A transzformátor 6kV-os leágazása egy 6kV-os kapcsoló berendezéshez csatlakozik. A normál üzemi betáplálás kiesése esetén egyes berendezések aggregátoros ellátást kapnak. Ezt egy külön konténerben a felszínen elhelyezett 0,4kV-os generátor, és az erre kapcsolódó 0,4/6kV-os transzformátor biztosítja. Ez is a négy leágazásos kapcsoló-berendezéshez van kötve, ahol az átkapcsolás történik a feszültség csökkenése esetén. A feszültség figyelése a 6kV-os kapcsoló-berendezés betápláló kábelfejek feszültségérzékelésével történik. Innen történik a Keleti és a Nyugati lejtőszakna villamosenergia-ellátása. A villamosenergia-ellátás [egyvonalas kapcsolási rajzai](#) a mellékletben találhatóak.

Négy darab 6/0,4 kV-os transzformátor került telepítésre a lejtőszaknában. A Keleti lejtőszaknában van a 2. számú és 4. számú transzformátorállomás, a Nyugati lejtőszaknában pedig a Nyugati portál és 3. számú transzformátorállomás. A Nyugati lejtőszakna 3. számú illetve a Keleti lejtőszakna 4. számú transzformátorállomása össze van kötve, így áttáplálási lehetőség alakult ki az ellenőrzött zóna (Nyugati lejtőszakna) és az építési zóna (Keleti lejtőszakna) között a villamosenergia-ellátás nagyobb fokú biztosítására. A megszakítót csak akkor szabad kapcsolni, ha valamelyik lejtőszaknában üzemzavar van, és a hibás rész le van választva a hálózatról.

A fő szellőztető motorok a Nyugati portál transzformátorállomás 0,4 kV-os főelosztó leágazásáról biztonsági energia-ellátással vannak betáplálva. A tároló kamrák szellőztető ventilátorainak nincs biztonsági energia-ellátása. A szellőztetés irányítástechnika által vezérelt, de van lehetőség helyi, nem reteszelt kézi üzemre is. A kamrák parciális szellőzése és világítása generátoros üzemről tiltva vannak.

A motorok a 3. számú transzformátorállomás 0,4 kV-os oldaláról a főelosztó megszakítón keresztül kapnak betáplálást. Innen élnek az új szellőztető motorok, illetve a már meglévő világítási 400/230V-os szigetelt csillagpontú



transzformátorok. A 8. képen a már elkészült tároló kamra

8. ábra: Tároló kamra

látható az elhelyezett betontömbökkel. A normál üzemi feszültség kimaradásának érzékelése után 90 s-mal (GVA, LVA ciklus kivédése) indul az aggregátor, amely lépcsőzetesen kapja meg a villamosenergia-rendszer terhelését.

A világítási fogyasztók egymáshoz viszonyított betáplálása váltott fázisok felhasználásával történik. Mivel nincsen nulla vezető, a szükséges 230V-os feszültséghez a fogyasztókat két fázis közé kötik be, mindig váltogatva az egyes fogyasztóknál a felhasznált fázisokat, hogy szimmetrikus terhelést kapjon a rendszer. A megvilágítást fénycsöves, ütésálló búrával szerelt lámpatestek biztosítják. A normál üzemi hálózat kimaradása esetén a biztonsági lámpatestek az 1 órás üzemet biztosító akkumulátorral és inverterrel szolgáltatják az irányfényt a lejtősaknában.

2.1 Terhelésszámítás

Az alábbi táblázatban láthatóak a létesítmény teljesítmény adatai a fogyasztói lista alapján. A két új tároló kamra teljesítmény igénye kb. 25,6 kW lesz. Az 1 MVA-es 20/6 kV-os transzformátor bőven fedezi a nem építésű célú teljesítmény igényt, a két új tároló kamra felépülése esetén is. Az építkezésnél használt két fűró koci és két kompresszor teljesítménye szerepel a táblázatban. Az építési célú energiaellátás és az üzemeltetéshez szükséges energiaellátás összege elméletben nagyobb, mint a transzformátor teljesítménye, viszont bizonyos egyidejűségi tényezők miatt soha nem kapja meg a teljes terhelést a transzformátor, ezért nem kell nagyobb transzformátort telepíteni. Tehát nem minden alrendszer működik egyszerre, ezért nincs szükség a maximális teljesítményre.

Aggregátoros és szünetmentes plusz teljesítményigénnyel nem kell számolnunk, mivel a tároló kamra szellőztetése és villamosenergia-ellátása csak normál hálózat esetén kell, hogy működjön.

Alrendszer megnevezése	Normál hálózati teljesítmény-igény (kW)	Aggregátoros teljesítmény-igény (kW)	Szünetmentes teljesítmény-igény (kW)	A két új kamra normál hálózati teljesítmény-igénye (kW)	Feszültség-szint (V)
Sugárvédelmi és kibocsátás ellenőrző rendszer	5,6	5,6	5,6		230
Integrált vagyonvédelmi rendszer	17	17			230
Tűzjelző rendszer	1	1			230
Struktúrált hálózati és telefon alközponti rendszer	3,5	3,5	3,5		230
Vészhangosító rendszer	16	16	-		230
Ipari ethernet	3,5	3,5			230
Terepi automatizálás	5,5	5,5			230
Szellőztetés	231,5	136		22	400
Vízmentesítés	119,4	103,3			400
Felszín alatti vízkezelés	10	10			400
Felszíni vízkezelés	3,6				400
Aggregátor olajellátás	0,8	0,8			400
Világítás energiaellátás	73,2			3,6	230
Portálépületek installáció	15	15			230
Portálépületek világítás	4,5				230
Portálépületek karbantartás	40 16				400 230
Akna karbantartási célú energiaellátás	168 64				400 230
Építési célú energiaellátás	520 16				400 230
Összes teljesítmény igény karbantartás és építés nélkül	510,1	317,2	9,1	25,6	400/230

1. táblázat: Terhelésszámítás

2.2 IT rendszer, érintésvédelem

A közvetett érintés elleni védelem egyik megoldása az IT rendszer, ahol a tápláló rendszernek nincs közvetlenül földelt pontja, a csillagpont szigetelt vagy impedancián keresztül földelt. A testek védőföldeléssel vannak ellátva. A testet és az idegen vezetőképes részeket védővezetővel kötik össze. Általában ott alkalmazzák ezt a megoldást, ahol nagyobb biztonságra törekszenek, és egy váratlan lekapcsolás komoly veszélyt hordozhat. Ezért alkalmazzák itt is ezt a technológiát a hulladéktárolóban. Úgy méreteznek, hogy a rendszerben az első földzárlat (testzárlat) esetén nem alakulhat ki a megengedett érintési feszültségnél nagyobb feszültség. A védőföldelés értékének meghatározásához a következő képletet használhatjuk:

$$R_A \leq U_L / I_d [\Omega]$$

$$R_A = [\Omega] \quad \text{A védőföldelés ellenállása}$$

$$I_d = [A] \quad \text{A fém földzárlati hibaáram}$$

$$U_L = [V] \quad \text{A megengedett érintési feszültség}$$

A fém földzárlati hibaáramot a kapacitív földzárlati áram, a szivárgó áramok és a földelő impedancián átfolyó áram is befolyásolja. Mivel ennek értékét csak mérésrel lehet pontosan megállapítani, ezért csak becsülni tudjuk. 5 A-t feltételezve 50 V-os érintési feszültségnél a védőföldelés maximális értéke 10Ω lehet. A kettős földzárlat (kettős testzárlat) viszont már érintési veszélyt okozhat, ezért ezt a védelmeknek önműködően le kell tudni kapcsolniuk. Az első földzárlatot (testzárlatot) kötelező jelezni érzékelhető módon (hang vagy fényjelzés).

A második testzárlatra a lekapcsolás méretezése a védőföldelés kialakításának módjától függ. Jelen esetben a PE védővezetőn (120mm^2 acél-alumínium sodrony) keresztül összekötött testek együttesen vannak földelve, ezért a TN rendszer szerint méretezhetünk. Mivel a nullavezető nincs kiépítve a következő összefüggés szolgál a méretezésre: $Z_s \leq \frac{U}{2I_a}$

$$U = [V] \quad \text{A fázisok közötti névleges váltakozó feszültség effektív értéke.}$$

$$Z_s = [\Omega] \quad \text{A hurokimpedancia, ami az áramkör fázis és védővezetőjét tartalmazza.}$$

$$I_a = [A] \quad \text{A kioldóáram: az az áram, amely adott idő alatt lekapcsolja az áramkört.}$$

Több fogyasztó esetén nem tudjuk a kettős testzárlatot végigszámolni a hálózaton, ezért az előző összefüggéssel ellenőrizzük, hogy a kettős földzárlat esetén az áramerősség kikapcsolást okoz-e. Ezt az áramot a hálózati feszültség fele hajtja át a fogyasztóra eső hurokimpedancia-részen. A feszültség megoszlik a két testzárlatos fogyasztó egy-egy hurokimpedancia-része között. Az egyik hurokimpedancia rész általában nagyobb a másikinál, így amelyekre nagyobb feszültség jut, annak a fogyasztónak a túláramvédelme biztosan működni fog és a kettős földzárlat megszűnik.[\[5.\]](#)

A 6kV-os közép és a 400V-os és 230V-os kisfeszültségű hálózatok egyaránt IT rendszerek, tehát a földtől szigeteltek. Az erősáramú berendezések zárt, minimum IP54 védettségű kialakításúak az üzemszerűen feszültség alatt álló részek közvetlen érintés elleni védelmeként. Ez alól kivételek a 6/0,4 kV-os transzformátorok, melyek zárt kamrában vannak elhelyezve. Alapvédelemként védőföldelő hálózat épült ki, fedővédelemként közepfeszültségen helyi védőföldelések, kisfeszültségen állandó szigetelésellenőrző készülékeket helyeztek el. A védővezető megegyezik a fázisvezető keresztmetszetével, és a fázisvezetőkkel azonos kábelben van.

2.3 Szigetelés-ellenőrző készülék (ÁSZE)

Az állandó szigetelés-ellenőrző készülék egy relé, amely normál üzemállapotban a szigetelési ellenállást figyeli, és ha ennek értéke egy meghatározott érték alá esik, akkor működésbe lép. Értesít a szigetelés állapotáról és az esetlegesen fellépett földzárlatról. A földtől szigetelt hálózat egy pontja (pl. csillagpont) és a föld közé nagy belső ellenállású, törpefeszültségű, egyenáramú tápforrást kapcsolnak, ami a váltakozó áramú hálózat szigetelési ellenállásán keresztül áramot hajt. Azért van szükség egyenfeszültség használatára, hogy elkerüljük a váltakozó feszültségnél fellépő kapacitív áramokat. Ha a szigetelési ellenállás romlik, akkor a szivárgó áram nő, így az áram figyelésével a készülék ellenállásra kalibrálható. Kis szigetelésellenállás-romlás esetén jelzést ad, nagyobb szigetelésellenállás-romlás esetén lekapcsolja a tápforrásról az általa figyelt hálózatot.[\[5.\]](#)



9. ábra: Bender IRDH275

A bányában alkalmazott fedővédelem egy Bender gyártmányú, kevert (AC/DC) hálózatra alkalmas IRDH275 típusú szigetelés-ellenőrző, amely a 0,4kV-os főelosztókban, a 400V-os és 230V-os erőátviteli, a 230V-os világítási, valamint a 230V-os szünetmentes elosztókban van elhelyezve. A szigetelési szint $10 \Omega/V$ -ra való csökkenésekor lekapcsolja a hibás kiefeszültségű hálózatrészt. A műszer mérési ideje <5 sec, ami után megtörténik a lekapcsolás. A műszer minden induláskor újraméri a rákötött hálózatrészt, és a mérés eredménye szerinti állapotba kerül, azaz a hibás hálózatrész lekapcsolása, majd kijávítása utáni újrainduláskor nem őrzí meg az előző (hibás) állapotát. A beállítási adatok egy EEPROM memóriába kerülnek. A szigetelésellenőrző berendezéseket a szerelősínre lehet rögzíteni.

2.4 Védőföldelési rendszer

Az IT rendszer megköveteli a jó minőségű védőföldelő hálózat kiépítését. A tároló várható üzemideje miatt saválló, korrózióálló, acélföldelő szondákat kellett alkalmazni. A felszín alatti talaj sziklás, gránitos anyagának rossz a fajlagos ellenállása, $3000 \Omega m$ is lehet, ezért földelés során javító anyagokat alkalmaztak. Annyi földelő szondát kellett telepíteni, hogy a szétterjedési ellenállás ne legyen nagyobb 10Ω -nál, ahogy a 2.2-es bekezdésben már kiszámoltam. Földzárlat esetén tovább működnek a Nyugati lejtősakna portálépületében a fő szellőztető ventilátorok és a lejtősaknák végén lévő vízmentesítők, a 3. és a 4. számú transzformátor felől betáplálva. Az ezeket ellátó elosztók földzárlat esetén a hálózat többi részét lekapcsolják ezen fogyasztók üzembn tartásával.

3. Számítások

3.1 Kiindulási adatok:

A mögöttes hálózat teljesítménye: ~50MVA

20/6 kV-os transzformátor:

Feszültség áttétel	22/6,6 kV
Névleges teljesítmény	1 MVA
Rövidzárási feszültség (drop)	5,09 %
Rövidzárási veszteség	8,81 kW

6/0,4 kV-os transzformátorok:

Feszültség áttétel	6,3/0,42 kV
Névleges teljesítmény	550 kVA
Rövidzárási feszültség (drop)	5,5 %
Rövidzárási veszteség	5,3 kW

400/230 V-os transzformátorok:

Feszültség áttétel	400/230 V
Névleges teljesítmény	25 kVA
Rövidzárási feszültség (drop)	7,83 %
Rövidzárási veszteség	600 W

6 kV-os kábel – NYFGY 6/10 kV 3x95

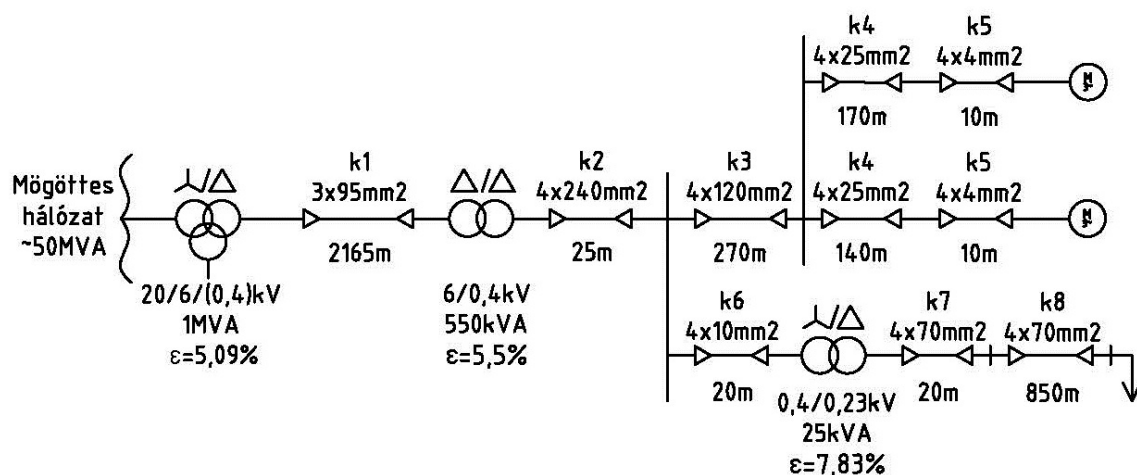
Fajlagos reaktancia	0,098 Ω /km
Fajlagos ellenállás	0,193 Ω /km

Kisfeszültségű kábelek

Fajlagos reaktancia	0,081 Ω /km
---------------------	--------------------

Az adatokat a már meglévő rendszer műszaki leírásából vettem.[\[4.\]](#)

3.2 Kábelek fajlagos ellenállásai



10. ábra: A két új tároló kamra villamosenergia-ellátásának egyvonalas sémája

6 kV-os kábelszakasz:

Rajz kód: k1/a Keresztmetszet: $A=3 \times 95 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=35 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_1 = \rho * \frac{l}{A} = \frac{1}{56} * \frac{35}{95} = 6,58 * 10^{-3} \Omega$

Rajz kód: k1/b Keresztmetszet: $A=3 \times 95 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=180 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_2 = \frac{1}{56} * \frac{180}{95} = 33,83 * 10^{-3} \Omega$

Rajz kód: k1/c Keresztmetszet: $A=3 \times 95 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=1950 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_3 = \frac{1}{56} * \frac{1950}{95} = 0,3665 \Omega$

Eredő ellenállás: $R_e = R_1 + R_2 + R_3 = 0,401 \Omega$

Impedancia: $Z=0,216 \Omega/\text{km}$ (adott)

Eredő impedancia: $Z_e = 2165 \text{ m} * 0,216 \Omega/\text{km} = \underline{0,46764 \Omega}$

0,4 kV-os kábelszakasz motorokhoz:

Rajz kód: k2 Keresztmetszet: $A=4 \times 240 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=25 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_1 = \rho * \frac{l}{A} = \frac{1}{56} * \frac{25}{240} = 1,86 * 10^{-3} \Omega$

Rajz kód: k3: Keresztmetszet: $A=4 \times 120 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=270 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_2 = \frac{1}{56} * \frac{270}{120} = 40,18 * 10^{-3} \Omega$

Rajz kód: k4 Keresztmetszet: $A=4 \times 25 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=170 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_3 = \frac{1}{56} * \frac{170}{25} = 0,121 \Omega$

Rajz kód: k5 Keresztmetszet: $A=4 \times 4 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=10 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_4 = \frac{1}{56} * \frac{10}{4} = 44,6 * 10^{-3} \Omega$

Eredő ellenállás: $R_e = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \underline{0,2 \Omega}$

0,4 kV-os kábelszakasz a400/230V-os transzformátorhoz:

Rajz kód: k6 Keresztmetszet: $A=4 \times 10 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=20 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_1 = \rho * \frac{l}{A} = \frac{1}{56} * \frac{20}{10} = 35,7 * 10^{-3} \Omega$

Rajz kód: k2 Keresztmetszet: $A=4 \times 240 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=25 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_1 = \rho * \frac{l}{A} = \frac{1}{56} * \frac{25}{240} = 1,86 * 10^{-3} \Omega$

Eredő ellenállás: $R_e = R_1 + R_2 = \underline{0,03756 \Omega}$

230V-os kábelszakasz a világítási fogyasztóig:

Rajz kód: k7 Keresztmetszet: $A=4 \times 70 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=20 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_1 = \rho * \frac{l}{A} = \frac{1}{56} * \frac{20}{70} = 5 * 10^{-3} \Omega$

Rajz kód: k8 Keresztmetszet: $A=4 \times 70 \text{ mm}^2$ Hossz: $l=850 \text{ m}$

Fajlagos ellenállás: $R_1 = \rho * \frac{l}{A} = \frac{1}{56} * \frac{850}{70} = 0,217 \Omega$

Eredő ellenállás: $R_e = R_1 + R_2 = \underline{0,22 \Omega}$

3.3 Kábelméretezés feszültségesésre

A feszültségszámítás célja, hogy az egyes fogyasztók tápellátási feszültségének megfelelőségét igazolja. A 0,4 kV-os főelosztótól, a 230V-os erőátviteli elosztótól és az egyéb elosztóktól a technológiai fogyasztókig tartó kábelszakaszra max. 5% feszültségesést engedünk meg. A 230V-os világítási elosztótól a világítási hálózat kábelszakaszára max. 2% feszültségesést engedünk meg. A 6kV-os kábelszakaszra pedig max. 3%-ot. A motoros fogyasztóknál $\cos \varphi = 0,8$ tényezővel számított értéket vettem figyelembe. A feszültségesés számítását csak azoknál a kábeleknél végeztem, amelyek hosszabbak voltak 100 m-nél.

Tároló világítás (230V-os világítási fogyasztók ellátása, új kábelszakasz):

Már meglévő I-K1-es kamra kábelkeresztmetszete: $A=4 \times 35 \text{ mm}^2$

Tervezett hossz: $l=850 \text{ m}$

Megengedett feszültségesés: $\varepsilon=2\%$

Feszültség: $U=230\text{V}$

Világítási fogyasztók teljesítménye: $P=3600 \text{ W}$

Megengedett feszültségesés: $U_{\varepsilon} = 0,75 \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U}{\sqrt{3}} = 0,75 * \frac{2}{100} * \frac{230\text{V}}{\sqrt{3}} = 1,99 \text{ V}$

Fogyasztó névleges árama: $I = \frac{P}{\sqrt{3} * U} = \frac{3600\text{W}}{\sqrt{3} * 230\text{V}} = 9,03 \text{ A}$

Számított minimális keresztmetszet: $Asz \geq \frac{\rho}{U_{\varepsilon}} * (I * l) = \frac{1}{56 * 1,99} * (850 * 9,03) = \underline{68 \text{ mm}^2}$

A számítások alapján az I-K3, I-K4-es kamrát ellátó kábelszakasz ajánlott minimális kábelkeresztmetszet: **70 mm²**. Kevés biztonsági tartalékkal rendelkezik ugyan, de megfelel ez a kábelméret. Megoszló terhelés esetén elegendő a számított minimális keresztmetszet fele, ebben az esetben bőven van tartalék itt is a méretezésben. [\[12.\]](#)

6 kV-os főkábel (már meglévő kábelszakasz):

A már meglévő 6 kV-os főkábel keresztmetszete: $A=3 \times 95 \text{ mm}^2$

Hossz: $l=1950 \text{ m}$

Megengedett feszültségesés: $\varepsilon = 3 \%$

Feszültség: $U=6 \text{ kV}$

A transzformátor látszólagos teljesítménye: $S = 550 \text{ kVA}$ ($P = 550 \text{ kW}$)

Mivel nem ismert a megtáplált fogyasztók energiaigénye, ezért a transzformátor névleges teljesítményét vettem alapul a számításokban. Abban az esetben, ha meddőt nem termelnénk $P=S$, mivel ez lehet a maximális teljesítmény, ami felléphet.

Megengedett feszültségesés: $U_{\epsilon} = \frac{\epsilon}{100} * \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{3}{100} * \frac{6kV}{\sqrt{3}} = 103,9 \text{ V}$

Fogyasztó névleges árama: $I = \frac{P}{\sqrt{3} * U} = \frac{550kW}{\sqrt{3} * 6kV} = 52,9 \text{ A}$

Számított minimális keresztmetszet: $Asz \geq \frac{\rho}{U_{\epsilon}} * (I * l) = \frac{1}{56 * 103,9} * (1950 * 52,9) =$
 $=17,72 \text{ mm}^2$

A már meglévő 6 kV-os kábel megfelel a feszültségesés számítással meghatározott keresztmetszetnek, az új tároló kamrák terhelésének figyelembevételével is. Probléma esetén ezen a kábelén keresztül tudják ellátni a 4.sz transzformátort és a Keleti aknát is, ezért van nagy tartalék a kábelkeresztmetszetben.

Kamra parciális szellőző elosztó előtti kábele (már meglévő kábelszakasz):

A már meglévő 0,4 kV-os kábel keresztmetszete: $A=4 \times 120 \text{ mm}^2$

Hossz: $l=270 \text{ m}$ *Megengedett feszültségesés:* $\epsilon = 5\%$ *Feszültség:* $U=0,4 \text{ kV}$

A két új kamra szellőztetőmotorjának teljesítménye: $P=22 \text{ kW}$

Megengedett feszültségesés: $U_{\epsilon} = 0,75 * \frac{\epsilon}{100} * \frac{U}{\sqrt{3}} = 0,75 * \frac{5}{100} * \frac{0,4kV}{\sqrt{3}} = 8,66 \text{ V}$

Fogyasztó névleges árama: $I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{22kW}{\sqrt{3} * 0,4kV * 0,8} = 39,69 \text{ A}$

Számított minimális keresztmetszet: $Asz \geq \frac{\rho}{U_{\epsilon}} * (I * l) = \frac{1}{56 * 8,66} * (270 * 39,69) =$
 $=22,1 \text{ mm}^2$

A már meglévő 0,4 kV-os kábel megfelel a feszültségesés számítással meghatározott keresztmetszetnek, az új tároló kamrák terhelésének figyelembevételével is. Itt is jelentős tartalék van a kábelkeresztmetszetben, feltételezhetően a tervezők számoltak a bővítés lehetőségével, így már a kezdetekkor nagyobb keresztmetszetű kábeleket fektettek le.

Kamra parciális szellőző elosztó utáni kábele (0,4 kV-os szellőztetés ellátása, új kábelszakasz):

Már meglévő I-K1-es kamra kábelkeresztmetszete: $A=4 \times 20 \text{ mm}^2$

Tervezett hossz: $l=170 \text{ m}$ Megengedett feszültségesés: $\varepsilon = 5\%$

Feszültség: $U=0,4 \text{ kV}$ Egy kamra szellőztető motorjának teljesítménye: $P=11 \text{ kW}$

Megengedett feszültségesés:
$$U_{\varepsilon} = 0,75 \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U}{\sqrt{3}} = 0,75 * \frac{5}{100} * \frac{0,4 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 8,66 \text{ V}$$

Fogyasztó névleges árama:
$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{11 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 0,4 \text{ kV} * 0,8} = 19,85 \text{ A}$$

Számított minimális keresztmetszet:
$$Asz \geq \frac{\rho}{U_{\varepsilon}} * (I * l) = \frac{1}{56 * 8,66} * (170 * 19,85) = 6,95 \text{ mm}^2$$

A számítások alapján egy tároló vágat szellőztető motorját ellátó kábelszakasz ajánlott kábelkeresztmetszete: 20 mm^2 . Elég lenne kisebb kábelkeresztmetszet is, de az I-K1 mintájára itt is 20 mm^2 -el fogok számolni. Így marad biztonsági tartalék a kábelben.

További tartalékot kell hagyni a kábelekben, mivel a névleges áramterhelésnél a vezető 70°C -os hőmérsékletű is lehet, emiatt a DC ellenállás 20%-al nagyobb lehet. Ezen kívül figyelembe kell venni a váltakozó áramú ellenállást (skin-hatás), valamint azt, hogy a közelségi hatás (a háromfázisú áramkörök vezetőinek kölcsönhatása) miatt a vezető keresztmetszetben az árameloszlás nem lesz egyenletes ez is még 2-3 %-ot jelenthet a méretezésnél.

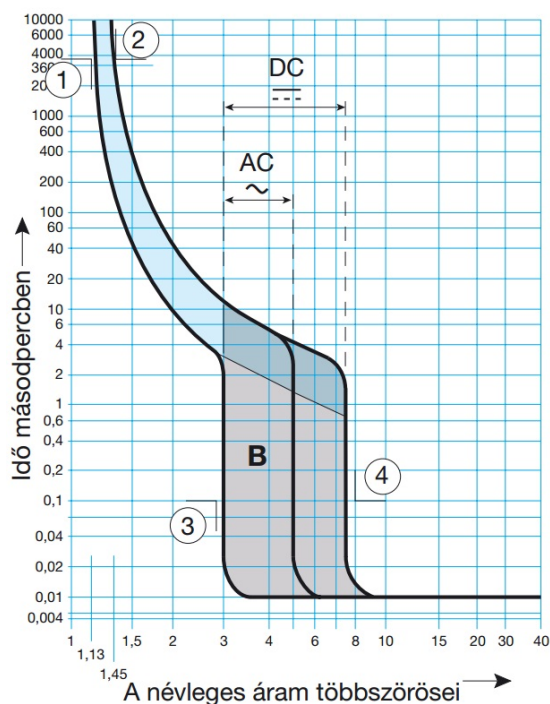
A bányában használt kábelek különleges gumiszigetelésű dobkábelek, NSHTöu típusúak. Önkiloátók, azaz nem tud a szigetelés kigyulladni, zárlat esetén a kábel gázt termel, ami kioltja az ívet/tűzet. Alkalmazhatóak különösen magas mechanikai igénybevételre, a neoprén köpenye révén ellenállók az időjárási körülményekkel, olajokkal, oldószerekkel és más vegyi anyagokkal szemben. Elhelyezhetőek párás, nedves, nyirkos helyeken. A felszín alatti kábelek egymással párhuzamosan, kábeltálcákon vannak elhelyezve.[\[9.\]](#)

3.4 Érintésvédelem

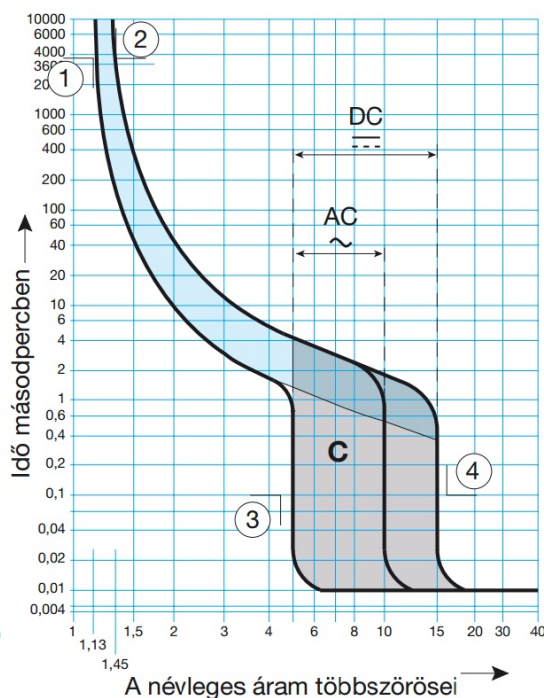
Az IT rendszerben fenntartható az első zárlat, de a második zárlatot már le kell kapcsolni. Ezen okból a kettős földzárlat esetén a kisfeszültségű leágazásokban a lekapcsolást a $2I_a Z_s \leq U$ feltétel szerint ellenőrizni kell, az MSZ HD 60364-4-41:2007 szabványnak megfelelően.

A kábelek reaktanciája elhanyagolhatóan kicsi, ezért a ($Z=R$) az impedancia megegyezik az ohmos ellenállással. A kioldási tényezőt a kismegszakító karakterisztikájából vettem C típusú kismegszakító esetén: $\alpha=10$ B típusú kismegszakító esetén pedig: $\alpha=5$ [3.]

Az általam tetszőlegesen választott kismegszakítók HAGER típusúak ezeknek a karakterisztikája látható a képeken.



11. ábra: B kismegszakító karakterisztika



12. ábra: C kismegszakító karakterisztika

3.4.1 Világítási fogyasztók

A világítási fogyasztók kismegszakítója a k7-es és k8-as kábelek találkozásánál található, ezért a hurok a k7-es és k8-as kábelből és a 400/230 V –os transzformátorból áll.

A kábelek és a transzformátor adatai:

Világítási fogyasztók teljesítménye: $P=3600 \text{ W}$ Feszültség: $U=230 \text{ V}$
 Kábelkeresztmetszet k_7 : $A=4 \times 25 \text{ mm}^2$ Kábel hossz k_7 : $l=850 \text{ m}$
 Kábelkeresztmetszet k_8 : $A=4 \times 35 \text{ mm}^2$ Kábel hossz k_8 : $l=20 \text{ m}$
 Cu fajlagos ellenállása: $\rho = \frac{1}{56} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ Transzformátor dropja: $\varepsilon = 7,83 \%$
 Transzformátor látszólagos teljesítménye: $S=25 \text{ kVA}$

Fogyasztó névleges árama:
$$I = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{3600 \text{ W}}{230 \text{ V} \cdot \sqrt{3}} = 9,04 \text{ A}$$

Ebben az esetben **B10**-es kismegszakítót érdemes választani, mert ez gyorsabb, mint a C típusú kismegszakító, és a világítási fogyasztók révén nem kell elviselnie a védelemnek a motoros fogyasztók áramlökéseit a hálózaton.

k_7 kábel impedanciája:
$$Z_{\text{kábel}7} = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} = 2 \cdot \frac{1}{56 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}} \cdot \frac{20 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 10 \text{ m}\Omega$$

k_8 kábel impedanciája:
$$Z_{\text{kábel}8} = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} = 2 \cdot \frac{1}{56 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}} \cdot \frac{850 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 0,43 \text{ }\Omega$$

A 2-szeres szorzó, azért kell, hogy figyelembe vegyük az oda és visszavezetést. A hurkot a két fázisvezető és védővezető impedanciája alkotja, viszont a nagy keresztmetszetű földelővezetőt (PE) elhanyagolom, mivel annak kicsi lesz az impedanciája. Ezen kívül a fogyasztóknál a helyi földelés is és a kábel PE vezetője is a testre van kötve. Ez tovább csökkenti a hurokimpedanciát, mivel más párhuzamos utakon is folyhat az áram.

Transzformátor impedanciája:
$$Z_{\text{tr}} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U^2}{S} = \frac{7,83}{100} \cdot \frac{230 \text{ V}^2}{25 \text{ kVA}} = 165,7 \text{ m}\Omega$$

Tényleges (számolt) hurokimpedancia:
$$Z_{\text{eredő}} = Z_{\text{hurok}} = Z_{\text{kábel}7} + Z_{\text{kábel}8} + Z_{\text{tr}} = \mathbf{0,6 \text{ }\Omega}$$

MSZ HD 60364-4-41:2007 szabvány szerint az IT rendszerekre alkalmazhatóak a TN rendszerekben használt lekapcsolási idők. A TN rendszerekben legfeljebb 32 A-es végáramkörökhöz tartozó lekapcsolási idő – 120 V $< U_0 \leq 230 \text{ V}$ váltakozó áram esetén - 0,4 sec.

Az áramkör fázisvezetőjét és védővezetőjét tartalmazó zárlati hurokimpedancia Ω -ban, ez a szabvány által előírt maximum érték: $Z_s = U / (2 I_a) = 230 / (2 \cdot 10 \text{ A} \cdot 5) = \mathbf{2,3 \text{ }\Omega}$

$$I_a = \alpha \cdot I_{\text{névleges}}$$

$$Z_s = 2,3 \, \Omega > Z_{\text{hurok}} = 0,6 \, \Omega$$

Mivel a számolt hurokimpedancia kisebb, mint a szabvány által előírt maximum érték, ezért a lekapcsoláshoz szükséges zárlati áram ki tud alakulni.

3.4.2 Szellőztető motor

A 0,4 kV-os fogyasztók kismegszakítójához tartozó hurok impedancia a k2,k3,k4,k5-ös kábelből és a 6/0,4 kV-os transzformátorból áll.

A kábelek és a transzformátor adatai:

Cu fajlagos ellenállása: $\frac{1}{56} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Egy motor teljesítménye: $P = 11 \, \text{kW}$

Feszültség: $U = 0,4 \, \text{kV}$

Kábelkeresztmetszet k_2 : $A = 4 \times 240 \, \text{mm}^2$

Kábel hossz k_2 : $l = 25 \, \text{m}$

Kábelkeresztmetszet k_3 : $A = 4 \times 120 \, \text{mm}^2$

Kábel hossz k_3 : $l = 270 \, \text{m}$

Kábelkeresztmetszet k_4 : $A = 4 \times 25 \, \text{mm}^2$

Kábel hossz k_4 : $l = 170 \, \text{m}$

Kábelkeresztmetszet k_5 : $A = 4 \times 10 \, \text{mm}^2$

Kábel hossz k_5 : $l = 10 \, \text{m}$

Transzformátor dropja: $\varepsilon = 5,5 \, \%$

Transzformátor látszólagos teljesítménye: $S = 550 \, \text{kVA}$

$$\text{Fogyasztó névleges árama: } I = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{11 \, \text{kW}}{0,4 \, \text{kV} \cdot \sqrt{3}} = 15,88 \, \text{A}$$

A névleges áram miatt 16 A-es kismegszakító szükséges. Mivel motoros fogyasztókról van szó a védelemnek el kell viselnie a motor indulásából adódó áramlökéseket, tehát C típusú kismegszakítót érdemes használni. Tehát az ajánlott kismegszakító **C16-os**.

$$\text{k2 kábel impedanciája: } Z_2 = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} = 2 \cdot \frac{1}{56 \, \text{ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}} \cdot \frac{25 \, \text{m}}{240 \, \text{mm}^2} = 3,72 \, \text{m}\Omega$$

$$\text{k3 kábel impedanciája: } Z_3 = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} = 2 \cdot \frac{1}{56 \, \text{ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}} \cdot \frac{270 \, \text{m}}{120 \, \text{mm}^2} = 80,36 \, \text{m}\Omega$$

$$\text{k4 kábel impedanciája: } Z_2 = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} = 2 \cdot \frac{1}{56 \, \text{ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}} \cdot \frac{170 \, \text{m}}{25 \, \text{mm}^2} = 0,24 \, \Omega$$

k5 kábel impedanciája: $Z_2 = 2 * \rho * \frac{l}{A} = 2 * \frac{1}{560 \text{hm} * \text{mm}^2/\text{m}} * \frac{10\text{m}}{10\text{mm}^2} = 35,7 \text{ m}\Omega$

Transzformátor impedanciája: $Z_{tr} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U^2}{S} = \frac{5,5}{100} * \frac{0,4\text{kV}^2}{550\text{kVA}} = 16 \text{ m}\Omega$

Tényleges (számolt) hurokimpedancia: $Z_{eredő} = Z_{hurok} = Z_{k2} + Z_{k3} + Z_{k4} + Z_{k5} + Z_{tr} = 375,8 \text{ m}\Omega$

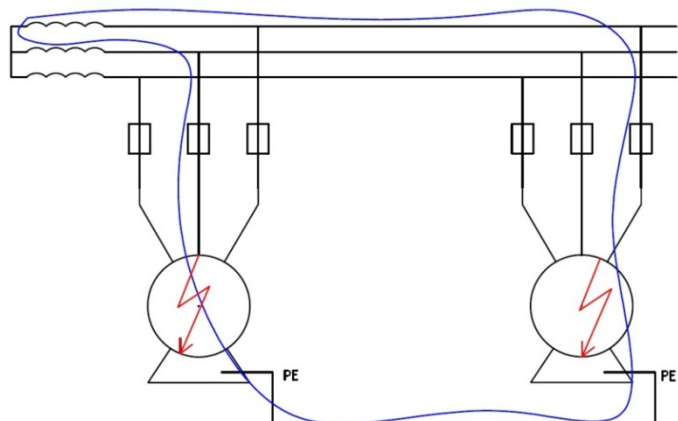
MSZ HD 60364-4-41:2007 szabvány szerint az IT rendszerekre alkalmazhatóak a TN rendszerekben használt lekapcsolási idők. A TN rendszerekben legfeljebb 32 A-es végáramkörökhöz tartozó lekapcsolási idő – 230 V < U_o ≤ 400 V váltakozó áram esetén - 0,2 sec.

Teljesülnie kell annak a feltételnek, hogy a hurok-impedancia legyen kisebb annál az impedanciánál, amit a kismegszakító 0,2 sec alatt le tud kapcsolni kettős földzárlat esetén.

Az áramkör fázisvezetőjét és védővezetőjét tartalmazó zárlati hurokimpedancia Ω-ban, ez a szabvány által előírt maximum érték: $Z_s = U / 2I_a = 400\text{V} / (2 * 16\text{A} * 10) = 1,25 \text{ }\Omega$

$Z_{\text{kismegszakító}} = 1,25 \text{ }\Omega > Z_{\text{hurok}} = 0,3758 \text{ }\Omega$

Mivel a számolt hurokimpedancia kisebb, mint a szabvány által előírt maximum érték, ezért a lekapcsoláshoz szükséges zárlati áram ki tud alakulni.



9. ábra: 2Ff zárlat esetén kialakuló áramkör elvi rajza

3.4.3 Szabványossági felülvizsgálat

Az alap és hibavédelem olyan életvédelmi intézkedés, amelyeknek a megfelelő működésében és helyes kialakításában nem elegendő bízni, hanem folyamatosan meg kell győződni kifogástalan állapotáról.

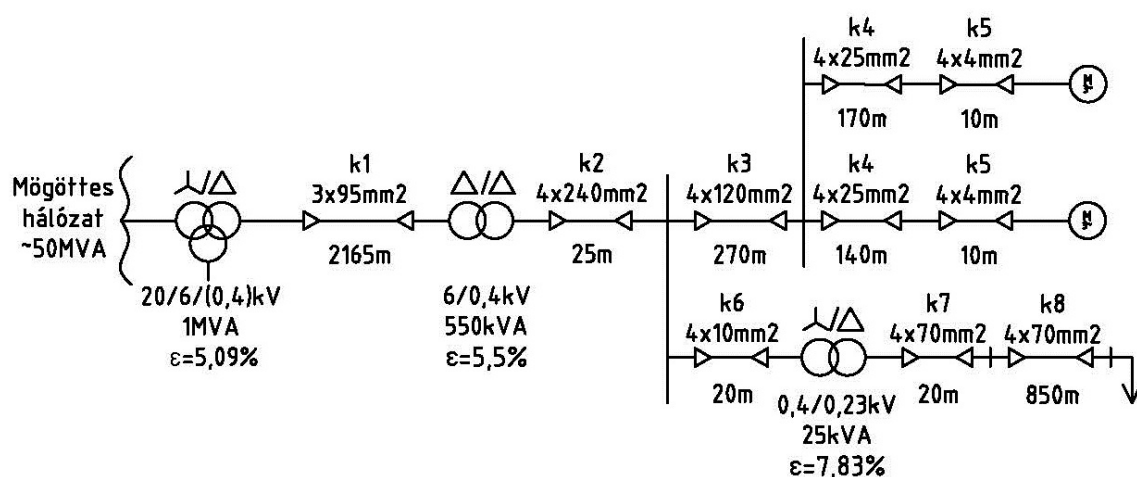
A szabványossági felülvizsgálat előtt, el kell végezni a szerelői ellenőrzést, hogy biztosak legyünk abban, hogy a felülvizsgálati mérések nem okoznak életveszélyt. A szabványossági felülvizsgálatot jelen esetben, azért kell elvégezni, mert új villamos berendezés beüzemelésére kerül sor.

A felülvizsgálatot megtekintéssel kell kezdeni, ellenőrizni kell, hogy a közvetett érintés elleni védelemre kötelezett villamos szerkezetek el vannak-e látva érintésvédelemmel és az alkalmazott érintésvédelmek megfelelnek-e az előírásoknak. Az IT rendszerben a földzárlati áram valamint a védőföldelés földelési ellenállásának a mérésével és az ezekre alapuló számításokkal kell igazolni, hogy a rendszer valóban nem közvetlenül földelt. Egysarkú földzárlat esetén nem lép fel vagy nem marad fenn a megengedett U_L -nél nagyobb érintési feszültség, kettős földzárlat esetén kikapcsol az érintésvédelmi kikapcsolást végző szerv. [\[5.\]](#)

3.5 Záratszámítás

A záratszámítás során két fő szempontot kell figyelembe venni. Meg kell határozni a különböző üzemállapotokban előforduló maximális zárlati áramokat, hogy a kiválasztott berendezések és készülékek termikus és dinamikus zárlati szilárdsága, zárlati megszakító képessége megfeleljen a beépítési hely által támasztott igénybevételnek. Az a cél, hogy a védelmek kibírják a fellépő legnagyobb zárlati áramot és meg tudják szakítani azt. Ezért szükségünk van a 3F (3 fázisú) zárlati áramokra mind a 0,4 kV-os motoroknál, mind a 230V-os világítási fogyasztóknál.

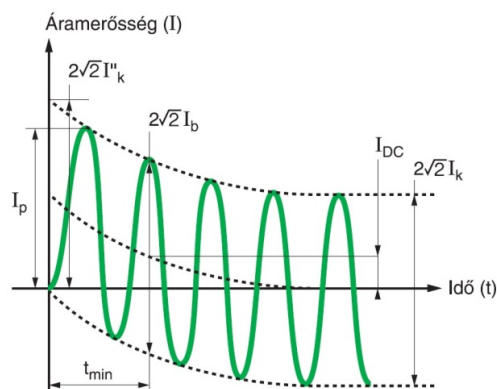
Emellett meg kell határozni a különböző üzemállapotokban előforduló minimális 2Ff (kettős földzárlat) zárlati áramokat, hogy a kiválasztott védelmek fix megszólalási értékei, illetve beállítási tartományai megfeleljenek a beépítési áramkörben lehetséges értékeknek, és meghatározhatóak legyenek a beállítási értékek.



10. ábra: A két új tároló kamra villamosenergia-ellátásának egyvonalas sémája

A záratszámítást az MSZ IEC 60909-0:2001 (Zárlati áramok háromfázisú váltakozó áramú rendszerekben 0. rész: Áramok számítása) szabvány szerint végeztem.[\[8.\]](#)

Egy ilyen összetett hálózatban a villamosenergia-rendszer különböző pontjaiban a zárlati áram meghatározása nehéz feladattá válik. Erre a célra speciális szoftvereket használnak, hogy a számításra fordított időt jelentősen csökkentsék. Számomra nem állt rendelkezésre ilyen szoftver, ezért lépésről lépésre, a szabvány szerint számoltam ki a zárlati áramokat. A fent említett szabvány igencsak pontos és megbízható eredményt ad a sugaras és hurkolt hálózatok számítására.



13. ábra: Zárlati áram összetevői

A tranziens zárlati áram időfüggvénye a hiba bekövetkezésének időpontjától függ. Amint az ábrán is látható, két komponensből tevődik össze: Egy váltakozó áramú összetevőből és egy egyenáramú összetevőből.

A váltakozó áramú összetevő csillapodva az állandósult zárlati áram értékéhez tart, ennek oka a forgógépek különböző rövidre zárt tekercse. Az

egyenáramú összetevő a nullához tart, a nagysága a váltakozó áramú összetevő kezdeti értékének és az áramköri impedanciáknak a függvénye. A zárlatszámítás végén megkapjuk az I_p értékét, ami a zárlati áram megszakítást követő első zárlati csúcserőteke. Erre az értékre a berendezések kiválasztása és a védelmi készülékek beállítása miatt van szükség [6.]

Table 1 – Voltage factor c

Nominal voltage U_n	Voltage factor c for the calculation of maximum short-circuit currents $c_{max}^{1)}$	minimum short-circuit currents c_{min}
Low voltage 100 V to 1 000 V (IEC 60038, table I)	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Medium voltage >1 kV to 35 kV (IEC 60038, table III)	1,10	1,00
High voltage ²⁾ >35 kV (IEC 60038, table IV)		

¹⁾ $c_{max} U_n$ should not exceed the highest voltage U_m for equipment of power systems.
²⁾ If no nominal voltage is defined $c_{max} U_n = U_m$ or $c_{min} U_n = 0,90 \times U_m$ should be applied.
³⁾ For low-voltage systems with a tolerance of +6 %, for example systems renamed from 380 V to 400 V.
⁴⁾ For low-voltage systems with a tolerance of +10 %.

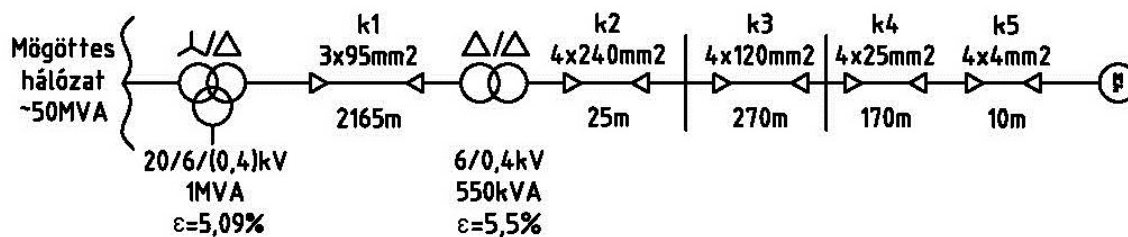
14. ábra: C feszültség tűrési tényező

A zárlat típusa	I''_k	
	Általános eset	Távoli zárlat
3F	$\frac{c U_n}{\sqrt{3} Z_1}$	$\frac{c U_n}{\sqrt{3} Z_1}$
2F	$\frac{c U_n}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{c U_n}{2 Z_1}$
2FN	$\frac{c U_n \sqrt{3} Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_0}$	$\frac{c U_n \sqrt{3}}{Z_1 + 2 Z_0}$
FN	$\frac{c U_n \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{c U_n \sqrt{3}}{2 Z_1 + Z_0}$

15. ábra: Zárlatok típusai

A zárlatszámítás során meg kell határozni az egyes passzív berendezések impedanciáit a hibahely felől nézve, és szükség esetén át kell redukálni azokat a hibahelyi feszültség szintre. A feszültség és az impedancia ismeretében számítható a zárlati áram legnagyobb és legkisebb értéke. Ehhez a számításhoz szükség van egy C feszültség tűrési tényezőre, ami a 14. ábrán látható. A mi esetünkben a generátortól távoli zárlat lép fel ($I_k = I''_k$, tehát a szimmetrikus zárlati áram kezdeti, effektív értéke megegyezik a szimmetrikus zárlati áram állandósult értékével). Mindezt a 15. ábra második oszlopában lévő képleteket használjuk az I''_k (ez a szimmetrikus zárlati áram kezdeti effektív értéke) érték számítására. I''_k -t egy Q korrekciós tényezővel megszorozva megkapjuk az I_p (ez a zárlati áram megszakítást követő első zárlati csúcserőteke) értékét.

3.5.1 Zárlat a 0,4kV-os fogyasztónál



16. ábra: A motoros fogyasztó ellátásának egyvonalas sémája

Kábelek impedanciái

A kábelek ohmos ellenállás értékei és reaktanciái a Számítások c. részben találhatóak meg.

k1 kábel impedancia: $Z_1 = 2,165 \text{ km} (0,098j \text{ ohm} + 0,193 \text{ ohm}) = 0,417 + 0,21j \Omega$

Mivel a hibahely 0,4 kV-on van, ezért át kell redukálni 0,4 kV-os feszültség szintre.

Redukált k1 kábel impedancia: $Z_{K1} = K_1 \cdot U_{LV}^2 / U_{HL}^2 = 0,417 + 0,21j \Omega \cdot 0,42 \text{ kV}^2 / 6,3 \text{ kV}^2$
 $= 1,85 + 0,94j \text{ m}\Omega$

k2 kábel impedancia: $Z_2 = (1,86 \text{ m}\Omega + 81j \text{ m}\Omega) \cdot 0,025 \text{ km} = 1,86 + 2,02j \text{ m}\Omega$

k3 kábel impedancia: $Z_3 = (40,18 \text{ m}\Omega + 81j \text{ m}\Omega) \cdot 0,27 \text{ km} = 40,18 + 21,87j \text{ m}\Omega$

k4 kábel impedancia: $Z_4 = (0,121 \Omega + 81j \text{ m}\Omega) \cdot 0,17 \text{ km} = 121 + 13,7j \text{ m}\Omega$

k5 kábel impedancia: $Z_5 = (44,6 \text{ m}\Omega + 81j \text{ m}\Omega) \cdot 0,01 \text{ km} = 44,6 + 0,81j \text{ m}\Omega$

Eredő kábel impedancia: $Z_e = Z_{K1} + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 = 209,5 + 39,4j \text{ m}\Omega$

Transzformátorok impedanciái

22/6 kV-os transzformátor

Impedancia: $T_{R1}^{(22/6)} = Z_{TLV} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U^2}{S} = \frac{5,09}{100} \cdot \frac{6,6 \text{ kV}^2}{1 \text{ MVA}} = 2,217 \Omega$

Ohmos ellenállás: $R_{TLV} = P_{veszt} \cdot U_{név}^2 / S_{TR}^2 = 8,8 \text{ kW} \cdot 6,6 \text{ kV}^2 / 1 \text{ MVA}^2 = 0,384 \Omega$

Reaktancia: $X_{TLV} = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{2,217^2 - 0,384^2} = 2,18 \Omega$

Komplex impedancia: $Z_{TLV} = 0,384 + j2,18 \Omega$

Drop arány száma: $\varepsilon_s = X_{TLV} * S_{RT} / U_{TLV}^2 = 2,14 \Omega * 1 \text{MVA} / 6,6 \text{kV}^2 = 0,05$

Korrekciós tényező: $K_T = 0,95 * C_{max} * \frac{1}{1+0,6*\varepsilon} = 0,95 * \frac{1,05}{1+0,6*0,05} = 0,969$

Korrigált impedancia: $Z_{TR1} = K_T * Z_T = 0,969 * (0,384 + j2,18) \Omega = 0,372 + j2,11 \Omega$

Korrigált impedancia redukálva: $Z_{TR2} = U_{LV}^2 / U_{HV}^2 * Z_{TK} = 0,42^2 / 6,3^2 * (0,372 + j2,11 \Omega) = \underline{1,65 + j9,38 \text{ m}\Omega}$

6/0,4 kV-os transzformátor

Impedancia: $T_{R2}^{(6/0,4)} = Z_{TLV} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U^2}{S} = \frac{5,5}{100} * \frac{0,42 \text{kV}^2}{550 \text{kVA}} = 17,64 \text{ m}\Omega$

Ohmos ellenállás: $R_{TLV} = P_{veszt} * U_{névl}^2 / S_{TR}^2 = 5,3 \text{ kW} * 0,42^2 \text{ kV} / 550^2 \text{ kVA} = 3,09 \text{ m}\Omega$

Reaktancia: $X_{TLV} = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{17,64^2 - 3,09^2} = 17,37 \text{ m}\Omega$

Komplex impedancia: $Z_{TLV} = 3,09 + j17,37 \text{ m}\Omega$

Drop arány száma: $\varepsilon_s = X_{TLV} * S_{RT} / U_{TLV}^2 = 17,37 \text{ m}\Omega * 550 \text{kVA} / 0,42 \text{kV}^2 = 0,0542$

Korrekciós tényező: $K_T = 0,95 * C_{max} * \frac{1}{1+0,6*\varepsilon} = 0,95 * \frac{1,05}{1+0,6*0,0542} = 0,966$

Korrigált impedancia: $Z_{TR2} = K_T * Z_T = 0,966 * (3,09 + j17,64) \text{ m}\Omega = \underline{2,98 + j17,04 \text{ m}\Omega}$

Mögöttes hálózat

Zárlati áram: $I_Z = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{50 \text{MW}}{\sqrt{3} * 20 \text{kV}} \cong 1,45 \text{ kA}$

Mögöttes hálózat impedanciája: $Z_Q = \frac{C * U_n}{\sqrt{3} * I_Z} * \frac{U_{lv}^2}{U_{hv}^2} * \frac{U_{lv}^2}{U_{hv}^2} = \frac{1,1 * 20 \text{kV}}{\sqrt{3} * 1,45 \text{kA}} * \frac{6,6^2}{22^2} * \frac{0,42^2}{6,3^2} = \underline{3,5 \text{ m}\Omega}$

C=1,1 lesz a 14. ábra alapján, mert középfeszültségű a mögöttes hálózat.

A mögöttes hálózat R/X viszonyára nincs konkrét értékem, ezért csak becsülni tudom. A hálózatszámításokban általánosan vett R/X viszony: $R_Q / X_Q = 0,1$, tehát $10R = X$. A $10R = X$ értéket behelyettesítve a következő képletbe: $3,5 \text{ m}\Omega = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (10R)^2}$ megkapom az impedancia komplex alakját.

Mögöttes hálózat impedanciája komplex alakban: $\underline{Z}_Q = 0,35 + 3,48j \text{ m}\Omega$

1. 3F zárlat a 0,4 kV-os fogyasztónál

Impedanciák összege: $Z_{\text{össz}} = Z_e + Z_{\text{TR1}} + Z_{\text{TR2}} + Z_Q = (209,5 + 39,4j) + (2,98 + 17,04j) + (1,65 + 9,38j) + (0,35 + 3,48j) = 214,47 + 69,47j \text{ m}\Omega = \underline{225,4 \text{ m}\Omega}$

A szimmetrikus zárlati áram kezdeti effektív értéke: $I''_k = \frac{C \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_k|} \cdot \frac{1,05 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot 225,4 \text{ m}\Omega} = \underline{1,07 \text{ kA}}$

A korrekciós tényezőhöz szükséges R/X viszony: $R/X = 214,47/69,47 = 3,09$

Korrekciós tényező: $Q = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{R}{X}} = 1,02$

A zárlati áram megszakítást követő első zárlati csúcserőértéke: $I_p = Q \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k = 1,02 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,07 \text{ kA} = \underline{1,47 \text{ kA}}$

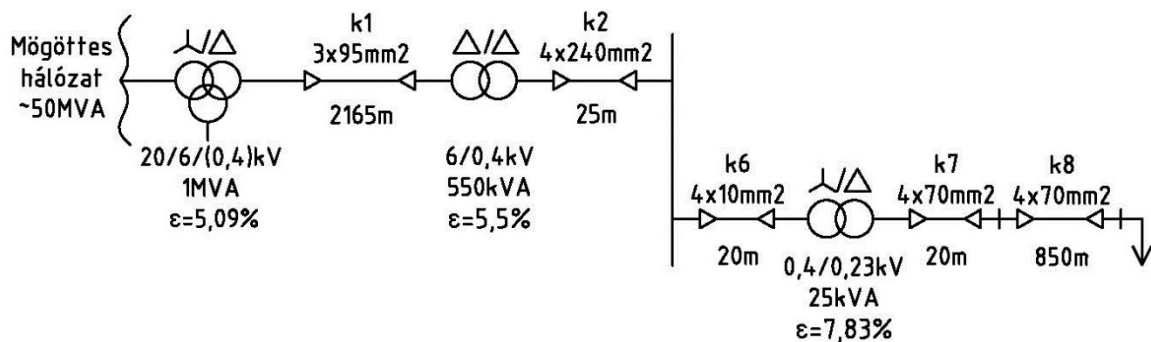
2. 2Ff zárlat a 0,4 kV-os fogyasztónál

A szimmetrikus zárlati áram kezdeti effektív értéke: $I''_k = \frac{C \cdot U}{2 \cdot |Z_1|} \cdot \frac{0,95 \cdot 400V}{2 \cdot 225,47 \text{ m}\Omega} = \underline{843 \text{ A}}$ C 0,95, mert minimális kell!

A zárlati áram megszakítást követő első zárlati csúcserőértéke: $I_p = Q \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k = 1,02 \cdot \sqrt{2} \cdot 843 \text{ A} = \underline{1,22 \text{ kA}}$

A minimális zárlati áram 2Ff (kettős földzárlat) zárlat esetén lép fel, de a védőkészülékek közös földelő hálózathoz csatlakoznak, ezért a föld ellenállása elhanyagolható a földelő hálózat ellenállása mellett. A földelő hálózat nagy keresztmetszetű fém összeköttetés, impedanciája elhanyagolható a kábelek impedanciája mellett, ezért a 2Ff zárlatot 2F (kétfázisú zárlat) zárlattal helyettesíthetem.

3.5.2. Zárlat a 230V-os világítási fogyasztónál



17. ábra: A világítási fogyasztó ellátásának egyvonalas sémája

Kábelek impedanciái

A kábelek ohmos ellenállás értékei és reaktanciái a számítások c. részben találhatók meg.

k1 kábel impedancia: $Z_1 = 2,165 \text{ km} (0,098j \text{ ohm} + 0,193 \text{ ohm}) = 0,417 + 0,21j \Omega$

Mivel a hibahely 230V-on van, ezért át kell redukálni 230V-os feszültségszintre.

Redukált k1 kábel impedancia: $Z_{K1} = K_1 * (U_{LV}^2 / U_{HL}^2) * (U_{LV}^2 / U_{HL}^2) = (0,417 + 0,21j) \Omega * (0,42kV^2 / 6,3kV^2) * (230V^2 / 400V^2) = \underline{0,61 + 0,3j \text{ m}\Omega}$

k2 kábel impedancia: $Z_2 = ((1,86m\Omega + 81j \text{ m}\Omega) * 0,025km) * 230^2 / 400^2 = 0,015 + 0,67j \text{ m}\Omega$

k6 kábel impedancia: $Z_6 = ((35,7 \text{ m}\Omega + 81j \text{ m}\Omega) * 0,02 \text{ km}) * 230^2 / 400^2 = 0,24 + 0,5j \text{ m}\Omega$

k7 kábel impedancia: $Z_7 = ((5 \text{ m}\Omega + 81j \text{ m}\Omega) * 0,02 \text{ km}) = 0,1 + 1,62j \text{ m}\Omega$

k8 kábel impedancia: $Z_8 = ((207m\Omega + 81j \text{ m}\Omega) * 0,850 \text{ km})) = 176 + 69j \text{ m}\Omega$

Eredő kábel impedancia: $Z_e = Z_{K1} + Z_2 + Z_6 + Z_7 + Z_8 = \underline{177 + 72,1j \text{ m}\Omega}$

Transzformátorok impedanciái

22/6 kV-os transzformátor

Impedancia: $T_{R1}^{(22/6)} = Z_{TLV} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U^2}{S} = \frac{5,09}{100} * \frac{6,6kV^2}{1MVA} = 2,217 \Omega$

Ohmos ellenállás: $R_{TLV} = P_{veszt} * U_{név}^2 / S_{TR}^2 = 8,81 \text{ kW} * 6,6^2 \text{ kV} / 1MVA = 0,384 \Omega$

Reaktancia: $X_{TLV} = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{2,217^2 - 0,384^2} = 2,18 \Omega$

Komplex impedancia: $Z_{TLV} = 0,384 + 2,18 \Omega$

Drop arányszám: $\varepsilon_s = X_{TLV} * S_{RT} / U_{TLV}^2 = 2,18 \Omega * 1 \text{MVA} / 6,6 \text{kV}^2 = 0,05$

Korrekciós tényező: $K_T = 0,95 * C_{max} * \frac{1}{1+0,6*\varepsilon} = 0,95 * \frac{1,05}{1+0,6*0,05} = 0,969$

Korrigált impedancia: $Z_{TK} = K_T * Z_T = 0,969 * (0,384 + j2,217) \Omega = 0,372 + 2,11j \Omega$

Korrigált impedancia redukálva: $Z_{TR2} = (U_{LV}^2 / U_{HV}^2) * (U_{LV}^2 / U_{HV}^2) * Z_{TK} = 0,42^2 / 6,3^2 * 230^2 / 400^2 * (0,372 + 2,11j \Omega) = \underline{0,55 + 3,1j \text{ m}\Omega}$

6/0,4 kV-os transzformátor

Impedancia: $T_{R2}^{(6/0,4)} = Z_{TLV} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U^2}{S} = \frac{5,5}{100} * \frac{0,42 \text{kV}^2}{550 \text{kVA}} = 17,64 \text{ m}\Omega$

Ohmos ellenállás: $R_{TLV} = P_{veszt} * U_{név}^2 / S_{TR}^2 = 5,3 \text{kW} * 0,42^2 \text{kV} / 550^2 \text{kVA} = 3,09 \text{ m}\Omega$

Reaktancia: $X_{TLV} = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{17,64^2 - 3,09^2} = 17,37 \text{ m}\Omega$

Komplex impedancia: $Z_{TLV} = 3,09 + j17,64 \text{ m}\Omega$

Drop arányszám: $\varepsilon_s = X_{TLV} * S_{RT} / U_{TLV}^2 = 17,37 \text{m}\Omega * 550 \text{kVA} / 0,42 \text{kV}^2 = 0,0542$

Korrekciós tényező: $K_T = 0,95 * C_{max} * \frac{1}{1+0,6*\varepsilon} = 0,95 * \frac{1,05}{1+0,6*0,0542} = 0,966$

Korrigált impedancia: $Z_{TK} = K_T * Z_T = 0,966 * (3,09 + j17,64) \text{m}\Omega = 2,98 + 17,04j \text{ m}\Omega$

Korrigált impedancia redukálva: $Z_{TR2} = (2,98 + 17,04j \text{ m}\Omega) * 230^2 / 400^2 = \underline{0,98 + 5,63j \text{ m}\Omega}$

400/230 V-os transzformátor

Impedancia: $T_{R3}^{(0,4/230)} = Z_{TLV} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U^2}{S} = \frac{7,83}{100} * \frac{230 \text{V}^2}{25 \text{kVA}} = 165 \text{ m}\Omega$

Ohmos ellenállás: $R_{TLV} = P_{veszt} * U_{név}^2 / S_{TR}^2 = 600 \text{W} * 230 \text{V}^2 / 25 \text{kVA}^2 = 50 \text{ m}\Omega$

Reaktancia: $X_{TLV} = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{165^2 - 50^2} = 157,2 \text{ m}\Omega$

Komplex impedancia: $Z_{TLV} = 50 + 157,2j \text{ m}\Omega$

Drop arányszám: $\varepsilon_s = X_{TLV} * S_{RT} / U_{TLV}^2 = 157,2j \text{ m}\Omega * 25 \text{kVA} / 230 \text{V}^2 = 0,074$

Korrekciós tényező: $K_T = 0,95 * C_{max} * \frac{1}{1+0,6*\varepsilon} = 0,95 * \frac{1,05}{1+0,6*0,074} = 0,955$

Korrigált impedancia: $Z_{TK} = K_T * Z_T = 0,955 * (50 + 157,2j) \text{ m}\Omega = \underline{47,75 + 150j \text{ m}\Omega}$

Mögöttes hálózat

Zárlati áram: $I_z = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{50 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV}} \cong 1,45 \text{ kA}$

Mögöttes hálózat impedanciája: $Z_Q = \frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_z} \cdot \frac{U_{lv}^2}{U_{hv}^2} \cdot \frac{U_{lv}^2}{U_{hv}^2} \cdot \frac{U_{lv}^2}{U_{hv}^2} = \frac{1,1 \cdot 20 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 1,45 \text{ kA}} \cdot \frac{6,6 \text{ kV}^2}{22 \text{ kV}^2} \cdot \frac{0,42 \text{ kV}^2}{6,3 \text{ kV}^2} \cdot \frac{230 \text{ V}^2}{400 \text{ V}^2} = 1,16 \text{ m}\Omega$

$C=1,1$ lesz a 14. ábra alapján, mert középfeszültségű a mögöttes hálózat.

A mögöttes hálózat R/X viszonyára nincs konkrét értékem, ezért csak becsülni tudom. A hálózatszámításokban általánosan vett R/X viszony: $R_Q/X_Q=0,1$, tehát $10R=X$. Ezt behelyettesítve a következő képletbe: $1,16 \text{ m}\Omega = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (10R)^2}$ megkapom az impedancia komplex alakját.

Mögöttes hálózat impedanciája komplex alakban: $Z_Q = 0,115 + 1,156j \text{ m}\Omega$

1. 3F zárlat a 230V-os fogyasztónál

Impedanciák összege: $Z_{\text{össz}} = Z_e + Z_{TR1} + Z_{TR2} + Z_{TR3} + Z_Q = (177 + 72,1j \text{ m}\Omega) + (0,55 + 3,1j \text{ m}\Omega) + (0,98 + 5,63j \text{ m}\Omega) + (47,75 + 150j \text{ m}\Omega) + (0,115 + 1,156j \text{ m}\Omega) =$
 $= 226,5 + 232j \text{ m}\Omega = \sqrt{226,5^2 + 232^2} = 324,2 \text{ m}\Omega$

A szimmetrikus zárlati áram kezdeti effektív értéke: $I''_k = \frac{C \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \cdot \frac{1,05 \cdot 230 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 324,2 \text{ m}\Omega} = 430 \text{ A}$

A korrekciós tényezőhöz szükséges R/X viszony: $R/X = 226,5/232 = 0,98$

Korrekciós tényező: $Q = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{226}{232}} = 1,072$

A zárlati áram megszakítást követő első zárlati csúcserőértéke: $I_p = Q \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k = 1,072 \cdot \sqrt{2} \cdot 430 \text{ A} = 651,8 \text{ A}$

2. 2Ff zárlat a 230 V-os fogyasztónál

A szimmetrikus zárlati áram kezdeti effektív értéke:

$$I''_k = \frac{C \cdot U}{2 \cdot |Z_1|} \cdot \frac{0,95 \cdot 230V}{2 \cdot 324,2m\Omega} = =$$

337 A

A zárlati áram megszakítást követő első zárlati csúcsértéke:

$$I_p = Q \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k = 1,072 \cdot$$

$\sqrt{2} \cdot 337 \text{ A} = 511 \text{ A}$

	3F zárlat	2Ff zárlat
A 0,4 kV-os fogyasztónál	1,47 kA	1,22 kA
A 230 V-os fogyasztónál	651,8 A	511 A

2. táblázat: Zárlati áramok

Az érintésvédelmi számítások eredményeiből, megállapítható, hogy a 0,4 kV-os fogyasztók védelmeként HAGER típusú C16-os kismegszakító szükséges. Ez a típusú kismegszakító, ahogy 12. ábrán is látható a 0,4 kV-os rész 2Ff zárlatára már a gyorskioldó részben működik, tehát a kismegszakító megszólal a minimális zárlati áramra (2Ff). A legnagyobb zárlati áramot (3F) pedig meg tudja szakítani, mert ennek a típusnak a névleges megszakító képessége 6kA.

Hasonló a helyzet a 230 V-os fogyasztónál is. A 11. ábrából leolvasható, hogy a B10-es kismegszakítót a 2Ff zárlat itt is a gyorskioldó részben működteti a 3F zárlatot pedig képes megszakítani, mert a névleges megszakító képessége ennek is 6 kA.

A védelmek megfelelnek zárlat- és érintésvédelmi szempontból is. [\[11.\]](#)

4. Jövőbeli tervek, összegzés

Az első ütemben 2008-ra elkészültek az NRHT (Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló) felszíni létesítményei, a második ütemben 2012-re megvalósult az első két kamra (I-K1 és I-K2), és megépültek az ezeket kiszolgáló technológiai rendszerek. Elhelyezték véglegesen az első vasbeton konténert is. 2013 szeptemberében a tárolóba, végleges helyére került a 100. konténer.

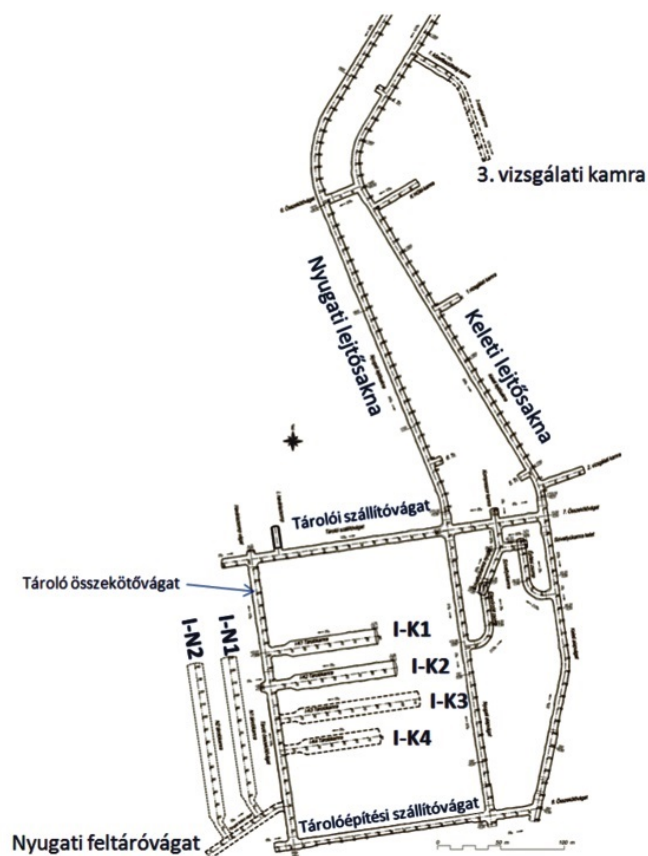
A jövőben nem a mostani vasbeton konténeres elhelyezést fogják használni, hanem kompakt hulladékcsomagokat (fém-konténer) hoznak létre, amiket vasbeton medencében fognak majd tárolni. Ilyen tárolás valósul majd meg az I-K2-es már meglévő és a tervezett I-K3 és I-K4-es kamrákban is. Ezen kamrák villamosenergia-ellátásának megtervezése a dolgozatom fő feladata. A harmadik ütem keretében készülnek el az I-K3 és I-K4-es kamrák, a Nyugati feltáró vágat és a 3. vizsgálati kamra.

A két nyugati kamra elhelyezése más lesz, eltér az eredeti párhuzamos kialakítás terveitől, mert a felszín alatti geológiai kutatás törésvonalakat tárt fel. A tároló kamra nem keresztezhet törésvonalat, csak egybefüggő homogén gránit tömbben lehet kialakítani.

Elindultak kutatófúrások is a törések részletes feltárására, ahol nagyon komoly monitoring rendszert (közefeszültség, közet deformációs, szeizmikus, tektonikus mérések) építettek ki a közet elemzésére.

Az I-K3, I-K4 és a Nyugati oldal kamráit az I-N1 és az I-N2 a hatékonyabb térkihasználás érdekében nagyobb szelvénymérettel tervezik kialakítani. A Paksi Atomerőmű 50 éves üzemideje alatt termelődő radioaktív hulladékok kerülnek majd ezekbe a tároló kamrákba.

2017-ben lép üzembe az I-K2-es kamra 1500 KHCS (Kompakt hulladékcsomag) tárolói kapacitással.



18. ábra: Vágatrendszer

Majd 2021-ben és 2027-ben épülnek meg az I-K3-as és I-K4-es kamrák, melyek együttes tervezett kapacitása 9258 KHCS lesz. 2034-ben megépül az I-N1 és az I-N2 számú kamra is. A létesítmény előreláthatólag 2084-ig fog üzemelni, utána hosszú távú felügyeletet fognak biztosítani a létesítményben.[\[7.\]](#)

Sajnos a radioaktivitás fogalma jelentős félelemérzettel párosul, ez főleg a nukleáris fegyverek alkalmazására vezethető vissza. Sok emberben ez a félelem tevődött át a radioaktív hulladékok megítélésére is.

Örültem, hogy foglalkozhattam ezzel a témával, és szerencsém volt látni testközelből a magyarországi kis és közepes aktivitású hulladékkezelés egy részét. Személyesen voltam a még épülő Nemzeti Radioaktív Hulladéktárolóban Bataapátiban, és meggyőződtem arról, hogy kellő körültekintés mellett teljes biztonságban lehet tárolni ezeket a veszélyes hulladékokat.

A dolgozatom írása közben rengeteget tanultam a témáról, és megpróbáltam kiemelni a legfőbb szakmai szempontokat, amelyek egy ilyen tároló bővítésénél szóba jöhetnek. A dolgozat elkészítésében segítségemre voltak az RHK Kft. és az OVIT Zrt. munkatársai. Külön köszönet Fekete Gábornak az OVIT Zrt. szekundertechnikai mérnökének, aki személyes tapasztalataival segített a szakmai kérdésekben és Drinóczi Zoltánnak RHK Kft. villamosmérnökének, akivel lehetőségem volt bejárni a már elkészült tárolót.

Köszönöm a belső konzulenseimnek, Dr. Novothny Ferencnek és Dr. Rác Ervinnek a segítségüket, és Bóné Attila hallgatótársamnak a számítások ellenőrzésében végzett munkáját.

Összefoglaló

A TDK dolgozat célja az eddig elkészült Bábaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló bemutatása és a jövőbeli bővítés villamosenergia-ellátásának megtervezése.

A dolgozat részletesen ismerteti a tervezett két új tároló kamra (I-K3, I-K4) - világítási fogyasztók és szellőztetés - ellátásának megtervezését. A munka első részében bemutatásra kerül a magyarországi kis és közepes aktivitású hulladékok kezelése és elhelyezése. Legfőképp a paksi atomerőmű hulladékainak tárolása miatt épült bábaapáti hulladéktároló felszíni és felszín alatti létesítményeinek építése és működése.

Egy komplex képet kapunk az itt alkalmazott energiaellátó rendszerről és az új tároló kamrák rendszerbe való illeszthetőségéről. A dolgozat számításokkal támasztja alá a bővítés lehetőségét, nem tér ki minden részletre, a legnagyobb hangsúlyt a villamos energia igény felmérése a terhelésszámítás, a kábelek méretezése és a zárlatszámítás kapja, melyek a védelmek kiválasztásához szükségesek. A dolgozat részletezi a bányában alkalmazott érintésvédelmi rendszert, ami különleges megoldásokat kívánt.

A befejező rész bemutatja a hulladéktároló jövőbeli életét, a radioaktív hulladékkezelés illetve a hulladéktároló szükségességét és aktualitását.

Summary

The purpose of the thesis describes the existing National Radioactive Waste Repository in Bataapati and the design of the electric power supply of its future extensions.

The dissertation contains in detail the power supply design – lightning and airing – of the two new planned storage tunnels (I-K3, I-K4). First of all, the final disposal of the low and intermediate activity level wastes (working clothes, gloves etc.) in Hungary is presented. This facility was built to manage wastes of the Nuclear Power Plant in Paks.

The thesis describes a complex overview of the power systems and the integration of the new storage tunnels. The present paper supports the possibility of the extension with calculations and emphasizes the power demand estimate, cable sizing, load calculation, short circuit calculation needed in choosing the appropriate protections. The thesis also specifies the system of electric shock protection applied in the repository.

In the final part of the paper the future operation of the repository, the management of radioactive waste as well as the need for and the actuality of the repository will be presented.

Irodalomjegyzék

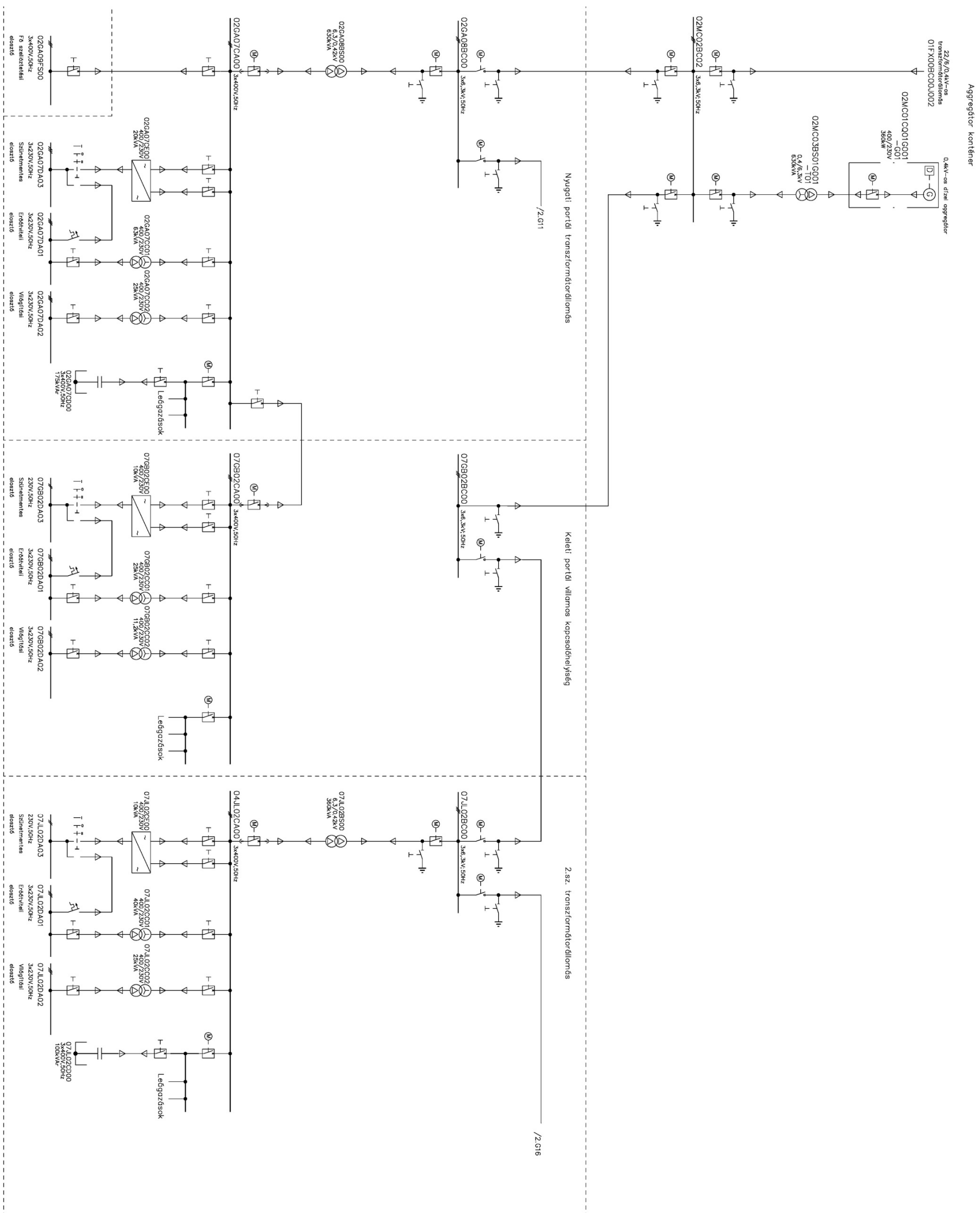
- [1.] Dr. Ormai Péter: Nemzetközi és hazai törekvések a radioaktív hulladékok biztonságos kezelésére és elhelyezésére 2003. szeptember
- [2.] A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. tizenkettedik közép-és hosszú távú terve a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapból finanszírozandó tevékenységekre Paks, 2012. május
- [3.] MSZ HD 60364-4-41:2007 szabvány
- [4.] KVKKK00003D000C számú terv
- [5.] Dr. Novothny Ferenc (PhD) Villamosenergia-ellátás II. Villamos biztonságtechnika ÓE KVK 2079/I. Budapest, 2011.
- [6.] Schneider: Épületvillamossági kézikönyv 2007
- [7.] A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. tizenharmadik közép-és hosszú távú terve a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapból finanszírozandó tevékenységekre Paks, 2012. május
- [8.] MSZ IEC 60909-0:2001 (Zárlati áramok háromfázisú váltakozó áramú rendszerekben 0. rész: Áramok számítása)
- [9.] <http://www.vlg.hu/arukinalatunk/kabelek-es-vezetek/vlg-katalogus/gumikopenyes-vezetek-es-uszo-kabelek/nshtou>
- [10.] <http://www.rhk.hu/>
- [11.] http://biosolar.hu/stuff/uploads/kioldasi_jelleggorbe.pdf
- [12.] Dr. Novothny Ferenc (PhD) Villamosenergia-ellátás I. BMF KVK 2052, Budapest 2009.

Ábrajegyzék

1. ábra	RHK kft. fotó
2. ábra	RHK kft. fotó
3. ábra	RHK kft. fotó
4. ábra	RHK kft. fotó
5. ábra	RHK kft. fotó
6. ábra	RHK kft. fotó
7. ábra	RHK kft. fotó
8. ábra	RHK kft. fotó
1. táblázat	Saját, szerkesztett a KVKKK00003D000C számú terv alapján
9. ábra	http://www.benderrelay.com/datasheets_US/IRDH275.pdf
10. ábra	Saját, rajzolt ábra
11. ábra	http://biosolar.hu/stuff/uploads/kioldasi_jelleggorbe.pdf
12. ábra	http://biosolar.hu/stuff/uploads/kioldasi_jelleggorbe.pdf
13. ábra	Schneider: Épületvillamossági kézikönyv 2007 kivágott kép
14. ábra	MSZ IEC 60909-0:2001 szabvány kivágott kép
15. ábra	Schneider: Épületvillamossági kézikönyv 2007 kivágott kép
16. ábra	Saját, rajzolt ábra
17. ábra	Saját, rajzolt ábra
18. ábra	A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. tizenharmadik közép-és hosszú távú terve a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapból finanszírozandó tevékenységekre Paks, 2012. május kivágott kép
2. táblázat	Saját, szerkesztett táblázat
19. ábra	Saját, rajzolt ábra

Mellékletek

M.1. Villamosenergia-ellátás egyvonalas kapcsolási rajz/1



M.2. Villamosenergia-ellátás egyvonalas kapcsolási rajz/2.

