



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Szalai Milán

Egyenáramú villamos energiaelosztás lehetőségeinek vizsgálata

TDK dolgozat

KONZULENS

Dr. Raisz Dávid

BUDAPEST, 2015

Tartalomjegyzék

Összefoglalás.....	3
Abstract	5
1. Bevezetés.....	6
1.1 A villamosság területén alkalmazott energia megtakarítási lehetőségek	6
1.2 Az egyenáramú villamosenergia-elosztásban rejlő lehetőségek	6
1.3 Irodalomkutatás	7
1.4 A vizsgálataim során kitűzött célok	7
2. Családi ház	9
2.1 Vizsgált hálózatok	9
I. rendszer	9
II. rendszer.....	10
III. rendszer	10
IV. rendszer	10
2.2 A ház vezetékvezése.....	11
2.3 Berendezések adatainak meghatározása.....	13
2.3.1 A berendezés áramainak meghatározása AC esetben	13
2.3.2 Váltakozó áramú eset	14
2.3.3 Egyenáramú eset	15
2.4 Világítás adatainak meghatározása	15
2.4.1 Fényforrások teljesítménye	16
2.4.2 Fényforrások által felvett áram	17
2.5 Berendezések villamosenergia-fogyasztásának meghatározása.....	18
2.5.1 AC eset	18
2.5.2 DC eset	19
2.5.3 Hibrid eset	19
2.5.4 Eredmények.....	20
2.6 A világítás villamosenergia-fogyasztásának meghatározása	20
2.6.1 Váltakozó áram esetén az éves villamosenergia-fogyasztás	20
2.6.2 Egyenáram esetén az éves villamosenergia-fogyasztás	21
2.6.3 Eredmények.....	21
2.7 Vezeték veszteségek meghatározása a berendezések esetén.....	21
2.7.1 AC eset	22
2.7.2 DC eset	24

2.7.3 Hibrid eset	25
2.7.4 Eredmények.....	25
2.8 Vezeték veszteségek meghatározása a világítás esetén.....	26
2.8.1 Eredmények.....	26
2.9 Gazdaságossági összehasonlítás.....	27
2.10 Érzékenységvizsgálatok	28
2.11 Összegzés	30
3 Lakópark.....	32
3.1 Az általam elképzelt villamosenergia-hálózat.....	32
3.1.1 A +24 V-os és +325 V-os egyenfeszültség előállításának helye	32
3.1.2 Vezeték keresztmetszet megválasztása	33
3.1.3 Az egyes lakások pillanatnyi felvett árama	33
3.2 A vezetékek veszteségeinek meghatározása	35
3.2.1 A referencia rendszer éves veszteségeinek meghatározása egy esetre.....	36
3.2.2 A hibrid rendszer éves veszteségeinek meghatározása egy esetre	36
3.3 Megtérülési idő számítása	37
3.4 Összegzés	38
4. Konklúzió	40
Irodalomjegyzék.....	41
Függelék	43
Családi ház villamos hálózatának tervrajzai	43
A berendezések árainál használt változók értéke	46
Az egyenáramú berendezések teljesítményénél használt szorzó	47
A lakópark tervrajza	48

Összefoglalás

A munkám során vizsgálatokat végeztem a teljes egészében vagy, részben egyenáramú (egyenfeszültségű) energiaelosztás előnyeinek meghatározására egy családi ház, illetve egy lakópark esetén.

Irodalomkutatásom során kétféle egyenáramú elosztással találkoztam.

Az épületen belüli egyenáramú energiaelosztással leggyakrabban olyan létesítményekben találkozhatunk, ahol a villamos energia termelése napelemek segítségével történik, és az épület vagy épületrész sziget üzemben működik. Ennek a rendszernek az előnye, hogy elkerüljük a „fölsleges” AC/DC illetve DC/AC átalakításokat, ezáltal csökken a veszteség.

A hibrid energiaelosztással is – ahol váltakozó és egyenáramú villamos hálózat is megtalálható a létesítményen belül – találkozhatunk adatközpontokban, ahol általában +380V egyenfeszültséget használnak. Léteznek tanulmányok, melyek azzal foglalkoznak, hogyan lehet ezt a hibrid rendszert egy családi ház esetén hatékonyan felhasználni, ezekben a +24 VDC és 230VAC rendszer kerül kiépítésre.

A célom az volt, hogy egy olyan rendszer tervét alkossam meg, amelyik hatékonyabb a mostani váltakozó áramú elosztásnál, valamint az előbb említett DC illetve hibrid rendszernél. A munkám során négy különböző elrendezést vizsgáltam eltérő feszültségszintekkel.

A vizsgálataim elején meghatározom az egyes háztartási berendezések áramfelvételének tulajdonágait, hogy később a vezetékek veszteségeit, illetve az eszközök teljesítményfelvételének változásait (különböző ellátási rendszerek mellett) meg tudjam becsülni. A vezetékek keresztmetszete, illetve az aktuális feszültség szintek segítségével a berendezéseket kis-, közép- és nagyteljesítményű fogyasztói kategóriákba soroltam. A különböző eszközökre megbecsültem, azt hogy az egyes évszakokban a nap mely időpontjaiban működnek és mennyi ideig. Ezt követően megállapítottam, hogy az egyes berendezések hatékonysága mennyivel javulhat egyenáramú táplálás esetén, illetve mennyivel csökkenthető az áruk egy esetleges tömeggyártás esetén.

A vezetékek veszteségeinek meghatározásánál figyelembe vettem a fogyasztói berendezések nemlinearitását, valamint a teljesítménytényezőit, illetve, hogy a berendezések az egyes vezetékek különböző pontjaihoz csatlakoznak, és hogy egy aljzathoz akár több berendezés is csatlakoztatható.

A számítások elvégzése után 50 évre meghatároztam a beruházási költségeket, éves bontásban a hálózati és berendezésekben keletkező veszteségeket. Ezáltal jól összehasonlíthatóvá vált az egyes elosztási megoldások összes költsége, és az új megoldások megtérülési ideje. A vizsgálatok során figyelembe vettem az egyes berendezések várható élettartamát is.

A családi ház vizsgálata során szerzett ismeretek segítségével megterveztem egy lakópark villamos energiahálózatának különböző variációit (AC, hibrid ellátás) is. A vizsgálatok során 600 lakás negyedórás fogyasztási adatait használtam fel a lakások fogyasztási jellemzőinek meghatározásához, ezáltal reális képet kaptam a lakópark veszteségeiről.

A lakóparkra vonatkozó vizsgálataim alapján szintén összehasonlíthatóvá vált az egyes elosztási rendszerek (AC, hibrid megoldások) teljes üzemeltetési élettartamra vonatkozó költsége.

Abstract

I carried out research to determine the benefits of the full or partial DC power distribution of a family house and a residential park.

In the literature I met two different DC power distribution options.

Most often we meet indoor power distribution in those facilities where electricity is produced by solar cells and the building or part of the building operates in island mode. The advantage of this system is that we avoid the unnecessary AC/DC and DC/AC conversions thereby reducing the loss.

We can meet hybrid power distribution (which means that both AC and DC power networks are present) in data centers, which usually use +380 VDC.

There are also studies which are dealing with the effective use of hybrid system in a family house. In these houses +24 VDC and 230 VAC systems are built.

My intention was to make a plan of a system which is more effective than the AC power distribution, or the previously mentioned DC or hybrid systems. In my investigation I examined four different layouts with different voltage levels.

First I define the properties of the household appliances' power consumption in order to value the loss of the lines and the consumption changes of these devices when using different supply systems. Due to the cross-section of the lines and the actual voltage levels, I categorized them into three classes: low-, medium- and high-consumption appliances. In case of the different devices I estimated which periods of the day and how long do they work in different seasons. Then I figured out how much the effectiveness of an equipment could improve in case of DC supply, and how much their price could be reduced in case of mass production.

When defining the loss of the lines, I took into consideration

- the non-linearity and the power factors of the appliances,
- furthermore that certain devices can be connected to different places of the lines and
- that more devices can be connect to the same socket.

After performing the calculations I evaluated the investment costs and the resulting line losses and appliance losses annually for the next fifty years. This way it is easy to compare the total cost of each distribution solution and the payback time of the new solutions. I took into account the life expectancy of certain devices during the experiments.

Due to the acquired knowledge from the investigation of the family house, I designed different variations of electricity supply (conventional AC or hybrid) in a residential park. I used the annual consumption data of 600 apartments in a quarter-hour resolution to determine the consumption features, so I obtained a realistic picture of the community's losses. On the basis of the investigations the costs for the entire operational life of certain distribution systems (AC and hybrid) became comparable.

1. Bevezetés

Napjainkban az épületek energiahatékonyságának javítása igen fontos feladat, az energia árának növekedése, a fosszilis energiahordozók készleteinek rohamos fogyása, a folyamatosan növekvő energiaigény és nem utolsósorban a környezetszennyezés növekedése miatt. Az épületek energiafelhasználása jóval nagyobb, mint az indokolt lenne: a szigetelési problémák, a fűtő- és hűtő rendszerek elavultsága és a világítás nem célszerű használata mind fölösleges energiákat emészt fel.

BSc képzésem alatt részletesebben foglalkoztam épületek energiahatékonyságának javításával, és azt tapasztaltam, hogy a legnagyobb energia-megtakarítással járó átalakítások az épületgépészettel és az építészettel kapcsolatosak. Az előbb említett két területen történő energia-megtakarítás mellett viszont számos lehetőség van az épületvillamosság területén is. Az Európai Unió 20-20-20 célkitűzésének megvalósítása érdekében szükség van újszerű energia-megtakarítási lehetőségekre a villamos energia felhasználása területén is, ezért is lehet indokolt az egyenáramú rendszerek adta lehetőségek részletes vizsgálata is.

1.1 A villamosság területén alkalmazott energia megtakarítási lehetőségek

Épületek villamos energia ellátása területén alkalmazott megtakarítási lehetőségek közül elsőként a fázisjavítást említem, amit már évtizedek óta használnak viszonylag nagy éves villamosenergia-fogyasztású létesítményeknél a vezetékveszteségek csökkentésére. Ez lakások esetében nem terjedt el, ennek oka pedig az, hogy az ilyen kis fogyasztók esetében nem lenne megtérülő beruházás az alacsony energia-megtakarítás miatt.

A másik lehetőség a világítástechnika gyors fejlődésének köszönhetően az energiatakarékos fényforrások elterjedése, ami számottevő megtakarítást eredményez a hagyományos izzókhöz képest.

A harmadik, amivel jelenlegi munkám során foglalkoztam, az egyenáramú villamosenergia-elosztás. A HVDC rendszerek napjainkban elég elterjedtek, mivel bizonyos felhasználási területeken (nagy távolságú átvitel, tenger alatti átvitel) számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek a váltakozó áramú rendszerekhez képest. Ezen ismertekből kiindulva évekkor ezelőtt felmerült a kérdés, hogy a kisebb feszültség szinteken hogyan lehetne hatékonyan felhasználni az egyenáramú rendszerek jó tulajdonságait. A DC rendszerek előnyös tulajdonságai, amit kisfeszültségű hálózatoknál fel lehet használni:

- A nem egységnyi teljesítménytényezőből eredő többletveszteség nem jelentkezik.
- A felharmonikusokból eredő többletveszteség nem jelentkezik.
- A berendezéseink több mint 60%-a a váltakozó áramot egyenárammá alakítja a működéséhez, ezért lehetőségünk van elkerülni a „felesleges” átalakításokat.

1.2 Az egyenáramú villamosenergia-elosztásban rejlő lehetőségek

Az egyenáramú villamosenergia-elosztásnak az előző részben említett előnyös tulajdonságait a következők miatt tudjuk kihasználni.

A kis teljesítményű berendezéseknél az energiaátalakítás hatásfokára nincs meghatározva alsó érték, valamint az egyenirányítás következtében keletkező felharmonikusok mennyiségének

maximális értékére sem elég szigorúak az előírások. Ezáltal a berendezések teljesítménye nagyobb az ideálisnál, valamint a harmonikus áramok következtében a vezetékek veszteségei is magasabbak a DC esethez képest.

Az egyenáramú feszültség szintek helyes megválasztásával a berendezésekből el lehetne távolítani a „felesleges” átalakítókat, ezáltal csökkentve a berendezések árát illetve a teljesítményét.

Az említett két ok közül az utóbbi miatt következhet be jelentősebb megtakarítás a váltakozó áramú rendszerekhez képest.

1.3 Irodalomkutatás

Irodalomkutatásom az alábbi cikkekre és tanulmányokra terjed ki: [1], [5], [6], [7], [11], [16], [18], [20].

Irodalomkutatásom során 2 eltérő rendszerrel, ill. elrendezéssel találkoztam.

Az egyik az épületen belüli tisztán egyenáramú energiaelosztás volt. Ezzel leggyakrabban olyan létesítményekben találkozhatunk, ahol a villamos energia termelése napelemek segítségével történik, és az épület vagy épületrész sziget üzemben működik. (Ilyen pl. egy tanya.) Ennek a rendszernek az előnye, hogy elkerüljük a „fölösleges” AC/DC illetve DC/AC átalakításokat, ezáltal csökken a veszteség.

A másik a hibrid energiaelosztás – ahol váltakozó és egyenáramú villamos hálózat is megtalálható a létesítményen belül –, ilyen rendszerekkel például adatközpontokban találkozhatunk, ahol általában +380V egyenfeszültséget használnak. Léteznek tanulmányok, melyek azzal foglalkoznak, hogyan lehet ezt a hibrid rendszert egy családi ház esetén hatékonyan felhasználni, ezekben a +24 VDC és 230 VAC rendszer kerül kiépítésre.

Az általam leghasznosabbnak talált tanulmányban [1] az előbb említett 2 rendszert hasonlították össze, aminek az eredménye az lett, hogy a hibrid rendszer gazdaságosabb, mint a tisztán egyenáramú rendszer. Az általuk összehasonlított rendszerek feszültség szintjei:

- egyenáramú rendszer:
 - +380 VDC
 - +24 VDC vagy +12 VDC vagy +48 VDC
- hibrid rendszer:
 - 231 VAC
 - 50 VDC

A tanulmány olvasása során felmerült bennem számos kérdés, ennek jelentős része abból eredt, hogy nem tudtam, hogy pontosan mit miért számolt a szerző, illetve honnan szerezte az adatokat, valamint nem minden esetben értettem egyet a használt feszültség szintekkel. Ezen okok miatt végeztem el magam is újra a számításokat a saját elgondolásaim alapján.

1.4 A vizsgálataim során kitűzött célok

A vizsgálatom fő célja az volt, hogy találjak egy hatékonyabb rendszert az irodalomkutatásom során megismerteknél. Ezt az optimális vezeték elrendezés és feszültség szintek megválasztásával szerettem volna elérni.

A másik cél az volt, hogy úgy építsem fel a vizsgálataimat, hogy ha bebizonyosodik az általam javasolt rendszer gazdaságossága, akkor későbbi vizsgálataim során könnyen tovább lehessen fejleszteni a most bemutatott lehetőségeket például egy napelemes rendszer kiépítésével. (A napelemes rendszer akkumulátorainak a helye a később ismertetendő AutoCAD tervrajzokon is jól megfigyelhető.)

A számításokat a lehető legpontosabban próbáltam elvégezni, hogy a végén ne csak az éves megtakarításokra és megtérülési időre kapjak értékeket, hanem azt is meg tudjam határozni, hogy pontosan mely esetekben és milyen előnyei vannak az általam kigondolt rendszernek a jelenleg alkalmazott rendszerekhez képest.

Ez a megközelítés tehát később, pl. egy irodaház vagy egy gyártelep esetén elvégzendő vizsgálatok során hasznos lesz, mert már az eddigi eredményekből is látszani fog, hogy mely esetekben érdemes elgondolkozni az általam legeredményesebbnek ítélt ellátási rendszer kiépítésén.

2. Családi ház

A vizsgálataim elkezdése előtt teljesen meg kellett terveznem egy családi ház villamos hálózatát, a referencia eset és később az egyes általam elképzelt rendszerek vizsgálatához. A tervrajzokon megtalálhatóak a vezetékezés nyomvonalai, a dugaszoló aljzatok, az elosztószekrények valamint az egyes helyiségek típusa. A pontos tervrajzok a mellékletben megtalálhatóak. A lakás egyéb tulajdonságai, mint például a vezetékek típusa, hossza, stb. a későbbi fejezetekben részletesen le lesznek írva.

A számításaim során két eltérő fűtéssel is számoltam:

- Hőszivattyús fűtés, ami nyáron klímaként is üzemel.
- Gázkazános fűtés. Ebben az esetben olyan fűtési rendszer megfelelt volna, aminek üzemeltetése nem igényel jelentős villamos energiát. Későbbiekben erre a fűtésre „egyéb fűtés”-ként fogok hivatkozni.

Azért tartottam igényt két eltérő fűtési rendszerre, mivel a hőszivattyús fűtés esetében a ház éves villamosenergia-fogyasztása jelentősen nagyobb az egyéb fűtés energiaigényéhez képest, így két eltérő esetben is megfigyelhettem a megtérülési idő alakulását. A megtérülési idő várhatóan a hőszivattyút használó családi házak esetén lesz rövidebb.

2.1 Vizsgált hálózatok

A munkám során négy különböző elrendezéssel foglalkoztam. Az egyes esetek a feszültség szintek számában, illetve az alkalmazott feszültségek nagyságában térnek el egymástól.

AC vezetékezés alatt azt az elrendezést értem, amit egy normál épület villamos hálózatánál alkalmaznak. Ezt nevezem még referencia esetnek is.

DC vezetékezés alatt az általam az egyenáramú hálózathoz kitalált hálózati elrendezést értem, az első három rendszer esetében.

I. rendszer

Kezdetben egy 4 vezetős rendszer kiépítésén gondolkodtam, ahol az egyes vezetők feszültség szintjei: +380 V DC; ± 24 V DC; 0.

Az alap elgondolás szerint az egyenáramú rendszerek gazdaságossága abból adódhat, hogy az egyenirányítóval rendelkező berendezésekből az átalakítókat el lehet hagyni. Viszont emiatt szükségünk lesz egy kellően kis feszültség szintű hálózat kiépítésére, amiről a kisteljesítményű berendezések, valamint a világító berendezések üzemelnek, erre a célra 12 V vagy +24 V jöhetett szóba. A +24 V-os rendszer mellett döntöttem, mivel ebben az esetben a vezetékek veszteségei negyed akkora lesznek, mint a 12 V-os esetben, valamint az a hálózat is egyszerűbben kialakítható, amelyről a közepes teljesítményű berendezések üzemelnek.

Tehát a +24 V-os hálózatot használnák a kisebb berendezések, amiknek a teljesítménye nem haladja meg az 500 W-ot, ez az érték a felhasznált vezeték terhelhetőségéből adódik, a következő alfejezetben erre még részletesebben kitérek. Ilyenek pl.: laptop, monitor, TV, stb.

A következő feszültség szintű hálózat feszültsége +48 V, amit a +24 V-os rendszer segítségével alakítottam ki. Előnye, hogy nem kell +48 V-ra letranszformálni a feszültséget és utána egyenirányítani, hanem a berendezések a +24 V és -24 V közé lenének bekötve, ezzel csökkentve a beruházás költségeit. Erről a feszültség szintről működne azok a berendezések, amelyek teljesítménye 500 – 1000 W között van. Ilyen teljesítményű berendezésből egy átlagos háztartásban viszonylag kevés található, pl.: kenyérpíró, kávéfőző, stb.

A +380 V-os rendszereket már használják bizonyos adatközpontokban a világ minden táján, ezért arra a következtetésre jutottam, hogy ez a feszültség szint nekem is megfelel, mivel ebben az esetben nem kell új átalakítókat megtervezni. Erről a feszültség szintről üzemeltetem a nagyobb berendezéseket, amiknek a teljesítménye meghaladja az 1000 W-ot.

Az egyes fogyasztói kategóriákba történő besorolásra részletesebben kitérek a 2.2 fejezetben.

II. rendszer

Ebben az esetben a következő feszültség szinteket használtam: +325 V DC; ±24 V DC; 0.

Kíváncsi voltam, hogy mennyiben változnának a vezetékek veszteségei, illetve a beruházás költségei, ha a +380 V helyett csak +325 V-ot használnék. Ebben az esetben ugyanis nem kell feltranszformálni a feszültséget, elég lenne csak egyenirányítani, így az átalakító költsége kisebb lenne, valamint a transzformálás veszteségei is kiesnének, viszont a vezetékek veszteségei növekednének.

III. rendszer

Ebben a változatban felhasznált feszültség szintek a következők: +325 V DC; +24 V DC; 0.

Az I. és II. rendszer vizsgálatánál észrevettem, hogy viszonylag kevés berendezés használja a +48 V-os hálózatot, ezért a 3. változatban megszüntettem ezt a feszültség szintet. Ennek előnye az, hogy kevesebb vezeték kell felhasználni, ezáltal csökkennek a beruházás költségei. Hátrány viszont, hogy az 500 – 1000 W-os fogyasztói teljesítmény kategóriába tartozó berendezéseket át kell helyezni egy másik kategóriába.

IV. rendszer

Az itt használt feszültség szintek: +325 V DC; 231 V AC; +24 V DC; 0.

A háztartási berendezések részletesebb vizsgálata után felmerült a kérdés, hogy érdemes-e teljesen egyenáramú villamos hálózatot kiépíteni. Mivel bizonyos berendezéseknél megemelné a költségeket egy frekvenciaváltó beszerelése, ezért erre az esetre is elvégeztem a számításokat.

Ennél a rendszernél a +24 V-os hálózatot azok az 500 W teljesítmény alatti berendezések használnák, amelyek egyenirányítókat tartalmaznak, pl.: mobil töltők, monitorok, stb.

A +325 V-os hálózatot a nagyobb teljesítmény kategóriába tartozó berendezések használnák, amelyekben frekvenciaváltó található, pl.: új típusú mosógép, modern hőszivattyús fűtés.

A 231 V-os hálózatra csatlakoznának azok a háztartási berendezések, amelyekben frekvenciaváltó nélküli villanymotor található, illetve azok amelyek 500 W – 1000 W teljesítményűek, lineárisak és közel egységnyi teljesítménytényezővel rendelkeznek.

Ennek a rendszernek az előnye, hogy a meglévő berendezéseink az új rendszer kiépítése után nem válnak hasznavehetetlenné, hanem megvárhatjuk, amíg azok már nem tudják megfelelően ellátni feladatukat és cserére szorulnak. Valamint a III. rendszer esetében kisebb problémát jelentő berendezések teljesítmény szerinti átcsoportosítása ebben az esetben könnyen megoldható.

2.2 A ház vezetékezése

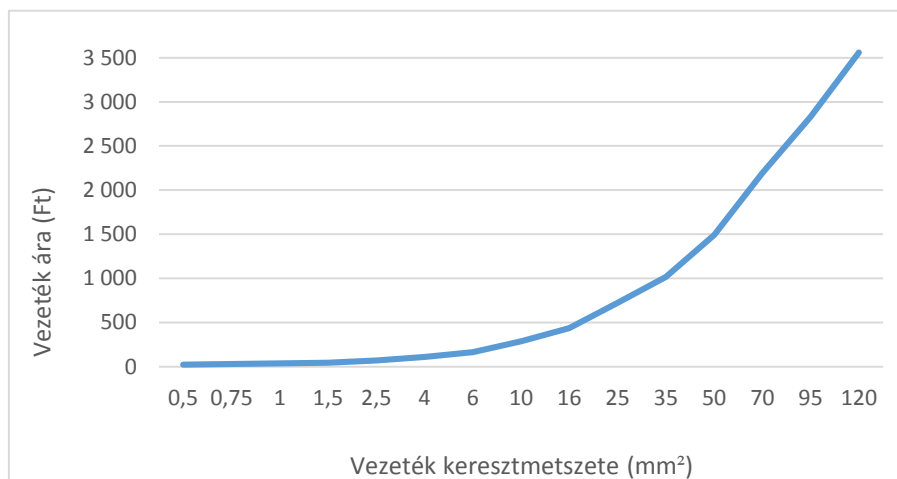
A vezetékek keresztmetszetét 2,5 mm²-re választottam meg AC és mind a négy vizsgált elrendezés esetében is. Minden egyes vezetékszakasz keresztmetszete egyforma, ez kis mértékben megnöveli a beruházás költségeit, viszont ilyen kisméretű épületeknél nem jellemző, hogy bizonyos vezetékszakaszok keresztmetszetét megnöveljék, illetve lecsökkentsék. Ekkora keresztmetszetű réz vezetéknek a megengedett áramterhelése 21 A lehet. Ezen terhelhetőségből adódik, hogy az egyes feszültség szinteket mekkora teljesítményű készülékek használhatják:

- +24 VDC: $24 (V) * 21 (A) = 504 (W)$
- +48 VDC: $48 (V) * 21 (A) = 1008 (W)$
- +380 VDC: $380 (V) * 21 (A) = 7980 (W)$

Ezáltal megkaptam a 3 fogyasztói kategóriát:

- I: 0 – 500 W
- II: 500 – 1000 W
- III: 1000 W feletti

Az alap, és az általam vizsgált rendszerek között jelentős eltérés az, hogy AC esetében egy vezeték különböző pontjaihoz csatlakoznak a dugaszoló aljzatok, ami nehezíti a számításokat. DC esetben viszont minden egyes fali dugaszoló aljzatnak saját vezetéke van. Ennek a döntésnek az volt az oka, hogy ha a DC rendszert is hasonló módon szeretnénk kiépíteni, mint az AC rendszert, akkor sokkal nagyobb keresztmetszetű vezetékekre lenne szükség +24V és +48V esetén a nagyobb áramok miatt. Ez pedig nagyobb beruházási költségekkel jár, mint az általam választott esetben. Ennek oka az, hogy a vezeték árának növekedése nem egyenesen arányos a keresztmetszetének a növekedésével, ami az 1. grafikonon jól megfigyelhető.



1. diagram Vezetékek árának alakulása a vezeték-keresztmetszet függvényében

Az AutoCAD tervek alapján kiszámoltam az egyes vezetékek hosszát, úgy, hogy figyelembe vettem a függőleges irányú távolságokat is (ez nincs feltüntetve a tervben). Valamit a kapott hossz értékeknek a 120 %-át használtam a számítások során, mivel a vezetékek irányváltoztatása nem teljesen derékszögű, valamint azért, hogy a kiépítés során felmerülő problémák ellenére se fordulhasson elő, hogy egy vezetékszakasz rövidebb lesz az elvártnál.

A vezetékszakaszok hossza és keresztmetszete alapján meghatároztam a beruházás költségeit, ahol figyelembe vettem azt is, hogy AC és DC esetben a fali dugaszoló aljzatok mennyisége eltér. A +24 VDC és a +48 VDC feszültségű hálózatok esetben a dugaszoló aljzatokhoz elegendő a 2 eres vezetékek használata, ennek az az oka, hogy +24 V-os és +48 V-os feszültségszinten nincs szükség védővezetőre, mivel ez még törpefeszültségnek számít. A világítás vezetékvezésénél AC esetben 3 eres 0,75 mm² keresztmetszetű vezeték, DC esetben 2 eres 1,5 mm² keresztmetszetű vezeték használtam. A két esetben a vezetékek hosszát, valamint a fali dugaszoló aljzatok és kapcsolók darabszámát az alábbi táblázat tartalmazza:

	AC	DC
Vezetékezés hossza (m)	154 (3 eres vezeték) + 177 (3 eres vezeték világításnak)	433 (2 eres vezeték) +173 (3 eres vezeték) + 177 (2 eres vezeték világításnak)
Fali dugaszoló aljzatok darabszáma (db)	34	59
Kapcsolók darabszáma (db)	15	15

1. táblázat Az egyes esetekben használt vezetékek hossza, valamint a fali dugaszoló aljzatok és kapcsolók darabszáma

A Mentavill [3] és a Haluxvill [4] villamos szaküzletek katalógusai alapján az egyes elemek árai a következők, a kapcsolóknál és dugaszoló aljzatoknál átlagárat vettem figyelembe:

	Ár (Ft)
3 eres vezeték (0,75 m²)	80
2 eres vezeték (1,5 m²)	105
2 eres vezeték (2,5 m²)	178
3 eres vezeték (2,5 m²)	225
Dugaszoló aljzat	1 000
Kapcsoló	1 000

2. táblázat Az egyes vezeték típusok beszerzési árai

Az 1. és 2. táblázatok adatai segítségével megkapjuk a felhasznált elemek beszerzési árait, ezt a 3. táblázat tartalmazza:

	AC	DC
Vezetékezés ára (Ft)	34 650 (3 eres vezeték) + 14 160 (3 eres vezeték világításnak)	77 074 (2 eres vezeték) +38 925 (3 eres vezeték) + 18 585 (2 eres vezeték világításnak)
Fali dugaszoló aljzatok ára (Ft)	34 000	59 000
Kapcsolók ára (Ft)	15 000	15 000

3. táblázat Az egyes esetekben használt vezetékek -, valamint a fali dugaszoló aljzatok és kapcsolók beszerzési ára

Megfigyelhető, hogy a vezetékek ára összesen AC esetben 48 810 Ft, DC esetben pedig 134 584 Ft, a kettő között 85 774 Ft a különbség, ami jelentős, ráadásul a fali dugaszoló aljzatok száma is több DC esetben.

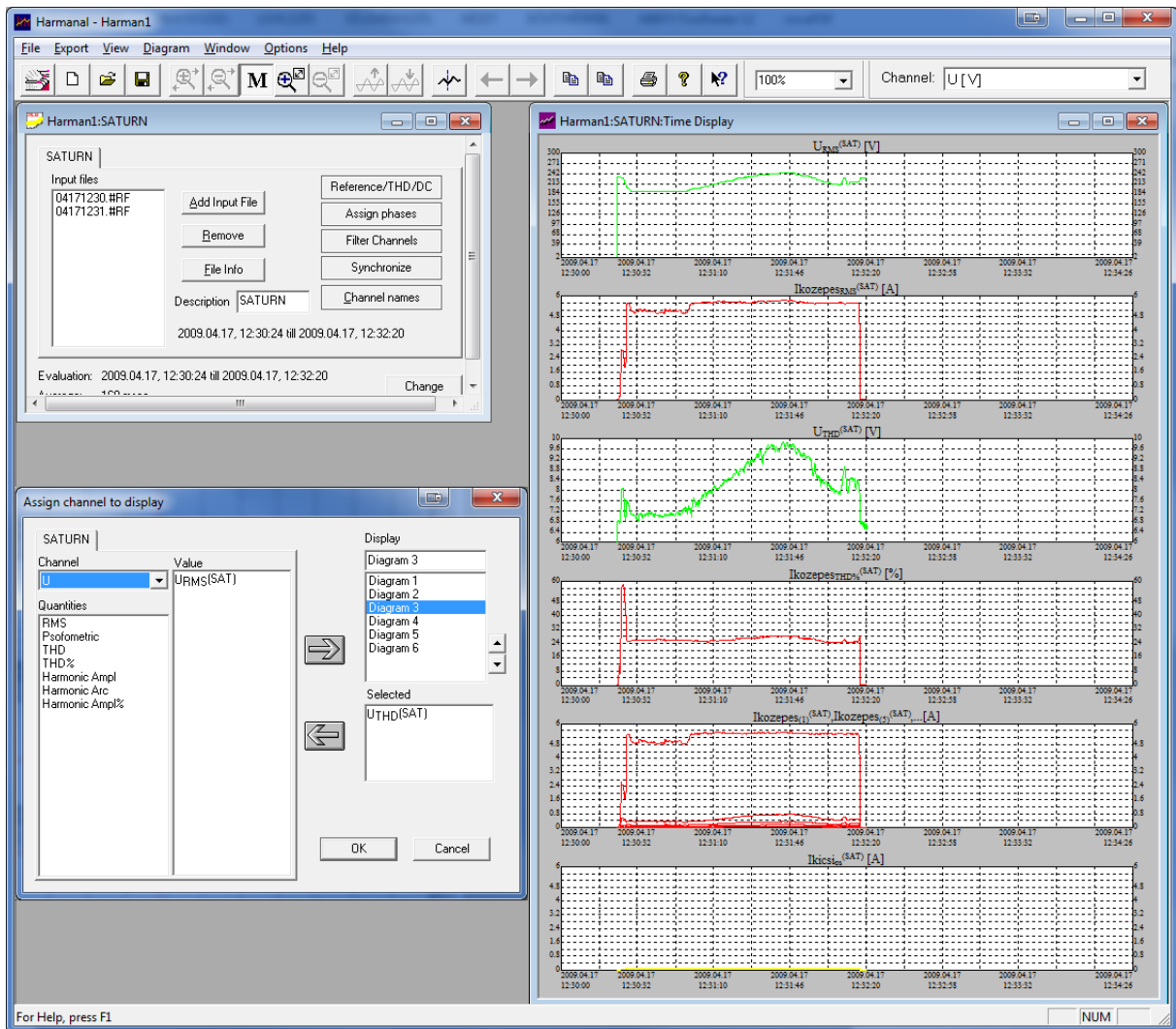
A két rendszer beruházási költsége között 110 774 Ft a különbség.

2.3 Berendezések adatainak meghatározása

2.3.1 A berendezés áramainak meghatározása AC esetben

Berendezéseink jelentős része nemlineáris fogyasztó, tehát az általa felvett áram az alapharmonikusok mellett felharmonikusokat is tartalmaz, amiket figyelembe kell venni a számítások során. Ezzel a jelenséggel csak AC rendszer esetén kell számolni, mivel feltételeztem, hogy a központi átalakítás során keletkező felharmonikus összetevőket teljesen ki tudjuk szűrni.

A berendezések áramait váltakozó feszültségű táplálás esetén a konzulensemtől kapott mérésekből a Harmanal program segítségével tudtam kinyerni. Az egyes berendezésekhez tartozó „.#RF” fájlok beolvastatása után be kellett állítani, hogy mely adatokra van szükség, és azt melyik diagramon szeretném ábrázoltatni az idő függvényében. A vizsgált adatok a feszültség és áram effektív értéke, a teljes harmonikus torzítás százalékos értéke, az 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13. harmonikusok amplitúdójának effektív értéke és a hozzájuk tartozó fázisszög. A 1. ábrán megfigyelhető, hogy az RMS és THD% esetében az értékeik időbeli változása jól látható, viszont a harmonikus amplitúdók és a fázisszögek esetében már nem, ez annak köszönhető, hogy egy diagramon hét darab amplitúdót és fázisszöget ábrázoltam.



1. ábra A képen egy mikrohullámú sütő áram és feszültség RMS - és THD% értékei, valamint harmonikus összetevőinek nagysága és fázisszöge látható a Harmanal programban

A kívánt adatok összeválogatása után kimentettem az adatokat egy .xls fájlba, ahol már az összes érték jól látható volt. A méréseket több feszültségszinten is elvégezték, viszont nekem elég volt csak a 231 V-os értékhez tartozó eredményeket figyelembe vennem.

2.3.2 Váltakozó áramú eset

A vezeték veszteségeinek meghatározásához és az éves villamosenergia-fogyasztás meghatározásához ebben az esetben eltérő áramokat használtam, a számítások túlbonyolításának elkerülése érdekében.

2.3.2.1 Éves fogyasztás számításánál használt áram

A nemlineáris berendezés teljesítménye a következőképpen számolható:

$$P = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h * I_h^*}$$

Ahol:

- U_h : az h-adik harmonikus komplex effektív feszültsége
- I_h^* : az h-adik harmonikus komplex effektív áramának komplex konjugáltja

Viszont ebben az esetben csak az alapharmonikus árammal és a hozzá tartozó feszültséggel számoltam a teljesítményt. Az így kapott eredmény csak közelítő értéket ad, viszont megkönnyíti az számításokat és a végeredmény is csak kis mértékben tér el a valós értéktől. Ennek oka, hogy a felharmonikus áramok csak a hozzájuk tartozó felharmonikus feszültségekkel adnak teljesítményt, ezek a feszültségek pedig elhanyagolhatóan kicsik. A számításaimnál használt egyenlet:

$$P_{közelítő} = U_1 * I_1^*$$

2.3.2.2 A vezetékek veszteségénél használt áram

Ez esetben már a 2.4.1 fejezetben említett felharmonikus áramokat is figyelembe vettem a számítások során, mivel az általam kiválasztott felharmonikus áramok elég nagyok voltak ahhoz, hogy jól megfigyelhető plusz veszteségeket okozzanak a vezetékeken. Az egyes berendezések komplex (alap- és felharmonikus) áramainak vektoriális összege adja a vezetéken folyó áram összetevőinek nagyságát.

2.3.3 Egyenáramú eset

Egyenáramú esetben a következőképpen határoztam meg az egyes berendezések áramait:

$$I = \operatorname{Re}\{I_{AC,1}\} * c * \frac{U}{231}$$

- I : DC ellátás esetén a berendezés felvett árama. (A)
- $I_{AC,1}$: AC feszültségforrás esetén a berendezés felvett alapharmonikus árama. (A)
- c : A különböző berendezésekre jellemző konstans szorzó, ami megmutatja, hogy DC táplálás esetén az átalakítók hiánya miatt mennyivel vesz fel kevesebb, illetve az plusz átalakítás miatt mennyivel vesz fel több áramot egy berendezés. A függelékben megtalálható a12. táblázat, ami az egyes berendezésekre jellemző adatokat tartalmazza.
- U : Azon DC sín feszültsége, amire az adott berendezés csatlakozik

2.4 Világítás adatainak meghatározása

A referencia esetben kompakt fénycsöveket, az általam vizsgált négy rendszerben viszont LED világítóberendezéseket használtam, ennek az volt az oka, hogy a háztartások elenyésző százalékában alkalmaznak LED-es világítást napjainkban, valamint sok helyen még kompakt

fénycsőre való átállás sem történt meg. Valamint a számolásaim során a kompakt fénycsövek és a módosított LED-es fényforrások árát és élettartamát azonosnak vettem, ami a számítások során a megtérülési időt megnöveli. Tehát a referencia rendszer esetén a kompakt fénycsövekkel való számítás a biztonság irányába okoz hibát.

2.4.1 Fényforrások teljesítménye

Az egyes helyiségek típusa és mérete szerint meghatároztam a helyiség fényforrásainak teljesítményét. A számításokat az MSZ EN 6240 szabvány figyelembevételével és a Világítástechnikai kislexikon [12] segítségével végeztem el. A számításaimnál az egyes helyiségek előírt megvilágítási értékeivel számoltam, amit a következő táblázat tartalmaz:

	Megvilágítás (lx)
Gyerekszobák	400
Konyha	500
Előszoba	100
Pihenő helyiségek	200
Tároló helyiségek	200
Garázs	200
Munkaasztal	500

4. táblázat Az egyes helyiségek MSZ EN 6240 szabvány szerint előírt megvilágítási értékei

Helyiségenként azonos típusú és teljesítményű világítótestek kerültek elhelyezésre. Az előírt megvilágítási értékek és a helyiség alapterülete alapján a következő egyenlet segítségével számoltam a lámpák szükséges fényáramát:

$$\text{Fényforrás fényárama} = \frac{\text{Helyiség területe} * \text{Helyiség előírt megvilágítási értéke}}{\text{Helyiségben található lámpák száma}}$$

DC esetben kiszámoltam az egyes fényforrások teljesítményét, a fényhasznosításuk ismeretében. Ebben az esetben LED fényforrással számoltam, aminek a fényhasznosítását 80 lm/W-nak vettem. Ennek ismeretében a következő egyenlet megoldása adja a fényforrás teljesítményét:

$$\text{Fényforrás teljesítménye DC esetben} = \frac{\text{Fényforrás fényárama}}{\text{LED fényhasznosítása}}$$

AC esetben kompakt fénycsövekkel számoltam, amiknek a fényhasznosítását 50 lm/W-nak vettem. Ezen adat ismeretében a DC esetre kiszámolt értékekből a következőképpen határozható meg a kompakt fénycsövek teljesítménye:

$$\begin{aligned} & \text{Fényforrás teljesítménye AC esetben} \\ & = \text{Fényforrás teljesítménye DC esetben} * \\ & \quad \frac{\text{LED fényhasznosítása}}{\text{Kompakt fénycső fényhasznosítása}} \end{aligned}$$

2.4.2 Fényforrások által felvett áram

DC esetben a felvett áram értékét könnyen meg lehet határozni az

$$I = \frac{P}{U}$$

képlet segítségével, ahol:

- P: fényforrás teljesítménye
- U: fényforrás feszültsége, esetünkben +24 V

AC esetben viszont számolni kellett azzal, hogy a fénycső nem lineáris fogyasztó, valamint váltakozó feszültségű hálózatra csatlakoztatjuk, ezért figyelembe kellett venni a felharmonikus áramokat is. Konzulensem korábbi laboratóriumi mérései alapján rendelkezésemre állt négy különböző kompakt fénycső mért spektruma. Ezekből képeztem egy „átlagos” kompakt fénycső spektrumot, mégpedig az egyes felharmonikus áramok, mint komplex számok átlagolásával. (Ezt megtehettem, mivel a vizsgált felharmonikusok szögei frekvenciánként nagyjából egyformák voltak.) Ennek az átlagos kompakt fénycsőnek a teljesítményét jelölje P , harmonikus áramait jelölje I_h . A családi ház modellben egy adott helyen (ennek sorszámát jelölje m) beépítendő kompakt fénycső teljesítményt jelölje P_m . A modellben e kompakt fénycső spektrumát az alábbiak szerint határoztam meg:

$$I_{m,h} = I_m * P_m / P$$

AC esetben megfigyelhető volt, hogy a fényforrás a helyi átalakítás rossz hatásfoka, valamint a rosszabb fényhasznosítása miatt nagyobb teljesítményt vett fel a DC esethez képest. A két esetben a teljesítmények hányadosának nagyságát a következő adatok ismeretében tudjuk meghatározni:

- a helyi átalakítás hatásfoka, ~50%
- a fényhasznosításból eredő többlet teljesítmény 1,6-szoros
- az AC esetben a teljesítménytényező nem nulla, ezért a teljesítmény ~10%-kal nagyobb

$$\frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{1}{0,50} * 1,6 * 1,1 \approx 3,6$$

2.5 Berendezések villamosenergia-fogyasztásának meghatározása

A Energia Közösségek [13] internetes oldalon megadott átlagos üzemidő segítségével meghatároztam az egyes berendezések napi üzemidejét. A számításaim során figyelembe vettem, hogy a háztartási berendezéseknek a különböző évszakokban eltér a napi üzemidejük. Az egyes évszakok a következőkben térnek el egymástól:

- Tél: A fűtés és a bojler is üzemel.
- Tavasz, Ősz: Nem üzemel a fűtés, valamint a bojler napi üzemideje is lecsökken.
- Nyár: Nem üzemel a fűtés és a bojler üzemideje is minimális.

A nem említett berendezések fogyasztását évszak-függetlennek vettem. Az így kapott eredmény még jobb közelítést ad az éves fogyasztásra, mint ha csak egy évszak fogyasztási mátrixával számoltam volna, valamint évszakokra lebontva meg lehet vizsgálni a fogyasztási jellegzetességeket.

Létrehoztam három darab oszlopvektort: *tel*, *tavasz*, *nyar*. A tavaszi és az őszi hónapok eltérése elhanyagolható, ezért az őszi hónapok számításánál is a *tavasz* vektort használtam. A vektorok az egyes háztartási berendezések adott évszakra jellemző napi üzemidőt tartalmazzák.

A berendezéseket a világító berendezésektől külön vizsgáltam, hogy jobban megfigyelhető legyen a rendszerek közötti különbség.

2.5.1 AC eset

A számításokhoz létrehoztam egy oszlopvektort, amely az egyes háztartási berendezésekhez tartozó komplex effektív alapharmonikus áramot tartalmazza, ezt *I* vektornak neveztem el.

Ezt követően kiszámoltam az évszakok napjainak a napi energiaigényét:

$$E_{tél,nap} = \sum_{sor} (|U.* (I^*).* tel|)$$

- $E_{tél,nap}$: A téli hónapok 1 napjának energiaigénye Wh-ban.
- I^* : *I* vektor elemenkénti komplex konjugáltja.
- $.*$: Két vektort vagy mátrixot elemenként szoroz össze.
- U : Értéke: $(231 + j * 0)$, az alapharmonikus feszültség tisztán valós.
- tel : A berendezések napi üzemidejét mutatja a téli hónapban.
- $\sum_{sor}()$: Vektor sorait összegzi

A további három évszak napjainak fogyasztását is hasonló módon kapom meg.

Az éves energiafogyasztást következőképpen lehet számolni:

$$E_{\text{év}} = \frac{(90 * E_{\text{tél,nap}} + 92 * E_{\text{tavasz,nap}} + 92 * E_{\text{nyár,nap}} + 91 * E_{\text{tavasz,nap}})}{1000}$$

A kapott fogyasztási eredményeket a 2.5.4 fejezetben ismertetem.

2.5.2 DC eset

Ezzel a számítással kaptam meg az I., II. és III. rendszer esetében az éves fogyasztást.

A számításhoz a következő vektorok megalkotására volt szükség:

- I: Oszlopvektor, amely az egyes háztartási berendezések DC áramait tartalmazza, amiket a 2.4.3 fejezetben leírtak alapján kaptam meg.
- U: Oszlopvektor, amely megadja, hogy az egyes háztartási berendezések mekkora feszültségű hálózatra csatlakoznak. Az I. és II. rendszer esetében a berendezések feszültségét a 2.2 fejezetben ismertetett fogyasztói kategóriák segítségével határoztam meg. A III. rendszer esetén a berendezések 500 W teljesítményig a +24 V-os hálózathoz, az 500 W-nál nagyobb teljesítményűek pedig a +325 V-os hálózathoz csatlakoznak.

Ezt követően a számítás a 2.5.1-es fejezetben ismertetett képletek segítségével történik.

2.5.3 Hibrid eset

Ennél a számításnál először ki kellett választanom, hogy mely berendezéseket szeretnék AC és melyeket DC sínről táplálni, valamint egyenáramú táplálás esetén a tápfeszültség nagyságát is meg kellett választani. Az alábbi táblázat tartalmazza a berendezések feszültségét:

Berendezés	Feszültség (V)	Berendezés	Feszültség (V)
autótöltő	+325 DC	mikrohullámú sütő	+325 DC
bojler	+325 DC	mini HiFi	+24 DC
DVD lejátszó	+24 DC	monitor	+24 DC
páraelszívó	231 AC	mosogatógép	231 AC
fagyasztószekrény	231 AC	mosógép	+325 DC
fűró	231 AC	nyomtató	231 AC
hajszáritó	231 AC	számítógép	231 AC
hőszivattyú	+325 DC	porszívó	+325 DC
hűtőszekrény	231 AC	sütő	+325 DC
indukciós főzőlap	+325 DC	szárítógép	+325 DC
kávéfőző	231 AC	telefontöltő	+24 DC
kenyérpirító	+325 DC	televízió	+24 DC
konyharobot	+24 DC	vasaló	+325 DC
lámpa	+24 DC	vízforraló	+325 DC
laptop	+24 DC		

5. táblázat A berendezések üzemi feszültség szintjei

A számolás menete megegyezik a 2.5.2 fejezetben ismertetettel.

2.5.4 Eredmények

Az éves fogyasztási eredményeket a következő táblázat tartalmazza:

Rendszer	Éves villamosenergia-fogyasztás hőszivattyús fűtéssel (kWh)	Éves villamosenergia-fogyasztás egyéb fűtéssel (kWh)
Referencia (AC)	13 322,6	9 158,8
I., II., III.	12 579,6	8 526,3
IV.	12 764,4	8 709,5

6. táblázat Az egyes rendszerek berendezéseinek éves villamosenergia-fogyasztása

A táblázatból látható, hogy az I., II. és III. rendszer esetében az éves villamosenergia-fogyasztás megegyezik, mivel a referencia esethez képest a teljesítménytényező egységnyi, valamint a „fölsleges” átalakítások elkerülése miatt, az átalakítás veszteségei kiesnek.

A IV. rendszer éves villamosenergia-fogyasztása a referencia és az első három rendszer közé esik, mivel vannak váltakozó árammal táplált berendezések a hálózatra csatlakoztatva, amelyek nem minden esetben tisztán ohmos jellegűek. A IV. rendszer az első három rendszer éves fogyasztásához közelebb áll, mivel viszonylag kis számban vannak a rendszerben váltakozó árammal táplált berendezések illetve „fölsleges” átalakítás.

Az eredmények az előzetesen vártaknak megfelelnek, és az látszik belőlük, hogy az I., II. és III. rendszernél a legnagyobb a megtakarítás, 25 300 – 29 720 Ft/év.

2.6 A világítás villamosenergia-fogyasztásának meghatározása

A világítóberendezések fogyasztását egyen - és váltakozó áramú esetben a 2.4.2 fejezetben ismertetett módon határoztam meg.

Ebben az esetben is létrehoztam egy, a 2.4 fejezetben már bemutatott tel , tavasz, nyár évszakoknak megfelelő napi üzemidő vektort.

2.6.1 Váltakozó áram esetén az éves villamosenergia-fogyasztás

A számítás módja szinte teljesen megegyezik a 2.5.1 fejezetben ismertetett számítási menettel.

$$E_{tél,nap} = \sum_{sor} (|U \cdot (I^*) \cdot tel|)$$

Ahol:

- E : a téli hónapok 1 napjának energiaigénye Wh-ban
- I : a 2.4.2 fejezetben a váltakozó áramú táplálás esetén az egyes világítótestekre meghatározott áramértékek elemenkénti komplex konjugáltja
- U : $(231 + j \cdot 0)$, az alapharmonikus feszültség tisztán valós érték
- tel : a berendezések napi üzemidejét mutatja a téli hónapban

$$E_{\text{év}} = \frac{(90 * E_{\text{tél,nap}} + 92 * E_{\text{tavasz,nap}} + 92 * E_{\text{nyár,nap}} + 91 * E_{\text{tavasz,nap}})}{1000}$$

Ahol:

- $E_{\text{év}}$: éves energiafogyasztás

2.6.2 Egyenáram esetén az éves villamosenergia-fogyasztás

Ezzel a számítással kaptam meg mind a négy rendszer esetében az éves fogyasztást, mivel hibrid esetben is egyenárammal üzemeltetem a világítást.

A világítás feszültségének +24 V-ot választottam. A számítás annyiban tér el a váltakozó áramú esethez képest, hogy:

- I^* : a 2.4.2 fejezetben az egyenáramú táplálás esetén az egyes világítótestekre meghatározott áramértékek elemenkénti komplex konjugáltja
- U : $(24 + j * 0)$, az alapharmonikus feszültség tisztán valós érték.

A számításokhoz felhasznált képletek megegyeznek a 2.6.1 fejezetben használtakkal.

2.6.3 Eredmények

Az éves fogyasztási eredményeket a következő táblázat tartalmazza:

Rendszer	Éves világítási villamosenergia-fogyasztás (kWh)
Referencia (AC)	865,2
I., II., III., IV.	238,9

7. táblázat Az egyes rendszerek világítási alrendszerének éves villamosenergia-fogyasztása

Jól megfigyelhető, hogy váltakozó áramú táplálás esetén az éves villamosenergia-igény ~3,6-szor nagyobb az egyenáramú táplálás értékéhez képest, ez az érték a 2.4.2 fejezetben becsült eredménnyel közel azonos. Ez annak köszönhető, hogy a központi átalakítás hatásfoka sokkal jobb, mint a kompakt fénycsővek helyi átalakításának hatásfoka, valamint a LED-ek fényhasznosítása is jobb, mint a fénycsővéké.

Ebben az esetben is az előzetesen vártaknak megfelelő értéket kaptam.

2.7 Vezeték veszteségek meghatározása a berendezések esetén

Az egyes vezetékszakaszok veszteségeinek pontosabb meghatározásához nem elegendő a 2.5 fejezetben használt t_{el} , t_{avasz} , t_{nyar} vektorok használata, mivel azokban csak az egyes berendezések napi átlagos üzemideje volt megadva. Tovább kellett fejleszteni ezeket a vektorokat egy-egy mátrixszá, mivel a valóságban általában nem egy időben üzemel a háztartás összes berendezése, és ha csak a 2.5 fejezet vektoraival számoltam volna, irreálisan nagy veszteségeket kapok, amik nem tükrözik a valóságot. Ezért létrehoztam a T_{el} , T_{avasz} , T_{nyar} mátrixokat, melynek sorai maradtak az egyes háztartási berendezések, oszlopai pedig a nap negyedórái lettek. A mátrix egyes cellái azt tartalmazzák, hogy az egyes berendezések a nap melyik negyed órájában üzemelnek, a cellák értékei a következők lehetnek:

- $Tel(n, m) = 0$: Az n . berendezés a nap m -edik negyedórájában nem üzemelt.
- $Tel(n, m) = 1$: Az n . berendezés a nap m -edik negyed órájában üzemelt. A számítások egyszerűsítése érdekében, ha egy berendezés az adott negyedórában be volt kapcsolva, akkor annak teljes időtartamában üzemelt, az így kapott eredmények kellően jó közelítést adnak.

A mátrixok egyes celláit saját tapasztalataim segítségével töltöttem ki úgy, hogy a mátrix egyes oszlopait összeadva és beszorozva 0,25-tel megkapjam, a tel , $tavas$, $nyar$ vektorokat, tehát az egyes berendezések napi átlagos üzemidejét. (A 0,25-tel való szorzás az óra-negyedóra átváltás miatt szükséges.)

2.7.1 AC eset

A számításokat ebben az esetben is csak az egyik évszak mátrixával mutatom be, mivel a további három évszak számításánál csak a $Te1$ mátrix helyére kell behelyettesíteni a számolni kívánt évszak mátrixát.

A számításokhoz a következő mátrixok felvételére volt szükség:

- I : A mátrix sorai az egyes berendezések, oszlopai pedig a berendezések egyes harmonikus áramainak komplex effektív értéke. Tehát $I(n, h)$ megadja az n berendezés h -edik harmonikusának komplex effektív áramát.
- R : Oszlopvektor sorai az egyes vezetékszakaszok ellenállását tartalmazzák.
- A : Oszlopvektor, amely megadja, hogy melyik dugaszoló aljzat melyik vezetékszakaszt használja. Elemeinek értéke 0 vagy 1.
- B : Ez a mátrix megadja, hogy melyik berendezés melyik dugaszoló aljzatra csatlakozik. A mátrix elemei nulla vagy pozitív egész számok lehetnek, mivel egy dugaszoló aljzatra több berendezés is csatlakozhat, illetve éppen használaton kívül is lehet.

Első lépésként létrehoztam egy C mátrixot, amely megmutatja, hogy az egyes dugaszoló aljzatokra csatlakoztatott berendezések áramai mely vezetékszakaszokat használják. A mátrixot a következő összefüggés segítségével határoztam meg:

$$C = A * B^T$$

ahol B^T a B mátrix transzponáltja.

Ezt követően létrehoztam egy $Ftel_h$ nevű mátrixot, amely tartalmazza, hogy a különböző berendezések a nap melyik időszakaiban mekkora áramot vesznek fel harmonikusonként. A hét darab mátrixot a következő képlet segítségével számoltam:

$$Ftel_h = Tel.* I_h$$

- $Ftel_h$: Mátrix, amely megadja az egyes berendezések h-adik harmonikus áramainak nagyságát a nap adott negyedóráiban.
- I_h : Oszlopvektor, amely az egyes berendezések h-adik harmonikus effektív komplex áramait tartalmazza.
- h : Harmonikus sorszámát jelöli. Értéke 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13 lehet.

Megalkottam a $Etel_h$ mátrixot, amely megadja egy adott vezetékszakaszon egy adott harmonikus áram által okozott veszteséget egy adott időben. A mátrixok meghatározásához használt összefüggés:

$$Etel_h = (C * Ftel_h^2) * (R.* 2) * 0,25$$

- $Etel_h$: Mátrix, ami megadja a h-adik harmonikus áram által okozott veszteségeket az egyes vezetékszakaszon az idő függvényében.
- $Ftel_h^2$: Az $Ftel_h$ mátrix elemeinek négyzetét tartalmazza.
- 2 : Azért van szükség, mert az R vektor a szakaszoknak csak az egyik vezetékéhez tartozó ellenállását tartalmazza, de az áram a fázis és nulla vezetőkben is jelen van.
- $0,25$: Erre a szorzóra azért van szükség, mert negyedórás bontásban adtam meg a fogyasztást, és ennek segítségével kapok a végén kWh-t.

A $Etel_h$ mátrixok segítségével meghatároztam a $Etel_{h,sum}$ oszlopvektorokat, amik megmutatják, hogy az egyes szakaszokon a nap folyamán mekkora veszteségek keletkeztek harmonikusonként.

$$Etel_{h,sum} = \sum_{oszlop} Etel_h$$

Ezután létrehoztam a e_h konstansokat, amelyek megadják, hogy a nap folyamán mekkora veszteségek keletkeztek összesen harmonikusonként.

$$e_h = \sum_{\substack{sor \\ vektor}} (Etel_{h,sum})$$

- e_h : Konstans, amely megadja a h-adik harmonikus áram által okozott napi vezetékveszteséget.

- $\sum_{vektor} ()$: Vektoriális összeg.

Ezután meghatároztam a napi veszteségeket:

$$etel_{szum} = \sum_{vektor} e_h$$

A vezetékszakaszok éves összes veszteségeit is hasonlóképpen kapom meg:

$$Eszumma = 90 * etel_{szum} + 92 * etavas_{szum} + 92 * enyar_{szum} + 91 * etavas_{szum}$$

A kapott eredményeket a 2.7.4 fejezetben ismetetem.

2.7.2 DC eset

Ezzel a számítással kaptam meg az I., II. és III. rendszer esetében az éves fogyasztást.

Ebben az esetben a számítás menete egyszerűbb az AC esethez képest, mivel nem kell harmonikusokkal számolnunk.

Az ismert adatokból felvett mátrixok:

- A : A mátrix sorai az egyes dugaszoló aljzatokat, oszlopai pedig a berendezéseket adják meg. Megmutatja, hogy mely berendezések kapcsolódnak az egyes dugaszoló aljzatokra. E mátrix elemei 0 és pozitív egész számok lehetnek.
- I : A vektor megadja az egyes berendezések áramait. Elemei: pozitív valós számok.
- R : A vektor az egyes vezetékszakaszok ellenállását adja meg.

A létrehozott mátrixokból a következő számítások segítségével lehet meghatározni a vezetékek veszteségét:

Először létrehozok egy K_{tel} mátrixot, amelyik megadja, hogy a berendezések mekkora áramot vettek fel a nap egy adott időszakában, amihez a következő képletet használtam:

$$K_{tel} = Tel.* I$$

- $.*$: Mátrixok vagy vektorok elemenkénti szorzása.

Ezt követően meghatároztam az F_{tel} mátrixot, ami megmutatja, hogy a nap egy adott időszakában az egyes vezetékeken mekkora áram folyik.

$$F_{tel} = A * K_{tel}$$

- $*$: Mátrixszorzás.

Utána kiszámolom a $E_{tel_{15p}}$ mátrixot, ami megadja az egyes vezetékek veszteségeit a nap adott negyedóráiban.

$$E_{tel_{15p}} = (F_{tel}^2) \cdot (2 \cdot R) \cdot 0,25$$

- Az R vektor 2-vel való szorzására azért van szükség, mert az R vektor a szakaszoknak csak az egyik vezetékéhez tartozó ellenállását tartalmazza, de az áram a fázis és nulla vezetőkben is jelen van.
- A 0,25-ös szorzó azért kell, mert negyedórás bontásban megadott fogyasztásból ennek a szorzónak a segítségével kapok a végén kWh-t.

Végül meghatározom a G_{tel} oszlopvektort, ami megadja, hogy az egyes vezetékszakaszokon az egész nap folyamán mekkora volt az energiaveszteség kWh-ban.

$$G_{tel} = \sum_{sor} E_{tel_{15p}}$$

Az éves veszteségeket vezetékenként a következő egyenlet kiszámításával lehet megkapni:

$$G_{szumma} = 90 \cdot G_{tel} + 92 \cdot G_{tavasz} + 92 \cdot G_{nyar} + 91 \cdot G_{tavasz}$$

2.7.3 Hibrid eset

A számítás menete szinte teljesen megegyezik a 2.7.1 fejezetben ismertetett számítási menettel, a különbség a vektorok és a mátrixok méretében van a több vezetékszakasz miatt.

Az egyes vezetékszakaszokat terhelő harmonikus áramokból adódó, valamint a nem zérus teljesítménytényező miatti veszteség a teljes vezetékveszteség ~0,2%-a.

2.7.4 Eredmények

Az előző három fejezet számításainak az eredményeit a következő táblázatban összegeztem:

Rendszer	Éves vezetékveszteség hőszivattyús fűtéssel (kWh)	Éves vezetékveszteség egyéb fűtéssel (kWh)
Referencia (AC)	788,4	420,4
I.	1 329,6	1 212,3
II.	1 414	1 253,62
III.	1 221,8	1 061,5
IV.	463	302,5

8. táblázat Az egyes rendszerek berendezésekhez tartozó vezetékveszteségeinek éves értéke

A táblázatból látható, hogy az első három rendszer vezetékének vesztesége jelenősen nagyobb a referencia rendszeréhez képest, annak ellenére, hogy ezekben az esetekben van egy +325 V-os vagy egy +380 V-os hálózat kiépítve. Ennek az az oka, hogy a nagyobb feszültségű hálózat és a referencia hálózat vezetékének vesztesége közötti különbség kisebb, mint a kisebb

feszültségű hálózat/hálózatok és a referencia hálózat vezetékének veszteségei közötti különbség.

A 2.5 fejezet eredményeiből kiindulva a IV. rendszer veszteségeinek a referencia és az első három rendszer közé kéne esnie, de ez nem teljesül. A meglepően jó eredmények a vezetékvezetésnek köszönhetőek, hiszen jóval kisebb áramok terhelik az egyes vezetékvezetéseket, mivel a referencia hálózat vezetékénél közel 2,5-ször több vezeték alkalmaztam. Az is nagymértékben befolyásolja az eredményt, hogy a berendezéseket milyen módon soroljuk az egyes feszültségkategóriákba.

A számolások során megvizsgáltam, hogy az egyes rendszerek esetében milyen mértékben befolyásolja a veszteségeket az, hogy a berendezések nem tisztán ohmos jellegűek és nem lineárisak. A következő táblázat tartalmazza, hogy az egyes rendszerek esetén az előbb említett okok a veszteségek hány százalékát teszik ki:

Rendszer	A veszteségeknek a berendezések nemlinearitásából és nem tisztán ohmos jellegéből adódó hányada
Referencia (AC)	5 %
I., II., III.	0 %
IV.	0,2 %

9. táblázat Az egyes rendszerek veszteségeinek a berendezések nemlinearitásából és nem tisztán ohmos jellegéből adódó hányada

A táblázat segítségével a referencia rendszerrel megfigyelhető, hogy a felharmonikus áramok valamint a $\cos \varphi \neq 1$ által okozott veszteségek a teljes veszteségnek ~5%-át teszik ki. Ennek egyik oka, hogy a nemlineáris berendezések egy háztartásban nagy számban vannak jelen, viszont csak kis teljesítménnyel, valamint az egyes harmonikus áramok eltérő fázisszögei miatt nem minden esetben növelik meg a vezeték veszteségeit. A másik tényező az, hogy a villanymotoros nagyteljesítményű berendezések kis számban találhatóak meg egy háztartásban.

2.8 Vezeték veszteségek meghatározása a világítás esetén

A világítás vezetékveszteségei számításának elve megegyezik a referencia rendszer esetén a 2.7.1 fejezetben leírtakkal, az általam megalkotott rendszerek számítása pedig a 2.7.2 fejezetben leírtakéval.

2.8.1 Eredmények

A vezeték veszteségeit az egyes rendszerek esetén a következő táblázat tartalmazza:

Rendszer	Éves világítási hálózati veszteségek (kWh)
Referencia (AC)	1,3
I., II., III., IV.	20,4

10. táblázat Az egyes rendszerek világításhoz tartozó vezetékveszteségeinek éves értéke

A táblázatból látható, hogy a referencia rendszer veszteségeihez képest a vizsgált rendszerek vesztesége nagyobb, viszont a két rendszer veszteségeinek különbsége éves szinten ~19 kWh, ami szinte elhanyagolhatóan kicsi.

2.9 Gazdaságossági összehasonlítás

A gazdaságosság összehasonlítását csak a III. és a IV. rendszerre végeztem el, mivel az eddig bemutatott számítások során ez a két rendszer bizonyult a legjobbnak.

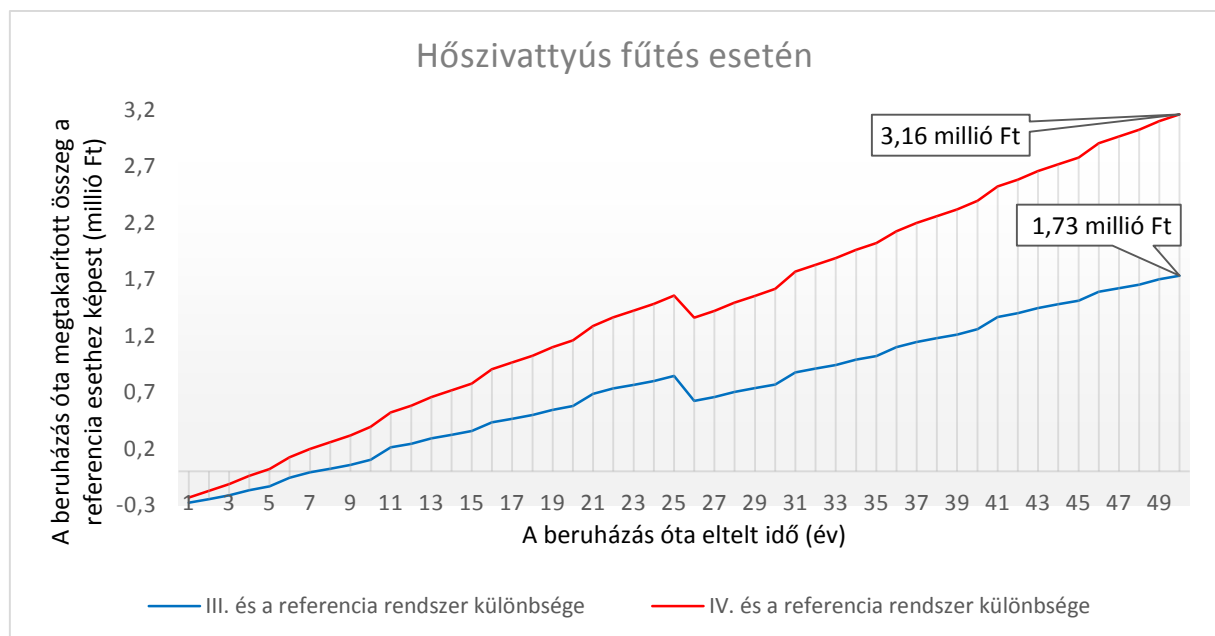
A számításokhoz az éves villamosenergia-fogyasztás és az éves vezetékveszteségek mellett szükség volt még két, berendezésekkel kapcsolatos adatra.

Az egyik ilyen adat a berendezések beszerzési ára, ami internetes forrásokból származik a referencia rendszer esetében. Az általam vizsgált rendszerekben használt háztartási berendezések között vannak egyenárammal üzemeltetettek is, amelyeknek az ára bizonyos esetekben alacsonyabb, mint a váltakozó áramú társaiké. A berendezések árához részletesebben meg kellett ismernem az egyes háztartási berendezések felépítését, és meg kellett határoznom, hogy az egyes berendezések esetében milyen alkatrészek hagyhatóak el. Ezután megbecsültem, hogy ezen alkatrészek elhagyása a berendezések árában milyen csökkenést jelenthet.

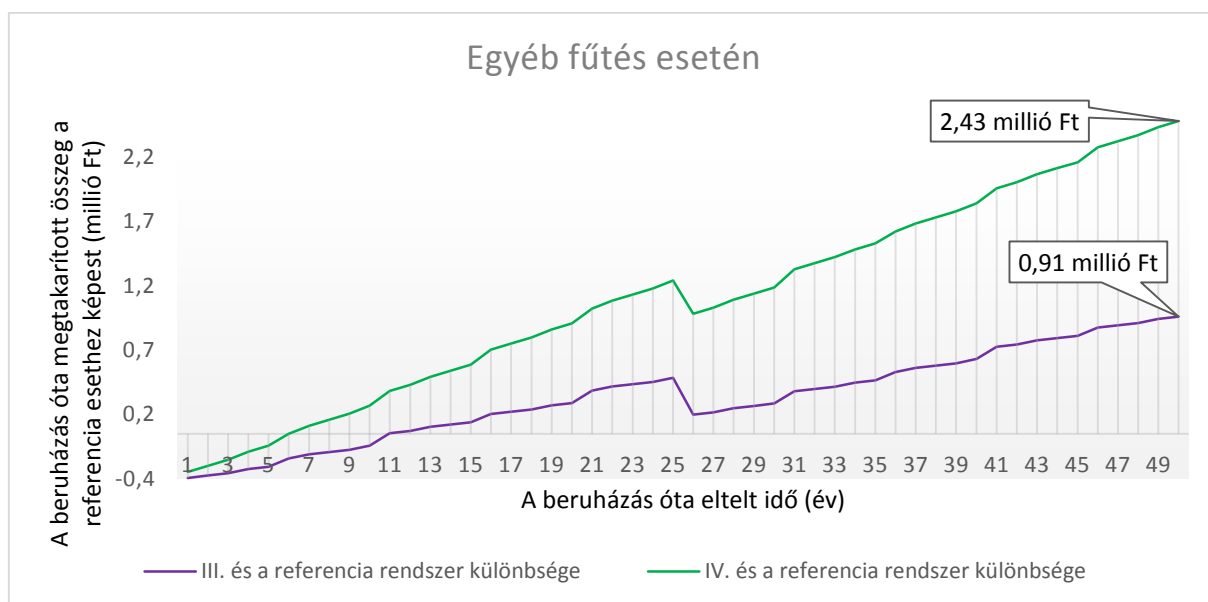
A másik a berendezések élettartama volt. Ezt az időt a háztartási készülékek garanciájának idejéből, illetve saját tapasztalataim segítségével határoztam meg. A megtérülési idő pontosabb számítása érdekében évekre lebontva megadtam, hogy az egyes berendezések melyik évben igényelnek cserét. Ezáltal a számítások a valóságoshoz igen hasonló eredményeket adtak.

Az eredményeket ebben az esetben is mátrix- és vektorműveletek segítségével határoztam meg. Mindegyik rendszer esetén az első év elején az összes háztartási készülék beszerzésre került.

A következő diagramokon jól megfigyelhető, hogy a III. illetve a IV. rendszer hányadik év után lesz gazdaságosabb a referencia rendszernél.



2. diagram Megtérülési idő hőszivattyús fűtés esetén



3. diagram Megtérülési idő egyéb fűtés esetén

A két diagramról le lehet olvasni, hogy a hőszivattyús fűtés esetén 5 – 8 év szükséges ahhoz, hogy az általam vizsgált rendszerek kezdetben magasabb beruházási költségei megtérüljenek, egyéb fűtés esetén ez az érték kitolódik 6 – 11 évre. A III. és IV. rendszer közül az utóbbi bizonyult gazdaságosabbnak, ez annak köszönhető, hogy a IV. rendszer esetén a vezetékek veszteségei kisebbek lesznek a III. rendszer vezetékvesztéséhez képest.

Mind a két esetben a 25. évben megfigyelhető egy kisebb mértékű visszaesés, ez a villamos energia átalakítók esedékes cseréjének köszönhető.

2.10 Érzékenységvizsgálatok

A számításokat elvégeztem egyes paraméterek változtatásával is, hogy teljesebb képet kapjak arról, hogy az egyes rendszerek gazdaságossága mennyire függ egyes összetevők pontos értékétől. A változtatott összetevőket és az általuk bekövetkezett változásokat a 4. diagram tartalmazza, ami megadja, hogy az egyes esetek hány százalékkal lesznek jobbak, illetve rosszabbak a referencia esethez képest.

Az esetek a következők:

1. A 2.9 fejezetben számolt értékek esetén kapott eredmények, később ezekhez az eredményekhez hasonlítom a többi esetet.
2. AC és DC berendezések ára is 10%-ot emelkedik.
Ebben az esetben a referencia esetnél gyorsabb megtérülést várok, mivel az ár növekedésével a különbségek is nőni fognak.
3. AC és DC berendezések ára is 10%-ot csökken.
Ez esetben a referencia esetnél lassabb megtérülésre számítok, mivel az ár csökkenésével a különbségek is kisebbek lesznek.
4. Az energia átalakítók ára a III. és a IV. esetben 20%-ot csökken.
Ez a tömeggyártás beindulása következtében kialakuló árcsökkenést mutatja. Ebben az esetben egyértelmű, hogy az eredményeim javulni fognak.
5. A villamos energia ára 10%-kal emelkedik.

Ebben az esetben a kisebb vezetékvesztéseknek és a kevesebb villamos energia-fogyasztásnak köszönhetően a megtérülési időnek az eddigi ismeretek alapján kevesebbnek kell lennie a referencia eset értékeihez képest.

6. Az egyenáramú berendezések fogyasztása a III. és a IV. rendszer esetében a vártnál 10%-kal nagyobb.

Mivel csak az egyenfeszültségű hálózatra csatlakoztatott berendezéseket érinti a villamos energia fogyasztásának emelkedése, ezért ebben az esetben lassabb megtérülésre számítok.

7. Az egyenáramú berendezések fogyasztása a III. és a IV. rendszer esetében a vártnál 10%-kal kevesebb.

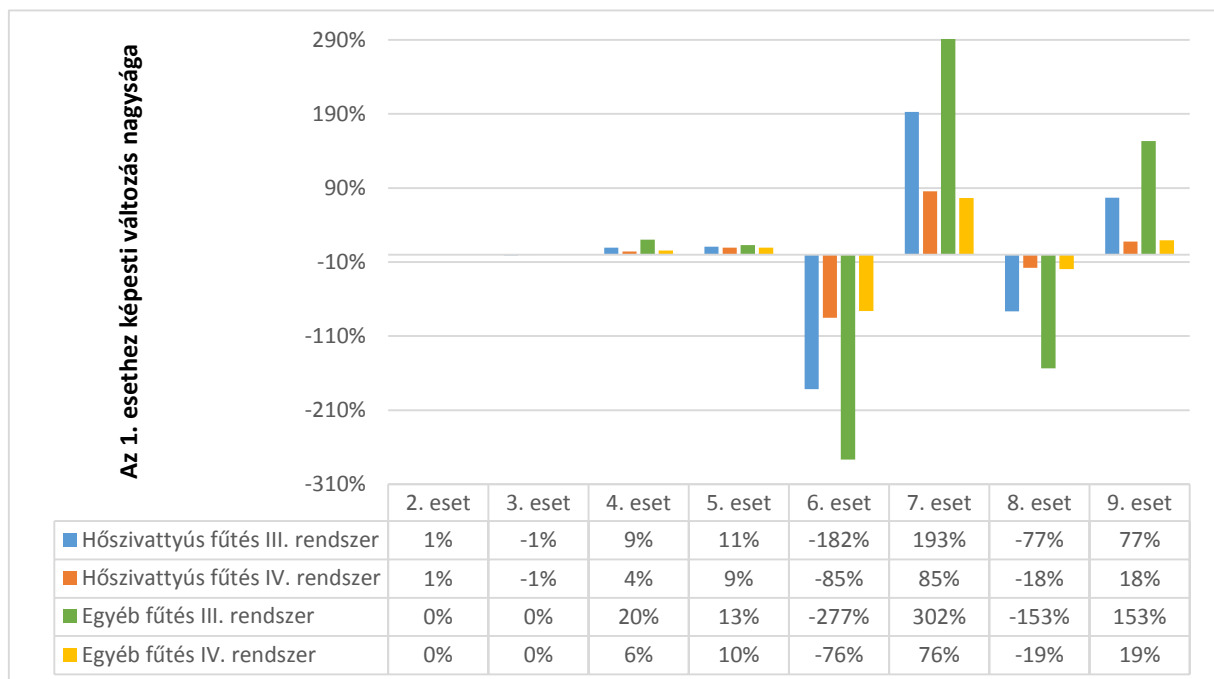
A 6. eset gondolatmenetét követve ebben az esetben rövidebb megtérülési idő várható.

8. Az egyenáramú berendezések ára a vártnál 10%-kal több, a váltakozó áramú berendezések ára nem változott.

Ez az esemény sincs hatással a váltakozó áramú berendezésekre, úgyhogy az egyenáramú berendezések árának növekedése azt eredményezi, hogy a referencia esethez képest lassabban térül meg.

9. Az egyenáramú berendezések ára a vártnál 10%-kal kevesebb, a váltakozó áramú berendezések ára nem változott.

Az előző pont alapján, ebben az esetben gyorsabb megtérülésre számítok a referencia értékeknél.



4. diagram Az egyes eseteknek az 1. esethez képesti változásának nagyságát mutatja

A diagramról jól leolvasható, hogy a feltételezéseim helyesek voltak, valamint az, hogy az utolsó négy esetben volt a legnagyobb a javulás illetve romlás, tehát ezek az esetek nagy befolyással vannak a megtérülési időre.

A diagram első pillantásra megtévesztő lehet, mivel az vehető észre rajta, hogy a III. rendszer sokkal jobb, mint a IV. rendszer, pedig a 2. és 3. diagramokon pont fordítva volt. Ennek az az

oka, hogy ezen a 4. diagramon az egyes rendszerek 1. esetéhez viszonyítottam a többit, a következő egyenlet felhasználásával:

$$\text{n. eset megtérülési ideje az 1. esethez viszonyítva} \\ = \frac{(\text{n. eset megtérülési ideje}) - (\text{1. eset megtérülési ideje})}{(\text{1. eset megtérülési ideje})}$$

A számítások alapján az mondható el, hogy a jelenlegi állapotban a IV. rendszer a jobb. Az előbb bemutatott változások segítségével jól megfigyelhető, hogy az egyes változások miként befolyásolják a két vizsgált rendszer gazdaságosságát. Az egyenfeszültségű berendezések fogyasztásának és árának változása befolyásolja leginkább a megtérülési időt, és a villamos energia ára, az AC és DC berendezések árának változása és az átalakítók árának csökkenése nem hat jelentős mértékben a megtérülési időre.

2.11 Összegzés

A számításokból kiderül, hogy az első két általam vizsgált rendszerrel egy családi ház esetén nem érdemes foglalkozni, a +48 V-os hálózat szint teljesen felesleges kiépítése miatt. A III. – és IV. rendszer viszont gazdaságosabbnak bizonyult a jelenleg alkalmazott váltakozó áramú hálózathoz képest, igaz nem sokkal, hiszen az 50 éves vizsgálati időszak végére a jelenlegi árak mellett a III. rendszer 0,91 – 1,73 millió Ft-tal, a IV. rendszer pedig 2,43 – 3,16 millió Ft-tal gazdaságosabb a referencia rendszerhez képest. A megtakarítás éves szinten a III. rendszer esetén 18 225 – 34 676 Ft, a IV. rendszerénél pedig 48 587 – 63 229 Ft a referencia rendszerhez képest. A kapott értékeknél figyelembe kell venni, hogy az általam vizsgált családi ház villamos energia fogyasztása a hazai átlagnál magasabb, ezért a kisebb energiaigényű házaknál alacsonyabb lesz a megtakarítás.

Mindent összevetve jelenleg a IV. rendszer bizonyult a leggazdaságosabbnak. Továbbá az esetleges egyenáramú villamos energia elosztásra való átállás esetén ez a rendszer a praktikusabb is, mivel nem feltétlenül szükséges minden berendezésünket lecserélni a javasolt típusra (igaz ez azt eredményezi, hogy a várt értékeknél alacsonyabb lesz a megtakarítás nagysága), valamint a vendégségbe érkezőknek sem okoz nehézséget a villamos hálózatra csatlakoztatni a magukkal hozott berendezéseiket.

A IV. rendszer eredményeiből a következő megállapításokra jutottam:

- A háztartás villamosenergia-fogyasztása jelentős mértékben lecsökkenhet, a berendezések és azok üzemidejének függvényében. Ez a csökkenés körülbelül 8 – 11% a referencia esethez képest, ez egy 4500 kWh éves villamosenergia-fogyasztású háztartás esetén 14 400 – 19 800 Ft éves megtakarítást eredményez.
- A vezetékezés veszteségeinek csökkenése is számottevő, kb. 20 – 40 % a jelenleg alkalmazott rendszerekhez képest. Az előbb említett javulás nagy része a berendezések teljesítménycsökkenésének köszönhető.
- A világítás kapcsán arra a megállapításra jutottam, hogy ha a teljes villamosenergia-rendszer hibrid kialakítását a körülmények nem engedik, a világítási rendszer egyenáramú hálózatát a kis beruházási költségek és a gyors megtérülési idő miatt

érdemes kiépíteni. A jelenlegi alkalmazott rendszer fogyasztásának kb. a 70–75%-a megtakarítható egyenáramú táplálás esetén.

3 Lakópark

Ebben a fejezetben azt vizsgálom meg, hogy milyen vezeték keresztmetszet és -vezetékrendezés esetén, valamint átalakító elhelyezés esetén érhető el a legjobb megtérülési idő. A megtérülési idő számításánál csak a vezetékezés árával és a vezetékveszteségek csökkenéséből eredő megtakarításokkal számoltam, az átalakítók költségeivel nem, erre később még kitérek.

Első lépésként meg kellett tervezni egy lakóparkot. A fő szempont a térbeli szimmetrikus elrendezés volt, mivel ennél a számításnál a vezetékek veszteségeinek meghatározása volt a cél, ezért a szimmetriát kihasználva jelentősen fel lehetett gyorsítani a számítást. A tervezés másik szempontja, hogy ha a számítások eredménye az lesz, hogy az általam megalkotott rendszer gazdaságosabb a jelenleg alkalmazottnál, akkor viszonylag egyszerűen fel lehessen használni a közép feszültségű villamosenergia-elosztás vizsgálatánál.

A lakópark 4 darab háromemeletes épületből áll, szintenként 7 darab lakással. A négy épület között, mindegyiktől ugyanakkora távolságra helyezkedik el a központi átalakító, ami a referencia esetben egy KÖF/KIF transzformátor, az általam elképzelt esetben pedig egy KÖF/KIF transzformátor és egy egyenirányító.

A lakópark egyszerűsített tervrajza a függelékben található.

A fejezetben a lakások és a központi transzformátor, valamint a lakások és a központi átalakítók közötti vezetékszakaszok veszteségcsökkenéséből eredő villamosenergia-megtakarítást fogom számolni. A számításaim során eltérő éves villamosenergia-fogyasztású lakásokat alkalmaztam, valamint lakásonként eltér a 231 VAC és +325 VDC vezeték terhelésének aránya, ezekkel próbáltam életszerűbbé tenni a számításaimat. A számításokhoz szükségem volt egy nagyon fontos változó létrehozására, aminek segítségével minden lakás (vagy több lakás együttes) éves villamosenergia-fogyasztásából meg lehet becsülni azt a veszteséget, amit a lakások okoznak az őket ellátó vezetékszakaszokon. Ezt a változót V -nek neveztem el, számítási módját pedig későbbiekben részletesen leírom.

3.1 Az általam elképzelt villamosenergia-hálózat

A 2. fejezetben ismertetett rendszer közül csak a IV.-et vizsgáltam meg, ennek ok az volt, hogy a tisztán egyenáramú villamos hálózat +24 V-os feszültség szintjének előállításához vagy az elosztása jelentősen nagyobb veszteségekkel járna a IV. rendszerhez képest.

3.1.1 A +24 V-os és +325 V-os egyenfeszültség előállításának helye

A +24 V-os egyenfeszültségű hálózat a IV. rendszer esetében is nehézségeket okoz. Három lehetőséget vizsgáltam meg az előbb említett feszültség létrehozására, ezek a következők voltak:

1. Központilag állítjuk elő a +24 V-os feszültséget, tehát egy átalakítóhoz 84 lakás tartozna.

Ennek a rendszernek egyik hátránya a lakások és a központi átalakító közötti vezetékszakaszok jelentős vesztesége, amelyet a vezeték keresztmetszetének növelésével tudunk mérsékelni, ez viszont a kezdeti költségeket megnövelné. Másik

hátránya, hogy ezeken a szakaszokon jelentős áramok folynak, ezért a vezeték keresztmetszetet kellően nagyra kell megválasztanunk, hogy ne terheljük túl a vezetékeket, ez szintén megnöveli a beruházás költségeit. Harmadik hátránya pedig, hogy több vezetékre lesz szükség, mint a 2. és 3. esetben.

2. Az épületek minden egyes emeletén külön állítjuk elő a +24 V-os feszültséget a 231 V-os hálózat segítségével, tehát egy átalakítóhoz 7 lakás tartozna. Ebben az esetben a vezetékek veszteségei kisebbek lesznek az 1. esethez képest. A több kisebb teljesítményű átalakító beszerzési költségei közel megegyeznek az egy nagy átalakító beszerzési költségeivel, ezért ez nem befolyásolja a választást.
3. Lakásonként állítjuk elő a +24 V-os feszültséget a 231 V-os hálózat segítségével. A három eset közül ebben az esetben a legkisebbek a vezetékek veszteségei, valamint a hálózat kiépítéséhez sem kell „felesleges” vezetékeket felhasználni.

Az előbb említett lehetőségek közül a legutolsót használtam a számításaim során.

A +325 V-os egyenfeszültséget központilag állítom elő, az átalakító a központi transzformátor mellett került elhelyezésre.

3.1.2 Vezeték keresztmetszet megválasztása

A referencia rendszer esetében két eltérő keresztmetszetet alkalmaztam. A lakások és az egyes emeleti elosztók között 10 mm²-es, míg az elosztók és a központi transzformátor között 120 mm²-es réz vezetéket használtam.

A vizsgált rendszer esetében szükségem volt arra, hogy az egyes feszültség szintek berendezéseinek mennyi lesz a várható áramfelvétele, ennek meghatározásánál a családi ház adatait vettem alapul, amiből kiderült, hogy a +325 V-ra csatlakozó berendezések várható maximális árama a teljes áramigény 40 – 60%-a. Ezek után úgy ítélt meg, hogy a lakások és az emeleti elosztók között elegendő lesz a 6 mm²-es, a elosztók és a központi átalakító közötti szakaszon pedig 70 mm²-es keresztmetszet a 231 V és a +325 V esetében egyaránt.

3.1.3 Az egyes lakások pillanatnyi felvett árama

3.1.3.1 Referencia rendszer

Ebben az esetben nem használhattam a 2. fejezetben kapott értékeket, mivel az így kapott eredmények túlságosan specifikusak lennének. Ezért a konzulensem-től kapott 600 db ELMŰ-s fogyasztói mérés segítségével oldottam meg a számításokat.

Első lépésként szükség volt egy V tényezőre, aminek segítségével meg tudjuk becsülni az éves villamosenergia-fogyasztásból az egyes lakások és a központi átalakító közötti vezetékszakaszok éves veszteségeit. A következő összefüggés segítségével kapjuk meg a becsült éves vezetékvesztéseket az egyes szakaszokra:

$$P_{vez.veszt,év} = V * \left[\left(\frac{E_{éves}}{231 * 365 * 24} \right)^2 * R_{vez} \right]$$

- R_{vez} : A vizsgált vezetékszakasz ellenállása.

A V értékét 600 darab fogyasztó 15 perces adatai és az éves villamos energia-fogyasztásuk segítségével meg lehetett határozni a következő képlet segítségével:

$$E_{veszteség} = R * \int_0^{1 \text{ év}} |I|^2(t) dt$$

$$E_{\text{átlagveszteség}} = R * 1 \text{ év} * \left(\overline{|I(t)|} \right)^2$$

$$V = \frac{E_{veszteség}}{E_{\text{átlagveszteség}}}$$

- $E_{veszteség}$: A 15 perces adatok segítségével meghatározott vezetékveszteség, egy R ellenállású vezetéken.
- $E_{\text{átlagveszteség}}$: Az éves villamosenergia-fogyasztás segítségével meghatározott vezetékveszteség, egy R ellenállású vezetéken.
- V : A keresett „veszteségi tényező”.
- $|I|^2$: Effektív áram pillanatnyi abszolút értékének négyzete.
- $\overline{|I(t)|}$: 15 perces effektív áram átlagértékének az abszolút értéke.

Ezt a V tényező mind a 600 esetre meg lett határozva. Ezt követően kiválasztottunk véletlenszerűen n darab tényezőt és vettük az átlagukat, majd ezt 100-szor megismételtük és ezeknek az eredményeknek is az átlagát véve megkaptuk a V_n tényezőt. Az n és a hozzájuk tartozó tényezők értékei:

- 1 : Ez egy lakás esetében az átlag. Ezt a tényezőt nem használtam fel sehol.
 $V_1 = 2,0075$
- 7 : Ez egy emelet esetén az átlag. Az így kapott értékeket a lakások és az egyes emeleti elosztók közötti vezetékszakaszok veszteségeinél használtam fel.
 $V_7 = 1,2475$
- 21 : Egy háztömb esetén az átlag. Az egyes emeleti elosztók és a központi átalakító közötti szakaszok veszteségeinél használtam fel.
 $V_{21} = 1,1490$

3.1.3.2 Hibrid rendszer

Az egyenáramú villamosenergia-elosztás kedvező tulajdonságai miatt a 3.1.3.1 fejezetben meghatározott V tényezők mellett szükség van még két szorzóra, amik segítségével a referencia rendszer veszteségeiből meg lehet határozni a vezetékek veszteségeit, úgy, hogy a referencia rendszer eredményeit beszorozzuk a megfelelő értékekkel. Azért csak két szorzótényezőre van szükség, mert az egyes lakásokból csak 2 db 3 eres vezeték lép ki, egy +325 VDC és egy 231 VAC.

Az egyes szorzókat a következőképpen határoztam meg, a családi ház adatai segítségével:

- dc : Ez a szorzó a +325 V-os vezetékek számításánál lett felhasználva. Számításánál 3 tényezőt vettem figyelembe:
 - A háztartási berendezések felvett áramának a csökkenése az esetleges „felesleges” átalakítás hiányában. Ez a csökkenés ~3%.
 - Az egyenáramú táplálás következtében a felharmonikusok hiányából eredő veszteségek csökkenése, ~5%.
 - A feszültségek különbsége miatt bekövetkező kisebb áramfelvétel a referencia rendszerhez képest, ~29%.

Ennek a három felhasznált tényezőtől a következő képlet segítségével kapjuk meg a dc értékét:

$$dc = (1 - 0,03) * (1 - 0,05) * (1 - 0,29) \approx 0,65$$

- ac : Ezt a tényezőt a 231 V-os vezetékek számításánál lett felhasználva. Ez esetben is 3 összetevőre volt szükség a számításhoz:
 - A +24 V-os hálózatra csatlakozó berendezések esetében a „felesleges” átalakítók elhagyása miatt bekövetkező csökkenés, ~3%.
 - A +24 V-os táplálás következtében a felharmonikusok hiányából eredő veszteségek csökkenése, ~8%.
 - A +24 V-os berendezések teljesítménye mekkora részét teszi ki a 231 V-os és a +24 V-os készülékeknek, ~25%.

A tényezők felhasználásával a következőképpen kaphatjuk meg ac értékét:

$$ac = 0,75 + [(1 - 0,03) * (1 - 0,08)] * 0,25 \approx 0,97$$

3.2 A vezetékek veszteségeinek meghatározása

A számításokat a referencia - és a hibrid rendszerre is 10 000-szer végeztem el és ezeknek az átlagát vettem végeredménynek, ezáltal kiküszöbölve a szélsőséges eseteket.

A számítás során felhasznált változók a következők voltak:

- $E_{m,n}$: Megadja az m -edik emelet n -edik lakásának éves villamosenergia-fogyasztását. Az értékeket a MATLAB választotta ki véletlenszerűen 3 000 kWh és 6 000 kWh érték között.
- $V_7; V_{21}$: Konstansok, amiket a 3.1.3.1 fejezetben már ismertetett módon használtam.

- $R_{m,n,10}$: Az m-emelet n-edik lakását és az m-edik emelet elosztóját összekötő vezeték ellenállása a referencia rendszer esetében.
- $R_{m,120}$: Az m-edig emelet elosztóját és a központi transzformátort összekötő vezeték ellenállása a referencia rendszer esetében.
- $R_{m,n,6}$: Az m-emelet n-edik lakását és az m-edik emelet elosztóját összekötő vezeték ellenállása a hibrid rendszer esetében.
- $R_{m,n,70}$: Az m-edig emelet elosztóját és a központi átalakítót összekötő vezeték ellenállása a hibrid rendszer esetében.
- DC_0 : A hibrid rendszer vezetékeinek költsége, 2 451 624 Ft.
- AC_0 : A referencia rendszer vezetékeinek költsége, 2 031 905 Ft.

3.2.1 A referencia rendszer éves veszteségeinek meghatározása egy esetre

Először az éves villamosenergia-fogyasztásból ki kellett számolni a 1 órás átlag áramokat, ezt a következő összefüggés segítségével lehetett meghatározni:

$$I_{m,n,10} = \frac{E_{m,n}}{231 * 365 * 24}$$

- $I_{m,n,10}$: Megadja az m-edik emelet n-edik háztartáshoz tartozó átlagáram értéket.

Ezután meghatároztam azokat az áramokat, amelyek az egyes emeleti elosztók és a központi transzformátor közötti 120 mm²-es vezetékeket terhelik. A felhasznált összefüggés:

$$I_{m,120} = \sum_{n=1}^7 I_{m,n,10}$$

- $I_{m,120}$: Megadja az m-edik emeleti lakások áramainak az összegét.

Ezt követően kiszámoltam az éves vezetékveszteségeket a következő képlet segítségével:

$$E_{év}^{ref.} = (365 * 24) * \left[\left(\sum_{m=1}^3 (I_{m,120} * V_{21})^2 * R_{m,120} \right) + \left(\sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^7 (I_{m,n,10} * V_7)^2 * R_{m,n,10} \right) \right]$$

3.2.2 A hibrid rendszer éves veszteségeinek meghatározása egy esetre

A számítások menete hasonlít a 3.2.1 fejezetben ismertetettekhez, viszont ebben az esetben külön számításokat kell végezni a 231 V-os és a +325 V-os vezetékre. Először meghatároztam mind a két feszültségintű vezeték áramait a különböző lakások esetén:

$$I_{m,n,6}^{DC} = \frac{E_{m,n} * a}{231 * 365 * 24}$$

$$I_{m,n,6}^{AC} = \frac{E_{m,n} * (1 - a)}{231 * 365 * 24}$$

- $I_{m,n,7}^{DC}$: Megadja az m-edik emelet n-edik háztartáshoz tartozó átlagáram értéket a +325 V-os 6 mm² keresztmetszetű vezetéken.
- $I_{m,n,6}^{AC}$: Megadja az m-edik emelet n-edik háztartáshoz tartozó átlagáram értéket a 231 V-os 6 mm² keresztmetszetű vezetéken.
- a : Megadja, hogy az egyes háztartások összes felvett teljesítményének mekkora százaléka áramlik a +325 V feszültségű vezetéken általában. Értékét a MATLAB választja ki véletlenszerűen 0,4 és 0,6 között minden egyes lakás esetén.

Ezt követően meghatároztam azokat az átlagáramokat, amelyek az egyes emeleti elosztók és a központi transzformátor közötti 70 mm²-es vezetékeket terhelik. A felhasznált összefüggések:

$$I_{m,70}^{DC} = \sum_{n=1}^7 I_{m,n,10}$$

$$I_{m,70}^{AC} = \sum_{n=1}^7 I_{m,n,10}$$

Végül kiszámoltam az éves vezetékvesztéseket a következő összefüggés segítségével:

$$E_{\acute{e}v}^{hibrid} = (365 * 24) * \left(\left[\left(\sum_{m=1}^3 (I_{m,70}^{DC} * V_{21})^2 * R_{m,70} \right) + \left(\sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^7 (I_{m,n,6}^{DC} * V_7)^2 * R_{m,n,6} \right) \right] + \left[\left(\sum_{m=1}^3 (I_{m,70}^{AC} * V_{21})^2 * R_{m,70} \right) + \left(\sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^7 (I_{m,n,6}^{AC} * V_7)^2 * R_{m,n,6} \right) \right] \right)$$

3.3 Megtérülési idő számítása

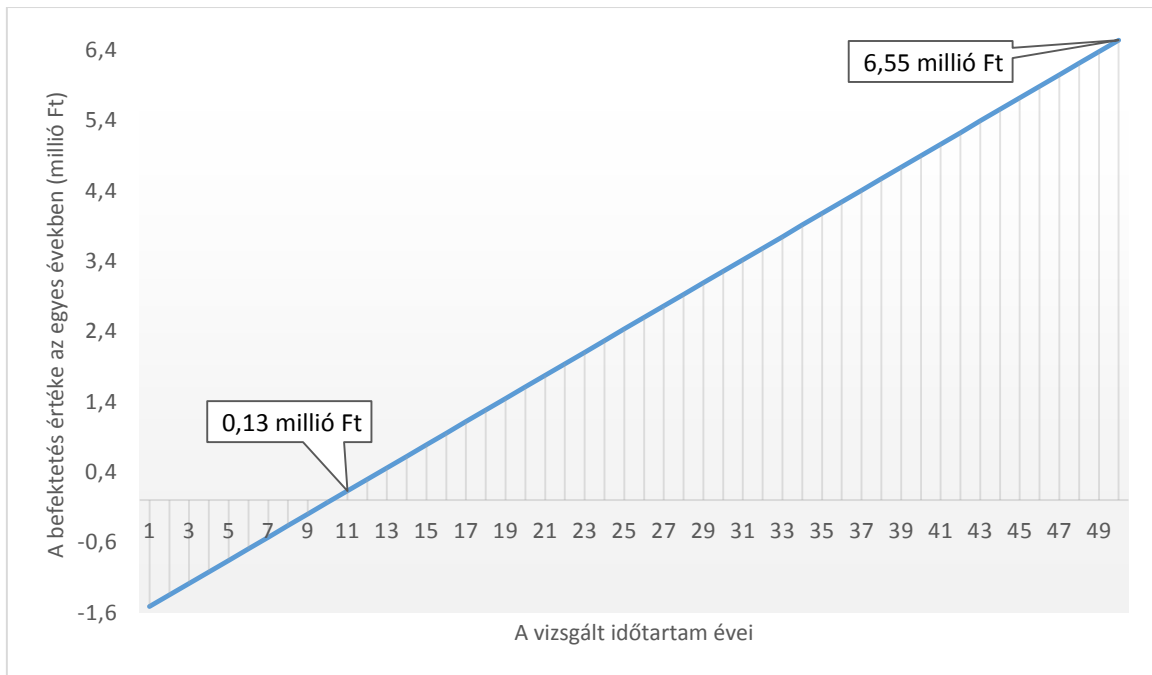
Megtérülési idő számítást nem a teljes lakóparkra, hanem annak csak egy épületére végeztem el, és annak az eredményéből számoltam a teljes lakóparkra vonatkozó megtérülési időt.

A megtérülési idő meghatározásához a következő képletet használtam:

$$(AC_0 - DC_0) + k * (E_{\acute{e}v}^{ref.} - E_{\acute{e}v}^{hibrid}) * 40$$

- k : Az aktuálisan vizsgált év számát adja meg.
- 40 : A villamos energia egységára, Ft/kWh.

A képlet segítségével megkapott értékekből felrajzoltattam az 5. diagramot, ahol jól megfigyelhető a megtérülési idő:



5. diagram A lakópark vezetékvezésének megtérülési ideje

A diagramról leolvasható, hogy a hibrid rendszer a 11. évben térül meg.

A diagram lineáris, ennek oka, hogy ennél a számításnál nem foglalkoztam a transzformátorok és egyenirányítók előregedésével, mivel a központi egyenirányító ára nagyjából megegyezik a sok kisebb egyenirányító árával és az élettartamuk is szinte azonos, valamint az átalakítók már szerepelnek a családi ház megtérülési idejénél.

3.4 Összegzés

A hibrid rendszer a lakópark esetében is gazdaságosabbnak bizonyult a referencia rendszerhez képest. A kapott eredményekből látszik, hogy az 50-edik vizsgált év végére a megtakarítás a referencia rendszerhez képest ~6,5 millió Ft, ami éves szinten átlagosan ~130 000 Ft. Az előbb említett megtakarítás viszonylag alacsony, de figyelembe kell venni, hogy ezt csak a vezetékek veszteségeiből eredő megtakarítás.

A veszteségek csökkenésének 2 fő oka van. Az első, hogy a lakások teljesítményfelvételének közel fele a jelenlegi rendszerhez képest nagyobb feszültség szinten történik, aminek köszönhetően a +325 VDC feszültségű vezetéket terhelő áramok 0,71-szer kisebbek, a vezetékvesztések pedig körülbelül a felére csökkennek. A második pedig, hogy a 231 V-os

váltakozó feszültségű vezetéken a berendezések felharmonikus termelése elhanyagolható, valamint a teljesítménytényezőjük jó közelítéssel egységnyinek mondható, ennek következtében ezen a típusú vezetéken is csökkennek a veszteségek a referencia esethez képest.

4. Konklúzió

A vizsgálataim során bebizonyosodott, hogy a kifeszültségű villamos hálózatok esetében számos előnnyel jár, ha a váltakozó áramú hálózat mellett az említett egyenáramú hálózatokat is kiépítjük. A megtérülési idők kizárólag az újonnan épülő épületek esetében érvényesek.

A teljes lakópark megtakarítása a lakásokat is beleszámolva jelentős, mivel 4 500 kWh éves villamosenergia-fogyasztású lakásokkal számolva:

50 év teljes megtakarítása

$$\begin{aligned} &= (\text{A lakópark lakásainak száma}) * (\text{A családi ház 50 éves megtakarítása}) \\ &* \left(\frac{\text{Egy átlagos lakás éves villamosenergia fogyasztása}}{\text{A családi ház éves villamosenergia fogyasztása}} \right) \\ &+ (\text{Lakópark megtakarítása}) = 84 * 3\,160\,000 * \frac{1}{3} + 6\,550\,000 \\ &= 95\,030\,000 \text{ Ft} \end{aligned}$$

A vizsgált 50 év átlagát nézve éves szinten 1,9 millió Ft-os megtakarítást eredményez. A lakópark villamosenergia-megtakarítása ~45 MWh/év, ez a megtakarítás éves szinten jelentős, főleg, ha figyelembe vesszük, hogy lakóépületről van szó. A hibrid rendszer hatékonysága tovább javítható a megújuló energiatermelés bevonásával, ami a megtakarítások nagyságának további emelkedése mellett környezetkímélőbb épületek megvalósítását eredményezi.

Érdeemes a fentiek mellett még néhány, jelen pillanatban nem számszerűsíthető tényezőt megemlíteni. Ilyen például, hogy a villamos energia felhasználás elmúlt 50 éves fejlődése alapján nem nehéz megjósolni, hogy a következő ötven év is hozhat olyan eredményeket, amelyek a fentiekben bemutatott rendszer gazdaságosságát tovább növelhetik, már csak annak flexibilitása miatt is. Ilyenek lehetnek a berendezések új generációi, vagy a különböző hálózati egységek korszerűbb berendezései, vagy a villamos energia tárolásának új hatékonyabb megoldásai stb. Ugyancsak jelentős változások kiindulópontjai lehetnek a jövőben esetlegesen bekövetkező olyan éghajlati változások és annak kísérő jelenségei, mint például a 2011. március 11-én a Fukushima Daiicsi erőműben a thókui földrengés következményeként bekövetkezett nukleáris baleset, amelynek komoly hatásai voltak az egész világon. Például Németország ennek nyomán az atomerőműveinek leállítása mellett döntött és az alternatív energiahordozók még erőteljesebb kihasználására helyezte a hangsúlyt. Ezek példák olyan változásokra, amelyek esetén a hibrid rendszer, a most már látható és számszerűsíthető előnyei mellett újabb lehetőségeket kínálhat. És nem utolsó sorban a Föld légkörének megóvása, amely talán a vizsgált megtérülési időszak legjelentősebb kihívása lesz.

Irodalomjegyzék

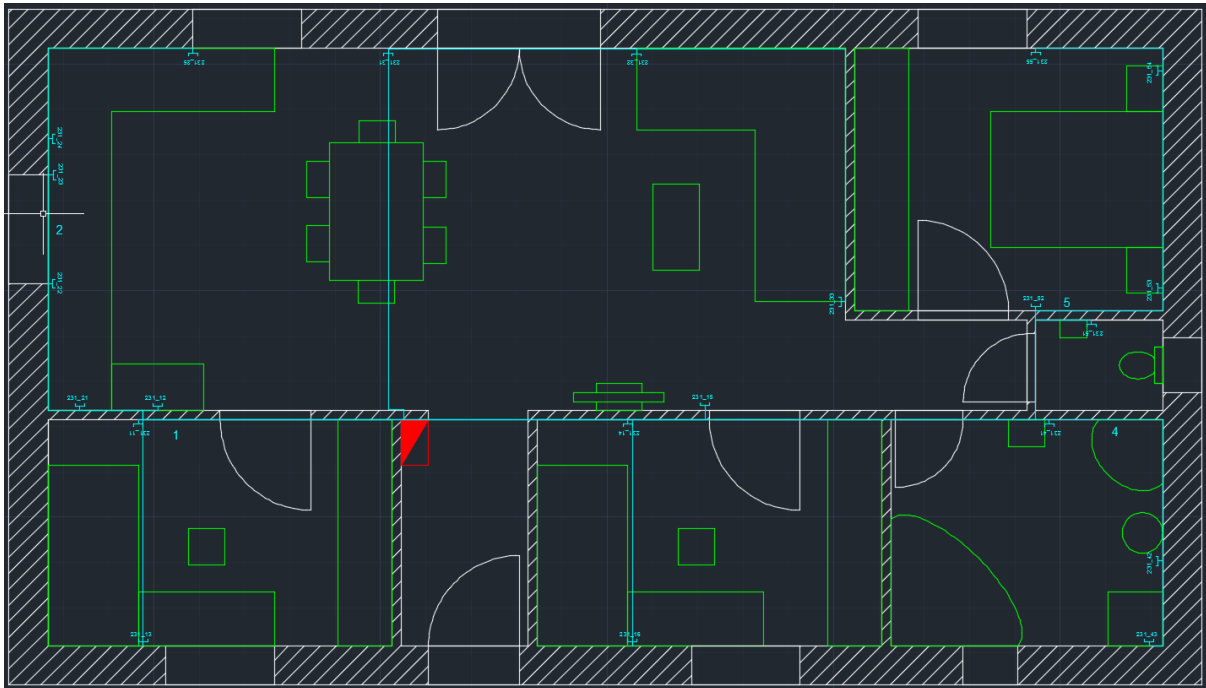
- [1] Yasir Arafat, Mohammad Amin: „Feasibility study of low voltage DC house and compatible home appliance design” *Published Göteborg, Sweden, 2011*
- [2] Dán András, Hartmann Bálint, Kiss Péter: „Hálózati áramellátás és feszültségminőség” http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0048_VIVEM178/adatok.html (2015.10.24)
- [3] Mentavill épületvillamossági termékeket forgalmazó cég <http://www.mentavill.hu/catalog/index/1/?filter=1&slider-min19=950&slider-max19=1050> (2015.10.24)
- [4] Haluxvill villamossági szaküzlet webáruháza <http://www.haluxvill.hu/erosaramu-kabelek/mt>(2015.10.24)
- [5] Giovanna Postiglione: „DC Distribution System for Home and Office” *Published 2001*
- [6] Donald J. Hammerstrom: „AC Versus DC Distribution Systems—Did We Get it Right?” *Published IEEE 2007*
- [7] David Afamefuna, Il-Yop Chung, Don Hur, Ju-Yong Kim, Jintae Cho: „A Techno-Economic Feasibility Analysis on LVDC Distribution System for Rural Electrification in South Korea” *Published 2014*
- [8] Michael Starke: „AC vs. DC Distribution: A Loss Comparison” *Published IEEE 2008*
- [9] Robert W. Johnson: „AC Versus DC Power Distribution” *Published 2012*
- [10] Rohit Ajitkumar: „AN ANALYSIS OF DC DISTRIBUTION SYSTEMS” *Published 2011*
- [11] Don Hur and Ross Baldick: „An Economic Analysis of Potential Cost Savings from the Use of Low Voltage DC (LVDC) Distribution Network” *Published 2014*
- [12] Arató András, Eperjessy Mária, Dr. Némethné Vidovszky Ágnes:” Világítástechnikai kislexikon” *Világítástechnikai Társaság, 2001*
- [13] http://www.energiakozossegek.hu/sites/default/files/tippek_berendezesek_atl_fogy.pdf
Megjelenés éve 2011 (2015.10.24)
- [14] Neil Rasmussen: „AC vs DC Power Distribution for Data Centers” *Published 2006*
- [15] „Direct DC Power Systems for Efficiency and Renewable Energy Integration with a Residential and Small Commercial Focus” *Published June 30 2011*
- [16] Peter Vaessen: „Direct-Current Voltage (DC) in Households” *Published September 2005*
- [17] Stephan Kenzelmann: „Modular DC/DC Converter for DC Distribution and Collection Networks” *Published 2012*
- [18] Yasir Arafat, Lina Bertling Tjernberg, Stephan Mangold: „Feasibility study on low voltage dc systems using smart meter data” *Published June 2013*
- [19] Daniel Nilsson: „DC Distribution Systems” *Published 2005*

[20] O. Oñederra, H. Odriozola, E. Planas, I. López and V. López: „Overview of DC technology - Energy conversion” *Published March 2013*

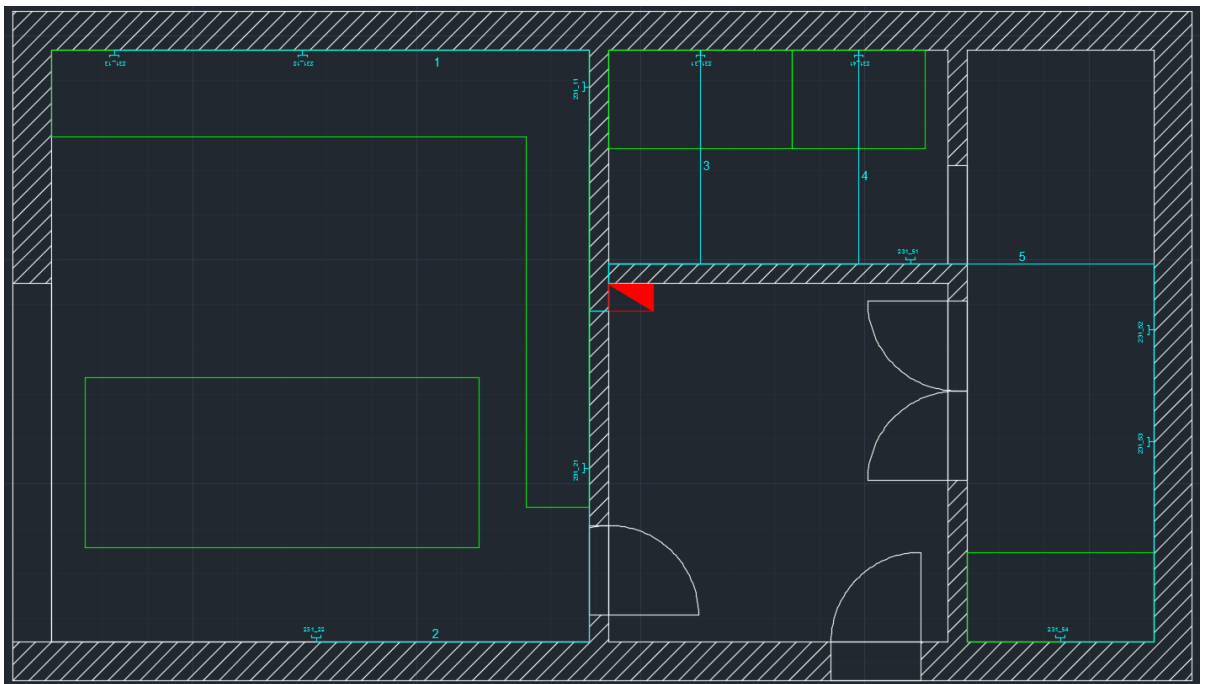
[21] C.O. GECAN, M. CHINDRIȘ, G.V. POP: „ASPECTS REGARDING DC DISTRIBUTION SYSTEMS” *Published 2009*

Függelék

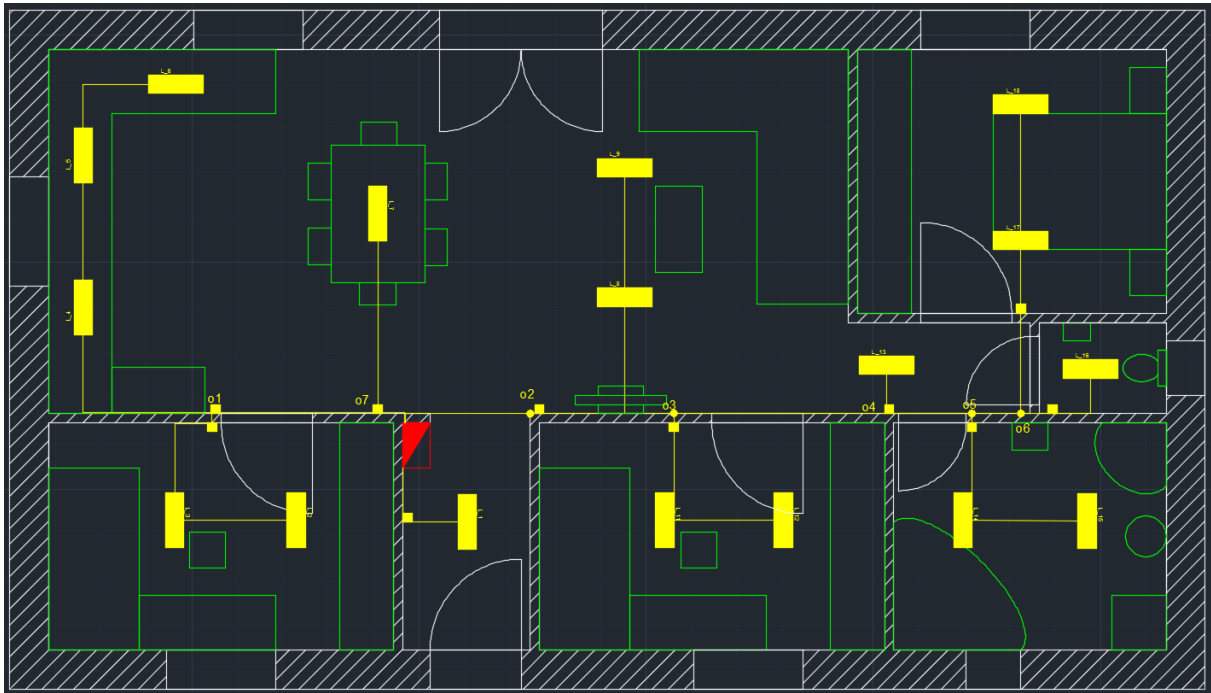
Családi ház villamos hálózatának tervrajzai



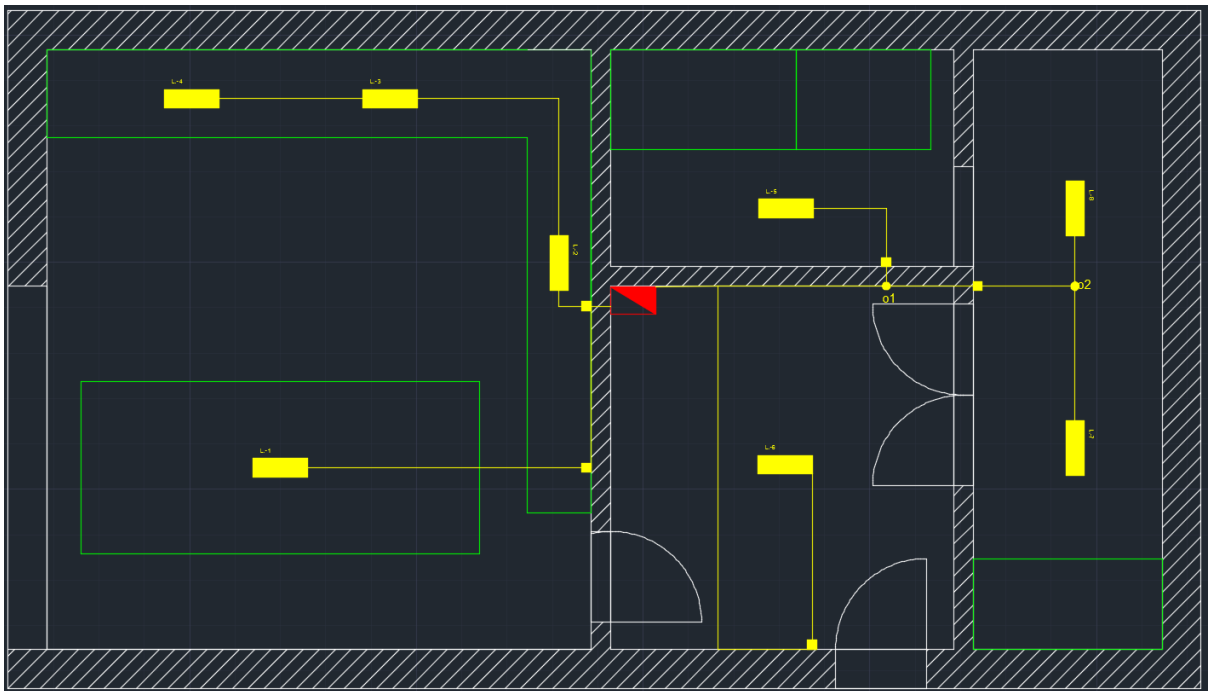
1. AutoCAD tervrajz A földszint referencia villamos hálózata a dugaszoló aljzatokkal és elosztószekrénnyel



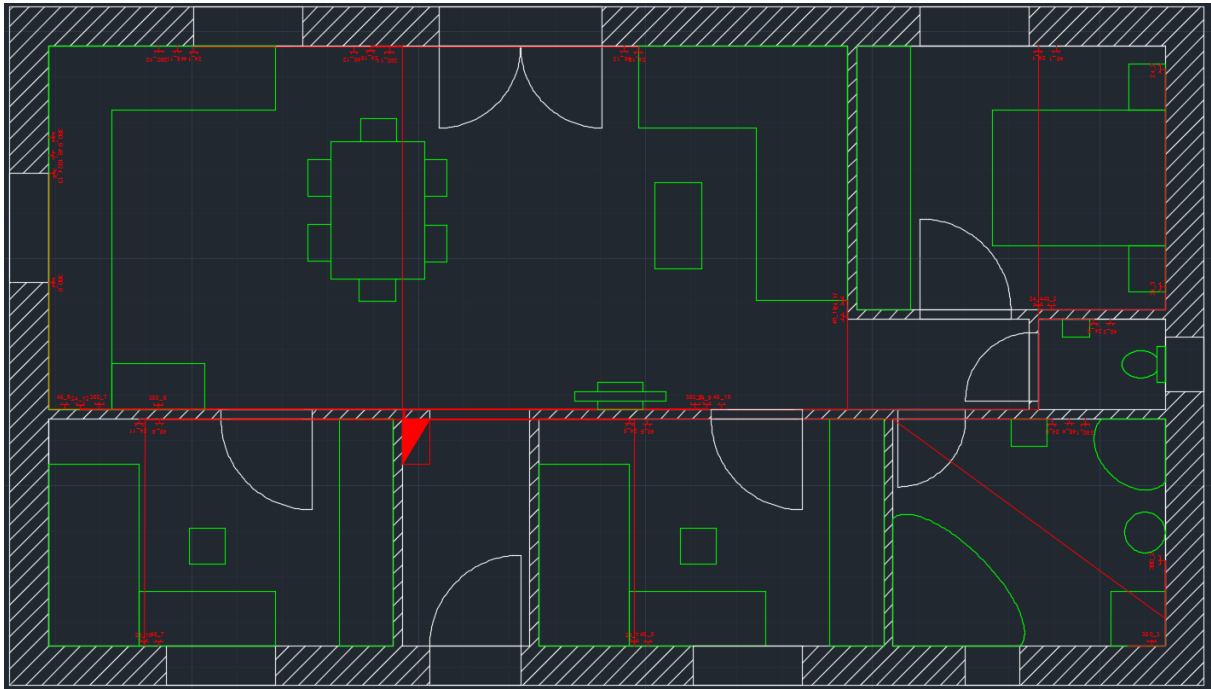
2. AutoCAD tervrajz Az alagsor referencia villamos hálózata a dugaszoló aljzatokkal és elosztószekrénnyel



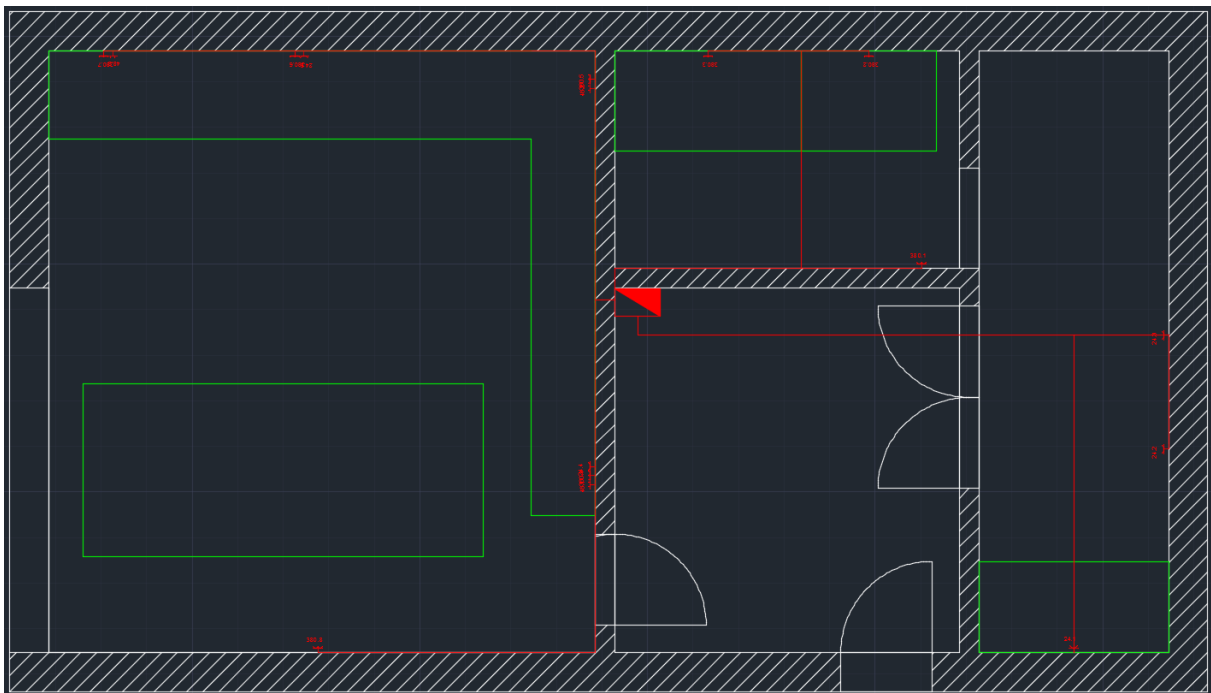
3. AutoCAD tervrajz A földszint világításának villamos hálózata az elosztószekrényvel



4. AutoCAD tervrajz Az alagsor világításának villamos hálózata elosztószekrényvel



5. AutoCAD tervrajz A földszint I. és II. rendszer villamos hálózata a dugaszoló aljzatokkal és elosztószekrénnyel



6. AutoCAD tervrajz Az alagsor I. és II. rendszer villamos hálózata a dugaszoló aljzatokkal és elosztószekrénnyel

A III. rendszert az I. és II. rendszer terveiből, a IV. rendszert a referencia és a III. rendszer terveinek összevonásából lehet megkapni, ezért ezeknek a terveit nem tüntetem fel.

A berendezések árainál használt változók értéke

Minden egyenfeszültségű sínre csatlakoztatott berendezést a vizsgált esetek megtérülési idejének számításánál beszoroztam egy pozitív valós számmal vagy nullával, ami azt mutatja meg, hogy az egyes berendezések ára miként változik a referencia esethez képest a kevesebb vagy több alkatrész következtében. A használt értékeket a következő táblázat tartalmazza:

Berendezés	Változó
autótöltő	NA
bojler	1
DVD lejátszó	0.9
páraelszívó	1.05
fagyasztószekrény	1.05
fűró	0.95
hajszárító	1.05
hőszivattyú	0.9
hűtőszekrény	1.05
indukciós főzőlap	1
kávéfőző	1
kenyérpirító	1
konyharobot	1
lámpa	1
laptop	0

Berendezés	Változó
mikrohullámú sütő	0.9
mini HiFi	0.95
monitor	0.95
mosogatógép	1.05
mosógép	0.85
nyomtató	1
számítógép	0
porszívó	0.85
sütő	1
szárítógép	1
telefontöltő	0
televízió	0.95
vasaló	1
vízforraló	1

11. táblázat A berendezések árainál használt változók értéke

A villanyautó töltő esetében nem sikerült megfelelő adatokat szerezni a felépítéséről, ezért ezt úgy vettem, mintha a jármű tartozéka lenne.

A laptop és a telefontöltő esetében a 0 azt jelenti, hogy a DC táplálás esetén a töltőkre nem lesz szükség, ezért azok teljes beszerzési ára 0 Ft

Az egyenáramú berendezések teljesítményénél használt szorzó

Az egyes berendezések esetében megbecsültem, hogy mely berendezések teljesítménye milyen mértékben növekedne vagy csökkenne, ha DC hálózatról üzemeltetnénk azokat, azon felül, hogy a teljesítménytényezőt egységnyinek vettem. Ezekkel a szorzók azt szemléltetik, hogy az egyes berendezések esetében mekkora az átalakítás becsült vesztesége. A becsült értékeket a következő táblázat tartalmazza:

Berendezés	Változó
autótöltő	1
bojler	1
DVD lejátszó	0.9
páraelszívó	0.9
fagyasztószekrény	1
fűrő	0.95
hajszárító	1.05
hőszivattyú	0.95
hűtőszekrény	1
indukciós főzőlap	1
kávéfőző	1
kenyérpirító	1
konyharobot	1
lámpa	1
laptop	0.85

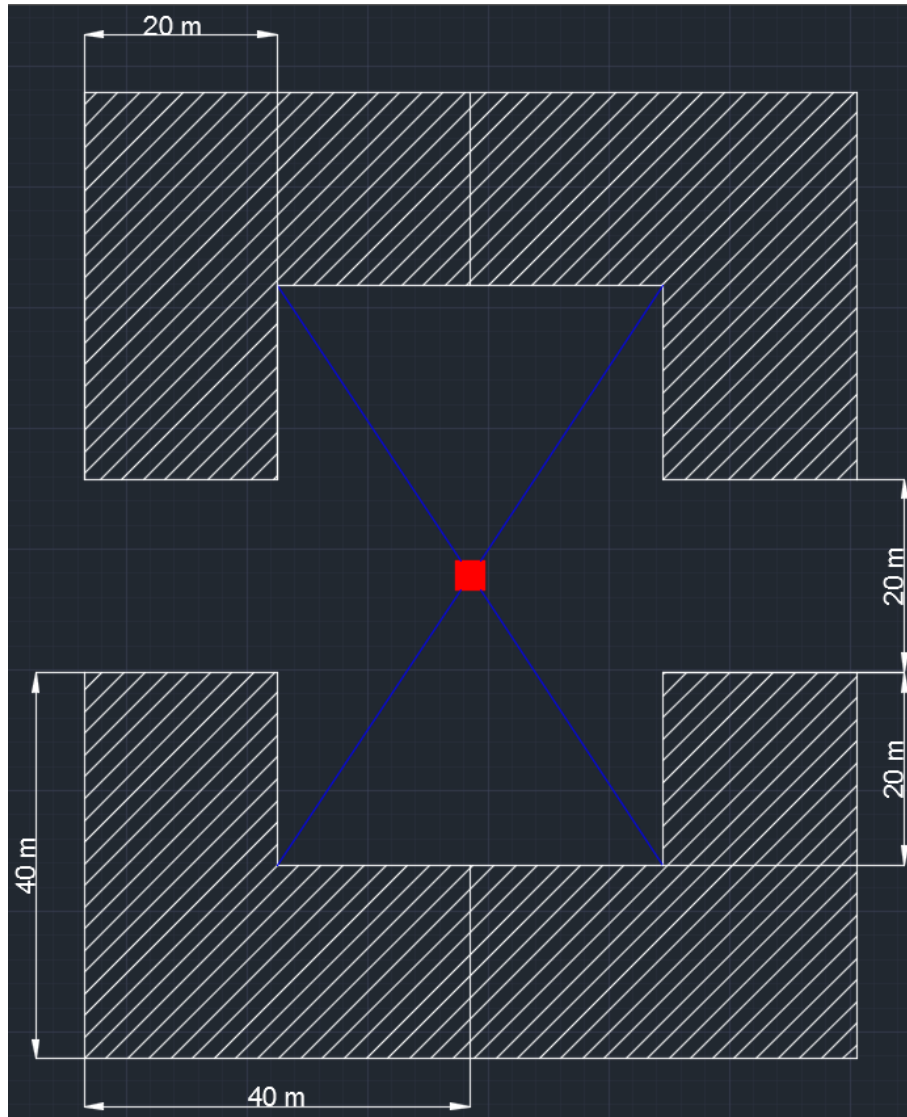
Berendezés	Változó
mikrohullámú sütő	1
mini HiFi	0.95
monitor	0.95
mosogatógép	1
mosógép	0.9
nyomtató	1
számítógép	0.85
porszívó	0.9
sütő	1
szárítógép	1
telefontöltő	0.85
televízió	0.9
vasaló	1
vízforraló	1

12. táblázat Az egyenáramú berendezések teljesítményénél használt szorzó

A lakópark tervrajza

A lakópark tervrajza a következőket tartalmazza:

- A négy épület elhelyezkedését. Fehér fólia.
- A központi átalakító helyét. Piros fólia.
- Az épületeken kívüli vezetékeket. Kék fólia.



7. AutoCAD tervrajz A számításokhoz használt lakópark alaprajza

A tervrajzot egy már megvalósított lakópark látványtervei alapján készítettem el, viszont a központi átalakító helyét és a lakások elrendezését én határoztam meg.