

# **OTDK-DOLGOZAT**

**2025.**



ÓBUDAI EGYETEM

KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR  
Automatizálási és Energiarendszerek Intézet

# TT-RENDSZER ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA TN-RENDSZERBEN

**SZERZŐ:**

**Mórocz Máté, villamosmérnök MSc. szak II. évf.**

**KONZULENS:**

**Dr. Novothny Ferenc**

A TDK dolgozat Dr. Novothny Ferenc Tanár Úr előzetes kutatás forrásai felhasználásával készült.

**Budapest**

**2024. november 05.**

## 1. TARTALOMJEGYZÉK

|       |                                                                                                                                       |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | Tartalomjegyzék .....                                                                                                                 | 2  |
| 2.    | Bevezetés.....                                                                                                                        | 4  |
| 3.    | Földelési rendszerek áttekintése .....                                                                                                | 5  |
| 3.1   | IT-rendszer.....                                                                                                                      | 6  |
| 3.1.1 | Főbb védelmi eszközök működése egyszeres földzárlat esetén .....                                                                      | 6  |
| 3.1.2 | Főbb védelmi eszközök működése kettős földzárlat esetén .....                                                                         | 8  |
| 3.1.3 | Kapcsolódó szabványok (teljesség igénye nélkül) .....                                                                                 | 10 |
| 3.2   | TN-rendszer .....                                                                                                                     | 14 |
| 3.2.1 | TN-S rendszer, ahol az egész rendszerben külön védővezető van.....                                                                    | 16 |
| 3.2.2 | TN-C-rendszer, ahol a nulla és a védővezető az egész rendszerben közös, külön védővezető nincs, csak PEN vezető van.....              | 17 |
| 3.2.3 | TN-C-S rendszer, ahol rendszer: amelynél a nullavezető és a védővezető a rendszer egy részében közös, a közös rész a PEN vezető ..... | 21 |
| 3.2.4 | TN-rendszerek méretezése .....                                                                                                        | 22 |
| 3.2.5 | Potenciálemelkedés elkerülése TN-C-S rendszerben .....                                                                                | 25 |
| 3.2.6 | TN-rendszer feltételei, kialakítása .....                                                                                             | 28 |
| 3.3   | TT- rendszer.....                                                                                                                     | 29 |
| 3.3.1 | TT-rendszer védelmi működése .....                                                                                                    | 30 |
| 4.    | Földelés minőségének fontossága .....                                                                                                 | 33 |
| 4.1   | Az érintési feszültségek kockázatai .....                                                                                             | 33 |
| 4.1.1 | A talaj szerepe a földelési rendszerek hatékonyságában .....                                                                          | 34 |
| 5.    | Vegyes hálózatok működése .....                                                                                                       | 35 |
| 5.1   | Zárlati események a TT rendszerben .....                                                                                              | 35 |
| 5.2   | Zárlati események a TN rendszerben .....                                                                                              | 35 |
| 5.3   | A vegyes TT-TN rendszerek sajátosságai és zárlati események hatásai .....                                                             | 36 |
| 6.    | Becslés az érintett ingatlanok számára vonatkozóan .....                                                                              | 39 |
| 6.1   | Az ingatlan földelésének áttéréshez szükséges fizikai háttér .....                                                                    | 42 |
| 7.    | A TT rendszer meglétének utólagos beazonosíthatósága .....                                                                            | 44 |
| 7.1   | Beazonosítási módszerek vizsgálata.....                                                                                               | 44 |

|       |                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 7.1.1 | Folytonosság mérés .....                                     | 44 |
| 7.1.2 | Hurokimpedancia mérés .....                                  | 45 |
| 7.1.3 | Hurokimpedancia mérés és lakatfogó együttes használata ..... | 46 |
| 7.1.4 | Szivárgó áram mérés .....                                    | 47 |
| 7.1.5 | Vezeték hossz mérés .....                                    | 48 |
| 7.1.6 | Szigetelési ellenállás és földelési ellenállás mérés .....   | 49 |
| 8.    | További kutatási célok .....                                 | 54 |
| 9.    | Összefoglaló .....                                           | 56 |
| 10.   | Szakirodalom .....                                           | 58 |
| 10.1  | Felhasznált szabványok .....                                 | 58 |
| 11.   | Ábrajegyzék .....                                            | 59 |

## **2. BEVEZETÉS**

A dolgozat a TT-rendszer alkalmazásának lehetőségeit és hatásait vizsgálja a TN-rendszerben, amelyet általánosan használnak kisfeszültségű villamos hálózatokban. A kutatás célja annak feltárása, hogy a védőföldelés használata TN-rendszerben miként befolyásolja a villamos hálózatok biztonságát, különösen a védelmi mechanizmusok – például a túláram- és hibaáram-védelem – hatékonyságát, továbbá elemzi, hogy ezek a rendszerek hogyan reagálnak különböző üzemeltetési körülmények között, valamint hogyan biztosítható a szabványok és előírások szerinti megfelelés. A TN-rendszerben a nullavezető (N) és a védővezető (PE) egy közös földelőponthoz kapcsolódik, míg a TT-rendszer külön földelést használ, amely független a szolgáltatói hálózat földelésétől. Ez eltéréseket okozhat a földelési potenciálok között, amelyek negatívan befolyásolhatják a hibaáram-védelem (RCD) működését.

A dolgozat másik fontos szempontja a TT- és TN-rendszerek üzemeltetési hatékonyságának vizsgálata. A TN-rendszerek gyorsan és megbízhatóan kapcsolják le a hibás áramköröket, míg a TT-rendszerekben a földelési ellenállás nagymértékben befolyásolja a hibaáram-védelem működését. Ez a különbség különösen releváns akkor, ha a TN-hálózat olyan területeken található, ahol a talaj minősége vagy más környezeti tényezők befolyásolják a földelési ellenállást. Az ilyen különbségek súlyos áramütés- és tűzveszélyt eredményezhetnek, különösen akkor, ha a rendszerek földelési ellenállása nem megfelelő.

A kutatás során bemutatott elemzések és megállapítások segítséget nyújtanak abban, hogy a villamos hálózatok tervezői és üzemeltetői jobban megértsék a két földelési rendszer közötti eltéréseket, ezáltal hatékonyabban tudják kezelni a kockázatokat. A dolgozat célja, hogy hozzájáruljon a biztonságosabb és hatékonyabb földelési rendszerek tervezéséhez, különös tekintettel a TT- és TN-rendszerek kombinált alkalmazásának kérdéseire.

### 3. FÖLDELÉSI RENDSZEREK ÁTTEKINTÉSE

Olyan esetekben, ahol a villamos szerkezetek, - vagyis minden olyan villamos energia elosztását, szállítását lebonyolító, vagy annak előállítására, átalakítására, illetve annak felhasználására alkalmazott készülék testét védővezetővel (PE= protective earthed) összekötik, ott a hibavédelem esetén védővezetős hibavédelmi módról beszélünk. A szabványban meghatározott módon kétbetűs rövidítésekkel jelölik a védővezetős hibavédelem megvalósítását, ahol a mozaikszóban, az első betű minden esetben a táphálózat arra alkalmas pontjának földelését és annak megvalósítási módját jelöli [1].

- A rövidítés a „terre” szóból ered, amelynek jelentése föld. Ezt a „T” betű jelöli, és a közvetlen föld kapcsolatot jelent, amely esetben a villamos tápláló hálózaton belül egy alkalmas csillagpont vagy aktív üzemi vezető közvetlenül földelt.
- Impedancián keresztül földelt, közvetetten vagy egyáltalán nem földelt az a hálózat, ahol az „I” betű megtalálható, amely az „isolated” szóból származtatható és jelentése szigetelt [1].

A mozaikszó második betűje azt jelöli, hogy a védett testet mivel köti össze a védővezető.

- „T” betű esetén a védett testet a védővezető, a táphálózat földelésétől teljesen függetlenül köti össze a védőföldeléssel (PE).
- A tápláló hálózat földelt aktív vezetőjével, legelterjedtebb módon a nulla vezetőjével van összeköttetésben a védett test védővezetője, ennek jelölése „N”, amely a „neutral” szóból ered [1].

Táphálózat építése során, azonnal gondoskodni kell valamely védővezetős hibavédelmi mód kialakításáról, ahol TILOS alkalmazni védővezető nélküli lámpacsatlakozást, illetve, kétvezetékes vagy védőérintkező nélküli kétsarkú dugaszolóaljzat csatlakozást. Ezzel a szabállyal elkerülhető annak a veszélye, hogy a fogyasztóberendezést telepítő szakképzett személy nem alakítja ki a megfelelő hibavédelmi módot a berendezés felszerelése során.

A hibavédelem védővezetős érintésvédelem megvalósítására három lehetőséget különböztetünk meg egymástól [1]:

- IT-rendszer (védőföldelés földetlen vagy közvetve földelt rendszerben),

- TN-rendszer (nullázás),
- TT-rendszer (védőföldelés közvetlenül földelt rendszerben).

### **3.1 IT-rendszer**

Az IT-rendszer, vagyis a védőföldelés földeletlen vagy közvetve földelt rendszer esetén a villamos szerkezet teste — értelemszerűen a földtől egy kellően nagy értékű impedancián keresztül, vagy teljesen leválasztva — van földelve. A villamos szerkezet teste egyedileg földelt, vagy a földpotenciálú védővezetővel van összekötve, ezzel elősegítve azt, hogy az érintési feszültség csökkentve legyen. (A test a villamos készülék olyan villamos vezető anyagból készült, tartó és szerkezeti része, amely üzemszerűen feszültség alatt nincsen, de rendellenes működés, meghibásodás következtében feszültség alá kerülhet). IT-rendszereket leggyakrabban robbanásveszélyes munkaterületeken, vegyiparokban, bányákban, kohókban és orvosi helyiségekben alakítanak ki, annak a sajátosságának köszönhetően, hogy egyszeres fázis-föld zárlat esetén a hálózat zavartalanul működni képes legyen mindaddig, amíg a hiba elhárítására sor nem kerül, vagy a hibás berendezést ki nem kapcsolják. Ennek köszönhetően, az éppen folyamatban lévő technológiai folyamat biztonságos és megfelelő befejezésére van lehetőség, így elkerülhető egy zárlat miatti komolyabb gazdasági, és életvédelmi katasztrófa [2].

#### **3.1.1 Főbb védelmi eszközök működése egyszeres földzárlat esetén**

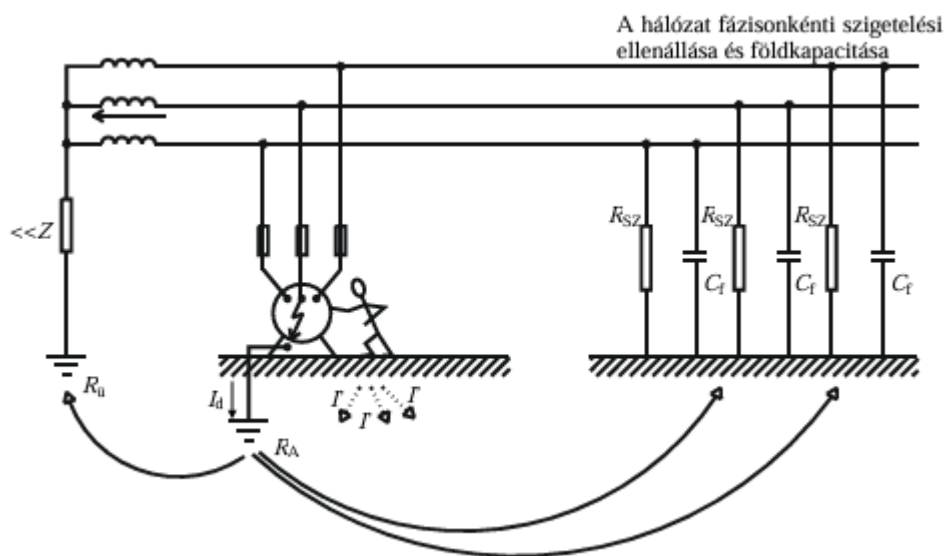
Az IT-rendszerben az egyszeres földzárlat jelzésére és a rendszer biztonságának fenntartására speciális földzárlat védelmi eszközöket használnak. Ezek az eszközök az első földzárlat fellépését jelzik anélkül, hogy automatikusan megszakítanák az ellátást, hiszen az IT-rendszerek egyik előnye, hogy az első földzárlat nem jelent veszélyt a személyekre vagy a berendezésre. A zavartalan működés, csak abban az esetben lehetséges, ha az első zárlatnál a hibafeszültség nem nagyobb, mint a megengedett érintési feszültség, amelynek értéke 50 V szinuszosan váltakozó-, vagy 120 V egyen feszültség esetében. A földzárlati áram csak a távvezetékek földkapacitásán és/vagy a nagy szigetelési ellenállásán keresztül képes záródni. A földzárlati áramot a szabványban meghatározott képlettel lehet meghatározni a következők szerint:

$$R_a * I_d \leq U_L$$

### 1. Egyenlet: Földzárlati áram méretezése

ahol az  $R_a$  védővezető és a védőfödelés ellenállása;

$I_d$  a fémes földzárlati hibaáram, melynek értéke főleg a kapacitív földzárlati áram nagyságától függ, amely háromfázisú rendszer esetén az üresjárási kapacitív áram háromszorosa. Ezen kívül a földzárlati hibaáram értékét befolyásolják még a szivárgó áramok, illetve a védőfödelőn átfolyó áram is [4].



1. ábra Testzárlati áramok IT-rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

#### 3.1.1.1 Földzárlati figyelmeztető vagy ellenőrző eszköz (IMD – Insulation Monitoring Device)

Az IT-rendszer biztonságos működésének fenntartásában kulcsfontosságú szerepet játszik a földzárlati figyelmeztető vagy ellenőrző eszköz, vagyis az IMD, amely folyamatosan monitorozza a vizsgált rendszerrész szigetelési ellenállását a földhöz képest. Ezzel a folyamatos figyelemmel, a rendszer képes az első földzárlat kialakulásakor jelentkező szigetelési ellenállás értékének csökkenését észlelni és ezáltal figyelmeztető jelzést küldeni a rendszert üzemeltetők számára. A figyelmeztetés történhet fény és hangjelzéssel egyaránt, de elektronikus úton is, amely egészen addig tart, míg a hibát fel nem tájékoztatják és el nem hárítják [3].

Az IMD eszközt földzárlat helymeghatározó eszközzel is ki lehet egészíteni. Az IT rendszerben, ahol a csillagpont nincs közvetlenül földelve, a rendszer földkapacitása meghatározó. Amikor egy földzárlat bekövetkezik, a földzárlat helyén a föld felé irányuló kapacitív áram kis ellenálláson keresztül záródik. A földzárlati helymeghatározó eszközök ezt az áramot és a hozzá tartozó feszültséget érzékelik összevetve a rendszer különböző pontjain érzékeltékkel, ezáltal következtetnek a hiba pontos helyére.

### **3.1.1.2 Hibaáram-ellenőrző eszköz (RCM – Residual Current Monitor)**

Az IT-rendszerben, azt a védelmi berendezést, amely képes a hibaáramok folyamatos ellenőrzésére, hibaáram-ellenőrző eszköznek (RCM – Residual Current Monitor) nevezik. Ezen rendszer nagyban segíti a rendszer biztonságos működését és a potenciális hibák korai felismerését. Az eszköz a fázisvezetőn és a nullavezetőn átfolyó áramot hasonlítja össze. Ha az RCM a két áram között különbséget érzékel, akkor a föld irányába szivárgó áramra lehet következtetni, amely, ha meghaladja az előre beállított határértéket, akkor fény és hangjelzést küld az üzemeltetőnek. A küszöbértéket minden esetben alacsonyabb értékkel kell meghatározni, mint a közvetlen veszélyt okozó áramérték.

### **3.1.1.3 Áram-védőkapcsoló (RCD - Residual Current Device)**

Áram-védőkapcsoló (RCD - Residual Current Device) használata a szabvány szerint engedélyezett, azonban gyakorlati szempontból csak korlátozott hálózatrészben alkalmazható. Ezért, ha lehet használatát IT-rendszerben el kell kerülni és más védelmi eszközt alkalmazni, mert a megfelelő méretezése rendkívül összetett feladat. Másrészt az ÁVK működése bizonytalan a védett hálózatrész szempontjából, amennyiben hálózati változtatás — például egy hálózati szakasz lekapcsolása vagy új szakasz beiktatása — módosítja a működtető kapacitív részáramot, ami a védelem hatékonyságát befolyásolja.

## **3.1.2 Főbb védelmi eszközök működése kettős földzárlat esetén**

IT-rendszerben az első földzárlat esetén nincs szükség az áramellátás azonnali megszakítására, hiszen a hibaáram kicsi, és a rendszer folyamatosan működhet. Azonban egy második földzárlat kialakulása esetén, ahol a zárlat egy másik fázisra is hatással van, ott a hibaáram értéke nagy lehet, amely már életre veszélyes érintési feszültséget okozhat. Ezért

szükség van, olyan védelmi berendezés beépítésére, amely képes biztonságos körülmények mellett a zárlatos üzem azonnali lekapcsolására.

Abban az esetben, ha a villamos szerkezetek teste csoportosan vagy egyénileg van földelve, akkor a túláramvédelemre a következő összefüggés vonatkozik:

$$R_a * I_a \leq 50 \text{ V AC vagy } 120 \text{ V DC}$$

## 2. Egyenlet: Túláramvédelem

ahol az  $R_a$  védőföldelés és a villamos szerkezet testét összekötő védővezető ellenállásának összege

$I_a$  az önműködő biztos lekapcsolást kiváltó kioldóáram

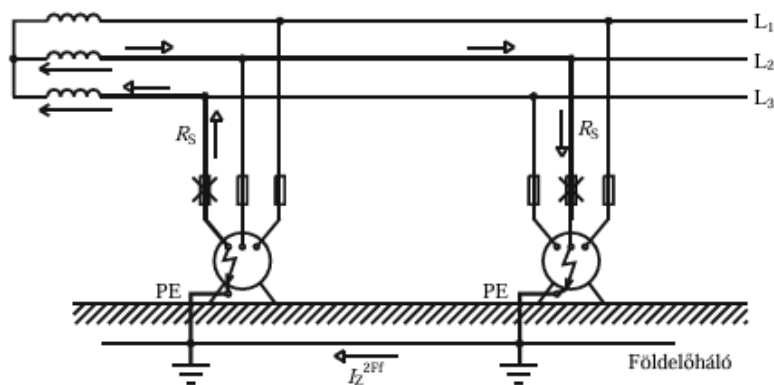
Ha a villamos szerkezetek teste egy közös földelési rendszerhez van csatlakoztatva, a túláramvédelem méretezése nagyban függ attól, hogy a méretezést nullavezetővel rendelkező vagy nullavezetővel nem rendelkező hálózatra történik.

Abban az esetben, ha csak a fázisvezető vesz részt a villamosenergia-ellátásban, tehát nincsen nulla vezető, akkor a következő képlet érvényes:

$$2 * I_a * Z_s \leq U_0$$

## 3. Egyenlet:

ahol, a  $Z_s$  hurokimpedancia-rész (egy fogyasztó fázis- és védővezetőjének impedanciája)



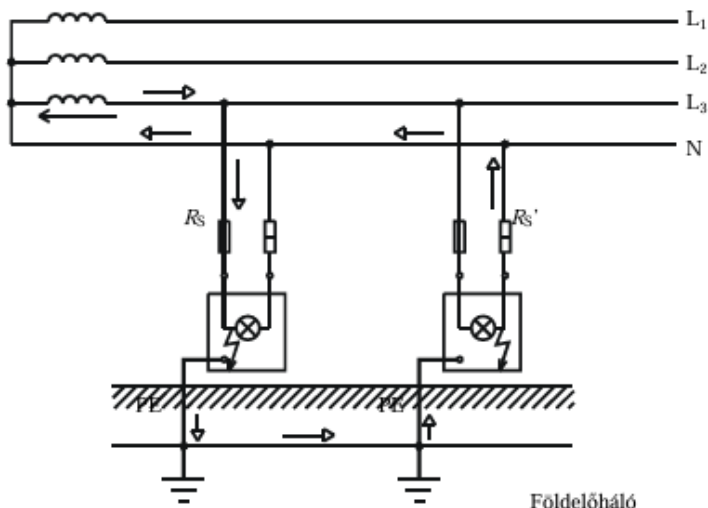
2. ábra Kettős földzárlat nullavezető nélküli IT-rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

Abban az esetben, ha a nullavezető is részt vesz a villamosenergia-ellátásban, akkor a következő képlet érvényes:

$$2 * I_a * Z'_s \leq U_0$$

#### 4. Egyenlet:

ahol, a  $Z'_s$  hurokimpedancia-rész értéke a védővezetőt és a nullavezetőt is tartalmazza.



3. ábra Kettős földzárlat nullavezetővel ellátott IT-rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

### 3.1.3 Kapcsolódó szabványok (teljesség igénye nélkül)

Az IT-rendszerek kialakítására és üzemeltetésére különféle nemzetközi és nemzeti szabványok, előírások vonatkoznak, amelyek meghatározzák a biztonsági követelményeket, az áramütés elleni védelem és földelés módját, valamint a rendszer általános működési feltételeit. Ezek a szabványok segítik az IT-rendszerek biztonságos tervezését és üzemeltetését, minimalizálva a földzárlatokból és egyéb hibákból származó kockázatokat.

#### 3.1.3.1 IEC 60364 szabványsorozat – Villamos berendezések létesítése épületekben

Az **IEC 60364** szabványsorozat a villamos hálózatok létesítésére vonatkozó általános nemzetközi szabvány, amely lefedi az IT-rendszerek kialakítását is. Ebből legfontosabbak a következő szabványrészek:

- **IEC 60364-1:** Általános alapelveket határoz meg a villamos berendezések tervezésére és létesítésére. Ez a rész definiálja az IT-rendszerek fogalmát és meghatározza a földelés nélküli (vagy nagy impedanciával földelt) rendszerek általános követelményeit.
- **IEC 60364-4-41 – Hibavédelmi módszerek:**
  - Külön hangsúlyt fektet az IT-rendszerek hibavédelmére, ahol az első földzárlat esetén nincs automatikus megszakítás. Meghatározza, hogy az IT-rendszer esetében a védelmet a földzárlati áramok korlátozásával és az érinthető vezető részek megfelelő földelésével kell biztosítani.
  - Kiemeli az IT-rendszerek szigetelési monitorozó eszközök (IMD) alkalmazásának szükségességét, hogy a rendszer képes legyen figyelmeztetni az első földzárlatra, így megelőzve a potenciális veszélyeket, amelyek kettős földzárlat esetén jelentkezhetnek.
- **IEC 60364-5-51 – Berendezések kiválasztása és telepítése:**
  - Ez a rész előírja az IT-rendszerekben alkalmazott védelmi eszközök (például automatikus megszakítók, biztosítók) és földzárlati áramvédelmi eszközök (RCM, IMD) kiválasztásának és telepítésének szabályait. Az eszközök megfelelő kiválasztása biztosítja, hogy azok megfelelően reagáljanak egy esetleges második földzárlat fellépésekor.
- **IEC 60364-5-54 – Földelés és védővezetők:**
  - Ez a rész a földelési rendszerek kialakítására vonatkozó előírásokat tartalmazza. IT-rendszerek esetében különösen fontos, hogy az érinthető vezető részeket megfelelően földeljék (egyéni, csoportosan vagy kollektívan), hogy korlátozzák az érintési feszültséget egy esetleges hiba esetén. A szabvány előírja a földelési ellenállás értékeit is, amelyeket a biztonságos üzemhez szükséges fenntartani.

**3.1.3.2 IEC 61557 szabványsorozat – Villamos biztonsági mérőműszerek**

Az IEC 61557 különböző részei a villamos hálózatokban használt mérőműszerekre vonatkoznak, ideértve az IT-rendszerekhez szükséges szigetelésellenőrző eszközöket.

- **IEC 61557-8 – Szigetelési monitorozó eszközök (IMD):**
  - Ez a szabvány az IT-rendszerekben használatos szigetelési monitorozó eszközökre vonatkozik, amelyek folyamatosan figyelik a rendszer és a föld közötti szigetelési ellenállást. Az IMD-k esetében a szabvány előírja a pontosságot, az érzékenységet és a mérések megbízhatóságát, hogy a rendszer első földzárlat esetén azonnal figyelmeztetést adhasson.
- **IEC 61557-9 – Földzárlati helymeghatározó eszközök:**
  - Az IEC 61557-9 meghatározza a földzárlati helymeghatározó eszközök technikai specifikációit, amelyek az IT-rendszerek földzárlatainak gyors helymeghatározását segítik. Ezek az eszközök biztosítják, hogy a hibakeresés gyorsan és pontosan történjen, így elkerülve a további károsodás vagy baleset kockázatát.

**3.1.3.3 IEC 62020 – Földzárlati áramfigyelő eszközök (RCM-ek)**

Az IEC 62020 szabvány az RCM-ekre (Residual Current Monitors) vonatkozó követelményeket írja elő: A szabvány meghatározza az RCM-ek érzékenységi küszöbét, méréstartományát és válaszidőit, hogy képesek legyenek az IT-rendszerek kis értékű hibaáramainak észlelésére anélkül, hogy szükségtelen figyelmeztetéseket küldenének.

**3.1.3.4 IEC 60947-2 – Kisfeszültségű kapcsolókészülékek és vezérlőberendezések**

- **Földzárlati áramvédő megszakítók (RCD-k):** Az IEC 60947-2 részletezi az IT-rendszerekben alkalmazott kisfeszültségű megszakítók és földzárlati áramvédő megszakítók teljesítmény- és működési követelményeit. Az RCD-k érzékenységre, megszakítási időtartamára és kapcsolási képességére vonatkozó specifikációk segítenek biztosítani, hogy a készülékek gyorsan

reagáljanak egy kritikus helyzetben, minimalizálva az érintési feszültségek és a tüzesetek kockázatát.

### 3.1.3.5 Nemzeti szabványok és előírások

- **MSZ HD 60364 – Villamos berendezések létesítése épületekben:** Magyarországon ez a szabvány az IEC 60364 alapján szabályozza az épületek villamos berendezéseinek létesítését, az IT-rendszerekre is kiterjedően. Az MSZ HD 60364 előírja az IT-rendszerek hibavédelmi megoldásait, a földelés típusát és az IMD-k alkalmazását.
- **MSZ 447 – Hálózatra csatlakozás:** Az MSZ 447 a hibavédelmi előírásokat foglalja össze, amelyek kötelezőek az IT-rendszerek tervezésekor és üzemeltetésekor. Tartalmazza a földelésre, az ECP-k földelésére és a megfelelő hibavédelmi eszközök használatára vonatkozó előírásokat.
- **Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ):** Az OTSZ előírásokat tartalmaz a villamos rendszerek, köztük az IT-rendszerek tűzvédelmi szempontból biztonságos kialakítására. Az OTSZ tűzvédelmi intézkedéseket és követelményeket határoz meg az IT-rendszerekre, amelyek segítik a tűz keletkezésének megakadályozását földzárlat vagy más villamos hiba esetén.

### 3.1.3.6 Nemzetközi Villamos Műszaki Bizottság (IEC) ajánlásai és útmutatói

Az IEC az IT-rendszerekre vonatkozóan további ajánlásokat is kiadott, amelyek kiegészítik a szabványokban foglalt előírásokat. Az IEC útmutatói különös figyelmet fordítanak a különleges környezetekben alkalmazott IT-rendszerekre:

- **Egészségügyi intézmények:** Az IEC ajánlásai külön kiemelik az IT-rendszerek alkalmazását olyan helyeken, mint kórházak és műtők, ahol a folyamatos áramellátás elengedhetetlen, és a hibaáramok azonnali érzékelése kiemelten fontos.
- **Robbanásveszélyes környezetek:** Az IEC meghatározza az IT-rendszerek alkalmazási szabályait robbanásveszélyes környezetekben, ahol különösen

szigorú követelmények érvényesek a szigetelési hibák megelőzésére és észlelésére.

### 3.2 TN-rendszer

A TN-rendszer (házánkban gyakran „nullázott rendszer” vagy egyszerűen „nullázás” néven ismert) egy olyan hibavédelmi megoldás, amely a közvetett érintés elleni védelem biztosítására szolgál. A TN-rendszer csak olyan hálózatban alkalmazható, ahol a tápláló rendszer rendelkezik közvetlenül földelt üzemi vezetővel. Magyarországon ez jellemzően a táptranszformátor csillagpontjából induló, üzemi földeléssel ellátott nullavezető (N). Emellett TN-rendszer kialakítható áramváltók szekunder köreibben, háromvezetős háromfázisú rendszerekben, illetve egyenáramú áramkörökben is, amennyiben egy üzemi vezetőt földelnek, amit a TN-rendszer jelölésében az első betű, a „T” (Terre, azaz földelt) jelez. Az erről a földelt pontról leágasztatott védővezetőt (PE-vezetőt, amely üzemi áramot nem szállít) a hibavédelemmel ellátandó berendezések érinthető vezető részeihez, például a villamos szerkezet testéhez csatlakoztatják. Ezt a védővezetőt korábbi szóhasználatban „nullázóvezetőnek” nevezték, és ezt jelöli a rendszer második betűje, az „N” (Neutral, azaz nullavezető) [7].

A TN-rendszer működési alapelve, hogy az érinthető berendezés burkolatán vagy egyéb vezető részein (testzárlat) fellépő hibafeszültség esetén az áramkör legnagyobb része azonnal a védővezetőn (PE) záródjon és ne a földön keresztül. Ezt elérve a nagy impedanciájú földi áramkör helyett egy kis impedanciájú áramutat biztosít a hibaáram számára a TN-rendszer, ami lehetővé teszi, hogy a hibaáram jelentős legyen. **Ha a hibaáram a földön keresztül záródna, a föld nagyobb impedanciája miatt a hibaáram jelentősen kisebb lenne. Ez a kisebb hibaáram nem lenne elegendő a védelmi eszközök (pl. biztosítók vagy megszakító) kioldásához, ami hosszabb ideig fennálló veszélyes érintési feszültséget eredményezhetne.** A TN-rendszer pont ezt a helyzetet kerüli el azáltal, hogy a PE vezetőn keresztül biztosítja a kis impedanciájú utat a hibaáram számára. Ez a kis impedanciájú hibaáramút biztosítja, hogy a zárlati áram elegendően nagy legyen a védelmi eszközök működésbe lépéséhez, mely különösen fontos a gyors védelem aktiválásához. **A PE vezető impedanciája kisebb, mint a földelési köré, mivel fémes úton biztosítja az áram visszatérését a földelt nullapontra. A föld impedanciája viszont a talaj villamos ellenállásától függ, amely változó lehet a talaj**

nedvességtartalmától, összetételétől és a környezeti hőmérséklettől függően. A PE vezető fémes összeköttetése állandó és kis ellenállást biztosít, a hatékony zárlatvédelemhez [6].

A földelési ellenállás szabvány által meghatározott értéke a „lehetőleg” 10 ohm alatti érték, ami biztosítja, hogy a nullapont földelése stabil maradjon, még nagy hibaáramok esetén is. A PE vezetők keresztmetszete szintén fontos tényező. A szabványok előírják, hogy a PE vezető 16 mm<sup>2</sup> keresztmetszetig a fázisvezető keresztmetszetével megegyező, 16-35 mm<sup>2</sup> fázisvezető-keresztmetszet között 16 mm<sup>2</sup>, ezen keresztmetszet felett pedig a fázisvezető keresztmetszetének legalább az 50%-a legyen, abban az esetben, ha a védővezető és a fázisvezető anyaga – vezetőképesége – ugyanaz. Ha a védővezető mechanikai védelemmel ellátva van látva, akkor a védővezető Cu esetén 2,5 mm<sup>2</sup>, Al esetén 16 mm<sup>2</sup>, míg mechanikai védelemmel nem ellátott védővezető esetén Cu-nál 4 mm<sup>2</sup>, Al esetén 16 mm<sup>2</sup> minimális keresztmetszetű.

A védővezető minimális keresztmetszetét az IEC 60949 szerint alkalmazandó képlet alapján kell meghatározni, mely szerint fontos, ha a képlet alkalmazásával nem szabványos keresztmetszet jön ki, akkor a legközelebbi nagyobb szabványos keresztmetszetű vezetőt kell használni [5].

$$S = \frac{\sqrt{I^2 * t}}{k}$$

##### 5. Egyenlet:

ahol S a vezető keresztmetszet mm<sup>2</sup>-ben

ahol, I a védelmi eszköz várható hibaáram értéke [A]

ahol, t a védelmi eszköz kikapcsolási ideje [s]

ahol, k a szabvány által meghatározott állandó mely nagyjában függ a védővezető és annak szigetelésének anyagától, illetve a kezdeti és vég hőmérséklettől

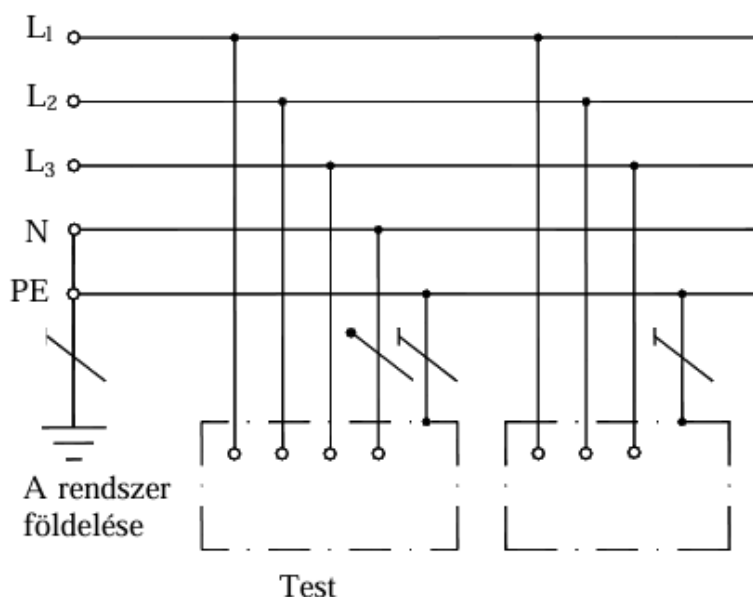
Külön meg kell említeni a képlettel kapcsolatban, hogy robbanásveszélyes környezetben plusz követelmények vannak támasztva a hőmérsékletkorlátozásra nézve, melyet az IEC 60079-0 ír elő. A szabvány kitér arra is, hogy ha az vezeték anyaga ásványi anyag szigetelésűek, ott

a vezetékek fémköpenyeit nem kell földzárlati terhelhetőségre méretezni, hiszen a földzárlati terhelhetőségük nagyobb, mint a fázisvezetőké [5].

A TN-rendszer három fő változattal rendelkezik, amelyek az üzemi nullavezető (N) és a védővezető (PE) kapcsolódásának módjában különböznek. Ezek a változatok a TN-S, TN-C és TN-C-S rendszerek, amelyek különböző alkalmazási területeken és körülmények között biztosítanak érintésvédelmet. A TN-rendszer három változata különböző alkalmazási igényekhez és körülményekhez igazodik. A TN-S rendszer kiemelkedő biztonságot nyújt azzal, hogy elkülöníti a védő- és nullavezetőket, de magasabb költséggel jár. A TN-C rendszer egyszerű és gazdaságos, de biztonsági kompromisszumokat követel. A TN-C-S rendszer kombinálja a gazdaságosságot és a megbízható hibavédelmet.

### **3.2.1 TN-S rendszer, ahol az egész rendszerben külön védővezető van**

A TN-S rendszer a TN típusú földelési rendszerek egyik változata, amelyben a nullavezető (N) és a védővezető (PE) az egész hálózatban különálló vezetékeként vannak kialakítva. Ezt jelöli az S (Separate) betű. Az üzemi áram a fázisvezetőn keresztül áramlik a fogyasztókhoz, majd a nullavezetőn keresztül tér vissza a transzformátor földelt nullapontjához. A védővezető kizárólag a villamos berendezések érinthető vezető részeit (például burkolatokat) köti össze a földelt nullalappal. Ha a csillagpontból közvetlenül van kivezetve a független PE-vezető (TN-S rendszer), akkor az önállóan tölti be a védővezető szerepét, vagyis csak hibaáramot vezet, tehát normál üzemi körülmények között nem vezet áramot. A PE vezető biztosítja, hogy a hibaáram kis impedancián keresztül záródjon, minimalizálva az érintési feszültséget és az áramütés kockázatát. Ez az elrendezés biztosítja, hogy az üzemi és a védelmi funkciók teljesen elkülönüljenek egymástól, ami a rendszer stabilitását és biztonságát növeli.



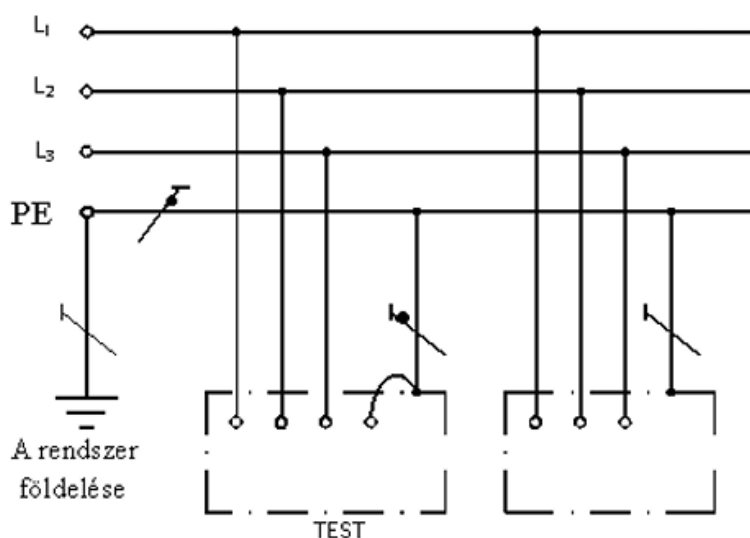
4. ábra TN-S rendszer (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

### 3.2.2 TN-C-rendszer, ahol a nulla és a védővezető az egész rendszerben közös, külön védővezető nincs, csak PEN vezető van

Rögzített vezetékrendszerekben egyetlen vezető is betöltheti a védővezető és a nullavezető funkcióját. Ezt a vezetőt, amely egyszerre szállít üzemi áramot (normál működés esetén) és hibaáramot (földzárlat esetén), PEN-vezetőnek nevezik. Erre utal a rendszer megnevezésében található C (Combined) betű, mely a nulla és a védővezető kombinált egyetlen közös vezetőként való működését jelenti. Amennyiben a hálózat kizárólag PEN vezetőt tartalmaz, azt TN-C rendszerként jelölik. A TN-C rendszerben a transzformátor csillagpontját közvetlenül földelik, így ez a pont referenciafeszültséget biztosít a hálózat számára. A PEN vezető az egész hálózaton keresztül biztosítja az üzemi áram visszatérését, miközben hiba esetén hibaáramot is szállít. Az üzemi áram a fázisvezetőn (L) keresztül jut el a fogyasztókhoz, majd normál üzemállapotban a PEN vezetőn, tér vissza a transzformátor nullapontjához. Mivel a PEN vezető egyszerre szállít üzemi és hibaáramot, a csatlakozási pontoknak kis ellenállásúnak és mechanikailag stabilnak kell lenniük. Bármilyen hibás csatlakozás vagy nagy ellenállású pont növeli a feszültségesést, és veszélyes érintési feszültséget eredményezhet, gátolva a zárlati áram gyors visszavezetését és a védelmi eszközök megfelelő működését. Az MSZ HD 60364 szabvány előírja, hogy a PEN vezető keresztmetszete nem lehet kisebb, mint

a fázisvezetőé, de legalább  $10 \text{ mm}^2$  réz, vagy  $16 \text{ mm}^2$  alumínium esetén. Ez biztosítja, hogy a PEN vezető képes legyen biztonságosan szállítani mind az üzemi, mind a hibaáramokat.

Kiemelten fontos, hogy a közvetett érintés elleni védelem biztosítása érdekében a PEN vezetőt először a védendő villamosberendezés burkolatához (testéhez) kell csatlakoztatni. Ez azt jelenti, hogy a védővezető funkcióját először teljesíteni kell, mielőtt a vezető nullavezetőként (N) funkcionálna. Ennek a lépésnek kritikus jelentősége van, mivel biztosítja, hogy a berendezés érinthető részei testzárlat esetén azonnal földpotenciálra kerüljenek, minimalizálva ezzel az érintési feszültséget.



5. ábra TN-C rendszer (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

### 3.2.2.1 A PEN vezető megszakadásának fizikai háttere és kockázatai a TN-C rendszerben

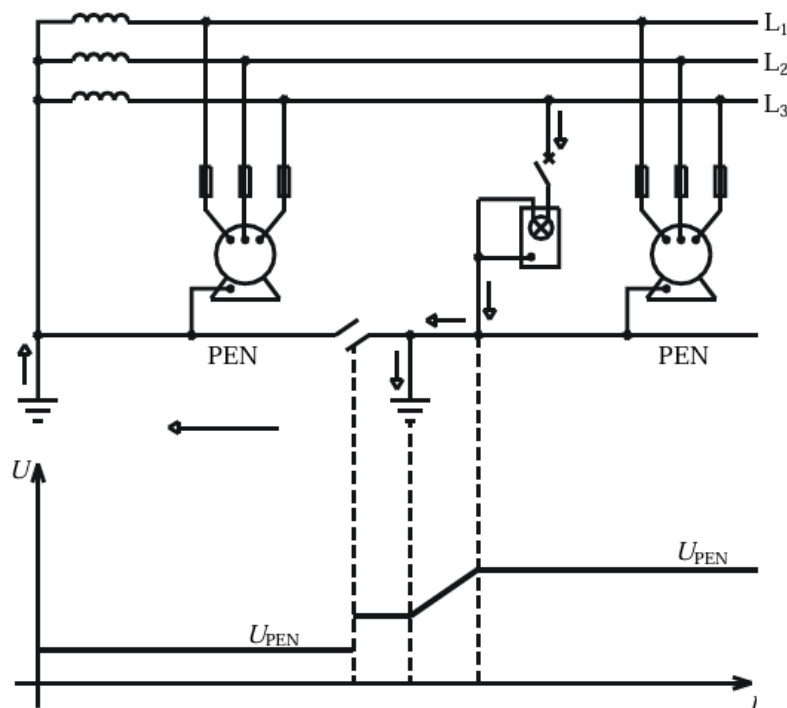
A TN-C rendszer egyik legfontosabb eleme a PEN vezető, amely egyidejűleg látja el a nullavezető (N) és a védővezető (PE) funkcióit. Ez a kettős szerep a hibavédelem szempontjából alapvető, azonban jelentős kockázatot is hordoz, különösen a PEN vezető megszakadása esetén. A PEN vezető feladata normál üzemi állapotban az üzemi áram visszavezetése a táphálózat földelt nullapontjára, hiba esetén pedig a hibaáram biztos visszavezetése ugyanarra a pontra. A rendszer megfelelő működése tehát a PEN vezető épségén és kis impedanciáján alapul. Normál üzemi körülmények között a PEN vezető biztosítja, hogy a hálózat érinthető vezető részei (például gépek burkolatai) földpotenciálon legyenek. Testzárlat esetén a hibaáram szintén ezen

a vezetőn keresztül tér vissza a földelt nullappontra. Ez az alacsony impedanciájú visszatérési út lehetővé teszi, hogy a zárlati áram elegendően nagy legyen ahhoz, hogy a védelmi eszközök, például biztosítók vagy megszakítók gyorsan lekapcsolják az érintett áramkört. Ha azonban a PEN vezető megszakad, az üzemi áram nem tud visszatérni a csillagpontra. Ez súlyos következményekkel járhat, mivel a fogyasztókhoz tartozó érinthető vezető részek, például a berendezések burkolatai, veszélyes feszültség alá kerülhetnek. A megszakadás miatt az érinthető részek potenciálja az üzemi feszültség szintjére (például 230 V-ra) emelkedhet. Ez olyan helyzetet teremt, ahol a burkolathoz érő személyek súlyos, akár halálos áramütésnek vannak kitéve. Az érintési feszültség hatására az emberi testen keresztül áram folyhat a föld felé. Az Ohm-törvény alapján számítható, hogy például egy 230 V-os érintési feszültség esetén, ha az emberi test ellenállása 1000 ohm, az érintési áram értéke 230 mA. Ez az áramérték jóval meghaladja az emberi test számára biztonságos 1 mA-es határértéket, és súlyos, életveszélyes következményekkel járhat, például szívritmuszavart vagy légzésleállást okozva.

A PEN vezető megszakadása emellett a hálózat feszültségeloszlásának zavarához is vezethet. Az egyfázisú terhelések miatt feszültség-aszimmetria alakulhat ki, ami az érzékeny berendezések károsodását eredményezheti. Ez különösen problémás lehet, ha a hálózathoz olyan eszközök csatlakoznak, amelyek nem tolerálják a nagy feszültséget. Normál működés során a háromfázisú hálózatban a terhelések kiegyensúlyozottak, és a három fázisvezető (L1, L2, L3) feszültségei a nullavezetőhöz (PEN) képest azonos nagyságúak, de egymáshoz képest 120°-os fáziseltéréssel rendelkeznek. Ez biztosítja, hogy a terhelések kiegyensúlyozottak maradjanak, és a nullavezetőn folyó áram minimális legyen.

Ha azonban a PEN vezető megszakad, az egyfázisú fogyasztók számára szükséges referenciafeszültség megváltozik. Az egyfázisú terhelések különböző mértékűek lehetnek az egyes fázisokon, és ezek az eltérések közvetlenül befolyásolják a feszültségeloszlást. A PEN vezető megszakadása után a háromfázisú rendszer már nem biztosít egyenletes feszültséget az egyfázisú fogyasztók számára, mivel a nullapont eltolódik a terhelések miatt. Amikor a PEN vezető megszakad, az egyfázisú terhelések áramai már nem tudnak visszatérni a csillagpontra a nullavezetőn keresztül. Ehelyett ezek az áramok a másik két fázisvezetőn keresztül záródnak, ami szimmetriatörést okoz a rendszerben. A feszültség-aszimmetria azt eredményezi, hogy az egyfázisú fogyasztók különböző feszültségszinteket kapnak, amelyek akár jelentősen

eltérhetnek a névlegestől. A feszültségeloszlás ilyen esetben az egyes terhelések impedanciájától függ, mert egy alul terhelt fázis feszültsége jelentősen megnőhet, egy túlterhelt fázis feszültsége pedig csökkenhet. Az Ohm-törvény alapján az áramkörökben az ellenállások és impedanciák különbsége miatt az áramok eloszlása megváltozik, ami a feszültségek eltolódását eredményezi. Ez az aszimmetrikus feszültségeloszlás súlyos problémákat okoz az egyfázisú fogyasztók számára.

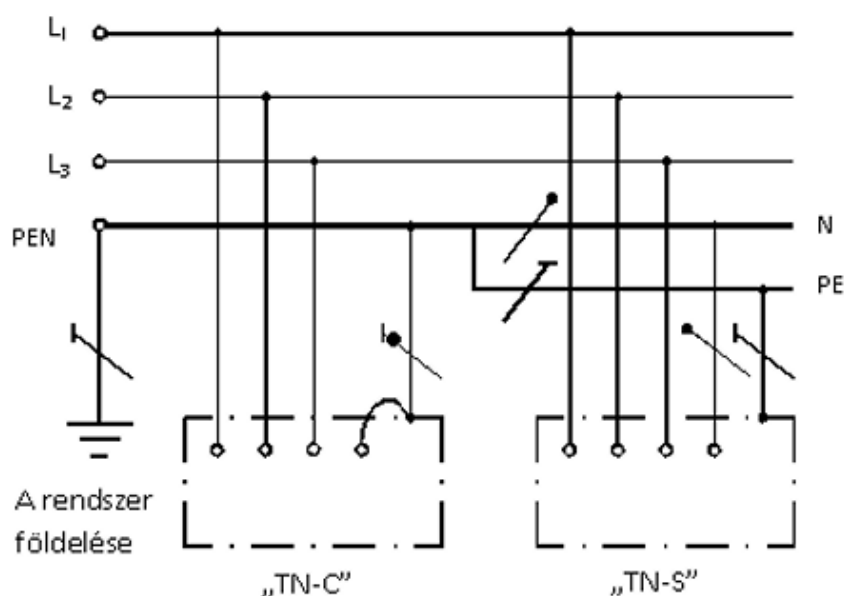


6. ábra Védővezető potenciálemelkedése TN-C rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

Az ilyen feszültségváltozások különösen veszélyesek az érzékeny villamos berendezések, például számítógépek, orvosi műszerek, illetve háztartási eszközök, vagy világítótestek számára. Ezek a berendezések nem tolerálják a a normálistól eltérő feszültségeket, hiszen túlmelegedést okozhatnak a motorokban és transzformátorokban, túláramot idézhetnek elő, ami a készülékek gyors meghibásodásához vezethet, vagy feszültségcsökkenés hatására a berendezések alul teljesítenek vagy működésképtelenné válnak.

### 3.2.3 TN-C-S rendszer, ahol rendszer: amelynél a nullavezető és a védővezető a rendszer egy részében közös, a közös rész a PEN vezető

A TN-C-S rendszer a villamos hálózatok egyik leggyakrabban alkalmazott földelési rendszere, amely a TN-C és a TN-S rendszerek előnyeit ötvözi. Ez a rendszer gazdaságos és hatékony hibavédelmi megoldást nyújt, miközben javítja a hálózat biztonságát és zavartűrését. A rendszer lényege, hogy a táphálózat fő szakaszán a nullavezető (N) és a védővezető (PE) közös vezetőken, az úgynevezett PEN vezetőn fut, majd egy adott ponton, általában az épület főelosztójánál, a PEN vezetőt szétválasztják külön nullavezetőre (N) és védővezetőre (PE).



7. ábra TN-C-S rendszer (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

Normál üzemi állapotban a fázisvezetőn (L) áramló üzemi áram a fogyasztókhoz jut, majd a nullavezetőn (N) keresztül tér vissza a transzformátor földelt nullapontjához. A PEN vezető a táphálózat fő szakaszán mind az üzemi áramot, mind pedig a hibaáramot képes szállítani, miközben biztosítja az érinthető vezető részek földpotenciálon tartását. A TN-C-S rendszerben a PEN vezető keresztmetszetének elegendően nagyoknak kell lennie ahhoz, hogy az üzemi és hibaáramokat biztonságosan szállítsa. Az MSZ HD 60364 szabvány előírása szerint a PEN vezető keresztmetszete nem lehet kisebb, mint a fázisvezetőé, de legalább 10 mm<sup>2</sup> réz vagy 16 mm<sup>2</sup> alumínium.

A rendszer az épület főelosztójánál válik ketté, ahol a PEN vezetőből leválasztott védővezető (PE) a villamos berendezések érinthető vezető részeit (villamos szerkezetek teste) földpotenciálra hozza, míg a nullavezető (N) az üzemi áram visszavezetését szolgálja, amelynek célja, hogy az épületen belüli hálózat a TN-S rendszer előnyeit biztosítsa. A PEN vezető szétválasztásánál biztosítani kell, hogy a csatlakozási pontok kis ellenállásúak és mechanikailag stabilak legyenek. Bármilyen hibás csatlakozás, például lazulás vagy korrózió, megnövelheti az érintési feszültséget és veszélyeztetheti a rendszer biztonságát. Ennek a szétválasztásnak köszönhetően sokkal jobb a rendszer zavartűrése, hiszen a különálló nullavezető (N) és védővezető (PE) használata csökkenti az elektromágneses interferenciát, ami különösen fontos az érzékeny elektronikus berendezések esetében, illetve a hibavédelem minősége is javul, mert a védővezető hibaáram vezető funkciója miatt az érinthető vezető részek érintési feszültsége minimálisra csökken hiba esetén.

### 3.2.4 TN-rendszerek méretezése

A TN-rendszerben a közvetett érintés elleni védelem úgy van kialakítva, hogy ha a védett berendezés bármely részén testzárlat következik be, vagy ha egy fázisvezető és a védővezető között kis impedanciájú hiba, azaz földrövidzárlat alakul ki, a táplálás automatikusan megszakadjon. A vonatkozó szabvány előírja, hogy a lekapcsolás időtartama nem haladhatja meg táblázatban meghatározott maximális lekapcsolási időket. Ez biztosítja, hogy a veszélyes érintési feszültségek csak rövid ideig álljanak fenn, minimalizálva az áramütés kockázatát.

| Rendszer                                                                                   | 50 V < U <sub>o</sub> ≤ 120 V |       | 120 V < U <sub>o</sub> ≤ 230 V |     | 230 V < U <sub>o</sub> ≤ 400 V |       | U <sub>o</sub> > 400 V s |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|-----|--------------------------------|-------|--------------------------|-------|
| TN                                                                                         | AC                            | DC    | AC                             | DC  | AC                             | DC    | AC                       | DC    |
|                                                                                            | 0,8 s                         | 0,8 s | 0,4 s                          | 5 s | 0,2 s                          | 0,4 s | 0,1 s                    | 0,1 s |
| U <sub>o</sub> a névleges fázis–föld váltakozó feszültség vagy a névleges egyenfeszültség. |                               |       |                                |     |                                |       |                          |       |

8. ábra TN-rendszer legnagyobb kikapcsolási idő táblázat (forrás: MSZ HD 60364)

A túláramvédelmi eszközök alapvetően alkalmasak a testzárlatok kezelésére, mivel ezek a hibák lényegében földrövidzárlatok, amelyek tisztán fémes áramkörben zajlanak. Ahhoz, hogy a védelem megfelelően működjön, a hibás áramkörben olyan nagyságú zárlati áramnak kell folynia, amely meghaladja a védelmi eszköz adott kioldási idejéhez tartozó kioldóáramot ( $I_a$ ). A testzárlati áramot a fázisfeszültség ( $U_0$ ) hajtja át a rendszeren, míg a zárlati áram nagyságát a körben lévő impedanciák eredője, azaz az úgynevezett zárlati hurokimpedancia ( $Z_s$ ) korlátozza. A nullázott rendszerben a hibavédelem akkor működik megfelelően, ha a zárlati hurokimpedancia értéke megfelel az előírt követelményeknek.

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$$

#### **6. Egyenlet:**

A hurokimpedancia ( $Z_s$ ) a nullázott fogyasztói hálózatot közvetlenül tápláló generátor vagy transzformátor impedanciájából, a fázisvezető impedanciájából és a védővezető impedanciájából tevődik össze. A számítások során a védővezetővel párhuzamosan kapcsolódó föld impedanciáját általában elhanyagolják, mivel ennek hatása a hurokimpedancia értékére csekély. A gyakorlatban gyakran elegendő a hurokimpedancia helyett csak a hurokellenállással ( $R_h$ ) számolni, amely az impedancia valós (rezisztív) összetevője. Az impedancia reaktancia összetevőjét általában csak bizonyos esetekben szükséges figyelembe venni. Ilyen eset amikor a fázisvezető és a védővezető egymástól távol helyezkedik el (például szabadvezetékes rendszerek vagy sínhidak esetében), vagy a vezetők között vasmag található, ami jelentős induktív reaktanciát eredményezhet, illetve mikor a tápkörben soros fojtótekercset építettek be, amely növeli az induktív reaktanciát. Ezekben az esetekben a reaktancia értéke befolyásolhatja a zárlati áram nagyságát, és így a védelmi eszközök megfelelő működését. Az induktív hatások miatt a hurokimpedancia nagyobb lehet, ami csökkenti a zárlati áramot, és meghosszabbíthatja a lekapcsolási időt. Ezért ezekben a speciális esetekben elengedhetetlen az impedancia mindkét összetevőjének, azaz a rezisztancia ( $R$ ) és a reaktancia ( $X$ ) együttes figyelembevétele a pontos számításokhoz.

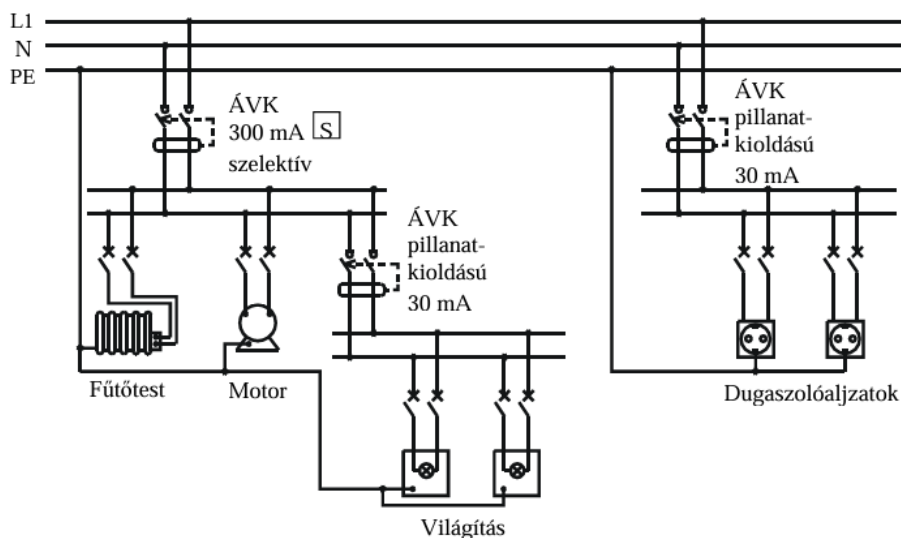
A hurokellenállás mérése és értékelése során az MSZ HD 60364 szabvány irányelvei alapján kell meghatározni, hogy az adott hálózat megfelel-e a lekapcsolási időkre és zárlati

áramokra vonatkozó előírásoknak. Az optimális hibavédelem érdekében a hurokimpedancia kis értéken tartása kulcsfontosságú, mivel ez biztosítja, hogy a védelmi eszközök a megengedett maximális időn belül működésbe lépjenek.

Ha a TN-rendszer méretezési előírásai, különösen a lekapcsolási idők betartása, túláramvédelmi eszközökkel nem biztosíthatók, akkor a következő megoldásokat kell alkalmazni:

- Kiegészítő egyenpotenciálú összekötés: A rendszer hibavédelmét a kiegészítő egyenpotenciálú összekötés kialakításával lehet javítani. Ez az összekötés biztosítja, hogy az érinthető vezető részek között ne alakulhasson ki veszélyes érintési feszültség.
- Áram-védőkapcsoló (RCD) alkalmazása: Amennyiben a túláramvédelem nem elegendő, a táplálás lekapcsolását áram-védőkapcsoló (RCD) segítségével kell megvalósítani. Ebben az esetben a lekapcsolási áram értékét ( $I_a$ ) az  $Z_s = U_0/I_a$  összefüggésben a védőkapcsoló névleges kioldóáramával ( $I_{\Delta n}$ ) kell helyettesíteni. Ez az eszköz érzékenyen reagál a földzárlati áramokra, így a lekapcsolás gyorsan megtörténik, még kis zárlati áramok esetén is. Az áram-védőkapcsoló használata olyan hálózatokban is előnyös, ahol a zárlati hurokimpedancia nagyobb, és a túláramvédelmi eszközök nem képesek az előírt lekapcsolási időn belül működni.

A TN-S rendszerben a közvetett érintés elleni védelem szelektív működésének biztosítása érdekében megengedett a S-típusú áram-védőkapcsoló (RCD) alkalmazása, amely körülbelül 1 másodperces idő késleltetéssel működik. Az ilyen késleltetett működésű eszközöket a pillanatműködésű áram-védőkapcsolók elé kell sorosan beépíteni. Ez a megoldás lehetővé teszi, hogy a hibás áramkörben elsőként a gyorsabb, pillanatműködésű áram-védőkapcsolók lépjenek működésbe, megszakítva az áramkört a legrövidebb időn belül, míg az S-típusú eszköz csak akkor kapcsoljon, ha a pillanatműködésű RCD-k nem tudják elhárítani a hibát. Az ilyen szelektív védelem biztosítja, hogy a hibák kezelése mindig a legkisebb érintett hálózati szakaszra korlátozódjon, miközben a főáramkörök védelme is garantált.



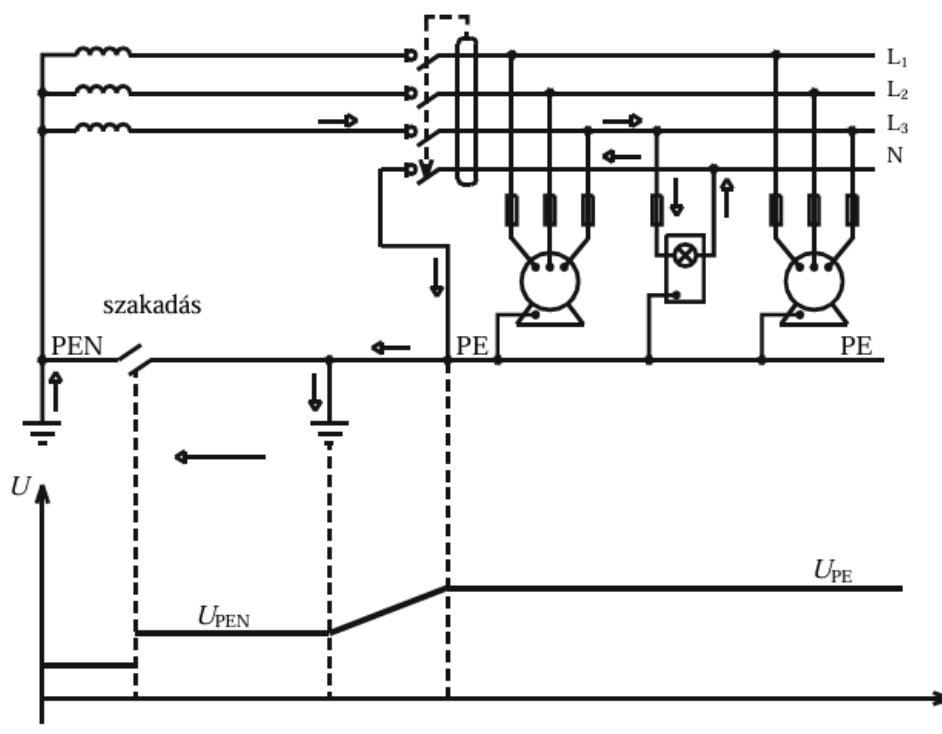
9. ábra TN-S rendszerben alkalmazott ÁVK szelektivitás megvalósítása S típusú áram védő kapcsolóval  
(forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

Fontos kiemelni, hogy a PEN vezető alkalmazása – amely egyidejűleg szállít üzemi és hibaáramot – elvi szinten kizárja az áram-védőkapcsoló (RCD) használatát. Ezért az ilyen eszközök alkalmazása TN-C rendszerben, valamint a TN-C-S rendszer TN-C szakaszában TILOS, hiszen az RCD megfelelő működéséhez különálló nullavezető (N) és védővezető (PE) szükséges, amelyek a PEN vezető szétválasztásával érhetők el.

### 3.2.5 Potenciálemelkedés elkerülése TN-C-S rendszerben

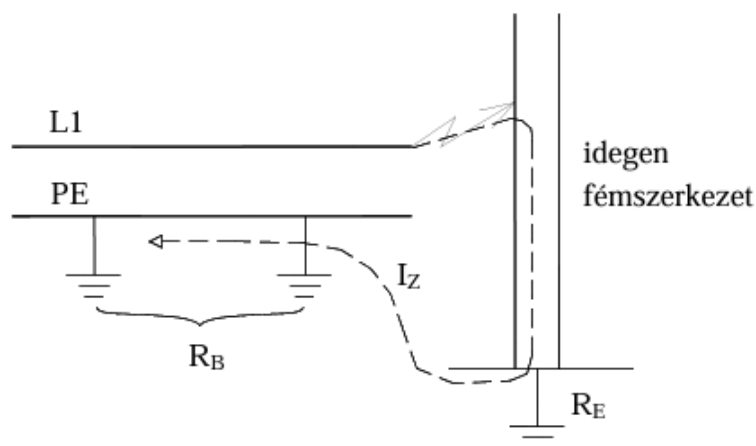
A potenciálemelkedés csökkentésének hatékony módja, ha a védővezető (PE) potenciálját a lehető legjobban összekötjük a föld potenciáljával. Az épületek becsatlakozási pontjainál a hálózat védővezetőjét (PE) a becsatlakozási pont közelében földelni kell. Ez biztosítja, hogy a PE vezető potenciálja a földhöz legyen rögzítve, csökkentve a potenciálemelkedés kockázatát. A nullázott hálózat azon szakaszain, ahol a PEN vezetőt használják védővezetőként, szintén szükséges a földelés kialakítása. Ez a földelés lehetővé teszi, hogy a PEN vezető is stabil földpotenciált kapjon. Fontos megjegyezni, hogy azon szakaszokon, ahol a nullavezető (N) már el van választva a védővezetőtől, annak földelése szigorúan TILOS. Az N vezető földelése ezen szakaszokon hibavédelmi problémákat és a védelmi eszközök helytelen működését eredményezheti [6].

A gyakorlatban ezeket a földeléseket végponti földelésnek nevezik. Az ilyen földelések nemcsak a potenciál stabilizálását szolgálják, hanem a földön keresztül egy, a védővezetővel párhuzamos tartalék áramutat is létrehoznak. Ez az áramút hibás működés esetén további védelmet nyújt, mivel csökkenti a hibaáram által létrehozott potenciálkülönbséget a védővezető és a föld között. Ezzel jelentősen mérsékelhető a veszélyes érintési feszültség kialakulásának esélye [6].



10. ábra Védővezető potenciálemelkedése TN-C-S rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

Azokban a különleges esetekben, mint például szabadvezetékes hálózatok esetén, ahol a földzárlat egy fázisvezető és egy földelt idegen vezetőképes rész között jöhet létre különös figyelmet kell fordítani a hibavédelemre. Ilyen környezetben annak biztosítása érdekében, hogy a védővezető és a vele összekötött berendezések érinthető részeinek feszültsége a földpotenciálhoz képest ne lépje túl a szabványban meghatározott, biztonságos 50 V értéket, a következő feltételt kell teljesíteni.



11. ábra Idegen fémszerkezeten keresztül létrejövő nullázott hálózat védővezetőjének potenciálemelkedése zárlat esetén (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50 \text{ V}}{U_0 - 50 \text{ V}}$$

7. Egyenlet:

ahol,  $R_b$  az összes egymással párhuzamosan kapcsolt földelő szummázott földelési ellenállása (beleértve a táphálózat földelőjét is) [ $\Omega$ ]

ahol,  $R_e$  a védővezetővel össze nem kötött, olyan idegen vezetőképes részek legkisebb, átmeneti ellenállása a föld felé, amelyen keresztül fázis föld közötti zárlat léphet fel [ $\Omega$ ]

ahol,  $U_0$  a névleges váltakozó feszültség földhöz viszonyított effektív értéke [V]

A zárlati áram értéke:

$$I_Z = \frac{U_0}{R_B + R_E}$$

8. Egyenlet:

A védővezető feszültségemelkedésére vonatkozó követelmény:

$$(U_{PE} = I_Z * R_B) \leq 50 \text{ V}$$

9. Egyenlet:

### **3.2.6 TN-rendszer feltételei, kialakítása**

A TN-rendszer olyan villamos hálózat, amelyben a táphálózat nullapontja közvetlenül földelt, és a hibavédelmet a védővezető (PE) biztosítja. TN-rendszernek minősülnek azok a kiefeszültségű, közcélú hálózatok, amelyeket az illetékes áramszolgáltató ilyen rendszerűnek nyilvánított. Emellett TN-rendszerűnek kell tekinteni azokat a fogyasztói vezetékhálózatokat is, amelyek fémesen csatlakoznak a TN-rendszerűnek minősített közcélú hálózatokhoz, valamint azokat, amelyek közvetlenül földelt, de nem TN-rendszerűnek nyilvánított közcélú hálózathoz kapcsolódnak, feltéve, hogy teljesülnek a nullázás belső feltételei. A közcélú kiefeszültségű hálózat TN-rendszerűvé nyilvánítását az illetékes áramszolgáltató végzi. A TN-rendszerű minősítéshez külső feltételeknek is meg kell felelni. Ilyen például, hogy a közcélú hálózat villamos szerkezeteinek teljesíteniük kell a szabvány szerinti méretezési összefüggéseket, amely biztosítja a megfelelő hibaáram-lekapcsolási feltételeket. A hálózat nullpontját, illetve egyfázisú vagy egyenáramú hálózat esetén a középvezetőt közvetlenül földelni kell. Szabadvezeteki hálózatok esetében a végpontnál, valamint szabadvezetéken legalább 350 méterenként földelést kell kialakítani a PEN vezetón.

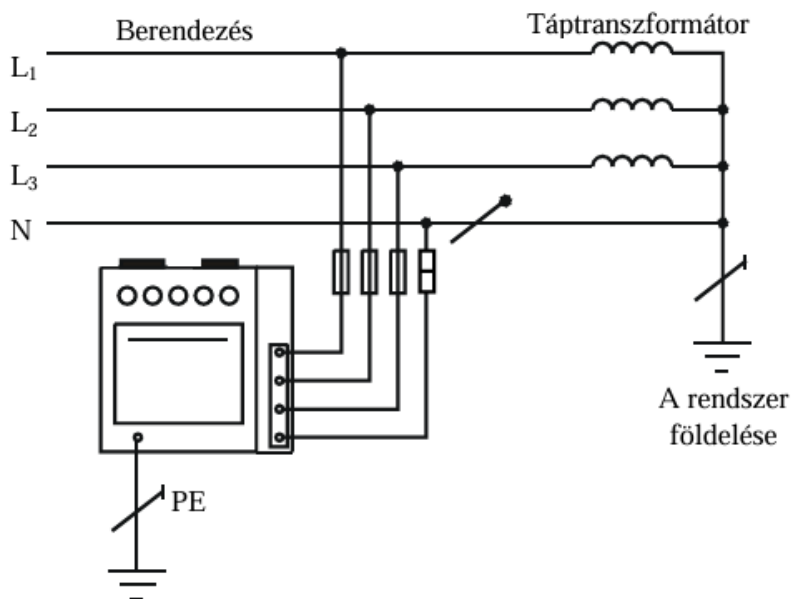
A fogyasztói vezetékhálózat csatlakozási pontjánál elérhetőnek kell lennie egy megfelelő keresztmetszetű, közvetlenül földelt nullavezetőnek, amelynek keresztmetszete legalább a fázisvezető keresztmetszetének fele, de nem lehet kisebb 10 mm<sup>2</sup>-nél réz, illetve 16 mm<sup>2</sup>-nél alumínium vezető esetén. Fontos, hogy olyan fogyasztók esetében, amelyek fémesen összefüggő hálózatrendszerről kapják az ellátást, és amelyek fázisonként 16 A-nél nagyobb teljesítményt igényelnek, védőföldelés (TT-rendszer) nem létesíthető, kivéve, ha a fogyasztó régi, akkor áram-védőkapcsoló védi. Ennek célja, hogy elkerüljék a védőföldelésen átfolyó nagy hibaáramok által okozott földpotenciál-emelkedést, amely veszélyes mértékben emelhetné meg az érinthető részek potenciálját a nullázott rendszerben.

Felmerülhet a kérdés, hogy TT-rendszerű hálózatban megengedett-e egy vagy több fogyasztó nullázása. Ez lehetséges, ha bizonyos feltételek teljesülnek. Először is, a fogyasztói vezetékhálózat csatlakozási pontjánál rendelkezésre kell állnia egy megfelelő keresztmetszetű, közvetlenül földelt PEN vezetónak. A keresztmetszetnek legalább a fázisvezetők felének kell lennie, de nem lehet kisebb 10 mm<sup>2</sup> réz, illetve 16 mm<sup>2</sup> alumínium vezető esetén. Másodszor,

a fogyasztói vezetékhálózatban egyenpotenciálú összekötő hálózatot (EPH) kell kialakítani, amelyhez betonalföldelés vagy legfeljebb  $10\ \Omega$  földelési ellenállású földelés csatlakozik. Harmadszor, az épületen belüli és a szabadtéri környezetben található, a fogyasztói hálózathoz csatlakozó valamennyi berendezés teste, beleértve az áram-védőkapcsolóval ellátottakat is, nullázott kell legyen, és a méretezési feltételeknek meg kell felelniük. Végül, a fogyasztói hálózat TN-rendszerűvé nyilvánítását be kell jelenteni az áramszolgáltatónak, amelynek kötelessége ezt nyilvántartásba venni. A TN-rendszer biztonságos kialakítása és üzemeltetése szigorú szabványi követelményekhez kötött, amelyek célja az érintésvédelem biztosítása és a veszélyes potenciálkülönbségek kialakulásának megakadályozása.

### **3.3 TT- rendszer**

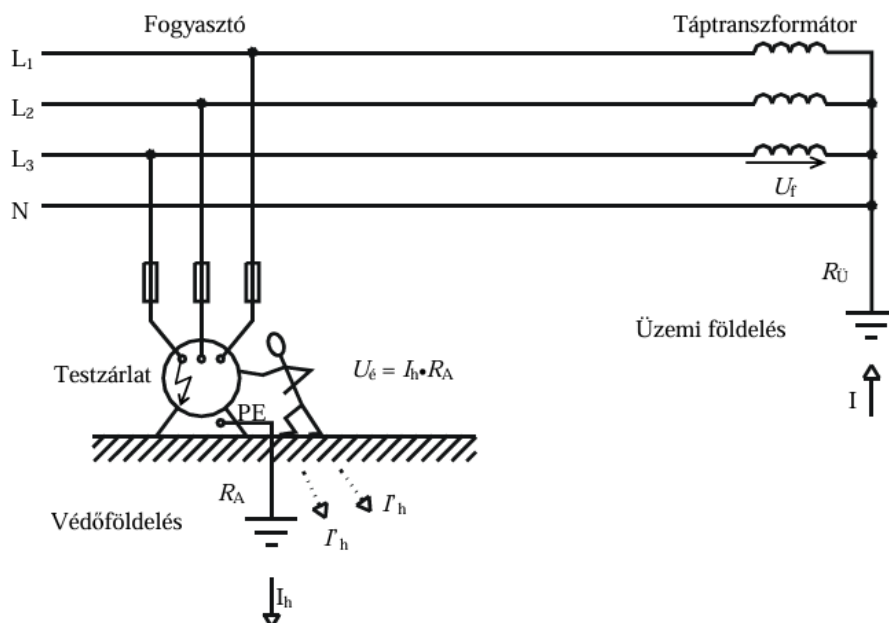
A TT-rendszer a villamos hálózatok egyik földelési rendszere, amelyben a fogyasztói berendezések érinthető vezető részei és a táphálózat csillagpontja egymástól független földelési pontokon keresztül kapcsolódnak a földhöz. Ez azt jelenti, hogy a transzformátor nullapontjának földelése és a fogyasztói berendezések földelése fizikailag elkülönülnek egymástól. A rendszer neve a következő jellemzőket tükrözi: az első T azt jelöli, hogy a táphálózat nullapontja közvetlenül földelt, míg a második T azt, hogy a berendezések érinthető részei is saját földelési ponttal rendelkeznek. A TT-rendszerben a generátoroknál és táptrafóknál az üzemi földelés biztosítása érdekében a nullapontot – vagy ha az nincs kivezetve, akkor valamelyik üzemi vezetőt – közvetlenül földelni kell. Ez garantálja, hogy a rendszer egy rögzített földpotenciálhoz viszonyított működési referenciát kapjon, így az elrendezés biztosítja, hogy a hálózatban keletkező testzárlatok hibaárama kizárólag a berendezés földelésén keresztül záródjon. A TT-rendszerben minden fogyasztói berendezés védővezetője a hibavédelem részét képezi, és ezek a védővezetők a helyi földelési pontokhoz csatlakoznak. Ugyanazon kikapcsolószervvel védett testeket ugyanazon földeléshez kell kötni! A táphálózat nullapontja viszont saját, független földeléssel kapcsolódik a földhöz. Ez a kialakítás megakadályozza, hogy egy földzárlati hiba esetén a hibaáram az érinthető vezető részekén keresztül veszélyes érintési feszültséget hozzon létre.



12. ábra TT-rendszer (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

### 3.3.1 TT-rendszer védelmi működése

Testzárlat vagy földzárlat esetén a hibaáram útja a következőképpen alakul: a fázisvezetőn keresztül eljut a hibás berendezés érinthető vezető részéhez, ahonnan a védővezető segítségével a helyi földelési ponthoz áramlik. Innen a földön keresztül jut vissza a transzformátor nullapontjához kapcsolt földelésbe, zárva ezzel a hurokáramot. Mivel a hibaáram nagyságát a helyi és a nullapont földelési ellenállása határozza meg, mert mellettük a vezetékek ellenállása szinte elhanyagolható, ezért a TT-rendszerben a zárlati áram általában kisebb, mint a TN-rendszerekben. Ez a fajta testzárlat azért veszélyes, mert a védőföldelésen ( $R_A$ ) keresztülfolyó hibaáram ( $I_h$ ) a test potenciálját megemeli a földhöz képest, ezáltal létrejön — egy az ember által is áthidalható — érintési feszültség ( $U_e$ ).



13. ábra TT-rendszer földzárata (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága)

A potenciálemelkedés ( $U_{\epsilon}$ ) még akkor is kialakulhat, ha az érinthető testet éppen nem érinti ember. Ez azt jelenti, hogy a berendezés burkolatán vagy más érinthető részen akár életveszélyes feszültség is megjelenhet, amely komoly kockázatot jelent. Az ilyen helyzetek mindenképpen elkerülendők, mivel a kialakuló potenciál különbség bármikor áramütést okozhat. A vonatkozó szabvány meghatározza azt a maximális feszültségértéket ( $U_L$ ), amelyet tartós érintés esetén sem lép túl az emberi test számára biztonságos áramerősség. Ez az érték a biztonságos érintési feszültség, amely általában 50 V váltakozó feszültség (AC) vagy 120 V egyenfeszültség (DC) száraz környezetben. Ha a potenciálemelkedés ( $U_{\epsilon}$ ) meghaladja ezt a határértéket ( $U_{\epsilon} > U_L$ ), azonnali beavatkozás szükséges. Emiatt a TT-rendszerben a hibaáram önmagában gyakran nem elegendő ahhoz, hogy a túláramvédelmi eszközök, például biztosítók gyorsan működésbe lépjenek.

A TT-rendszer biztonságos működéséhez kulcsfontosságú a földelési ellenállás megfelelő értéken tartása. A földelési ellenállás határozza meg a zárlati áram nagyságát, amely a következő képlettel számítható:

$$I_{hiba} = \frac{U_0}{R_f + R_n}$$

10. Egyenlet:

ahol,  $U_0$  a hálózat fázisfeszültsége

ahol,  $R_f$  a fogyasztói földelés ellenállása

ahol,  $R_n$  pedig a transzformátor csillagpontjának földelési ellenállása (üzemi földelés).

A megfelelő földelési ellenállás biztosítása érdekében megfelelő földelőket kell kiépíteni, földelőrudakból vagy földelőhálókából, hogy a hibaáram elegendően nagy legyen az RCD vagy túláramvédelmi eszközök működéséhez. A védőföldelés ellenállása a védővezető-, a földelővezető-, a földelő és a földelő szétterjedési ellenállásából áll. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a képlet alapján meghatározott földelési értéket nagy gyakorisággal nem lehet megvalósítani műszakilag és gazdaságilag, hiszen kis értékű földelési ellenállást kellene készíteni, ha tisztán túláramvédelmi kikapcsolást feltételezünk.

| Rendszer | 50 V < $U_0$ ≤ 120 V |       | 120 V < $U_0$ ≤ 230 V |      | 230 V < $U_0$ ≤ 400 V |       | $U_0$ > 400 V s |       |
|----------|----------------------|-------|-----------------------|------|-----------------------|-------|-----------------|-------|
| TT       | AC                   | DC    | AC                    | DC   | AC                    | DC    | AC              | DC    |
|          | 0,3 s                | 0,3 s | 0,2 s                 | 04 s | 0,07 s                | 0,2 s | 0,04 s          | 0,1 s |

Ha a TT-rendszerekben a lekapcsolást túláramvédelmi eszköz biztosítja, és a berendezés összes érinthető vezető része védő egyenpotenciálú összekötéssel van ellátva, akkor az alkalmazható maximális lekapcsolási idők megegyeznek a TN-rendszerekre előírt értékekkel.

$U_0$  a névleges fázis–föld váltakozó feszültség vagy a névleges egyenfeszültség.

14. ábra TT-rendszer legnagyobb kikapcsolási idő táblázat (forrás: MSZ HD 60364)

Az áramütés elleni védelem hatékonyságának növelése érdekében a TT-rendszerben áram-védőkapcsolókat (RCD) alkalmaznak. Az RCD érzékeli a fázisvezetőn és a nullavezetőn folyó áram közötti különbséget, amely földzárlat esetén alakul ki. Ha ez a különbség eléri a védőkapcsoló névleges kioldóáramát ( $I_{\Delta n}$ ), az eszköz automatikusan megszakítja az áramkört, ezáltal minimalizálva az áramütés kockázatát.

## 4. FÖLDELÉS MINŐSÉGÉNEK FONTOSSÁGA

A villamos hálózatok biztonságos működéséhez elengedhetetlen a megfelelő földelési rendszer kialakítása. A TN-S és TN-C-S földelési rendszerek két elterjedt megoldást kínálnak, amelyek célja az érintési feszültségek minimalizálása és a személyi biztonság garantálása. A **TN-S rendszerben** a védővezető (PE) és a nullavezető (N) különállóan fut, míg a **TN-C-S rendszer** kombinálja ezeket egy közös vezetőben (PEN), amelyet az épület főelosztójánál választanak szét. Bár mindkét rendszer alapvetően az áramütés elleni védelmet szolgálja, a TN-C-S rendszer bizonyos szakaszokon kompromisszumokat követel a gazdaságosság és a védelem szintje között. Az eddig bemutatott a rendszerek a hibaáramok gyors és biztonságos elvezetését biztosítják a föld felé, miközben különböző műszaki megvalósítással kezelik az érinthető fémrészek és a föld potenciálja közötti feszültségkülönbségeket [8].

### 4.1 Az érintési feszültségek kockázatai

Akár TN-C, akár TN-S rendszer esetén is jelentős érintési feszültségek alakulhatnak ki, különösen földzárlati hibák esetén. Az érintési feszültség nagyságát az adott földelési rendszer és a hibaáram nagysága határozza meg. Az ilyen feszültségek komoly veszélyt jelenthetnek, különösen olyan helyeken, ahol az emberek közvetlenül érintkezhetnek az érinthető vezető részekkel. A kombinált TN-C-S rendszerben az érintési feszültségek magasabbak lehetnek, különösen ott, ahol a földelési rendszer nem megfelelően van kialakítva vagy hiányzik a fő földelési kapcsolat. Az villamos szerkezetek testeinek földelőrácshoz való csatlakoztatása jelentősen csökkentheti az érintési feszültséget, mivel a földelőrác hatékonyan oszlatja el a hibaáramot a földben. Az IEEE 80-2000 szabvány alapján tervezett földelőrác használata során a földelés lehetővé teszi a lépés- és érintési feszültsége számottevő csökkentését. Az <https://ieeexplore.ieee.org/document/8493856> tanulmány alapján kimutatható, hogy a földelőrác használatával az érintési feszültségek akár **40-szeres csökkenést** is elérhetnek a hagyományos földelési rendszerekhez képest. Ez különösen a **TN-C-S rendszer** esetében jelent komoly védelmi előrelépést [8]. A rácsszerkezet hatékonyságánál az egyik legfontosabb a rács sűrűsége, azaz a vezetők közötti távolság. Minél kisebb a vezetők közötti távolság, annál egyenletesebb lesz a hibaáram eloszlása, és annál kisebb lesz a potenciálkülönbség a talaj

különböző pontjai között. Továbbá, a földelési pontok száma és azok elhelyezkedése is jelentősen befolyásolja a rács hatékonyságát. Egy sűrűbb és több földelési pontot tartalmazó rácsszerkezet nagyobb területen osztja el a hibaáramot, ami csökkenti a lokális potenciálkülönbségeket.

#### **4.1.1 A talaj szerepe a földelési rendszerek hatékonyságában**

A talaj fajlagos ellenállása ( $\rho$ ) alapvetően befolyásolja a földelési rendszerek, különösen a földelőrácsok hatékonyságát. A hibaáram a földelési rendszer és a talaj közötti impedancián keresztül vezetődik el a földbe, így a talaj tulajdonságai közvetlen hatással vannak arra, hogy a hibaáram milyen mértékben képes csökkenteni az érintési és lépésfeszültségeket. Kis fajlagos ellenállású talajokban, mint például nedves agyagban vagy sós vízzel átitatott homokban, a hibaáram könnyebben oszlik el, míg nagy fajlagos ellenállású talajok, mint például száraz homok vagy sziklás talaj, jelentősen korlátozzák az áram elvezetését. A talaj villamos ellenállása a talaj típusától, nedvességtartalmától, hőmérsékletétől és sótartalmától függ. Nedves talajokban a víz és a benne oldott ionok jelentősen csökkentik az ellenállást, mivel az ionok szabadon mozoghatnak és vezetik az áramot. Száraz és sziklás talajokban viszont a szilárd részecskék között kevés az ionokat tartalmazó folyadék, ezért az áramvezetés nehezebb. A talaj ellenállása a hőmérséklettel is változik. Fagyott talajokban az villamos ellenállás jelentősen megnő, mivel a víz jég formájában jelenik meg, és a jég sokkal rosszabb vezető, mint a folyékony víz. Ezért hideg éghajlaton a földelési rendszereket úgy kell tervezni, hogy figyelembe vegyék a talaj szezonális változásait. Ilyen esetekben kiegészítő földelési technikák alkalmazása szükséges, például mélyföldelők vagy speciális, kis ellenállású földelőanyagok használata.

## 5. VEGYES HÁLÓZATOK MŰKÖDÉSE

A vegyes TT és TN hálózatok üzemeltetése során a zárlati események jelentős eltéréseket mutathatnak a különböző földelési rendszerek miatt.

### 5.1 Zárlati események a TT rendszerben

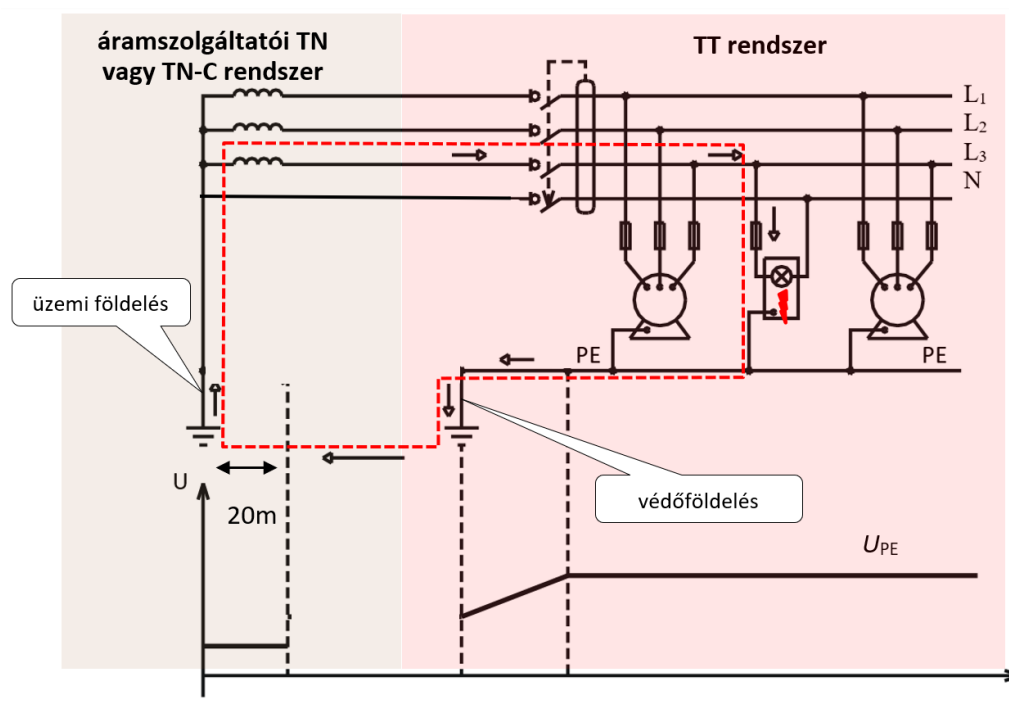
A TT rendszerben a földzárlati áram az érintett berendezés védőföldelésén keresztül záródik a földbe, majd onnan a táphálózat nullapontjához tér vissza. Ebben a rendszerben a testzárlati áram nagyságát alapvetően két tényező határozza meg. Az egyik tényező a külső közép feszültségű (KIF) hálózat üzemi földelési ellenállása, a másik pedig a helyi védőföldelési ellenállás. A külső hálózat földelési ellenállása együttesen hat a hibaáramra, azonban a helyi védőföldelési ellenállás általában jóval nagyobb, így ez lesz a mértékadó tényező a zárlati áram nagyságának meghatározásában. A TT rendszer egyik sajátossága, hogy a zárlati áram nagysága gyakran nem elegendő a hagyományos túláramvédelmi eszközök (pl. biztosítók) működésbe hozásához, ezért itt áram-védőkapcsolók (RCD) alkalmazása elengedhetetlen az hibavédelem biztosítására. Az RCD azonnal működésbe lép, ha a hibaáram eléri a beállított küszöbértéket, így megszakítja az áramkört és megelőzi az áramütést.

### 5.2 Zárlati események a TN rendszerben

A TN rendszer más megközelítést alkalmaz. Itt a testzárlat során a zárlati áram a védővezetőn (PE) vagy a PEN vezetőn keresztül azonnal visszatér a táphálózat földelt nullapontjához. Ez a rendszer kisebb földelési ellenállással rendelkezik, mivel a védővezető közvetlen fémes kapcsolatban áll a földelt nullaponttal. Ennek következtében a zárlati áram jelentősen nagyobb, mint a TT rendszerben, ami biztosítja, hogy a túláramvédelmi eszközök (pl. biztosítók vagy automatikus megszakítók) az előírt kioldási idő alatt működésbe lépjenek. A TN-C rendszerben a PEN vezető egyidejűleg szállítja az üzemi és a hibaáramot, míg a TN-S rendszerben ezek külön vezetőben futnak. A TN-C-S rendszer ötvözi a két megoldást: a táphálózat fő szakaszán PEN vezető használatos, amely az épület főelosztójánál különválik nullavezetőre (N) és védővezetőre (PE).

### 5.3 A vegyes TT-TN rendszerek sajátosságai és zárlati események hatásai

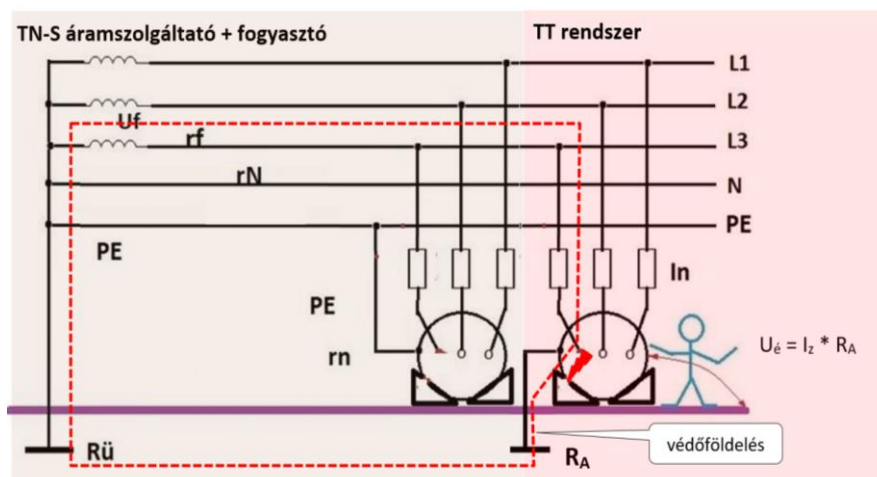
A vegyes TT-TN rendszerek olyan villamos hálózatok, amelyekben a TT és TN földelési rendszerek kombinációja található meg. Az ilyen hálózatok alkalmazása gyakran gazdasági és műszaki megfontolások miatt történik, azonban a két rendszer kombinációja különös figyelmet igényel a tervezés és üzemeltetés során. A zárlati események ezen hálózatokban eltérő módon jelentkeznek, és a megfelelő védelem érdekében különböző megoldásokat kell alkalmazni. A TT és TN rendszerek eltérő földelési struktúrájuk miatt különböző földpotenciálokat használnak. A TT rendszerben az érinthető fémrészek a helyi védőföldelésen keresztül kapcsolódnak a földhöz, míg a TN rendszerben a védővezető (PE) közvetlen fémes kapcsolatban van a táphálózat földelt nullapontjával. Ennek következtében a két rendszer potenciálja között jelentős potenciálkülönbség alakulhat ki földzárlat esetén. Ez különösen akkor jelent veszélyt, ha egy személy vagy berendezés egyszerre érintkezik a két rendszerhez tartozó vezetőképes részekkel, mivel az így kialakuló érintési feszültség áramütés veszélyét hordozza.



15. ábra Potenciálemelkedés TT-TN rendszerben testzárlat esetén a végtelen távoli földpotenciálhoz képest (0 potenciál)

A vegyes hálózatokban a zárlati események során a hibaáram több útvonalon oszlik meg. A TT rendszerben a hibaáram a helyi védőföldelésen keresztül záródik, míg a TN rendszerben a védővezetőn (PE) vagy a kombinált védő-nullavezetőn (PEN) keresztül tér vissza a táphálózat földelt nullapontjához. Ez a megoszlás bonyolítja a zárlati áram viselkedésének előrejelzését, mivel a hibaáram nagyságát és útját befolyásolja a földelési ellenállások értéke mindkét rendszerben. A vegyes TT-TN rendszerek megfelelő védelméhez különböző típusú védelmi eszközöket kell kombináltan alkalmazni. A TT rendszerben a hibavédelem alapvetően áramvédőkapcsolók (RCD) használatán alapul, amelyek érzékelik a földzárlatból eredő hibaáramokat, még akkor is, ha azok kis értékűek. Az RCD gyors működése megakadályozza a veszélyes érintési feszültségek kialakulását. Ezzel szemben a TN rendszerben a zárlati áram általában elegendően nagy ahhoz, hogy hagyományos túláramvédelmi eszközök, például biztosítók vagy automatikus megszakítók működésbe lépjenek. Ezek az eszközök rövid időn belül megszakítják az áramkört, biztosítva a rendszer védelmét.

A vegyes rendszerek egyik legnagyobb kihívása az, hogy a védelmi eszközök működése nem mindig optimális az összetett hibaáramviszonyok miatt. Például, ha a TT és TN rendszerek közötti potenciálkülönbség jelentős, az RCD-k érzékenyebbé válhatnak a nem kívánt leoldásokra. Emellett a túláramvédelmi eszközök működési paramétereit is úgy kell beállítani, hogy figyelembe vegyék a zárlati események során megoszló hibaáramokat. Ebben nagy segítséget nyújt a rendszeres Villamos Biztonsági Felülvizsgálat, amely során ellenőrzik a földelési ellenállásokat, a védővezetők folytonosságát és a védelmi eszközök működését. Ezek az ellenőrzések segítenek az esetleges hibák korai felismerésében és a hálózat biztonságának fenntartásában.



16. ábra TN-S-rendszerben egy testzárlatos 3 fázisú fogyasztó nullázás helyett védőföldeléssel (TT-rendszerű fogyasztó, nem szabványos!)

Ez rávilágít arra, hogy TN-S rendszerben miért nem lehet TT rendszerű fogyasztó. A védőföldeléses fogyasztó testzárlat esetén a zárlati áram a földön keresztül záródik. Az érintési feszültség nagysága a testzárlati áram és a védőföldelési ellenállás szorzatával határozható meg ( $U_{\epsilon} = I_z \cdot R_v$ ). Ez a zárlati áram azonban nemcsak a védőföldelésen keresztül folyik, hanem az üzemi földelésen is átmegy, amely a PEN vezeték potenciálját is megemeli. A PEN vezeték ezen potenciálnövekedést továbbítja az összes szabványosan nullázott berendezés testére, például a bal oldali motortestre ( $U_{PEN} = I_z \cdot R_{\bar{u}}$ ). Amennyiben a fogyasztói túláramvédelmi eszköz nem lép működésbe – például mert helytelenül van méretezve az áramütés elleni védelemre –, a testeken tartósan megemelkedett feszültség alakulhat ki, ami jelentős biztonsági kockázatot jelent. A TN rendszerű hálózatban szabálytalanul csatlakoztatott TT-rendszerű testzárlatos fogyasztó esetén jelentős érintési feszültség léphet fel. A szabványok alapján ilyen esetben a védőföldelési ellenállás méretezése nem lehetséges, mivel a TN rendszerben a méretezés alapja a hurokimpedancia, és nem a védőföldelés vagy a föld-hurokimpedancia értékei. Ez azt jelenti, hogy a vegyes TT-TN rendszerek problémái nem oldhatók meg pusztán a KIF hálózat földelési ellenállásának optimalizálásával. Összegzőként megállapítható, hogy nem létezik olyan konkrét földelési ellenállás érték, amely garantáltan megszünteti a vegyes hálózatokból adódó potenciálkülönbségek és érintési feszültségek problémáit. Az ilyen rendszerek biztonságos működéséhez további védelmi intézkedések, például egyenpotenciálú összekötések és kiegészítő védelmi eszközök alkalmazása szükséges.

## 6. BECSLÉS AZ ÉRINTETT INGATLANOK SZÁMÁRA VONATKOZÓAN

Az alábbiakban becslést adtam a még TT rendszerrel rendelkező lakóingatlanok (fogyasztók) számára vonatkozóan, figyelembe véve a különböző ingatlantípusok és építési időszakok sajátosságait. Általánosságban megállapítható, hogy a TT földelési rendszer főként az idősebb építésű lakóingatlanokban fordul elő, míg az újabb létesítmények túlnyomó része már TN rendszerrel van ellátva.

Az ipari fogyasztók, kisvállalkozások és minden olyan ingatlan esetében, ahol rendszeres villamos biztonságtechnikai felülvizsgálat zajlik, gyakorlatilag biztosra vehető, hogy TN rendszer van kiépítve. Ez annak köszönhető, hogy ezen létesítményekben a szabályozások és szabványok (pl. MSZ 447 és IEC 60364) betartása kötelező, és az üzemeltetők folyamatosan gondoskodnak a megfelelő földelési rendszer kialakításáról és karbantartásáról.

Hasonló helyzet figyelhető meg a lakóingatlanok esetében, amelyek a 80-as évek közepe után épültek. Ekkor a hazai szabványok és előírások már egyértelműen a TN rendszer alkalmazását írták elő, így ezen időszak után épített lakóépületek nagy valószínűséggel TN rendszerrel rendelkeznek. Ezen ingatlanok földelési rendszere a közös szolgáltatói földelési pontra támaszkodik, biztosítva a gyors hibavédelem és a biztonságos üzemeltetés feltételeit. Azonban jelentős eltérések mutatkoznak az idősebb lakóépületek esetében, különösen azoknál, amelyek a 80-as évek előtt épültek. Ebben az időszakban a TT rendszer alkalmazása gyakori volt, mivel a szabványok még megengedték a különálló fogyasztói földelési pontok használatát. Az ilyen ingatlanokban a földelési rendszer típusa azóta is változatlan maradhatott, különösen, ha az épületet nem érte jelentős korszerűsítés vagy villamoshálózati felújítás. A TT rendszerű földelés ezen ingatlanok esetében még ma is fennállhat, ami potenciális biztonsági kockázatot jelenthet, mivel a zárlati áramok lefolyása és a védelmi eszközök hatékonysága eltérhet a TN rendszerrel rendelkező ingatlanokétól.

A jelenlegi adatok és tapasztalatok alapján feltételezhető, hogy a lakóingatlanok kisebb, de nem elhanyagolható százaléka még TT rendszerrel rendelkezik, különösen a régebbi épületek körében. Az ilyen ingatlanok azonosítása és korszerűsítése különösen fontos lenne a hálózati biztonság növelése érdekében. A modern villamos biztonsági előírások előírják a rendszeres

felülvizsgálatot és a TN rendszerre való átállást, de az ilyen korszerűsítések gyakran jelentős beruházást igényelnek, amelyet a magánlakások tulajdonosai nem minden esetben valósítanak meg időben.

| Megnevezés                                  | 1946<br>előtt | 1946–<br>1960 | 1961–<br>1970 | 1971–<br>1980 | 1981–<br>1990 | 1991–<br>2000 | 2001–<br>2005 | 2006–<br>2011 | Összesen  |
|---------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| <b>Településtípus</b>                       |               |               |               |               |               |               |               |               |           |
| <b>Főváros</b>                              | 250 133       | 60 901        | 92 710        | 156 229       | 108 904       | 34 953        | 44 848        | 38 656        | 787 334   |
| <b>Megyeszékhely, megyei<br/>jogú város</b> | 81 359        | 72 217        | 142 957       | 238 716       | 156 709       | 54 872        | 51 150        | 31 433        | 829 413   |
| <b>Többi város</b>                          | 174 324       | 132 386       | 185 507       | 292 182       | 214 067       | 84 773        | 63 555        | 48 526        | 1 195 320 |
| <b>Községek, nagyközségek</b>               | 224 483       | 192 125       | 169 035       | 189 738       | 158 173       | 82 390        | 49 864        | 34 554        | 1 100 362 |
| <b>Összesen</b>                             | 730 299       | 457 629       | 590 209       | 876 865       | 637 853       | 256 988       | 209 417       | 153 169       | 3 912 429 |
| <b>Budapest</b>                             | 250 133       | 60 901        | 92 710        | 156 229       | 108 904       | 34 953        | 44 848        | 38 656        | 787 334   |
| <b>Bács-Kiskun</b>                          | 42 806        | 22 975        | 31 833        | 48 324        | 36 540        | 13 635        | 8 760         | 5 326         | 210 199   |
| <b>Baranya</b>                              | 32 603        | 21 510        | 22 898        | 29 053        | 25 236        | 7 906         | 6 498         | 4 432         | 150 136   |
| <b>Békés</b>                                | 32 821        | 18 390        | 22 325        | 35 559        | 26 418        | 7 087         | 4 112         | 2 135         | 148 847   |
| <b>Borsod-Abaúj-Zemplén</b>                 | 35 875        | 43 430        | 47 038        | 62 239        | 41 765        | 13 928        | 6 467         | 4 809         | 255 551   |
| <b>Csongrád</b>                             | 34 578        | 14 985        | 24 699        | 44 821        | 27 421        | 10 054        | 7 927         | 5 212         | 169 697   |
| <b>Fejér</b>                                | 20 965        | 25 368        | 24 748        | 38 597        | 26 622        | 10 183        | 8 390         | 6 050         | 160 923   |
| <b>Győr-Moson-Sopron</b>                    | 22 805        | 19 235        | 28 539        | 38 034        | 26 232        | 12 485        | 13 143        | 9 435         | 169 908   |
| <b>Hajdú-Bihar</b>                          | 19 758        | 19 177        | 30 397        | 52 170        | 45 193        | 18 743        | 13 548        | 9 089         | 208 075   |
| <b>Heves</b>                                | 18 417        | 20 651        | 21 644        | 26 309        | 19 031        | 6 662         | 4 685         | 2 970         | 120 369   |
| <b>Jász-Nagykun-Szolnok</b>                 | 25 877        | 19 993        | 26 642        | 37 381        | 27 378        | 8 017         | 5 001         | 3 407         | 153 696   |
| <b>Komárom-Esztergom</b>                    | 14 825        | 19 816        | 23 230        | 29 084        | 18 600        | 5 169         | 4 043         | 3 261         | 118 028   |

|                        |         |         |         |         |         |         |         |         |           |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Nógrád                 | 13 221  | 17 378  | 14 128  | 16 329  | 11 527  | 3 014   | 1 709   | 983     | 78 289    |
| Pest                   | 53 684  | 39 523  | 55 915  | 86 373  | 67 941  | 49 152  | 42 653  | 36 088  | 431 329   |
| Somogy                 | 20 672  | 16 067  | 19 189  | 27 539  | 19 784  | 8 157   | 5 774   | 2 842   | 120 024   |
| Szabolcs-Szatmár-Bereg | 15 383  | 24 584  | 33 399  | 48 566  | 38 878  | 20 492  | 11 568  | 6 003   | 198 873   |
| Tolna                  | 22 670  | 11 188  | 12 436  | 20 348  | 14 707  | 4 334   | 2 369   | 1 413   | 89 465    |
| Vas                    | 18 537  | 9 634   | 16 994  | 22 182  | 14 037  | 6 519   | 5 206   | 3 642   | 96 751    |
| Veszprém               | 19 952  | 18 722  | 22 108  | 32 030  | 23 147  | 8 447   | 6 570   | 4 260   | 135 236   |
| Zala                   | 14 717  | 14 102  | 19 337  | 25 698  | 18 492  | 8 051   | 6 146   | 3 156   | 109 699   |
| Összesen               | 730 299 | 457 629 | 590 209 | 876 865 | 637 853 | 256 988 | 209 417 | 153 169 | 3 912 429 |

17. ábra A hazai lakott lakások építési év szerint, 2011 (forrás: [Központi Statisztikai Hivatal \(ksh.hu\)](http://ksh.hu))

Kockázati csoportba sorolhatók azok az ingatlanok, amelyeknél az elmúlt évtizedekben nem történt a szolgáltató által felügyelt bővítés, felújítás vagy korszerűsítés. Ezekben az esetekben fennáll a veszélye annak, hogy az ingatlan villamos hálózata elavult, és továbbra is TT földelési rendszerrel üzemel, ami a modern biztonsági előírásoknak nem felel meg. A TT rendszerű ingatlanok különösen akkor jelentenek kockázatot, ha a helyi földelési rendszer állapota romlott, vagy nem megfelelően karbantartott, mivel ez növeli az érintési feszültség és az áramütés kockázatát.

Külön csoportot képeznek azok a lakótelepi ingatlanok, amelyek eredetileg nem védővezetős hálózattal épültek. Ezek a lakások a 70-es évek előtt épült többlakásos társasházak és panelek esetében különösen veszélyeztetettek lehetnek, mivel a hálózatuk védővezető nélküli kialakítása nem teszi lehetővé a TN rendszerre való automatikus áttérést. Az ilyen ingatlanokban a zárlati áram levezetése és a védelmi eszközök hatékonysága kérdéses, ami jelentős biztonsági kockázatot jelent a lakók számára. Az elérhető statisztikák alapján az MVM Démász Áramhálózati Kft. ellátási területén található lakások 70%-a, azaz mintegy 374 ezer ingatlan, 1980 előtt épült. Ezen ingatlanok jelentős részében a földelési rendszer az eredeti állapotában maradhatott, különösen, ha nem történt felújítás vagy bővítés. Ha azt feltételezzük, hogy ezeknek az ingatlanoknak csupán 1%-a nem felel meg a szabályos áttérés

követelményeinek, akkor is körülbelül 4000 ingatlan maradhat TT földelési rendszerrel. Ez már önmagában is jelentős szám, amely potenciális veszélyforrást jelent a hálózati biztonság szempontjából.

A valós kockázatok azonban még magasabbak lehetnek, különösen a kevésbé fejlett, elöregedett ingatlanállománnyal rendelkező vidéki települések esetében. Itt számos olyan régi típusú ingatlan található, mint például vályogházak, amelyek esetében a villamos hálózat korszerűsítése és a földelési rendszer szabványosítása nem, vagy csak részben történt meg. Az ilyen ingatlanokban a földelési ellenállás értékei jelentősen eltérhetnek az optimálistól, ami növeli a villamos hibák következményeinek súlyosságát. Ezek a számok és tendenciák azt mutatják, hogy a régi földelési rendszerek jelenléte nemcsak egyéni biztonsági kockázatot jelent, hanem a hálózat egészére is hatással lehet. A hálózat üzemeltetőinek és az illetékes hatóságoknak kiemelt figyelmet kell fordítaniuk az ilyen ingatlanok azonosítására és korszerűsítésére. Szükséges a TT rendszerek TN rendszerre való átállításának elősegítése, például pénzügyi támogatások, szakmai útmutatók és kötelező felülvizsgálatok formájában, hogy a villamos hálózat minden szegmensében garantálható legyen a biztonságos üzemeltetés.

### **6.1 Az ingatlan földelésének áttéréshez szükséges fizikai háttér**

Egy feltételezhetően még TT földelési rendszert alkalmazó ingatlan esetében a TN rendszerre történő áttérés megvalósításához több fontos lépést kell végrehajtani. Ezek a tevékenységek a fogyasztó felelősségi körébe tartoznak, és nem az áramszolgáltató költségére valósulnak meg.

Első lépésként az elosztótáblában ki kell alakítani a PE(N) sít, amennyiben az még nem áll rendelkezésre. Ez a sín szolgál majd a védővezetők és a nulla vezető szétválasztásának alapjául, amely elengedhetetlen a helyes földelési rendszer kiépítéséhez. A következő lépésben a rendszerben a védőföldelés lesz a végponti földelés, amelyet a PE(N) sínhez kell csatlakoztatni. Ez biztosítja, hogy a hibás áramok a védővezetőn keresztül a földbe távozzanak. Ezt követően az áramszolgáltatótól érkező PEN vezetőt az elosztótáblában jelenleg a N sínre csatlakoztatják, azonban TN rendszer esetén ezt a vezetőket át kell kötni a PE(N) sínre. Így a PEN vezető közvetlenül a védővezető részévé válik, amely a hibavédelem szempontjából

kulcsfontosságú. Ezzel párhuzamosan a NULLA sín (N) és a PE(N) sín közötti közvetlen kapcsolatot az elosztótáblán belül meg kell szüntetni. Ez a pont az ún. szétválasztási pont, ahol a nulla vezető és a védővezető külön utakon futnak tovább, és ettől kezdve a két sín nem lehet közvetlenül összekötve. Az áttérés részeként az ingatlan teljes területén ki kell építeni a PE vezetékét, amelyet minden fali csatlakozóhoz és fogyasztói készülékhez el kell vezetni. Ez biztosítja, hogy a rendszer minden végpontján kialakuljon a megfelelő védőföldelés, amely zárlat esetén az áramot biztonságosan a földbe vezeti. Továbbá, az ingatlan bármely pontján, ahol a nulla vezeték (N) közvetlenül földelve van, ezt a földelést meg kell szüntetni, mivel a nulla vezeték közvetlen földelése nem megengedett a TN rendszerben, és hibás működést okozhat.

Végül, minden helyi, korábban kialakított, úgynevezett „illegális” földelést is felül kell vizsgálni. Ezek a földelések csak és kizárólag a PE vezetőhöz csatlakozhatnak, és ezeket is a PE(N) sínre kell visszavezetni. Ezáltal minden földelési kapcsolat egységes és szabványos lesz, biztosítva a rendszer megfelelő működését. Az átalakítás célja, hogy a földelési rendszer megfeleljen a TN rendszer követelményeinek, ezáltal biztosítva a hibavédelem és az érintésvédelem hatékony működését. Ezzel jelentősen csökkenthető a zárlati áramok és az áramütés veszélye, valamint garantálható a modern villamos hálózatok biztonságos üzemeltetése. Az áttérés során kiemelten fontos a szakszerű kivitelezés és a vonatkozó szabványok betartása, hogy a rendszer minden eleme összhangban működjön.

## **7. A TT RENDSZER MEGLÉTÉNEK UTÓLAGOS BEAZONOSÍTHATÓSÁGA**

Megvizsgáltam, hogy a TN-TT rendszer esetében lehetséges-e a problémák méréses vizsgálata a közcélú hálózati oldalról. Ennek érdekében konzultáltunk egy diagnosztikai eszközöket forgalmazó céggel, amely széles körű tapasztalattal rendelkezik villamos hálózatok mérés technikai vizsgálatában. Az elemzések és a szakmai egyeztetések eredményeként arra a következtetésre jutottunk, hogy az elosztói engedélyes hálózat oldaláról, jelenlegi tudással bíró műszerek mérésével nem azonosítható a fogyasztói oldalon alkalmazott TT rendszer. Ennek oka, hogy a TT rendszer jellemzői – például a védőföldelési ellenállás és az érintési feszültségek alakulása – alapvetően a fogyasztói hálózatra korlátozódnak. Ezek a paraméterek az elosztói hálózati szakaszban nem mutatnak olyan mérhető jeleket, amelyek egyértelműen utalnának a TT rendszer meglétére. A PEN vezető potenciálja, a hurokimpedancia értékei és más kulcsfontosságú paraméterek alapján nem különíthető el egyértelműen a TN és TT rendszerek működése, mivel a TT rendszer sajátosságai csak a helyi védőföldelések és érintési feszültségek kontextusában mutatkoznak meg.

### **7.1 Beazonosítási módszerek vizsgálata**

#### **7.1.1 Folytonosság mérés**

A folytonosság mérés alapvető fontosságú eljárás a villamos hálózatok megfelelő működésének és biztonságának ellenőrzésére, különösen a PEN vezetők és a fogyasztók közötti kapcsolat vizsgálatakor. Ennek a mérésnek az a célja, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy a védőföldelési rendszer minden ponton folytonos, és a vezetők megfelelően csatlakoznak egymáshoz. A folyamat során azonosítani kell, hogy az adott vezeték nullavezető (N), védővezető (PE) vagy kombinált védő-nullavezető (PEN). A mérés kezdőpontja mindig a csatlakozási pont, amely lehet az épület főelosztó szekrénye vagy az áramszolgáltató mérőhelye. Innen indulva kell mérni minden egyes fogyasztói csatlakozást, például lakásokat, irodákat vagy közintézményeket. Ez a folyamat azonban jelentős szervezési és technikai kihívásokkal járhat. A csatlakozási ponton történő mérésekhez szükséges lehet a vezetékek szétcsatlakoztatása, ami a hálózat ideiglenes lekapcsolását igényli. Társasházakban vagy

közintézményekben ez akár egy vagy több napos áramszünettel is járhat, hiszen a teljes hálózatot végig kell vizsgálni. A folyamat során minden egyes lakáshoz, irodához vagy más fogyasztói helyiséghez be kell jutni. Ez különösen időigényes lehet, mivel a lakók vagy az intézmények dolgozói jelenlétére is szükség van. Mivel a folytonosság méréséhez minden érintett vezetőt végig kell követni, számos mérővezetékre és kiegészítő eszközre van szükség. A mérési műveletet egy 200 mA-es folytonosság mérőkészülékkel kell végezni, amely biztosítja a szabvány szerinti alacsony mérési ellenállást. Ez az eszköz megbízható eredményt nyújt arról, hogy a vezetők folytonosak-e, és megfelelő állapotban vannak-e a teljes hálózaton belül.

### **7.1.2 Hurokimpedancia mérés**

A hurokimpedancia mérése elméletileg alkalmas lehetne arra, hogy segítsen beazonosítani, egy hálózat TN vagy TT rendszerű-e, azonban a gyakorlati alkalmazása számos korláttal és problémával jár. A hurokimpedancia-mérés célja, hogy meghatározza az áramkör ellenállását a zárlati áramkörben, amely a fázisvezető, a nullavezető (vagy PEN) és a földelési rendszer elemeiből tevődik össze. Az így kapott értékek alapján meg lehetne állapítani, hogy a földelési rendszer megfelelően működik-e. Azonban vegyes rendszerek esetén, ahol tiltott nullázások vagy egyéb szabálytalanságok fordulnak elő, az eredmények torzulhatnak, és nem adnak egyértelmű információt. A legnagyobb probléma az, hogy a hurokimpedancia-mérés során az áram nemcsak a szabványosan kialakított vezetéken keresztül halad, hanem az épület összes fémes szerkezetén is. Ez magában foglalja a vízvezeték csöveket, fűtési rendszereket, fürdőkádakat, valamint a szomszédos lakások vezetékeit is. Ezek a nem szabványos áramutak jelentősen befolyásolják a mért hurokimpedancia értékét, mivel az áram a legkisebb ellenállás irányába fog haladni. A mérés során így kapott értékek azt tükrözhetik, hogy az épületben „minden mindennel össze van kötve,” és az áram a szabálytalan kapcsolatokat is kihasználva „körbejárja az épületet”

Ezen túlmenően, a különböző vezeték keresztmetszetek és az ezekből eredő eltérő ellenállások is befolyásolják a mért eredményeket. Egy TT rendszerben a helyi földelési ellenállás és a csatlakozási pontnál mért hurokimpedancia között jelentős különbség lehet, míg egy TN rendszerben ezek az értékek közelebb állnak egymáshoz. Azonban az eltérések nem

mindig mutatják meg egyértelműen a rendszer típusát, különösen akkor, ha az épület földelési rendszere nincs megfelelően dokumentálva, vagy ha a földelési pontok között jelentős potenciálkülönbség van. Ezért a hurokimpedancia-mérés önmagában nem alkalmas arra, hogy egyértelműen meghatározza, hogy egy hálózat TN vagy TT rendszerű-e. Az eltérő mérési eredmények mögött állhat a szabálytalan földelések, az eltérő keresztmetszetű vezetékek, vagy akár a szomszédos fogyasztók rendszerei közötti nem kívánt összeköttetések is. Az ilyen helyzetek további problémát jelenthetnek a hibavédelem szempontjából, mivel a szabálytalan kapcsolatokat kihasználva az érintési feszültségek és a hibaáramok megoszlása nem a vártnak megfelelően alakulhat.

### **7.1.3 Hurokimpedancia mérés és lakatfogó együttes használata**

A TT rendszer beazonosítása során egy további lehetőség a régi típusú nulla- és védővezető azonosítás. Ez a módszer két felülvizsgáló egyidejű munkáját igényli, akik különféle méréseket végeznek, például hurokimpedancia-mérést és lakatfogóval történő árammérést. A cél az, hogy azonosítsák, melyik vezető funkcionál nullavezetőként, melyik védővezetőként, illetve hol lehet kombinált PEN vezető. Ez a módszer akkor működik hatékonyan, ha a hurokimpedancia mérést ÉVÉ UNIVERZÁL műszerrel végzik. Ennek a műszernek az előnye, hogy a mérési gomb hosszabb ideig lenyomva tartható, ami lehetővé teszi a mérések stabil és folyamatos elvégzését. Ez különösen fontos olyan helyzetekben, ahol a mérési folyamat hosszabb időt vesz igénybe, például amikor a teljes hálózatot végig kell vizsgálni, vagy ahol a mérési pontok között nagy távolságok vannak.

Alternatív megoldásként lehetőség van egy egyedileg kialakított mérési rendszer alkalmazására, amely például akkumulátoros táplálású eszközöket használ. Az akkumulátoros táplálás előnye, hogy független a hálózati tápellátástól, így olyan helyeken is elvégezhető a mérés, ahol a hálózat részleges vagy teljes lekapcsolása szükséges. Az egyedi mérési megoldások rugalmasabbá teszik a folyamatot, és különösen hasznosak lehetnek olyan esetekben, amikor a standard eszközök nem biztosítanak megfelelő eredményeket. A módszer során a lakatfogóval mért áramok segítségével ellenőrizhető, hogy a vezetőkön folyó áram megfelel-e a vártnak. Ha például a nulla- és védővezetőn mért áramok jelentősen eltérnek, az jelezheti, hogy a rendszer nem megfelelően van kialakítva, és a TT rendszerre jellemző helyi

földelések dominálnak. A mérések alapján pontosabban azonosítható, hogy hol találhatóak szabálytalan vagy nem szabványos bekötések.

Ez az eljárás különösen hasznos lehet vegyes rendszerek esetében, ahol a TT és TN rendszer jellemzői keveredhetnek, és az egyértelmű azonosításhoz többféle mérési technika kombinációjára van szükség. Az így nyert adatok segítenek a rendszer pontos feltérképezésében és a szükséges korrekciók meghatározásában, biztosítva ezzel a hálózat megfelelő és biztonságos üzemeltetését.

#### **7.1.4 Szivárgó áram mérés**

Ez a módszer, hasonlóan a hurokimpedancia méréshez, számos kihívással jár. A szivárgó áram a hálózat azon áramkomponense, amely a védővezetőn vagy a földelési rendszeren keresztül folyik vissza a földelt nullaponthoz. TT rendszer esetén ez az áram általában nagyobb lehet, mint a TN rendszerben, mivel a TT rendszer védővezetője közvetlenül a helyi földeléshez csatlakozik, és a zárlati áram ezen a földelési úton záródik. A szivárgó áram mérése során azonban minden egyes fogyasztói csatlakozási ponthoz be kell jutni, ami időigényes és logisztikai szempontból nehéz feladat, különösen társasházak vagy közintézmények esetében. Minden lakásban vagy fogyasztói helyiségben külön mérési pontot kell kialakítani, és az ott keletkező szivárgó áramot meg kell vizsgálni. Ez a mérési módszer megköveteli, hogy az összes érintett helyiségben biztosított legyen az áramellátás, és az ott lévő fogyasztókat leválasszák a hálózatról a pontos eredmények érdekében.

Ezen túlmenően a szivárgó áram mérésének egyik fő hátránya, hogy a mérési eredmények alapján nem lehet egyértelműen azonosítani a TT rendszert, mivel a szivárgó áram értékeit számos tényező befolyásolhatja. Ilyenek például:

- Nem megfelelő vagy tiltott nullázások: Ha a rendszerben szabálytalan összeköttetések találhatók, a szivárgó áram a földelési rendszeren keresztül más fogyasztókhoz is eljuthat.
- Közös földelések: Az épületben lévő összes védővezető és fémes szerkezet közös földelési hálózatot képezhet, amely megosztja a szivárgó áramot, és ezáltal torzíthatja a mért értékeket.

- Villamos berendezések állapota: A szivárgó áramot az egyes berendezések belső szigetelési állapota is befolyásolja, ami tovább bonyolítja az eredmények értékelését.

A szivárgó áram mérésével így csupán következtetéseket lehet levonni a rendszer típusára vonatkozóan, de az eredmények nem nyújtanak olyan egyértelmű és megbízható azonosítást, mint a folytonosság mérés esetében. Az azonosításhoz továbbra is elengedhetetlen a hálózat alapos vizsgálata, ideértve a vezetők típusának azonosítását és a helyi földelések elemzését. A szivárgó áram mérése kiegészítő módszerként használható, de önmagában nem elegendő a TT rendszer egyértelmű beazonosításához.

#### **7.1.5 Vezeték hossz mérés**

A vezetékhossz vagy kábelhossz mérése szintén egy lehetséges módszer a TT rendszer azonosítására, amely azonban számos korlátot rejt magában. Ez a mérési eljárás azzal kezdődik, hogy a hálózati szakaszokat lekapcsolják, és speciális mérőműszerek segítségével meghatározzák a vezetékek hosszát. Az így kapott adatok alapján következtetéseket lehet levonni arra vonatkozóan, hogy a hálózatban milyen távolságban találhatóak a különböző földelési pontok, illetve, hogy ezek a földelések megfelelnek-e a TN rendszer szabványos kialakításának.

Ez a módszer hasznos lehet abban az esetben, ha arra gyanakszunk, hogy a rendszerben nem szabványos földelések találhatók, vagy ha a különböző csatlakozási pontok közötti vezetékek keresztmetszete és hossza jelentősen eltér. A mért hosszak alapján megállapítható, hogy a hálózat különböző pontjain a hurokimpedancia értékek hogyan alakulhatnak, illetve, hogy a helyi földelések hozzájárulnak-e a hálózat működéséhez. A vezetékhossz mérése azonban, hasonlóan a hurokimpedancia vagy a szivárgó áram méréshez, nem nyújt egyértelmű bizonyítékot arra, hogy a hálózatban TT rendszer működik-e. Az alábbi okok miatt ez a módszer sem tekinthető teljesen megbízhatónak:

- Hálózati szakaszok közötti kapcsolat: A mért vezetékhossz alapján ugyan következtetni lehet arra, hogy a földelési pontok milyen távolságban vannak egymástól, de ha a rendszerben szabálytalan összeköttetések vagy tiltott nullázások találhatók, ezek torzíthatják az eredményeket.

- Földelési hálózat összetettsége: Az épület földelési hálózatának bonyolultsága, különösen közös földelések esetén, jelentősen befolyásolhatja a mért hosszak alapján levonható következtetéseket. Az összekötött fémes szerkezetek, például vízvezetékek és fűtési rendszerek, tovább bonyolíthatják az áramkörök nyomon követését.
- Eltérő vezeték keresztmetszetek: A különböző keresztmetszetű vezetékek eltérő ellenállással rendelkeznek, ami szintén hatással lehet a vezeték hossz mérésekből származó adatok értelmezésére. Az eltérések nem mindig utalnak közvetlenül TT rendszer meglétére, hanem az épület vagy a hálózat kialakításának sajátosságait is tükrözhetik.
- Lepakcsolás szükségessége: A mérések végrehajtása szintén áramszünetet igényel, ami a társasházak és közintézmények esetében jelentős leállásokkal járhat. Ez nemcsak a mérési időt növeli, hanem logisztikai kihívásokat is okozhat, hiszen minden érintett helyiséget meg kell vizsgálni.

Bár a vezeték hossz mérése hasznos információkat nyújthat a hálózat földelési rendszeréről és annak kialakításáról, önmagában nem elegendő a TT rendszer egyértelmű azonosításához. A kapott eredmények csak a hálózat általános állapotára és a csatlakozási pontok közötti kapcsolatokra adhatnak támpontot, de nem nyújtanak megbízható bizonyítékot a TT rendszer meglétére. Ezért az azonosításhoz szükséges egyéb diagnosztikai módszerek, például folytonosság mérés, szivárgó áram mérés vagy hurokimpedancia mérés alkalmazása, valamint ezek eredményeinek kombinált elemzése.

### **7.1.6 Szigetelési ellenállás és földelési ellenállás mérés**

A szigetelési ellenállás és a földelési ellenállás értéke közötti különbség mind a fizikai háttér, mind a funkciók és a mérési célok tekintetében jelentős. Mindkettő kulcsszerepet játszik az elektromos rendszerek biztonságában és megbízhatóságában, de a két ellenállás mögött meghúzódó fizikai mechanizmusok és jellemző tartományok eltérőek.

#### **7.1.6.1 Szigetelési ellenállás**

A szigetelési ellenállás egy villamos vezeték, kábel vagy berendezés szigetelőanyagának tulajdonságait jellemzi. Fizikai értelemben azt méri, hogy a szigetelőanyag mennyire képes

ellenállni az áram áthaladásának a fázisvezető és a föld vagy más fázisvezetők között. A szigetelőanyagok, mint például a műanyagok, üveg vagy különféle polimerek, nagy elektromos ellenállásúak, így akadályozzák az áram szivárgását a rendszer más részei felé. A szigetelési ellenállás értéke jellemzően megaohm ( $M\Omega$ ) vagy gigaohm ( $G\Omega$ ) nagyságrendű, mivel a jó szigetelőanyagok ellenállása extrém magas. Ez azért fontos, mert a szigetelés elsődleges célja a zárlatok és az áramütések megelőzése, azaz, hogy megakadályozza az áram áthaladását a szigetelt részek között. Magas szigetelési ellenállásra van szükség a szigetelőanyag hibátlan működéséhez, és egy alacsonyabb érték (azaz megnövekedett szivárgási áram) szigetelési hibára, szivárgásra utalhat, ami komoly veszélyforrást jelenthet. Az áramkörök szigetelésének ellenállása ráadásul frekvenciafüggő is lehet: magasabb frekvenciákon a dielektromos veszteségek miatt az effektív ellenállás csökkenhet, ami a szigetelési teljesítmény romlását eredményezheti.

#### **7.1.6.2 Földelési ellenállás**

A földelési szétterjedési ellenállás a földelő és a távoli föld közötti ellenállást méri. Ez a földelés hatékonyságának kulcsmutatója, amely meghatározza, hogy a földelési rendszer milyen mértékben képes az áramot a talajba vezetni. Fizikai értelemben a földelési ellenállás három fő komponensből áll:

- Az elektróda anyagának ellenállása: Az elektróda (pl. réz, horganyzott acél) belső ellenállása általában elhanyagolható a teljes ellenálláshoz képest.
- Az elektróda és a környező talaj közötti átmeneti ellenállás: Ez az érintkezési zóna ellenállása, amely az elektróda és a talaj közötti áramvezetési képességet határozza meg.
- A talaj fajlagos ellenállása (rezisztivitása): A talaj villamos vezetőképessége, amely a talaj típusától, nedvességtartalmától, hőmérsékletétől és ásványi összetételétől függ. Az agyagos vagy nedves talaj alacsonyabb rezisztivitású, míg a homokos vagy száraz talaj magasabb rezisztivitással rendelkezik.

A földelési ellenállás szabványban meghatározott értéke lehetőleg 10 ohm alatti, de az optimális értékek általában 1-2 ohm alatt vannak. Kis földelési ellenállás szükséges ahhoz, hogy hibás működés esetén (pl. zárlat vagy túlfeszültség) az áram hatékonyan elvezetődjön a földbe, ezáltal

biztosítva a személyi és berendezésbiztonságot. Nagy földelési ellenállás esetén a földelés nem tud megfelelően működni, ami veszélyes potenciálkülönbségek kialakulásához vezethet.

#### 7.1.6.3 Földelési ellenállás és szigetelési ellenállás frekvenciafüggése

A frekvencia hatása különösen fontos olyan alkalmazásokban, ahol nagyfrekvenciás áramok lépnek fel, például villámvédelem, rádiófrekvenciás rendszerek vagy más nagyfrekvenciás berendezések esetében. Az alábbiakban részletesen bemutatom, hogyan és miért függhet a két típusú ellenállás a frekvenciától.

#### 7.1.6.4 Szigetelési ellenállás frekvenciafüggése

A szigetelési ellenállás, amely az villamos szigetelőanyagok minőségét méri, frekvenciafüggő tulajdonságokat mutat. A kis frekvenciájú áramok esetén a szigetelés főként ohmos ellenállást fejt ki, ami azt jelenti, hogy a szigetelőanyag nagy mértékben gátolja az áram áthaladását. Azonban ahogy a frekvencia növekszik, a szigetelőanyag kapacitív jellege egyre jelentősebbé válik. A szigetelőanyagok viselkedése nagyfrekvenciás áramok esetén kapacitív összetevőket mutat. A szigetelés valójában egy **kapacitásként** viselkedik, amelynek impedanciája a frekvenciával csökken. Az impedancia ( $Z_C$ ) kapacitív komponensét a következőképpen számítjuk ki:

$$Z_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

**11. Egyenlet:**

ahol,  $f$  a frekvencia

ahol,  $C$  pedig a szigetelőanyag kapacitása.

Ez azt jelenti, hogy nagyobb frekvencián a kapacitív impedancia csökken, és ezáltal a szigetelés látszólagos ellenállása is kisebbé válik. Ezért a szigetelési ellenállás hatásos értéke csökkenhet, különösen kHz vagy MHz tartományban. Emellett a szigetelésben felléphetnek dielektromos veszteségek is, amelyek szintén frekvenciafüggők. A dielektromos veszteségek az anyag polarizációjának következményei, amelyek magasabb frekvencián nagyobb energiaveszteséget okozhatnak, és ezáltal tovább csökkentik a szigetelési ellenállást. Ezért a szigetelési ellenállás nagyobb frekvencián jellemzően kisebb, mint kis frekvencián.

#### 7.1.6.5 Földelési ellenállás frekvenciafüggése

A földelési ellenállás, amely a földelő rendszer és a talaj közötti ellenállást méri, szintén frekvenciafüggő, de más fizikai mechanizmusok miatt. Kis frekvencián (például a szokásos 50–60 Hz-es hálózati frekvencián) a földelési ellenállás elsősorban a talaj rezisztivitásától és az elektróda geometriájától függ. Ebben az esetben az áram eloszlása a talajban viszonylag egyenletes, és az ellenállás értéke az Ohm-törvény alapján számítható ki. Ahogy a frekvencia nő, a földelési ellenállásban jelentős változások lépnek fel a következő tényezők miatt:

- **Szkin hatás:** nagy frekvencián az áram inkább a földelő elektróda felületén és a talaj felső rétegében áramlik, mivel a bőrhatás miatt az áram eloszlása a talajban nem egyenletes. Ez a jelenség csökkenti a földelési rendszer hatékony keresztmetszetét, mivel az áram nem hatol mélyen a talajba. Ennek eredményeként a földelési ellenállás csökkenhet, mivel a felszíni rétegek gyakran jobb vezetőképességgel rendelkeznek.
- **Kapacitív hatások:** nagyobb frekvencián a földelő rendszer és a talaj közötti kapacitív összetevő jelentősebbé válik. A földelési rendszer kapacitása befolyásolja az impedanciát, és a kapacitív impedancia csökkenésével a földelési ellenállás is kisebb lesz. Ez különösen fontos nagyfrekvenciás alkalmazásokban, például villámvédelmi rendszerekben, ahol a villámcsapások során több 100 kHz-es vagy MHz-es frekvenciák is előfordulhatnak.
- **Induktív hatások:** Az induktív hatások a földelési rendszer frekvenciafüggő viselkedésének egyik fontos, bár kevésbé domináns tényezőjét jelentik. Minden vezető, amelyen áram halad át, rendelkezik bizonyos mértékű induktivitással, és ez alól a földelő rendszer sem kivétel. Az induktivitás lényegében az áram változásának hatására létrejövő mágneses tér tárolási képességét jelenti, amely a váltakozó áram ellen ható indukált feszültséget eredményez. Az induktív hatások erőteljesebben jelentkeznek nagy frekvenciákon, mivel az induktív reaktancia függ a frekvenciától.

$$X_L = 2\pi fL$$

#### 12. Egyenlet:

ahol  $f$  a frekvencia

ahol,  $L$  pedig az induktivitás

Ez az összefüggés azt mutatja, hogy az induktív reaktancia lineárisan növekszik a frekvencia növelésével. Ez azt jelenti, hogy nagyobb frekvencián a földelési rendszer induktív viselkedése egyre nagyobb mértékben befolyásolja az összimpedanciát, amelyet a rendszer a talajjal szemben mutat. Az induktív komponens növekedése nagyobb frekvenciákon azt eredményezheti, hogy a földelési rendszer reaktív impedanciája növekszik. Ez kezdetben a földelési ellenállás növekedését idézheti elő. Azonban a földelési rendszerekben nagy frekvencián általában a kapacitív hatások dominálnak, amelyek a teljes impedancia csökkenését okozzák. Ezért az induktív hatások ellenére a földelési rendszer hatékonyabbá válik nagyfrekvenciás áramok elvezetésében, például villámcsapás esetén, ahol a frekvencia elérheti a több száz kHz-es vagy MHz-es tartományt is.

- Talaj villamos tulajdonságainak változása: a talaj dielektromos állandója és vezetőképessége szintén frekvenciafüggő. Nagyobb frekvencián a talaj vezetőképessége nőhet, ami tovább csökkenti a földelési ellenállást.

Elmondható, hogy a szigetelési, mind a földelési ellenállás értéke jelentős mértékben függ a frekvenciától. A szigetelési ellenállás nagyobb frekvencián csökken a kapacitív hatások és a dielektromos veszteségek növekedése miatt. Ezzel szemben a földelési ellenállás nagyobb frekvencián általában kisebb lesz, mivel a bőrhatás és a kapacitív komponensek dominálnak, és a talaj felszíni rétegeiben jobb áramvezetési tulajdonságok alakulnak ki. Ezért mindkét ellenállás frekvenciafüggését figyelembe kell venni olyan rendszerek tervezésekor, amelyek nagyfrekvenciás áramokkal dolgoznak, különösen villámvédelem, rádiófrekvenciás rendszerek vagy nagyfeszültségű hálózatok esetében.

## 8. TOVÁBBI KUTATÁSI CÉLOK

További kutatási célom annak meghatározása, hogy milyen módszerekkel lehet egyértelműen, a közcélú villamos hálózat felől megállapítani, hogy a fogyasztó TT földelő rendszert használ-e. Jelenleg a földelési rendszer típusának azonosítása többnyire a helyszíni vizsgálatokra, dokumentáció elemzésére és mérésekre támaszkodik, azonban ezek gyakran bontási munkákat vagy a hálózat ideiglenes lekapcsolását igénylik. Célom egy olyan megbízható és bontásmentes módszer kidolgozása, amely lehetővé teszi a TT földelési rendszer gyors és pontos azonosítását kizárólag a közcélú hálózat felől végzett mérések és elemzések alapján. A TT és TN rendszerek közötti alapvető különbség a földelési pontok elhelyezkedésében és működésében rejlik. TT rendszer esetén a fogyasztó saját, független földelést alkalmaz, míg TN rendszerben a földelés a szolgáltatói hálózat közös földelési pontján keresztül valósul meg. E különbségek alapján feltételezhető, hogy bizonyos villamos paraméterek, például a PE és N vezetők közötti ellenállás vagy a hibaáram lefolyása eltérően viselkedik a két rendszerben. Az elsődleges kutatási kérdésem tehát az, hogy ezek a különbségek hogyan mérhetők a közcélú hálózat oldaláról, anélkül, hogy a fogyasztói hálózatot fizikailag meg kellene bontani.

**Kutatásom során különös figyelmet fordítanék a következő területekre:**

- Impedancia- és ellenállásmérések: Vizsgálni kívánom, hogy a PE és N vezetők közötti összeköttetés hiányából adódó ellenállásmérés elegendő-e a TT rendszer azonosításához. A TN rendszerben ezek a vezetők általában közvetlen kapcsolatban állnak a szolgáltatói földelési ponton keresztül, míg TT rendszerben nincs ilyen kapcsolat.
- Hibaáram- és zárlati viselkedés elemzése: A TT rendszerben a földelési ellenállás nagyobb, ami kisebb hibaáramot eredményez. Kérdés, hogy a közcélú hálózatban végzett mérések alapján kimutathatók-e ezek az eltérések, például célzott hibaáram-analízis vagy feszültségesés-vizsgálatok segítségével.
- Spektrális analízis és frekvenciafüggő mérések: Mivel a TT és TN rendszerek eltérően reagálhatnak különböző frekvenciájú áramokra, a nagyobb frekvencián végzett mérések

(pl. tranziens áramok elemzése) szintén hasznosak lehetnek a földelési rendszer típusának azonosításában.

- Automatizált diagnosztikai eszközök fejlesztése: Olyan mérőrendszer kidolgozását tervezem, amely automatizált módon képes a közcélú hálózat felől gyűjtött adatok alapján meghatározni a földelési rendszer típusát. Ez magában foglalhatja az intelligens mérőeszközök, szenzorok és adatfeldolgozó algoritmusok alkalmazását.

A kutatás nemcsak a földelési rendszerek pontosabb diagnosztikáját tenné lehetővé, hanem hozzájárulna a villamos hálózatok biztonságosabb üzemeltetéséhez is. Egy megbízható azonosítási módszer segítene csökkenteni a helytelen földelési konfigurációk kockázatát, és megkönnyítené az áramszolgáltatók számára a hálózati hibák gyors lokalizálását és javítását.

## 9. ÖSSZEFOGLALÓ

A villamos hálózatok biztonságos üzemeltetése érdekében elengedhetetlen, hogy a földelési rendszerek megfelelően legyenek kialakítva és egymással kompatibilisek legyenek. A TN rendszer és a TT rendszer közötti alapvető különbség a földelési pontok elhelyezkedésében rejlik. TN rendszerben a fogyasztói oldal nullavezetője (N) és védővezetője (PE) egy közös földelési ponthoz kapcsolódik a szolgáltatói hálózaton keresztül. Ezzel szemben a TT rendszerben a fogyasztó saját, független földelést használ, amely nem kapcsolódik közvetlenül a szolgáltatói földelési ponthoz.

### A TT rendszer jelenléte TN rendszeren belül: Veszélyek és kockázatok

Egy TT rendszer TN rendszerben való alkalmazása súlyos biztonsági kockázatokat jelenthet a fogyasztók számára. A két rendszer eltérő működési elvéből adódóan a hibaáramok kezelése nem megfelelően valósulhat meg. TN rendszerben a zárlati áram gyorsan és hatékonyan a közös földelési ponton keresztül visszatér a forráshoz, ami biztosítja a hibavédelem megfelelő és gyors működését (pl. kismegszakítók kioldása). Ezzel szemben TT rendszer esetén a hibaáram a helyi földelésen keresztül távozik, ami a földelési ellenállás nagyságától függően jelentősen csökkentheti a zárlati áram értékét. Ez a védelmi eszközök működésének teljes elmaradásához vezethet. Egy másik fontos szempont az érintési feszültség. TT rendszerben a helyi földelési ellenállás miatt zárlat esetén a fogyasztói berendezések fém burkolatai potenciálisan nagyobb feszültségre kerülhetnek, mint a földpotenciál, ami áramütés veszélyét jelentheti a felhasználók számára. Ez különösen kritikus lehet, ha a TT rendszer nincs megfelelően karbantartva, vagy ha a földelési ellenállás a megengedett határérték felett van.

### A TT rendszer azonosításának nehézségei a közcélú hálózat felől

A TT rendszer jelenlétének meghatározása a közcélú hálózat felől különösen nehéz. Ennek egyik fő oka, hogy a földelési rendszer típusát a hálózat ezen oldaláról végzett szokványos mérések (például földelési ellenállás mérése) nem tudják egyértelműen kimutatni. Bár a TT rendszerre jellemzően nagyobb földelési ellenállás értékek utalhatnak, ez önmagában nem elegendő, mivel a TN rendszerben is előfordulhat nagy földelési ellenállás rossz talajminőség vagy hibás földelési elektróda esetén. Ezenkívül a PE és N vezetők közötti kapcsolat mérése sem mindig vezet egyértelmű eredményre. TT rendszer esetén ezek a vezetők

a fogyasztói oldalon nincsenek összekötve, míg TN rendszerben igen. Azonban a kapcsolat hiánya nem bizonyítja egyértelműen a TT rendszer jelenlétét, mivel ez lehet egy hibás telepítés vagy karbantartás eredménye is.

**Miért fontos a TT rendszer kizárása a TN hálózaton belül?**

A TN rendszerek tervezésekor és üzemeltetésekor a közös földelési pontot használó földelési konfigurációkra támaszkodnak, mivel ezek biztosítják a hibaáramok gyors és hatékony elvezetését, a megfelelően kis érintési feszültséget, és az eszközök gyors leválasztását hiba esetén. Ha egy TT rendszer kerül a hálózatra, a védelem megbízhatósága csökkenhet, ami élet- és vagyonvédelmi kockázatot jelent. A helytelen földelési konfigurációk gyors azonosítása érdekében szükség lenne olyan fejlett mérési módszerek és diagnosztikai eszközök kidolgozására, amelyek bontás nélkül képesek megkülönböztetni a TT és TN rendszereket. Ez különösen fontos a modern közcélú hálózatoknál, ahol a megnövekedett igénybevétel és a decentralizált energiatermelés új kihívásokat támaszt a földelési rendszerekkel szemben. A jelenlegi módszerek, mint például az ellenállásmérés és az érintési feszültség vizsgálata, nem nyújtanak elegendő bizonyosságot, ezért további kutatások szükségesek a pontosabb azonosításhoz.

## 10. SZAKIRODALOM

- [1] Dr. Norothny Ferenc; (2011). Villamosság Biztonsága. Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. 35-37. Oldal. Elérhető: <https://munkavedelmitovabbkepzes.hu/wp-content/uploads/2020/10/Villbizjegyzet.pdf> Letöltve: 2024.11.04.
- [2] Hermann Zoltán, Horváth László; (2010). Mérések épületek kifesztültségű villamos hálózatán. Metrel d. d.; C+D Automatika Kft., Budapest, 10. Oldal. Elérhető: [https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki\\_anyagok/Villamos\\_Halozatok\\_Tanszek/Kov%E1cs%20K%E1roly/Metrel%20m%E9r%E9si%20tk.pdf](https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki_anyagok/Villamos_Halozatok_Tanszek/Kov%E1cs%20K%E1roly/Metrel%20m%E9r%E9si%20tk.pdf) Letöltve: 2024.11.04.
- [3] Radi Tenev; (2017). POSSIBILITIES FOR INCREASING THE RELIABILITY OF THE INSULATION MONITORING DEVICES. (A SZIGETELÉS FIGYELŐ ESZKÖZÖK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI.) JOURNAL OF MINING AND GEOLOGICAL SCIENCES, Vol. 60, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines. Elérhető: <https://mgu.bg/wp-content/uploads/2021/10/14-Tenev-R-2017.pdf> Letöltve: 2024.11.04.
- [4] Dr. Norothny Ferenc; (2011). Villamosság Biztonsága. Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. 60-65. Oldal. Elérhető: <https://munkavedelmitovabbkepzes.hu/wp-content/uploads/2020/10/Villbizjegyzet.pdf> Letöltve: 2024.11.04.
- [5] Rátai Attila; (2015). MSZ HD 60364-54:2012 - Földelőberendezések és védővezetők II. Villanyszerelők lapja, Épületvillamossági szaklap, 2015/5. Elérhető: <https://www.villanylap.hu/lapszamok/2015/majus/3640-msz-hd-60364-5-54-2021-foldeloberendezesek-es-vedovezetok-ii> Letöltve: 2024.11.06.
- [6] Dr. Norothny Ferenc; (2011). Villamosság Biztonsága. Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. 54-59. Oldal. Elérhető: <https://munkavedelmitovabbkepzes.hu/wp-content/uploads/2020/10/Villbizjegyzet.pdf> Letöltve: 2024.11.06.
- [7] Dr. Norothny Ferenc; (2011). Villamosság Biztonsága. Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. 8-10. Oldal. Elérhető: <https://munkavedelmitovabbkepzes.hu/wp-content/uploads/2020/10/Villbizjegyzet.pdf> Letöltve: 2024.11.06.
- [8] K. Bhatia, P. B. Darji and H. R. Jariwala; (2018). "Safety Analysis of TN-S and TN-C-S Earthing System," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, Italy, 2018, pp. 1-6, Elérhető: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8493856> Letöltve: 2024.11.07.

### 10.1 Felhasznált szabványok

- IEC 60364
- IEC 60364-1
- IEC 60364-4-41
- IEC 60364-5-51
- IEC 60364-5-54
- IEC 61557
- IEC 61557-8
- IEC 61557-9
- IEC 62020
- IEC 60947-2
- IEC 60949
- IEC 60079-0
- MSZ HD 60364
- MSZ 447
- Országos Tűzvédelmi Szabályzat, Elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400054.bm>

## 11. ÁBRAJEGYZÉK

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ábra Testzárlati áramok IT-rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága) .....                                                                              | 7  |
| 2. ábra Kettős földzárlat nullavezető nélküli IT-rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága).....                                                            | 9  |
| 3. ábra Kettős földzárlat nullavezetővel ellátott IT-rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága).....                                                        | 10 |
| 4. ábra TN-S rendszer (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága).....                                                                                                   | 17 |
| 5. ábra TN-C rendszer (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága).....                                                                                                   | 18 |
| 6. ábra Védővezető potenciálemelkedése TN-C rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága).....                                                                 | 20 |
| 7. ábra TN-C-S rendszer (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága).....                                                                                                 | 21 |
| 8. ábra TN-rendszer legnagyobb kikapcsolási idő táblázat (forrás: MSZ HD 60364).....                                                                                              | 22 |
| 9. ábra TN-S rendszerben alkalmazott ÁVK szelektivitásmegvalósítása S típusú áramvédő kapcsolóval (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága).....                       | 25 |
| 10. ábra Védővezető potenciálemelkedése TN-C-S rendszerben (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága).....                                                              | 26 |
| 11. ábra Idegen fémszerkezeten keresztül létrejövő nullázott hálózat védővezetőjének potenciálemelkedése zárlat esetén (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága) ..... | 27 |
| 12. ábra TT-rendszer (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága) .....                                                                                                   | 30 |
| 13. ábra TT-rendszer földzárlata (forrás: Dr. Novothny Ferenc: Villamoság Biztonsága) .....                                                                                       | 31 |
| 14. ábra TT-rendszer legnagyobb kikapcsolási idő táblázat (forrás: MSZ HD 60364).....                                                                                             | 32 |
| 15. ábra Potenciálemelkedés TT-TN rendszerben testzárlat esetén a végtelen távoli földpotenciálhoz képest (0 potenciál).....                                                      | 36 |
| 16. ábra TN-S-rendszerben egy testzárlatos 3 fázisú fogyasztó nullázás helyett védőföldeléssel (TT-rendszerű fogyasztó, nem szabványos!) .....                                    | 38 |
| 17. ábra A hazai lakott lakások építési év szerint, 2011 (forrás: Központi Statisztikai Hivatal (ksh.hu)) .....                                                                   | 41 |