

**HISTORICAL DEVELOPMENT OF
LIGHTNING PROTECTION AND WITHIN
LIGHTNING CURRENT DISTRIBUTION
SIMULATION****VILLÁMVÉDELEM ÉS AZON BELÜL
A VILLÁMÁRAM-ELOSZLÁS
SZIMULÁCIÓ TÖRTÉNETI
FEJLŐDÉSE**SZIJÁRTÓ Gábor¹ – KOVÁCS Károly²**Abstract**

Lightning protection in Hungary began to take a regulated form in the 1930s with the introduction of the first standard, MOSZ 274. Dr. Tibor Horváth played a significant role in advancing lightning protection research and education, resulting in the MSZ 274 standard series, which laid the foundation for national practices. During the 1960s, new perspectives emerged, such as the "rolling sphere" method, which gained worldwide recognition. From the 1990s, the modeling and simulation of lightning current distribution became increasingly important, supported by developments in electro-geometric models and computer simulations. Today, the design of lightning protection systems is governed by the MSZ EN 62305 standard series, which comprehensively addresses the protection of buildings and electrical systems against both physical and overvoltage effects. Simulation tools such as CDEGS and ATP-EMTP enable more accurate modeling of lightning currents, enhancing the safety and efficiency of protective measures. These advances ensure that lightning protection systems remain reliable and meet modern technological demands.

Keywords

lightning protection, lightning current distribution, EN 62305, model, simulation

Absztrakt

A villámvédelem Magyarországon az 1930-as években kezdett szabályozott keretek között működni, amikor meg-született az első szabvány, a MOSZ 274. Dr. Horváth Tibor professzor jelentős szerepet játszott a villámvédelmi kutatások és oktatás fejlesztésében, amelynek eredményeként az MSZ 274 szabványsorozat alapozta meg a hazai gyakorlatot. Az 1960-as években új szemléletet honosítottak meg, például a „gördülő gömb” módszert, amely világ-szerte elismertté vált. Az 1990-as évektől kezdődően a villámáram-eloszlás modellezésének és szimulációjának fontossága előtérbe került, különösen az elektro-geometriai modellek és a számítógépes szimulációk révén. A villámvédelmi rendszerek tervezése mára az MSZ EN 62305 szabványsorozaton alapul, amely részletesen foglalkozik az épületek és elektromos rendszerek fizikai és túlfeszültség elleni védelmével. A szimulációs eszközök, mint például a CDEGS és az ATP-EMTP, lehetővé teszik a villámáram pontosabb modellezését, támogatva a biztonságosabb és hatékonyabb védekezést.

Kulcsszavak

villámvédelem, villámáram-eloszlás, MSZ EN 62305, modell, szimuláció

¹ szijarto.gabor@phd.uni-obuda.hu | ORCID: azonosító 0009-0009-8856-871X | PhD student, Obuda University, Doctoral School on Safety and Security Science | PhD hallgató, Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola

² kovacs.karoly@kvk.uni-obuda.hu | ORCID: azonosító 0009-0006-8180-1919 | university assistant professor, Obuda University, Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering | egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

BEVEZETÉS

A villámvédelem hazai történeti áttekintése során fontos kiemelni, hogy Magyarországon az első villámvédelmi szabályozás az 1930-es években alakult ki, később Dr. Horváth Tibor professzor munkásságának köszönhetően részletesebben ki lett dolgozva, aki a hazai villámvédelmi szakma megalapítója és vezető alakja volt. Az MSZ 274 szabványsorozatot ő fejlesztette ki, amely később az ország villámvédelmi rendszereinek alapját képezte, és jelenleg nem norma szerinti villámvédelem-ként ismert.

Horváth professzor jelentős szerepet játszott a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán, ahol a Nagyfeszültségű Technika Tanszék vezetőjeként formálta a villámvédelem oktatását és kutatását. Tudományos munkájának egyik legfontosabb eredménye a villám becsapási helyét valószínűségi alapon tárgyaló elmélet volt, amely az 1960-as évek elején született meg. Ennek köszönhetően új szemléletet honosított meg, amely a villámvédelmi rendszerek vonzási terét és a villámcsapás fizikai folyamatait helyezte előtérbe, a korábbi, egyszerűbb védett tér megközelítés helyett. [1] Ez az innováció elősegítette a "gördülő gömb" módszer kidolgozását is, amelyet 1962 óta a magyar szabványokban alkalmaznak, és amely a villámvédelmi rendszerek szerkesztésében világszerte elfogadott eljárássá vált.

A VILLÁMVÉDELEM TÖRTÉNETÉNEK ÁTTEKINTÉSE

Kezdetek és korai rendszerek

A villámvédelem hazai szabályozása több évtizedes múltra tekint vissza, amelyet folyamatos átalakulások és fejlesztések jellemeztek, a biztonság növelését és az épületek, valamint az elektromos rendszerek védelmét szolgálva. A magyarországi villámvédelmi szabályozás fejlődése több szakaszra osztható, amely szakaszok a villámáram biztonságos földbe vezetésének kezdeti, egyszerű megoldásaitól a komplexebb védelmi rendszerek kialakításáig terjedtek.

Az első hazai szabvány, a 16 oldalas MOSZ 274, 1937-ben jelent meg, és a villámvédelmi megoldások még elsősorban a közvetlen védelemre összpontosítottak, vagyis a villámáram biztonságos földelésére. Az 1950-es évek szabványai még szintén ezen alapelvre épültek.

A '60-as években új fejlesztések következtek be a villámvédelem terén. A szabványok ekkor már a tetők, épületek és földelő rendszerek biztonságosabb kialakítására helyezték a hangsúlyt. Az MSZ 274 szabványsorozat elődje, amely évtizedeken át, 1937-től kezdve meghatározó alapját képezte a villámvédelmi szabályozásnak Magyarországon, több kiadást és módosítást is megélt, hogy lépést tartson a technológiai fejlődéssel és a villámvédelmi elvárásokkal.

Kezdeti időszakban megjelent szabványok:

- MOSZ 274, 1937. június (Biztonsági irányelvek villámcsapások romboló hatásának elhárítására);
- MNOSZ 274-52, 1953. február 15. (Biztonsági irányelvek villámcsapás káros hatásainak elhárítására)
- MNOSZ 274-52, Kiegészítés (1954)
- MSZ 274-62 1963. július 1. (Villámvédelem)
- MSZ 274-72 1973. július 1. (Villámvédelem)

Kezdetek és korai rendszerek

Az 1981-es módosítások és a gördülő gömbös módszer által bevezetett új védelmi szintek fontos előrelépést jelentettek, amelyek a villámcsapás becsapódásának pontosabb modellezését és hatékonyabb eloszlását tették lehetővé.

Az MSZ 274 szabványsorozat további megjelenései:

- MSZ 274/1-77 1977. október 1. - 2009. február 1. (Villámvédelem, Fogalommeghatározások)
- MSZ 274/2-81 1982. január 1. - 2009. február 1. (Villámvédelem, Épületek és egyéb építmények villámvédelmi csoportosítása)
- MSZ 274/3-81 1982. január 1. - 2009. február 1. (Villámvédelem, A villámhárító berendezés műszaki követelményei)
- MSZ 274/3-81, 1. módosítás (1985)
- MSZ 274/3-81, 2. módosítás (2001)
- MSZ 274/4-77 1978. április 1. - 2009. február 1. (Villámvédelem, Felülvizsgálat)
- MSZ/T 274-5:1994 (Villámvédelem, Az elektromágneses villámimpulzus elleni védelem)

Az idő előrehaladtával a villámcsapások másodlagos hatásai, így a túlfeszültségek elleni védelem is egyre fontosabbá vált. A modern elektronikai eszközök elterjedése ugyanis növelte annak szükségességét, hogy a szabályozás figyelembe vegye a villámcsapás közvetett hatásait is, melyek a berendezéseket károsíthatják.

Az MSZ 274 legutolsó kiadásai már részletesen meghatározták a villámvédelmi rendszer kialakítására és karbantartására vonatkozó követelményeket, beleértve a felfogók, levezetők, földelők és potenciálkiegyenlítési intézkedések részletes előírásait. A magyar szabványok kialakításában jelentős nemzetközi kapcsolatokat is kialakítottak. Horváth Tibor aktív szereplője volt az International Conference on Lightning Protection (ICLP) munkájának, ahol Magyarország több alkalommal is rendezőként vett részt, és amely konferencia-sorozat révén a magyar villámvédelem nemzetközi elismerésnek örvendett. A 2000-es évek elejére az európai uniós csatlakozással és nemzetközi szabványok bevezetésével egyidejűleg, hivatalosan is visszavonták a témával foglalkozó magyar szabványt, így a nemzetközi IEC/EN 62305 váltotta fel az MSZ 274 szabványsorozatot.

Jelenlegi előírások

Az MSZ EN 62305 villámvédelmi szabványsorozat első kiadása 2006-ban látott napvilágot, majd 2011-ben került bevezetésre Magyarországon, az európai szabványokhoz igazodva. E szabványsorozat célja, hogy átfogó védelmet biztosítson az épületek, az elektromos és elektronikus rendszerek számára mind a közvetlen villámcsapások, mind a másodlagos túlfeszültséghatások ellen.

Az MSZ EN 62305 szabványsorozat az európai szabványokkal harmonizálva biztosít átfogó védelmet az épületek, valamint az elektromos és elektronikus rendszerek számára.

Ez a szabványsorozat négy fő részből áll:

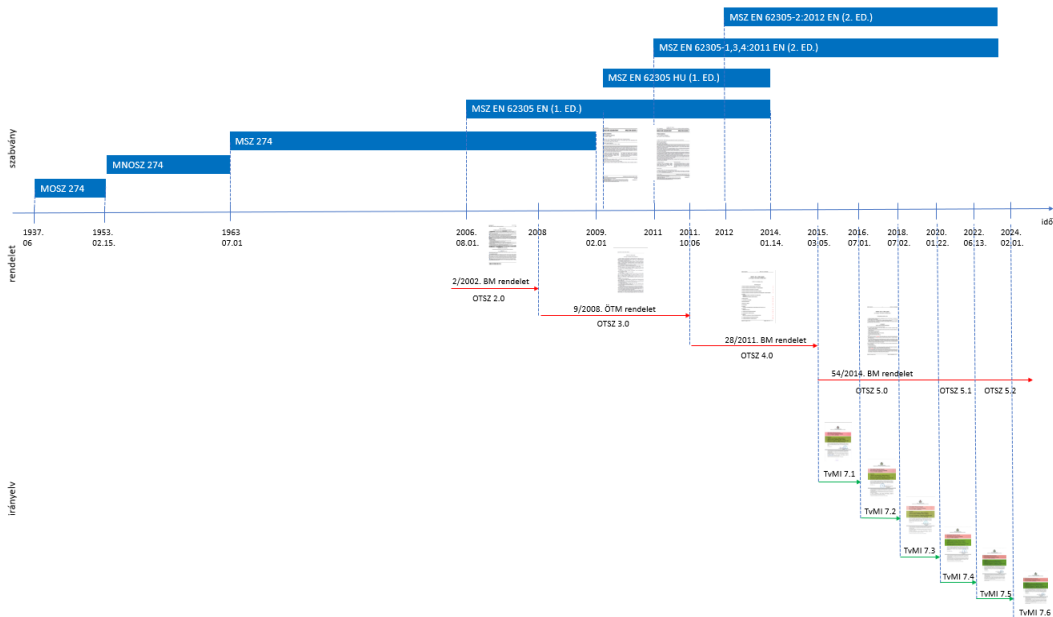
- MSZ EN 62305-1: Általános alapelvek: Ez a rész bemutatja a villámvédelem alapvető fogalmait, a villámcsapás fizikai jellemzőit és a védelem tervezésének általános irányelveit.

- MSZ EN 62305-2: Kockázatkezelés: Ebben a részben a villámcsapás okozta kockázatok felmérésének és értékelésének módszertanát ismertetik, segítve a megfelelő védelmi intézkedések kiválasztását.
- MSZ EN 62305-3: Építmények fizikai károsodása és életveszély: Ez a rész az épületek külső villámvédelmi rendszereinek tervezésére és kivitelezésére vonatkozó követelményeket tartalmazza, beleértve a felfogók, levezetők és földelők kialakítását.
- MSZ EN 62305-4: Villamos és elektronikus rendszerek építményekben: Ez a rész az épületek belső villámvédelmére fókuszál, különös tekintettel az elektromágneses impulzusok elleni védelemre és a túlfeszültség-védelmi intézkedésekre.

Az OTSZ változások időpontját és tartalmát nem mutatjuk be részletesen.

A szabványsorozat alkalmazása mellett a villámvédelemmel kapcsolatos követelményeket először a 2002. január 23-án hatályba lépett az első olyan tűzvédelemmel foglalkozó rendelet, ami a villámvédelmi követelményeket szabályozta. Később Országos Tűzvédelmi Szabályzatként (OTSZ) jelent meg a 9/2008 ÖTM rendelet, majd a 28/2011. BM rendelet, jelenleg pedig az 54/2014. BM rendelet határozza meg a követelményeket villámvédelem vonatkozásában. A hatályos OTSZ meghatározza a villámvédelmi rendszerek tervezésére, kivitelezésére és felülvizsgálatára vonatkozó előírásokat.

A jelenlegi villámvédelmi előírások Magyarországon nemcsak az MSZ EN 62305 szabványsorozaton alapulnak, hanem a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (TvMI) és a Tűzvédelmi Törvény legutóbbi változásai is meghatározzák az alkalmazandó villámvédelmi követelményeket. A jogszabályi, szabványi, irányelvi változásokat az 1. ábra mutatja be.



1. Ábra: Magyarországi jogszabályi, szabványi, irányelvi változások, saját szerkesztés

Emellett a Tűzvédelmi Törvény [1] módosításai is hatással voltak a villámvédelmi előírásokra. A Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (TvMI) létrehozását az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (OKF) irányította azzal a céllal, hogy konkrét, gyakorlati útmutatást adjon az OTSZ-ben meghatározott követelmények alkalmazására. A TvMI előírásai részletes leírásokat és példákat tartalmaznak a villámvédelmi rendszerek tervezéséhez, kivitelezéséhez és felülvizsgálatához. A TvMI a különböző létesítmények rendeltetéséhez, építési anyagaihoz és technológiai adottságaihoz igazítva nyújt specifikus útmutatást, így támogatva a villámvédelmi előírások pontos és szakszerű alkalmazását.

DIN EN 62305-4 1. nemzeti melléklet: villámáram-eloszlás

A DIN EN 62305-4 szabvány 1. nemzeti melléklete kifejezetten a villámáram-eloszlással kapcsolatos követelményeket és útmutatásokat tartalmazza Németországban. Ez a melléklet az általános európai előírásokat egészíti ki, hangsúlyt fektetve a németországi körülmények és sajátosságok figyelembevételére.

A melléklet bemutatja azokat a modelleket, amelyekkel a villámáram eloszlását számítani lehet az épületekben és az azokban található elektromos rendszerekben. Részletes iránymutatást ad arra vonatkozóan, hogyan kell figyelembe venni a villámcsapás különböző eloszlási áramutait. A melléklet olyan gyakorlati példákat és esettanulmányokat tartalmaz, amelyek bemutatják, hogyan kell a villámáram-eloszlási modelleket alkalmazni a különböző típusú épületekben és ipari létesítményekben.

EN 62305 3. kiadás

Az EN 62305 szabványsorozat harmadik kiadásában tovább finomították a villámáram-eloszlásra vonatkozó irányelveket, különös tekintettel a villámvédelmi rendszerek tervezésére és a túlfeszültség-védelmi eszközök kiválasztására. A cél a villámáram útjának pontosabb modellezése és a védelmi intézkedések hatékonyságának növelése.

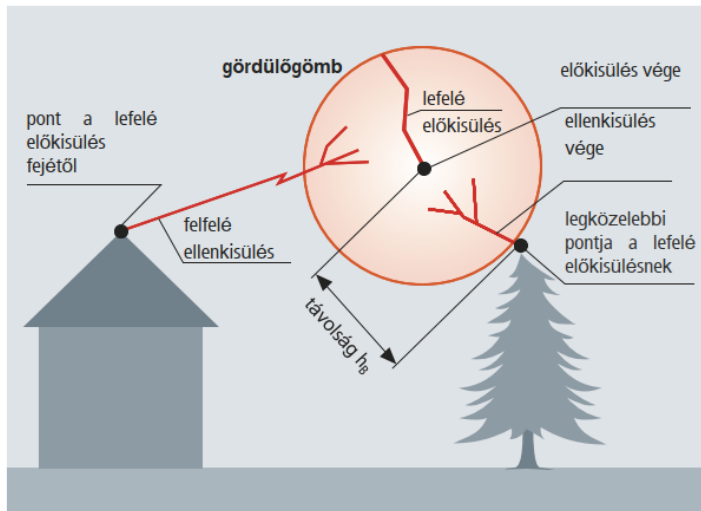
A villámáram-eloszlás pontosabb meghatározása lehetővé teszi a villámvédelmi rendszerek optimalizálását, csökkentve a villámcsapás okozta károk kockázatát. A szabvány frissítései várhatóan figyelembe veszik a legújabb kutatási eredményeket és a gyakorlati tapasztalatokat, biztosítva a villámvédelmi rendszerek megbízhatóságát és hatékonyságát.

VILLÁMÁRAM-ELOSZLÁS SZIMULÁCIÓ NEMZETKÖZI FEJLŐDÉSE

A villámáram-eloszlás szimuláció nemzetközi fejlődése jelentős mérföldkő a villámvédelmi rendszerek kialakításában és fejlesztésében. Az elmúlt évtizedek során számos kutatás és technológiai újítás látott napvilágot világszerte, amelyek célja a villámcsapások által okozott károk minimalizálása és a védelem hatékonyságának növelése. A villámáram útjának pontos meghatározása, valamint annak biztonságos elvezetése az épületek és elektromos rendszerek védelmének alapvető elemeivé váltak. Ebben a fejezetben áttekintjük a villámáram-eloszlás fejlődésének nemzetközi trendjeit, bemutatjuk a különböző módszereket, amelyek az idők során kialakultak.

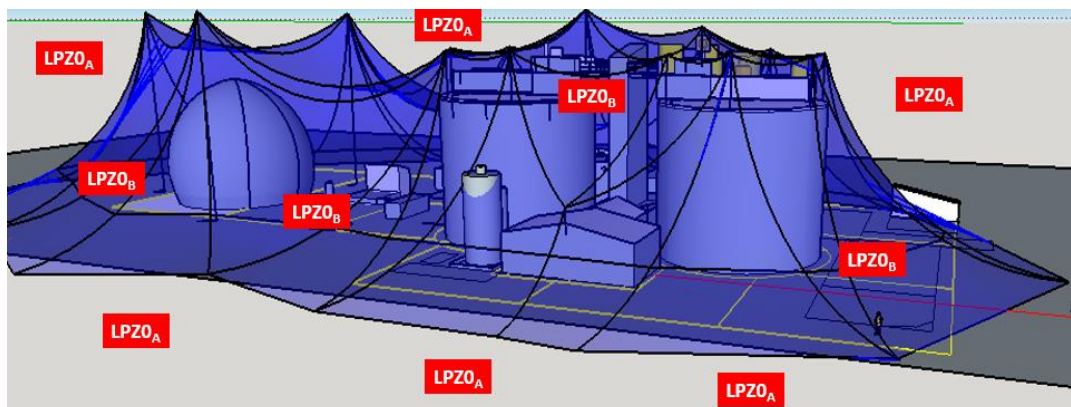
Elektro-geometriai modell

Az elektro-geometriai modellek (Electro-Geometric Models, EGM) és a villám-áram-eloszlás közötti összefüggés alapvető fontosságú a villámvédelmi rendszerek tervezésében. Az EGM célja, hogy építmény esetében a villám lehetséges becsapási pontjait meghatározza.



2. Ábra: Villámcsapás kialakulásának folyamata, [3]

Figyelembe kell venni a gördülőgömb-módszerrel történő villámvédelmi szerkesztést. Ennek eredményeképpen csak azokba a pontokba injektálunk villámáramot, ahol ténylegesen lehetséges becsapási talppont a villámvédelmi szerkesztés alapján. A 3. ábrán gördülőgömb-módszerrel szerkesztett védett tér bemutatás látható, ahol a gömbfelület alatt elhelyezkedő terek védettnek minősülnek, mivel ezekbe a villám a modell alapján nem képes becsapni.



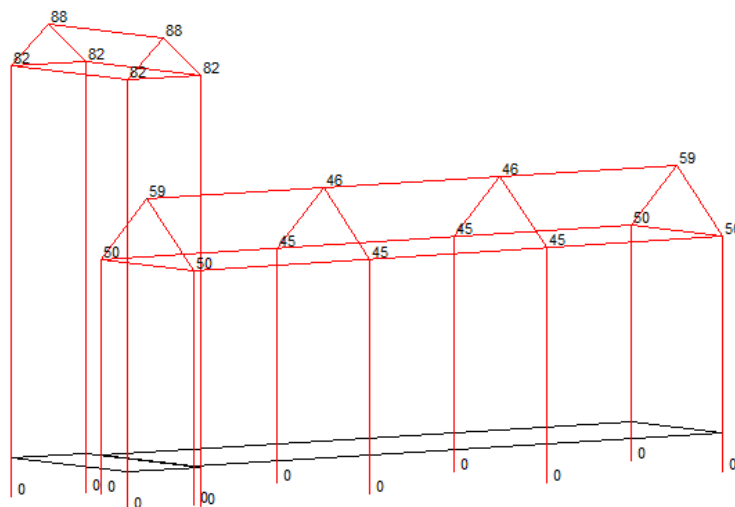
3. Ábra: Villámcsapás kialakulásának folyamata, saját szerkesztés

Az LPZ (Lightning Protection Zone – villámvédelmi zóna) jelölések az ábrán az MSZ EN 62305 szabvány szerint arra szolgálnak, hogy különböző területeket villámvédelmi

szempontból kategorizáljunk. Az LPZ 0_A és LPZ 0_B zónák a külső környezetre, a közvetlen villámcsapás veszélyének kitett területekre vonatkoznak. LPZ 0_A a közvetlen villámcsapásnak kitett tér, míg az LPZ 0_B közvetlen villámcsapástól védett tér. Mindkét esetben a villámcsapás elektromágneses tér hatása érvényesül.

Ezt követően a villámáramot minden lehetséges becsapási pontra beinjektáljuk, majd elemezzük annak eloszlását a külső villámvédelmi rendszer elemeiben, valamint – ha van kapcsolat – a belső rendszerekben is.

A 4. ábrán egy épület villámvédelmi rendszerének vázlata látható. Az épületen látható vezetők egy villámvédelmi rendszer részét képezik, amelyek felfogják a villámcsapásokat, és biztonságosan levezetik az áramot a földbe. A vörös vonalak jelölik a felfogó- és levezető rendszert, figyelembe véve az épület kritikus pontjait, például a tető és a sarkok. Az épület tetején és kiemelt pontjain elhelyezett vezetők, amelyek a villámcsapást hivatottak felfogni. Függőleges vezetők, amelyek a felfogott villámáramot biztonságosan levezetik az épület körüli földelőrendszerbe.



4. Ábra: Épület villámvédelmi hálózatos rendszerének elektrotechnikai modellje, saját szerkesztés

Az EGM konkrétan arra a kérdésre ad választ, hogy a villámáram hogyan oszlik el az épületek és egyéb szerkezetek különböző pontjai között.

Kockázatelemzés és számítógépes szimulációk

A valószínűségi modellek és digitális szimulációk alkalmazása lehetővé tette a villámáram eloszlásának pontosabb meghatározását.

A villámvédelmi kockázatelemzés egy olyan folyamat, amelynek célja, hogy felmérje a villámcsapásból eredő lehetséges kockázatokat egy adott épületben vagy létesítményben, és meghatározza a szükséges védelmi intézkedéseket. Ez az elemzés különösen fontos, mivel a villámcsapások súlyos károkat okozhatnak, beleértve az anyagi veszteséget, a személyi sérüléseket, valamint az elektromos és elektronikai rendszerek meghibásodását.

Magyarországon az MSZ EN 62305 szabványsorozat szabályozza a villámvédelmi rendszerek tervezésének és kivitelezésének részleteit, amely nemzetközi normákon alapul.

Ezen belül a MSZ EN 62305-2:2012 rész foglalkozik kifejezetten a villámvédelmi kockázatelemzéssel. Ez a szabvány előírja a kockázatelemzés végrehajtását, amely során az épület, a benne található eszközök és a környezet figyelembevételével kell megállapítani a szükséges védelem szintjét.

A villámvédelmi kockázatelemzésben fontos szerepet játszik a villámáram-eloszlás szimulációban, mivel a kockázatelemzés során határozzák meg, hogy milyen LPL (Lightning Protection Level: villámvédelmi szint) szintű potenciálkiegyenlítés szükséges.

Az EGM modellezés eredményét használva szimuláció segítségével vizsgálható a villámáram lehetséges utjai, és meghatározhatók azok a pontok, ahol a legnagyobb a villám-részáram értéke.

A villámáram-eloszlás szimulációval meghatározható, hogy miképpen érdemes kialakítani a külső villámvédelmi rendszert (pl. levezetők száma, földelőrendszer elrendezése, stb.), mekkora villámáram-levezetőképességgel rendelkezzenek a túlfeszültség-védelmi eszközök (surge protective device, röviden: SPD). A szimuláció eredményei alapján konkrét intézkedéseket lehet tervezni a villámvédelmi rendszer hatékonyságának növelésére és a kockázatok minimalizálására.

Számos szoftver létezik, amelyekkel villámáram-eloszlás szimulációt lehet készíteni. Ezek a programok általában olyan speciális funkciókkal rendelkeznek, amelyek lehetővé teszik a villámvédelmi rendszerek tervezését, az árameloszlás és a potenciálkülönbségek szimulációját.

CDEGS (Current Distribution, Electromagnetic Fields, Grounding and Soil Structure Analysis)

A CDEGS egy átfogó szimulációs szoftver, amelyet földelési és villámvédelmi rendszerek tervezésére használnak. Képes modellezni a villámáram eloszlását és annak hatásait az épületek és a földelőrendszerek különböző pontjain. Használható többféle építmény esetén, mint például lakóépületek, ipari létesítmények és alállomások.

A szoftver különösen jól alkalmazható villámáram-eloszlási szimulációra, mivel képes figyelembe venni a fajlagos talajellenállásokat, a különböző anyagokat, valamint a villám által keltett elektromágneses mezőket. Nagyon pontos eredményeket nyújt komplex földelőrendszerek és villámvédelmi elrendezések esetén. Nagyobb ipari projektekhez ideális.

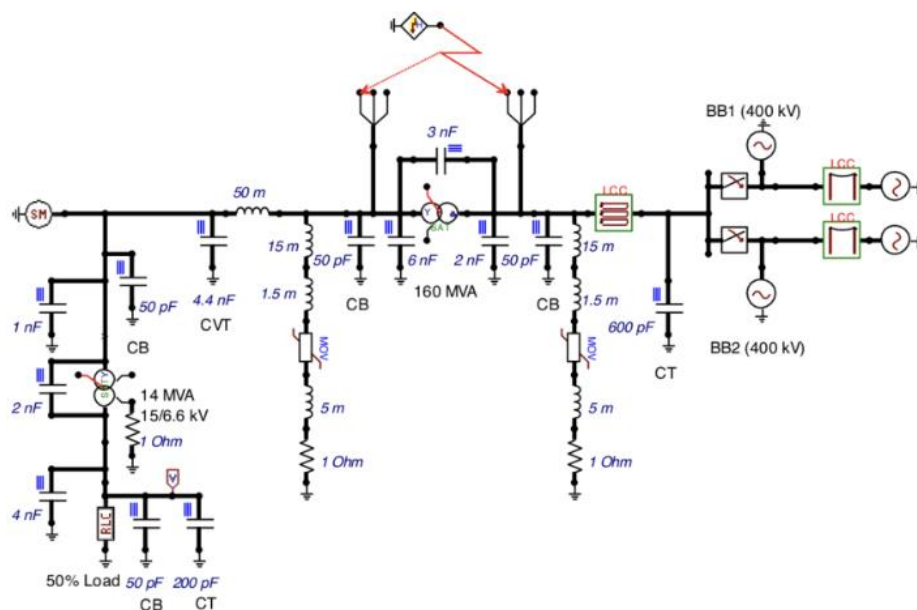
ATP-EMTP (Alternative Transients Program - Electromagnetic Transients Program)

Az ATP-EMTP egy széles körben használt szoftver elektromágneses tranziens jelenségek szimulációjára, amely lehetővé teszi a villámáram által keltett túlfeszültségek és árameloszlás elemzését. Az energiaátviteli és elosztóhálózatok analízisére is használják, beleértve a villámcsapás okozta tranziens jelenségeket. Képes a villámáram-eloszlást modellezni különféle hálózati elemekben, így például kábelekből, transzformátorokban és alállomásokban.

Az 5. ábrán egy nagyfeszültségű alállomás szimulációs modellje látható. A modell részletesen bemutatja az alállomás különböző komponenseit, a villamos kapcsolódási pontokat, valamint a túlfeszültség-védelmeket. Főbb elemek:

- SH: villamos hálózatot szimbolizáló feszültségforrás
- BB: gyűjtősín csatlakozások, feszültségforrások

- CB (Circuit Breaker): Különböző helyeken található megszakítók, amelyek az áramkör megszakítására szolgálnak.
- CT (Current Transformer): Áramváltók, amelyek a mért áram nagyságának megfelelő arányos értéket biztosítanak a mérési rendszer számára.
- CVT (Capacitive Voltage Transformer): Kapacitív feszültségváltó, amely a nagyfeszültségű rendszerek feszültségmérésére szolgál.
- LCC: szűrő vagy kapcsolóeszköz (főként közepfeszültségű rendszerekben használják), amely a villámáramokat kezeli.
- 50% Load: Az áramkör egyik pontján található 50%-os terhelés, amely szimulálja a rendszerben jelenlévő fogyasztói terhelést.
- 160 MVA és 14 MVA transzformátorok: Két különböző kapacitású transzformátor, amelyek a feszültségszintek átalakításáért felelősek.

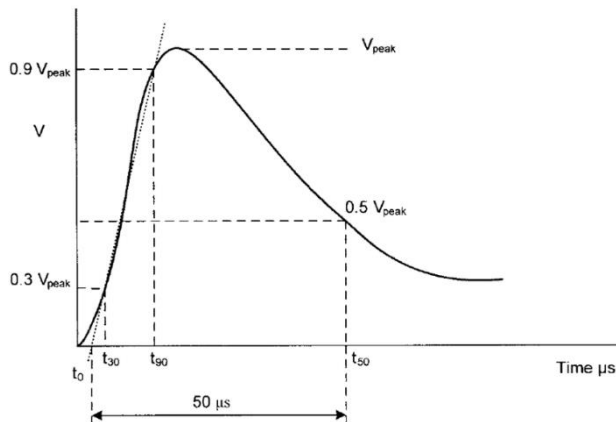


5. Ábra: Nagyfeszültségű alállomás modellje villámáram és túlfeszültség-védelmi elemekkel [4]

Az ábrán különböző kapacitív és induktív elemek is találhatók (pl. 50 pF, 1 Ω), amelyek a szimuláció során a valós hálózat viselkedésének modellezésére szolgálnak.

A 6. ábrán egy Heidler-féle villámáram hullámalak látható, amelyet az ATP-EMTP szoftverrel szimuláltak. Az ábra a villámáram időbeli változását mutatja be, amely a csúcspontján éri el a maximális értéket (V_{peak}). Az ábra jelölései a következők:

- t_0 : Az áram indulási pontja az időtengelyen.
- t_{30} és t_{90} : A csúcspont elérésének jellemző időpontjai, ahol az áram a csúcspont 30%-át (t_{30}) és 90%-át (t_{90}) éri el.
- t_{50} : Az időpont, amikor az áram visszaesik a csúcérték 50%-ára, ami a hullámlecsengési idő jellemzésére szolgál.
- 50 μ s időtartam: A teljes áramimpulzus időtartama, amely az emelkedés és csökkenés fázisát is magába foglalja.



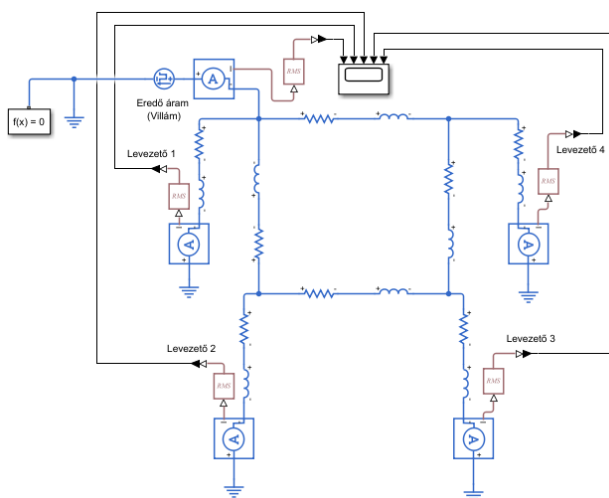
6. Ábra: Heidler-féle villámáram hullámalak ATP-EMTP szimulációval [4]

XGSLab (eXGND and SLO Grounding System Laboratory)

Az XGSLab egy speciális szoftver, amelyet villámvédelmi rendszerek elemzésére is terveztek. A program különböző modulokból áll, amelyek lehetővé teszik az elektromágneses mezők, árameloszlások és potenciálkülönbségek szimulációját. Magas szintű pontossággal képes szimulálni a villámáram-eloszlást, figyelembe véve a talajrétegeket, a fajlagos talajellenállásokat és a hálózati elemeket. Könnyen kezelhető felhasználói felület, és képes különböző nemzetközi szabványoknak megfelelően modellezni.

MATLAB és Simulink

A MATLAB és a Simulink alkalmazható villámvédelmi rendszerek (LPS: lightning protection system) modellezésére és elemzésére. A 7. ábrán bemutatott modell minden egyes vezetőszakaszt ellenállás, induktivitás (ha szükséges kapacitás) paraméterekkel lehet jellemezni, figyelembe véve a vezetők anyagát és méreteit. A modell egyik pontjára 10/350 μs hullámalakú, tetszőleges csúcsertékkű villámáram-impulzust lehet injektálni egy oszcilloszkóp segítségével.



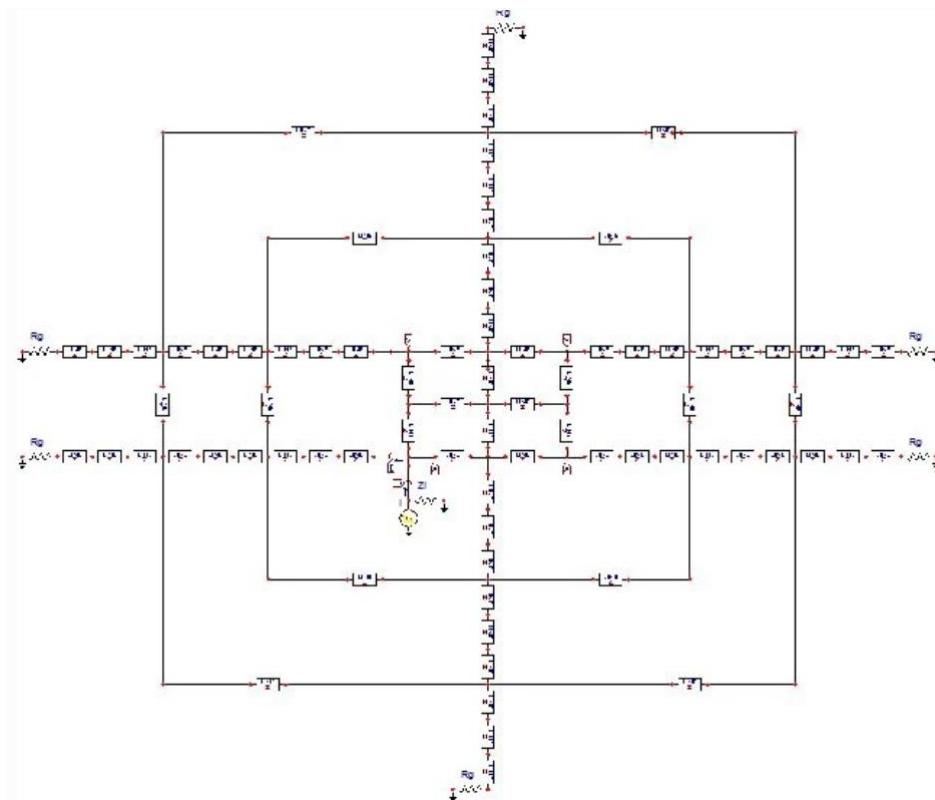
7. Ábra: Modell villámáram-eloszlás szimulációhoz MATLAB Simulink programmal, saját szerkesztés

Ezek a programok lehetővé teszik a villámáram-eloszlás pontos szimulációját különböző villámvédelmi rendszerekben, ezáltal segítve a tervezőket a hatékony és biztonságos villámvédelmi megoldások kialakításában.

Nemzetközi példák villámáram-eloszlás szimulációra

Három nemzetközi példa a villámvédelmi rendszerek szimulációjára, amelyek különböző megközelítéseket alkalmaznak – többek között a MATLAB/Simulink, az ATP/EMTP és egyéb numerikus modellezési eszközök segítségével

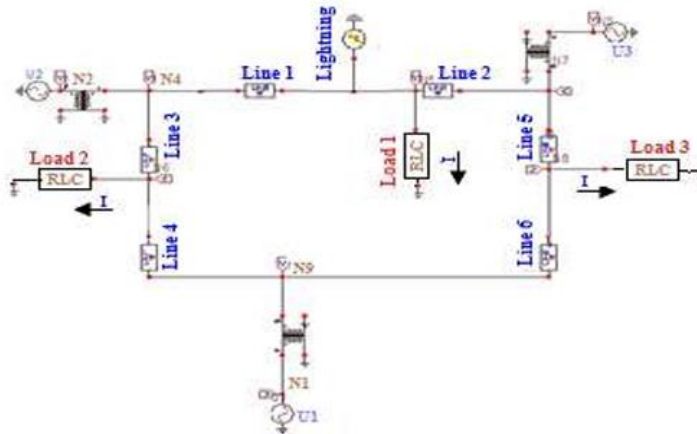
Az 1. esetben [5] egy többszintes épületre fejlesztettek ki a 8. ábrán látható villámvédelmi modellt ATP/EMTP környezetben.



8. Ábra: Többszintes épület villámvédelmi rendszerének ATPDraw szimulációs modelljei
A jelű becsapási pontra [5]

A szimuláció célja az volt, hogy bemutassa a villámáram útját és eloszlását az épület különböző fémesei és levezetőin keresztül. A modell figyelembe veszi a földelés és a levezetők paramétereit is. A szimulációk rámutattak arra, hogy a földelési rendszer geometriai kialakítása jelentős hatással vannak az árameloszlásra és a feszültségemelkedésre.

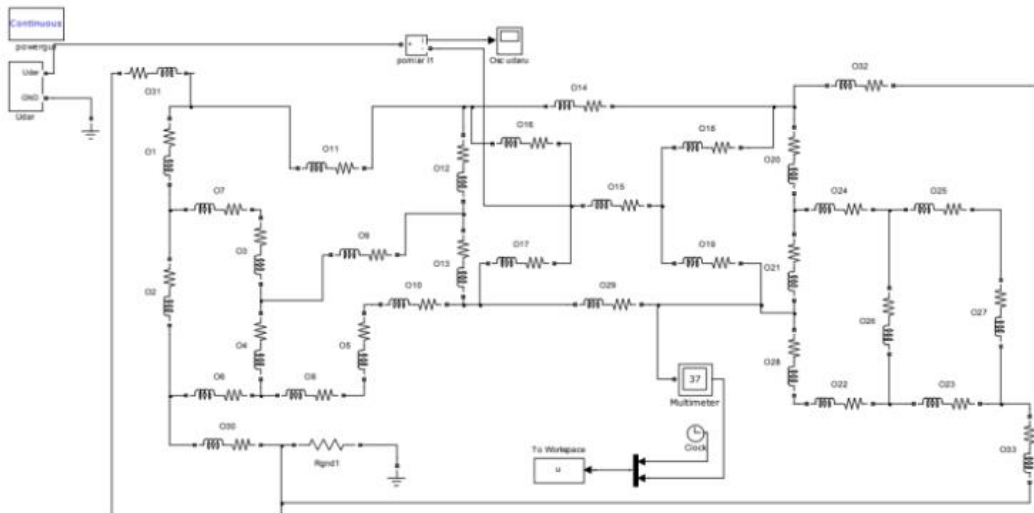
A 2. kutatás [6] két különböző platform – MATLAB/Simulink és ATP/EMTP – összehasonlítására fókuszál a villámcsapások hatásainak vizsgálata során. A 9. ábrán látható modell egy tipikus elektromos hálózatot szimulál, ahol különféle villámáram-hullámformák kerülnek beinjektálásra, és ezek hatását analizálják különböző rendszerkomponensekre (transzformátorokra, vezetékhálózatra, földelőrendszerekre).



9. Ábra: Villámcsapás szimulációja az 5-ös csomóponton ATP-vel [6]

A MATLAB előnye a könnyebb modellparaméterezés és a gyors vizualizáció, míg az ATP/EMTP nagyobb részletességet kínál a tranziens jelenségek leírásában. Az összehasonlításból kiderül, hogy mindkét eszköz kiegészíti egymást a precíz és hatékony modellezés érdekében.

A 3. esettanulmányban [7] a szerző egy épület villámvédelmi rendszerének a 10. ábrán látható áramköri modelljét alakította ki MATLAB, Simulink környezetben.



10. Ábra: Villámvédelmi rendszer szimulációs modellje [7]

A szimuláció célja az volt, hogy feltárja az egyes levezetőkön áthaladó áramok időbeli változását, és ezek kapcsolatát az eredő villámárammal. Az egyes vezetőszakaszokat az azok hosszával arányos impedanciák jellemzik (ellenállás és induktivitás). Az eredményekből következtetni lehet arra, mely szakaszoknál lehet kontrollálatlan átütés kockázata, és ezáltal hol szükséges árnyékolás vagy szerkezeti átalakítás a megfelelő védelem kialakításához.

VILLÁMÁRAM-ELOSZLÁS NEMZETI FEJLŐDÉSE

Magyarországon a villámáram-eloszlás figyelembevételét az MSZ EN 62305 szabványsorozat, különösen annak negyedik részének (MSZ EN 62305-4) előírásai szabályozzák. Jelenleg nincs olyan előírás, ami kötelezővé tenné villámáram-eloszlás szimuláció készítését.

Hazai publikációk

Az Elektroinstallateur folyóirat 2013 és 2014 során több részes cikksorozatot [8][9][10][11][12][13][14] publikált a villámáram-levezető rendszerek tervezési és beépítési szabályairól, amelyben részletesen foglalkoztak a villámáram-eloszlással is. Ez a cikksorozat különféle szempontokat tárgyalt, például a villámáram levezetési útvonalait, a túlfeszültség-védelmi készülékek kiválasztásának kritériumait, valamint a villámvédelem telepítésének gyakorlati kérdéseit. A sorozat célja az volt, hogy segítse a villamosipari szakembereket a szabványoknak megfelelő villámvédelmi rendszerek kialakításában és telepítésében.

A cikksorozatot a villámáram-eloszlás alapos vizsgálatára alapozták, amelyhez főként németországi és osztrák szabványok, kutatási eredmények és számítógépes szimulációk szolgáltatták az alapot. A cikksorozatban a villámáram-eloszlás elméleti és gyakorlati kérdéseit mutatták be, a cél az volt, hogy részletes útmutatást nyújtsanak a magyar villamos tervezőknek, különös tekintettel az MSZ EN 62305 és DIN EN 62305 szabványokra.

Az egyik legfőbb referencia a DIN EN 62305-4 szabvány 1. nemzeti melléklete volt, amely a német villámáram-eloszlás tervezési gyakorlatát tükrözi. Ezt a mellékletet 2012-ben frissítették, és különböző villámáram-szimulációk alapján részletes iránymutatásokat nyújt a villámvédelmi rendszerek és a túlfeszültség-védelem koordinált kialakítására, figyelembe véve az épületek földelő rendszereit és a villámáram eloszlásának modelljeit.

A cikksorozatban bemutattak olyan számítógépes szimulációkat is, amelyek az S1 (épületbe csapódó villám) és az S3 (vezetékeket érő villámcsapás) típusú kárforrásokat vizsgálják. A szimulációk az elektromos rendszerek különböző részeire vonatkozó árameloszlást modellezik, és figyelembe veszik a vezetékek impedanciáját, a földelőrendszerek ellenállását és a túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD-k) szükséges beépítési helyeit.

A cikksorozat említést tesz az osztrák ALDIS villámkutató állomás vizsgálatairól, amelyek különösen a tartós villámkisülések esetében szolgáltattak hasznos adatokat. Ezek a kutatások rávilágítottak arra, hogy a téli zivatarok során keletkező hosszabb kisülések jelentős villámáramot generálnak, amelyeket a helyi szabványok alapján kiértékelve be lehet építeni a villámáram-eloszlási modellekbe.

A német szakirodalom több mintapéldát dolgozott ki az épületek és csatlakozó vezetékek villámáram-eloszlására, beleértve az 50-50%-os eloszlási alapfeltevést. Ez a megközelítés az egyes villámvédelmi szintekhez (LPL) kötődően különböző paraméterekkel számol, amelyek segítenek a tervezőknek a valósághoz közelebb álló eloszlási modellek kialakításában.

A cikksorozat célja, hogy részletes és gyakorlatias útmutatót nyújtson a magyar villámvédelmi rendszerek tervezéséhez, különös tekintettel a külföldi szabványokban megjelenő modellek és szimulációk alkalmazására. Az így szerzett tudás lehetővé teszi a hatékonyabb és biztonságosabb villámvédelmi megoldások kidolgozását a hazai villamosipari gyakorlatban.

Hazai konferencia előadás

Az Infoshow konferencián a villámáram-eloszlás témájában tartott előadás a villámáram eloszlásának vizsgálatára és az ennek alapján alkalmazandó túlfeszültség-védelmi megoldásokra fókuszált. Az előadást [15] Dr. Kovács Károly, a DEHN HUNGARY Kft. ügyvezetője tartotta, és bemutatta a túlfeszültség-védelem tervezési alapjait különböző épülettípusokra, például lakó-, iroda- és ipari épületekre. A fő cél az volt, hogy segítséget nyújtson a résztvevőknek a túlfeszültség-védelmi készülék kiválasztásában és telepítésében.

Az előadásban a különböző villám-lökőáramok hullámalakjait mutatták be ($10/350 \mu\text{s}$, $8/20 \mu\text{s}$) és ezek összehasonlítását végezték el, mivel ezek az adatok alapvetően meghatározzák a megfelelő túlfeszültség-védelmi eszközök kiválasztását.

A villámcsapások különböző típusaiból eredő károk (pl. S1, S2, S3 kárforrás) szimulációját mutatták be. A bemutatott modellek szerint a kárforrások meghatározzák, hogy melyik villámvédelmi és túlfeszültség-védelmi intézkedések szükségesek az adott helyzetben, például a főelosztó és a csatlakozóvezetékek védelme érdekében.

Az előadásban különösen hangsúlyozták a villámáram levezetésének feltételezett eloszlását. Az MSZ EN 62305 szabvány alapján bemutatták az „50-50%” szabályt, amely a villámáram egyenletes elosztására szolgál, ám az előadás figyelmeztetett arra, hogy gyakran ettől eltérő eloszlási arányokat kell alkalmazni.

Az ipari és lakóépületek esetén bemutatták a megfelelő SPD (Surge Protection Device) típusokat és azok telepítési helyeit. Külön kiválasztási segédleteket is bemutattak a résztvevők számára, amelyek segítik a túlfeszültség-védelmi rendszerek optimális tervezését.

Az előadás során számítógépes szimulációk eredményeit is bemutatták, amelyek a villámáram időbeli eloszlását és a potenciálkülönbségek alakulását vizsgálták az épületek különböző pontjain.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Magyar Mérnöki Kamara Kiadványsorozata, Elektrotechnikai és Épületvillamossági Tagozat: A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére, FAP-2020/103-ELT, Budapest, Hungary, 2020.
- [2] 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról. Magyar Közlöny, Budapest, Hungary, 1996. [Online]. Available: <https://njt.hu/jogszabaly/1996-31-00-00>
- [3] DEHN + SÖHNE GmbH + Co. KG, Lightning Protection Guide, 3rd updated ed. Neumarkt, Germany: DEHN + SÖHNE, 2014. <https://www.dehn-international.com/sites/default/files/media/files/lpg-2015-e-complete.pdf>
- [4] EMTP
- [5] S. M. Saleem and A. R. H. Hussein, “ATP-EMTP simulation of lightning protection system for multi-storey building,” J. Electr. Autom. Syst., vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2024. [Online]. Available: <https://unec-jeas.com/articles/volume-4-no-1-2024/atp-emtp-simulation-of-lightning-protection-system-for-multi-storey-building>
- [6] M. H. Jassim and M. H. Naji, “Simulation and analysis of lightning strikes in electrical systems by MATLAB/Simulink and ATP/EMTP,” *Adv. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 56–

- 66, 2023. [Online]. Available: <https://advancedengineeringsscience.com/article/pdf/2023/02-398.pdf>
- [7] B. Gradzki, "Analysis of lightning current distribution in the lightning protection system (LPS) with using numerical simulations," *Power Quality Blog*, Sep. 29, 2022. [Online]. Available: <https://powerquality.blog/2022/09/29/analysis-of-lightning-current-distribution-in-the-lightning-protection-system-lps-with-using-numerical-simulations/>
- [8] Elektroinstallateur. (2013). Villámáram-levezetők tervezési és beépítési szabályai – Kivitelezési szabályok (I). Elektroinstallateur, XXI. évf., 4. sz., 28-33.
- [9] Elektroinstallateur. (2013). Villámáram-levezetők tervezési és beépítési szabályai – Kivitelezési szabályok (II). Elektroinstallateur, XXI. évf., 5. sz., 30-34.
- [10] Elektroinstallateur. (2013). Villámáram-levezetők tervezési és beépítési szabályai – Kivitelezési szabályok (III-IV). Elektroinstallateur, XXI. évf., 6-7. sz., 32-38.
- [11] Elektroinstallateur. (2013). Villámáram-levezetők tervezési és beépítési szabályai – Kivitelezési szabályok (V). Elektroinstallateur, XXI. évf., 8-9. sz., 35-40.
- [12] Elektroinstallateur. (2013). Villámáram-levezetők tervezési és beépítési szabályai – Kivitelezési szabályok (VI). Elektroinstallateur, XXI. évf., 10. sz., 30-34.
- [13] Elektroinstallateur. (2014). Villámáram-levezetők tervezési és beépítési szabályai – Kivitelezési szabályok (VII). Elektroinstallateur, XXII. évf., 1-2. sz., 28-33.
- [14] Elektroinstallateur. (2014). Villámáram-levezetők tervezési és beépítési szabályai – Kivitelezési szabályok (VIII). Elektroinstallateur, XXII. évf., 3. sz., 32-36.
- [15] Dr. Kovács Károly (2023). Villámáram-eloszlás és túlfeszültség-védelem ipari létesítményekben. In: InfoShow Konferencia, Budapest, 2023. április 15-16., DEHN HUNGARY Kft., 45-52.