



**M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamos Energetika Tanszék  
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

## **TÉZISFÜZET**

**Gulyás Attila**

# **Megelőző intézkedések használata a villámvédelemben**

című Ph.D. értekezés téziseinek összefoglalása

Konzulensek:

Prof. D.Sc. Dr. Habil Berta István egyetemi tanár

Budapest, 2011



## **Bevezető**

A villámcsapás az elektrosztatikai jelenségek egyik csoportjába, a légköri elektrosztatika jelenségkörébe tartozik. A villámcsapás során kiegyenlítő töltésmennyiség nagyságának és nagy kiegyenlítő sebességének köszönhetően a jelenség több tekintetben is komoly veszélyforrás. Elsődleges hatásként hőhatások, dinamikus erőhatások, illetve az elektromágneses tér hirtelen megváltozásának köszönhető másodlagos hatások egyaránt létrejönnek.

Mindezen veszélyforrások ellen a gyakorlatban számos módszerrel védekeznek. A legegyszerűbb – és egyben legrégebb – védekezési módszer a villámvédelmi felfogó-levezető-földelő rendszerek használata. Ez a módszer több évszázados múltra tekint vissza és az utóbbi időben komoly fejlődésen ment keresztül. Felmerültek a felfogók hatékonyságát célzó alternatív megoldások is (pl. a kisüléssel ellentétes polaritású töltésekkel való feltöltés a nagyobb térerősség – és korábban meginduló ellenkisülés – létrehozásáért), azonban ezek tudományos megalapozottsága hiányos, illetve néhány bekövetkezett káresemény az ilyen felfogók hatékonyságát nagymértékben megkérdőjelezi. A külső védelmi eszközök fejlesztése mellett azonban kiemelten fontos az épületekben található érzékeny eszközök védelmének fejlesztése is.

A különböző elektronikus eszközök nagy léptekben történő fejlődésének köszönhetően egyre több olyan eszköz található a háztartásokban, amelyek a villámcsapás másodlagos hatásainak köszönhetően veszélynek van kitéve. Az érzékeny eszközök védelmére többlépcsős védelmek alkalmazhatóak, ezek telepíthetők az épületek villamossági tervezése során, vagy akár az érzékeny eszközöknél egyedi védelemként.

Az emberi élet védelme azonban különleges feladat, hiszen az emberhez nem „csatlakoztatható” egyetlen védelmi eszköz sem praktikusán megvalósítható módon. Emellett zivatarok közben nem feltétlenül tartózkodunk olyan helyen, amely nincs veszélynek kitéve. Azok az épületek, amelyek el vannak látva a megfelelő védelmi eszközökkel biztonságos helynek tekinthetők az

ember számára, azonban nem minden esetben tartózkodik az ember ilyen épület közelében.

A villámveszély előrejelzésére természetesen van lehetőség. A villámokat már a 20. század eleje óta figyelik meg különböző, az elektromágneses tér változását rögzíteni képes eszközök segítségével. Kezdetekben a megfigyelés csupán a villámcsapás létrejöttének jelzését jelentette, azonban a számítástechnika és az antennák alkalmazásának fejlődésével ma már lehetséges a villámcsapás előkiszülésének pontosabb megfigyelése, helyének meghatározása. Így a mai technikák segítségével meghatározható az aktív zivatarcellák pontos mérete, haladási iránya és sebessége.

A villámcsapás esetén ma a villámfigyelő rendszerek megkülönböztetik a lecsapó (felhő-föld) villámokat, és a nem lecsapó (felhőközi, felhőn belüli kiszülések) villámokat, illetve képesek mérni a kiszülés csúcásáramát és egyéb paramétereit (pontos időfüggvény, polaritás stb.) is. A villám paramétereinek közvetett (sugárzott terek segítségével történő) mérésével kapcsolatban felmerülnek bizonyos kételyek, azonban a nagyfrekvenciás, és az interferometrián alapuló mérési elveknek köszönhetően nemcsak a becsapási pontot lehet viszonylagos pontossággal megadni, hanem a kiszülések útja, illetve a zivatarfelhőben való kialakulása is megfigyelhető.

Az ilyen finomságú megfigyelő rendszerek már jól használhatóak előrejelzés céljára is, hiszen a villámveszély fennállását és a zivatarfelhők haladását megfelelő pontossággal nyomon lehet követni. Értekezésemben a megfigyelés és az előrejelzés szerepét kiemelten tárgyalom egy olyan módszer keretében, amely a villámcsapás okozta kár kockázatának csökkentését nem védelmi eszközökkel, hanem úgynevezett megelőző intézkedésekkel valósítja meg.

## **Az értekezés áttekintő bemutatása**

Értekezésemben a villámvédelem újfajta megközelítésével, az úgy nevezett *preventív villámvédelemmel* (PLP) foglalkozom. A megközelítés lényege, hogy a rendelkezésünkre álló megfigyelő eszközöket – azaz a villámfigyelő és meteorológiai rendszereket, illetve speciális, a levegő villamos jellemzőit regisztráló berendezéseket – felhasználva a védendő objektum védelmét nem (csak) a villámáram elsődleges és másodlagos hatását csökkentő eszközökkel, hanem bizonyos megelőző intézkedésekkel kívánjuk ellátni. A megelőző intézkedések használata olyan helyzetekben indokolt, amikor a primer és szekunder védelem nem kivitelezhető, vagy pedig túlzottan nagy költséggel jár. Ilyen terület például az emberélet védelme időszakos veszélyeztetettség esetén (villámveszélynek kitett épületek karbantartása, repülőgépek tankolása, szabadtéri rendezvények), illetve bizonyos robbanásveszélyes vegyi anyagok szállítása/tárolása.

A megközelítés újszerűsége abban rejlik, hogy a megelőző intézkedések végrehajtása az előrejelző rendszerek használatával sokkal pontosabban tervezhető. Ennek lehetővé tételéhez és a megfigyelő berendezések használatához újfajta – a végrehajtandó megelőző intézkedésekkel összhangban megtervezett – módszerekre van szükség.

Értekezésem négy tézisből áll össze. Praktikus okokból az előrejelzési módszereket és a megelőző intézkedéseket külön-külön is tárgyalom. Az első tézisemben az előrejelző módszerek elemzésével foglalkozom, a második tézisemben térek rá a megelőző intézkedések elemzésére, itt főképp a változó költségek elemzésére koncentrálva. A harmadik tézisben a preventív villámvédelemhez kapcsolódó kockázatszámítással foglalkozom, a negyedik, utolsó tézisben pedig a PLP-hez közvetetten kapcsolódó moduláris villámmodellt mutatok be, mellyel az épületek veszélyeztetettsége becsülhető.

Értekezésemben definiálom az „eseménytér” (event space) megközelítést, amelyet a PLP működésének leírására alkalmazok, és kidolgozom ennek számítási módszereit két előrejelzési módszer esetére. A villámvédelemben jelenleg használt előrejelzések működését kizárólag az empirikus adatok

alapján írják le, azonban értekezésemben olyan számítási módszereket mutatok be, amelyekkel ezek hatékonysága előzetesen megbecsülhető.

Az előrejelzések egyszerűbb módját alkalmazva különböző jelzőzónák jelentik a megelőző intézkedés végrehajtását elindító jelzés kiadásának feltételét, azaz adott terület felett egy aktív zivatarcella megjelenését. Minden esetben eszerint járunk el a védelem alkalmazásakor a megjelenő zivatarcella további mozgásától függetlenül – ezt valósítja meg az úgy nevezett „zónás preventív villámvédelem” (ZPLP). Ennél nagyobb megbízhatóságú módszer a zivatarcellák állandó megfigyelése, a megelőző cselekmény végrehajtását megindító jelzés pedig a becsült haladási irányuk és sebességük alapján történő kiadása – mivel ez komplex megfigyelést igényel, ám a ZPLP-nél pontosabb eredményt ad, ezért erre a továbbiakban „nagy megbízhatóságú preventív védelem” (HRPLP) néven hivatkozom. A megelőző intézkedésekkel külön fejezetben (külön tézis keretén belül) foglalkozom, mivel a védelem kulcsfontosságú része, azonban jellemzőiket fontos az előrejelzéstől függetlenül is tárgyalni. A preventív villámvédelem egyik fontos kérdése, hogy költséghatékonyan megoldható-e a védelem. Azaz a megelőző intézkedések és a megfigyelés éves szintre vetített becsült költsége alacsonyabb-e a károk éves szinten becsült költségénél. Az emberi élet védelménél ez a kérdés általában nem merül fel (ebben az esetben a preventív védelem szükséges), azonban objektumok védelménél alaposan át kell gondolni a védelem paramétereit.

A megelőző intézkedések, mint védelem különleges jellemzőkkel rendelkeznek. Míg a felfogó-levezető-földelő rendszer a felszerelésük után a védendő objektum részévé válik és állandó védelmet biztosít, a megelőző intézkedések csak egy bizonyos ideig – a villámveszély idejére – kell, hogy védelmet biztosítsanak. Ebből fakadóan a megelőző intézkedések költsége is eltérő módon számítható, illetve eltérő módon oszlik el. A nemzetközi szabványban a villámvédelem költségét állandó, előre pontosan kiszámítható költségként fogják fel, így a PLP ebbe a felfogásba nem illeszthető be. Értekezésemben új módszereket javaslok a PLP-n belül a végrehajtott intézkedések éves (változó) költségének megbecslésére, figyelembe véve a védelem dinamikus mivoltát. Tézisemben kizárólag a végrehajtott preventív

intézkedések éves költségének becslésével foglalkozom, az infrastrukturális költségek és adott intézkedés költségének felmérésének módszereit nem tárgyalom.

A védelem teljes megtervezéséhez azonban szükség van egy olyan módszerre, amely a két összetevő – megfigyelés és intézkedés – időben dinamikus mivoltát figyelembe véve segít a tervezőnek az optimális védelem megtervezésében. A preventív villámvédelem a jelenlegi szabályozásnak nem alkotja részét, azonban igen fontosnak tartom, hogy beilleszthető legyen a ma is érvényben lévő szabványok által megadott keretrendszerbe. A szabványban alkalmazott kockázatszámítási módszerek képtelenek a nem állandó védelem kérdésének kezelésére, ezért ilyen, a preventív villámvédelemhez hasonló módszerek nem vethetőek össze az elsődleges és másodlagos védelemmel kockázati szempontból, tehát a szabvány szerint nem alkalmazhatóak védelemként. Ezért értekezésemben bemutatom a kockázat egy újfajta megközelítését – az ekvivalens kockázat fogalmát definiálva és arra építve – amely segítségével a preventív villámvédelmet a kockázatbecslés terén is beillesztem a nemzetközi szabvány keretrendszerébe. A definíciót követően leírom a módszer alkalmazásához szükséges számításokat, majd egy gyakorlati példán keresztül bemutatom a használatát. Ennek segítségével a preventív villámvédelmet összhangba hozom a nemzetközi villámvédelmi szabvánnyal.

Emellett egy olyan tervezési módszer – a SCOUT rendszer használata – kibővítésére is kísérletet teszek, amelynek köszönhetően a preventív villámvédelem tervezése és értékelése ezen rendszer segítségével elvégezhető. A SCOUT egy tervezési és auditációs rendszer, melyet jelenleg leginkább az ipari elektrosztatikában alkalmaznak. Lényege az elektrosztatikai veszélyek figyelembevételével megfelelő védelem tervezése, azonban csak – időben – statikus védelmi megoldások kezelésére képes. Értekezésemben ezt a tervezési módszert bővíttem ki a megfigyelő eszközök alkalmazásának lehetőségével, így a módszer már nem csak a preventív villámvédelemben, hanem a mérőműszerek és folyamatokba történő beavatkozás segítségével megvalósított, az elektrosztatikában használható dinamikus védelemben is a tervezők segítségére lehet.

A fenti témák mellett értekezésemben érintek egy villámvédelmi modellezéssel kapcsolatos megfontolást is, a moduláris modellezés kérdését. A villámok fizikájának kutatása során eddig túlnyomórészt olyan modelleket alkalmaztak, amelyek a folyamat egy-egy részfolyamatát specifikusan vizsgálták, így jutottak bizonyos eredményekre. Azonban a manapság elérhető számítási kapacitásnak köszönhetően lehetővé vált az átfogó modellek megvalósítása is. Értekezésemben ezért egy olyan modellstruktúrát javaslok, amely a teljes kisülési folyamatot leírja, illetve ennek egy egyszerű megvalósítására is kísérletet teszek. A modellt arra használom, hogy egy adott épület elrendezés esetén megvizsgáljam egy adott épület villámcsapás általi veszélyeztetettségét. A preventív villámvédelem tervezésében fontos szerepet játszik a villámvédelmi kockázatok számítása is. A modell egyszerű formája ennek tervezéséhez nyújthat segítséget.

## **A tézisek szerkezete, rövid ismertetése**

Értekezésemben tehát négy tézist fogalmaztam meg a preventív villámvédelem témakörén belül. A tézisek magával a módszerrel és a védelem tervezésével kapcsolatosak, az értekezésbeli sorrendjüket is ez határozza meg.

Az első tézis magára a preventív villámvédelmi módszerre vonatkozik. Ebben a tézisben írom le az előrejelzés lehetséges megvalósítási módszereit (ZPLP, HRPLP) a preventív villámvédelem elméleti keretének ismertetése mellett. A módszerek komoly számításokat igényelnek, ezeknek csak egy része szerepel a tézis kifejtésében (bővebb számítások az értekezés függelékében találhatóak meg). A zónás preventív védelemben használható előrejelző módszereket elméleti úton (de a gyakorlati eredményeket is figyelembe véve) közelítem meg, és ismertetem az eseménytéren alapuló leírásukat, a nagy megbízhatóságú módszer alkalmazását viszont esettanulmányon keresztül is bemutatom.

A második tézisben a preventív villámvédelemben alkalmazott megelőző intézkedések pontos, a szabványok szerint is értelmezhető leírását adom meg.



Az intézkedéseket egyfelől a megvalósításuk szerint osztályozom és tárgyalom, másfelől pedig ehhez kapcsolódóan az éves végrehajtási költségük apriori becslését is bemutatom a preventív villámvédelem esetében. A tézishez kapcsolódó számítások a szabványba való beilleszthetőséget, illetve a költségek megbecslését írják le.

Harmadik tézisemben a védelem tervezését, és kockázatbecslését tárgyalom. A tézis bevezető szakaszában megadom a preventív villámvédelem kockázatkezelésének egyszerű modelljét, majd definiálom az ekvivalens kockázat fogalmát, amellyel a preventív villámvédelem a nemzetközi villámvédelmi szabványba is beilleszthetővé válik. Az ekvivalens kockázat alkalmazását egy gyakorlati számítás segítségével mutatom be. Ezt követően a preventív villámvédelem (illetve egyéb megelőzésen alapuló védelmi megoldások) általános tervezési módszerét adom meg, mellyel beillesztem a preventív villámvédelmet, mint „dinamikus védelmi megoldást” a SCOUT tervezési és felülvizsgálati rendszer elméleti keretrendszerébe. Ehhez értelmezem a SCOUT rendszerben használatos fogalmakat a preventív villámvédelem elméleti keretében, majd felépítem a tervezés, és a felülvizsgálat részletes módszerét. Az ismertetett módszer általánosítható, mint „dinamikus védelmi megoldás”, így egy új alkalmazási lehetőséget jelent a SCOUT rendszernek.

A negyedik tézis közvetett módon játszik szerepet a preventív villámvédelem tervezésében. Ebben a tézisemben egy olyan villámmodellt mutatok be (OSLM), amely az eddigiektől eltérően nem törekszik a villámcsapás minden egyes részfolyamatát leírni, hanem magát az egész folyamatot rendszerszinten mutatja be oly módon, hogy a megvalósítás során szem előtt tartja a számítási lépések és fizikai modellek modularitását. Azaz ebben a modellezési felfogásban maga a „modell” csupán, mint egy keretrendszer értelmezendő, amely összefogja a már rendelkezésre álló modellek egy halmazát. A tézisben összefoglalom az elméleti számítások egy részét, a modell bemutatását egy szimulációval hajtom végre, amelynek segítségével egyes épületek villámok által való veszélyeztetettségét lehet megbecsülni.

## Tézisek

### 1. Tézis

*Létrehoztam a budapesti villámvédelmi iskola által kifejlesztett új módszer, a preventív villámvédelem – az előrejelzések és megelőző intézkedések használatának – konzisztens elméleti keretét. Az elméleti keret az eddig a gyakorlatban használt módszerek alkalmazását foglalja rendszerbe egy átfogó, a valószínűségi alapú modell segítségével. Az előrejelzéseken alapuló védelem két módját adom meg, a zónás preventív villámvédelmet (ZPLP), és a nagy megbízhatóságú preventív villámvédelmet (HRPLP). [1-9]*

A két előrejelzési módszert a szerint különböztettem meg, hogy a védendő objektum körül állandó méretű védelmi zónát alakítunk ki, vagy az objektumot esetlegesen veszélyeztető zivatarfelhők haladásának állandó megfigyelése segítségével adunk előrejelzést. A megoldások hatékonyságát az eseménytér megközelítésben adtam meg. A zónás preventív villámvédelem alkalmazását elméleti számításokkal alapoztam meg, a nagy megbízhatóságú védelmi módszer hatékonyságát pedig egy esettanulmányon keresztül mutatom be.

Az előrejelzéseket már manapság is használják a villámvédelemben. Azonban ezek a védelmek nem célzottan, az előrejelzés és a lehetséges megelőző intézkedések függvényében, hanem – jobb esetben – az érvényben levő szabályozás alapján csupán az előrejelzés paramétereit figyelembe véve lettek megvalósítva. Ezek a szabályozások sokszor tapasztalatok alapján készültek, és nem áll mögöttük egyértelmű tudományos háttér. Az egyik ilyen példa a repülőgépek tankolása a reptereken, amit felfüggesztenek, ha egy zivatarcella adott távolságnál közelebb kerül a repülőtérhez, azaz villámveszély alakul ki. Villámveszély alatt a preventív villámvédelemben azt értjük, hogy egy zivatarcella elég közel van az objektumhoz ahhoz, hogy azt direkt, vagy közeli villámcsapás okozta – a másodlagos hatásokból fakadó – károk érijék.

Az ilyen jellegű megoldások számos hibalehetőséggel bírnak. Bizonyos esetekben előfordulhat, hogy a zivatarcella jóval hamarabb veszélyt jelent, mint ahogy a tankolást meg tudnák szakítani. Hasonló problémát jelent, ha a tankolás megszakítása több időt vesz igénybe, ez esetben a zivatarcella ugyanígy veszélyezteti a repülőgép személyzetét és a közelben tartózkodókat.

Az általam alkotott modell egy olyan elméleti keret, amelyben a különböző megelőző intézkedések hatékonysága és a végrehajtásukhoz szükséges idő egyaránt megjelenik. A különböző megelőző intézkedések végrehajtásának időigénye különbözhet, ezt pedig a végrehajtásuk megkezdését kiadó jelzés időzítésénél is figyelembe kell venni.

Ennek a problémának az elméleti tárgyalására bevezettem az úgy nevezett „veszélyzónát” (DZ). A veszélyzóna az a terület a védendő objektum körül, amelybe ha zivatarcella kerül, villámveszély áll fenn (a fenti definíciónak megfelelően). A megelőző intézkedéseket végre kell hajtani addigra, amikor a zivatarcella a veszélyzónába ér. Az intézkedések végrehajtásának megindítását egy jelzéssel kell jelezni a védendő objektum üzemeltetője felé.

Ezen megfontolások alapján a megfigyelések használatának két módját különítettem el a preventív villámvédelemben. Az egyik a „zónás” preventív védelem (ZPLP), a másik pedig a „nagy megbízhatóságú” preventív villámvédelem (HRPLP).

ZPLP esetén a védelem megtervezésekor kijelölésre kerül egy fix nagyságú veszélyzóna, illetve a megelőző intézkedések időigényének és a zivatarcellák átlagos haladási sebességének ismeretében egy fix nagyságú úgy nevezett „jelzőzóna” (WZ). A megelőző intézkedést akkor kell megindítani (illetve az erre szolgáló jelzést kiadni), ha egy aktív zivatarcella jelenik meg a jelzőzónában (átlépi a határát, vagy a zónán belül alakul ki). Ez a fajta megfontolás egyszerű megvalósítást tesz lehetővé, hiszen a zivatarcellák jelenlétét csak a zónahatáron belül kell figyelni a védelem alkalmazásakor. A ZPLP azonban nem biztosít tökéletes védelmet (mint ahogy a villámvédelem egyetlen eszköze sem), mivel bizonyos zivatarcellák nagyon gyorsan elérhetik a veszélyzónát, illetve elhaladhatnak mellette nem érintve azt. Értekezésemben ezért meghatározom a preventív villámvédelem

eseményterét, majd elméleti megközelítésben számítási módszereket adok meg a ZPLP leírására, amelyek segítségével megbecsülhető, hogy a védelemben milyen gyakran fordulnak elő elkésett, vagy éppen felesleges riasztások. Ezeket a számításokat egy alapvető valószínűség-számításbeli fogalom, az „eseménytér” segítségével tárgyalom, amelynek köszönhetően az előrejelzést konzisztens módon tudom jellemezni. Ennek köszönhetően, míg a tématerületen eddig végzett kutatások *a posteriori* relatív gyakoriságokat írtak csak le, addig az általam javasolt számítási módokkal *a priori* eloszlások adhatóak meg az előrejelzés alkalmazására.

A HRPLP esetén a tervezésekor ugyancsak kijelölésre kerül egy fix nagyságú veszélyzóna (DZ). A védelemben ez után a védendő objektum körül lévő zivatarartevékenységet, a zivatarcellák haladási irányát és sebességét állandóan figyelve megállapítható annak valószínűsége, hogy a zivatarcellák veszélyeztetni fogják-e a jövőben a védendő objektumot, vagy sem valamint az a „kritikus távolság”, amelynél ki kell adni a megelőző intézkedés megindítását kiváltó jelzést. Értekezésemben a zivatarcellák megfigyelésének módjaira, illetve a helyzetük és sebességük megfigyelésének módjára teszek javaslatot. Emellett az eseménytér alapú megközelítésben azt is ismertetem a HRPLP esetére, hogy hogyan kell számításba venni a zivatarcella haladási irányának és helyzetének meghatározásánál használt becslésekben elkövetett hibákat ahhoz, hogy döntés születhessen a megelőző intézkedés végrehajtásának megkezdéséről. Ennél a módszernél ezek a számítások nem (csak) a tervezés során, hanem a védelem működésében is komoly szerepet kapnak. A jelzés kiadásának eldöntésénél ugyanis az általam javasolt számításokkal megadhatóak azok a valószínűség értékek egy időpillanatban, hogy a jelzés megfelel-e a kívánalmaknak, felesleges lesz-e, vagy esetleg túl későn adják ki.

Az első tézisemben tehát a megfigyelő rendszerek alkalmazását tárgyalom és a fent leírt két módszer alkalmazásának és a hozzájuk kapcsolódó számításoknak a módszereit ismertetem. Ezek a módszerek számolnak a megelőző intézkedések előzetes ismeretével is.

## 2. Tézis

*A preventív villámvédelemben a villámcsapás okozta kár csökkentését nem bizonyos védelmi eszközök felszerelésével, hanem megelőző intézkedések végrehajtásával érjük el. A megelőző intézkedéseket az jellemzi, hogy amíg érvényben vannak, addig a villámcsapás okozta károk kockázata csökken. Ezek olyan intézkedések, amik nincsenek állandó jelleggel érvényben. Értekezésemben az intézkedéseket különböző ismérvek szerint osztályoztam. Az osztályzás célja az, hogy a megfigyelési módszerekkel összhangban minél jobb hatékonyságú preventív villámvédelem legyen tervezhető. Az intézkedéseknél (és a védelmeknél általában) kulcsfontosságú a költségigény előzetes felmérése, így az intézkedéseket ebben a tekintetben is tárgyalom. Mivel ezek az intézkedések csupán időszakosan vannak érvényben, ezért a költség értelmezése problematikus. Tézisemben ezért a költségek előzetes becslését és az átlagos költség számítását is megadom. [10-12]*

A megelőző intézkedések töltik be a preventív villámvédelemben a „védekezési módszer” szerepét. Megelőző intézkedés lehet például ipari műveletek felfüggesztése, emberek biztonságba helyezése, vagy bizonyos anyagok elszállítása veszélyeztetett helyről. Ezeket az intézkedéseket a preventív védelem felhasználója csak akkor hajtja végre, hogyha a megfigyelést végző szerv (szervezet, a védelem felhasználójának egy munkavállalója, vagy egy diszpécserközpont) jelzést ad rá. A jelzés kiadása a megfigyelési eszközök használatának a függvénye, amelyet első tézisemben tárgyalok. A megelőző intézkedések költségeivel a védelem felhasználójának tisztában kell lennie a tervezés során. Mivel azonban a védelem költségének bizonyos része nem ismert, – a megelőző intézkedések végrehajtásának egy évre vetített átlagköltsége – a tervező által előzetes becslések is szükségesek. A védelem teljes költsége tehát a megelőző intézkedések foganatosításából fakadó költségekből (nem állandó), és a megfigyelés költségeiből (állandó).

A tervezés során a preventív védelem költségét a védendő objektum elhelyezkedése alapján az átlagos zivataros napok, és a zivatarcellák átlagsebessége, illetve a zivatarkok átlagos időtartama alapján meg lehet

becsülni. Értekezésemben megadom a költség becslésének módját és a pontos számítását. A jelenleg érvényes villámvédelmi szabványban rögzített módon egy megtervezett villámvédelem költségeit figyelembe véve el lehet dönteni, hogy a védelem kiépítése költséghatékony-e a primer vagy szekunder védelemmel szemben – ha ezek egyáltalán alkalmazhatóak. Ezt szem előtt tartva javaslatot teszek a számítás módszerére. Ennek használatával a preventív villámvédelem tervezése megtörténhet a szabvány ajánlásai alapján.

A megelőző intézkedéseket azonban nem csak ilyen tekintetben kell vizsgálni. Az intézkedések végrehajtásával és befejezésével, avagy az „eredeti állapot visszaállításával” kapcsolatban is merülnek fel költségek. Ezeket a költségeket úgy lehet minimalizálni, ha a megelőző intézkedést több lépésre tudjuk felosztani, mindegyikhez külön végrehajtási, illetve befejezési költségeket (és időigényt) rendelve. Így ugyanis könnyen előfordulhat az, hogy egy háromlépcsős cselekmény első lépés végrehajtása után az előrejelzés szerint mégsem áll fenn villámveszély (azonban ennek a lépés végrehajtásakor ez még nem volt tudott!), így a befejezés költsége és időigénye is alacsonyabb. Ha a megelőző intézkedés több lépésre bontható, akkor a hozzá társított előrejelzési módszer is módosítható ennek tükrében. Azaz beszélhetünk „többzónás” ZPLP, vagy HRPLP védelemről. ZPLP esetén ez azt jelenti, hogy az előrejelzés során a megelőző intézkedés lépéseinek megfelelően több jelzőzóna kerül megállapításra, és az adott zónába való belépéskor a megelőző intézkedés adott lépése végrehajtásra kerül. HRPLP esetén pedig a védelmi intézkedések egyes lépéseire történik az eseménytér kiszámítása.

Értekezésemben javaslatot teszek arra, hogy hogyan célszerű értelmezni a többlépcsős intézkedések esetén a költség fogalmát, hogyan célszerű becslést adni az éves költségekre és hogyan célszerű számolni a többlépcsős intézkedések esetén az első tézisben ismertetett eseménytér elemeit.

### 3. Tézis

*A preventív villámvédelem céljait tekintve az elsődleges és másodlagos villámvédelmi módszerek kiegészítéseként fogható fel. Azonban eszközeit tekintve mégsem tartozik a konvencionális megoldások közé így a tervezés során problémák vetődhetnek fel a villámvédelmi szabványok által előírt feltételek teljesítésével kapcsolatban. A villámvédelmi szabványok kulcsfogalma a kockázat, amelynek értelmezését a preventív villámvédelem esetén ebben a tézisben adom meg. Továbbá olyan módszereket is ismertetek, amellyel a villámvédelmi kockázat kiszámítható egy preventív védelmi megoldásra az első tézisben ismertetett eseménytér típusú leírás birtokában. Az elektrosztatikai veszélyek elleni védekezés tervezésének egy új módszere a SCOUT rendszer alkalmazása, amely azonban nem tartalmazza a dinamikus védelmi módszerekhez tartozó kockázatbecslést. A SCOUT rendszert a preventív villámvédelem kockázatelemzésre használt számítások segítségével kibővítettem, így a rendszer tetszőleges dinamikus védelem tervezésére alkalmas. [13-15]*

A villámvédelmi tervezés egyik kulcskérdése a villámvédelmi kockázat megállapítása a szabvány alapján. Ez a primer és szekunder védelmi eszközök (felfogó-levezető-földelő rendszerek, illetve másodlagos védelmek) esetén a szabvány szerint könnyen megtehető. A preventív védelem esetén azonban minden esetben számolnunk kell a késői riasztásokkal, azaz a „tévedés” lehetőségével – amelyet a tervezés során minimalizálhatunk a költséghatékonyság rovására, ahogy azt az első tézisben is ismertettem – így a kockázat, mint fogalom értelmezése is felülvizsgálatot igényel. Ebben a tézisben kiterjesztem a kockázat, és a kockázatszámítás fogalmát az időben dinamikus módszerekre is a korábban ismertetett eseménytér megközelítés alapján.

Ezen módszerek és osztályozási rendszerek alapján már a preventív villámvédelem teljes mértékben beilleszthető a jelenleg érvényben lévő villámvédelmi szabvány<sup>1</sup> nyújtotta keretbe, a megelőző intézkedések

---

<sup>1</sup> IEC, “IEC-62305: Protection against lightning,” Jan. 2006.

költségei pedig előzetesen megbecsülhetőek. A költségek becslésekor figyelembe kell vennünk az állandó költségeket – amelyek az előrejelzés költségei – és a nem állandó költségeket. A nem állandó költségek azok a költségek, amelyek a megelőző intézkedés végrehajtása miatt jönnek létre, illetve a végrehajtás hiánya miatt bekövetkező kár elméleti költségei. Ezeket a költségeket a szabvány nyújtotta keretben nem lehet számításba venni. A szabványban leírt módszerek csak kiegészítésekkel alkalmazhatóak a preventív villámvédelem esetére.

A tervezésben azonban a költséghatékonyság elemzés és a különböző kockázatok elemzése nem elegendő. A döntéshozó és a tervező számára számos lehetőség állhat rendelkezésre az alkalmazástól függően. Olyan tervezési módszert mutatok be a preventív villámvédelem tervezéséhez, amely különös hangsúlyt helyez az információk-előrejelzés-intézkedés egység együttes használatára a tervezésben és a felülvizsgálatban egyaránt. Bemutatom a tervezési és felülvizsgálati algoritmust. Ezzel a módszerrel a védelem tekintetében legjobb megoldás létrehozható, azonban a költségek ebben az algoritmusban nem játszanak kiemelkedő szerepet. Ez a tervezési módszer tehát olyan alkalmazásokban használható, ahol a védelmi költségek (előrejelzés és intézkedés) sokkal alacsonyabbak a kár költségeinél.

Az ipari elektrosztatikában megismert SCOUT módszer – amely a döntéshozóknak egyszerű módon, költségekkel definiálja döntési alternatívákat – jó eredménnyel használható az elsődleges és másodlagos villámvédelmi megoldások tervezésére is, azonban a preventív villámvédelem tervezéséhez kiegészítésre szorul. Javaslatot teszek a SCOUT általános kiegészítéséhez a dinamikus módszerek alkalmazására, majd ezt az általános kiegészítést alkalmazom a preventív villámvédelemre. A SCOUT alkalmazása számításba veszi a különböző kockázati tényezőket és a költségeket egyaránt, így a korábban említett – ehhez képest egyszerűbb – tervezési módszerrel szemben bármilyen helyzetben használható.

---



A preventív villámvédelem megtervezése során a tervező célja a felhasználó által kívánt védelem típusától függően az optimális védelem megkeresése (legjobb védelem elérése a legkisebb költséggel, illetve a „biztos” védelem megvalósítása). Egy tetszőleges védendő objektumot adott esetben több fajta megelőző intézkedéssel lehet megvédeni, illetve több fajta előrejelző módszer is állhat egyidejűleg rendelkezésre, vagy döntésnek kell születnie a kiépítésükről. Az ilyen típusú problémák megoldásához komoly tervezői algoritmusok szükségesek. Az ipari és atmoszferikus elektrosztatikában a veszélyek elleni védekezés tervezésekor az egyik lehetséges tervezési eljárás az ún. SCOUT rendszer, amelyet a statikus elektrosztatikai veszélyek kezelésére dolgoztak ki. Alapja a veszélyek felmérése, monetarizálása, illetve a lehetséges védelmi megoldások és a hozzájuk rendelhető kockázatok meghatározásával egy éves védelmi és kárköltség megállapítása. Ez a módszer hatékony eszköz az ilyen típusú tervezésben, azonban nem tartalmazza a megelőző intézkedések és az előrejelző berendezések – azaz a dinamikus védekezési módszerek – használatát. Értekezésemben bemutatom a preventív villámvédelem tervezési algoritmusát, majd beillesztve a SCOUT rendszerbe kibővítem azt a dinamikus védelem alkalmazására és bemutatom használatát a preventív villámvédelem tervezésében.

#### 4. Tézis

*A villámvédelmi tervezés során az objektumok veszélyeztetettségét különböző fizikai, vagy valószínűségi modellekkel és szimulációkkal próbálják megbecsülni. Egy olyan modellstruktúrára tesztek javaslatot (OSLM), amely az eddigi modellekkel ellentétben a kisülés egyes részfolyamatait nem egymástól függetlenül kívánja leírni, hanem a teljes kisülési jelenséget a zivatarfelhő töltéseloszlásának a megváltozásától a főkisülés létrejöttén keresztül a talaj objektumain mérhető töltésviszonyok megváltozásáig. A modell lényege a moduláris megközelítés, azaz a villámlást, mint folyamatot részfolyamatokra bontva írja le, amely részfolyamatokat különböző módszerekkel modellezhetőek. A modellek ezekben a részfolyamatokban szabadon „cserélhetőek”, ezért ez a modell „moduláris”. Az OSLM egy lehetséges implementációját is bemutatom, amelynek célja nem a részfolyamatok aprólékos leírása, hanem a tervezésben való esetleges segítség. Az implementált modell segítségével bizonyos épületrendezések összehasonlíthatóak, így a preventív védelem tervezésében segítséget jelenthet. [16]*

A villám fizikai és valószínűségi modelleken alapuló szimulációja több mint fél évszázados múltra tekint vissza. A modelleknek számos felhasználási területe létezik, ezek közé sorolható a különböző jelenségek egyes jellemzőinek feltérképezése, az elméletek igazolásra, a villámvédelmi tervezés elősegítése, illetve a ritka megfigyelések mögött rejlő folyamatok felkutatása (gömbvillám, gyöngysorvillám).

Ezek a modellek bizonyos alapfeltevésekből indulnak ki és általában a folyamat egy részét írják le. Az általam javasolt modellstruktúra (Open Source Lightning Model – OSLM) lényege, hogy a kisülés minden egyes részfolyamatát magába foglalja és ezeket különálló egységként kezeli. A részfolyamatokat úgy nevezett „alkalmazott modellek” írják le. Ezek az alkalmazott modellek tartalmazzák a talaj, a felhő, a levegő, a talajon lévő objektumok és a kisülés villamos helyettesítő képeit, a kisülés terjedésére vonatkozó modelleket, illetve egyéb mikro-szintű modelleket.

A modell egy egyszerű implementációját is megvalósítottam, amelyben már létező, viszonylag egyszerű villamos helyettesítő modelleket használok a levegő, a kisülés és a talaj figyelembe vételéhez a kisülés terjedésének számításához. Az általam feltételezett egyszerű töltéseloszlásoknak köszönhetően a villamos tér viszonylag egyszerűen számítható. A kisülés terjedési modellje egy vegyes fizikai-valószínűségi alapú modell (korábbi modellek alapján megalkotva), amelynek lényege, hogy a kisülés terjedését a kisülés feje előtt található szabad elektronok eloszlása, és az előtte mérhető térerősség együttesen befolyásolja. Így ez a fajta implementáció komplexebb egy pusztán valószínűségi modellnél, így pontosabb képet adhat, de egyszerűbb egy pusztán fizikai modellnél, így kevesebb számítást igényel. A implementáció eredményeként előálló működő modell eredményeit egyszerű esettanulmányok segítségével mutatom be két és háromdimenziós környezetben.

A modell ilyen jellegű felhasználásának segítségével sokszori futtatással megbecsülhető egy adott terület veszélyeztetettsége, illetve két elrendezés összehasonlítható. A preventív villámvédelem tervezésénél így megadható egyes területek veszélyeztetettsége, így például megállapítható, hogy szabad területen, ahol viszonylag kevesebb épület található, mely területeken vannak relatíve biztonságban az emberek egy szabadtéri rendezvény esetén.

## A tézisek témakörét közvetlenül érintő közlemények

- [1] A. Gulyás, B. Németh, I. Kiss, and I. Berta, "The theoretical framework of preventive lightning protection," presented at the 29th International Conference on Lightning Protection ICLP, Uppsala, Sweden, 2008, pp. 8-6-1.
- [2] A. Gulyás, J. S. Mäkelä, B. Németh, V. Cooray, I. Kiss, and I. Berta, "Local detectors in preventive lightning protection," in *30th International Conference on Lightning Protection*, Cagliari, Italy, 2010, p. 1105.
- [3] A. Gulyás, B. Németh, I. Kiss, and I. Berta, "Comparison of forecasting methods in preventive lightning protection – a case study," in *21th International Lightning Detection Conference*, Tucson, Arizona, USA, 2010.
- [4] A. Gulyás and I. Kiss, "High reliability preventive lightning protection," in *20th International Lightning Detection Conference*, USA, Tucson AZ, 2008, p. 13.
- [5] B. Németh, A. Gulyás, I. Kiss, and I. Berta, "Efficiency of Lightning Detection Systems in Preventive Lightning Protection," presented at the International Youth Conference on Energetics 2007, Budapest, 2007.
- [6] A. Gulyás, B. Németh, and I. Kiss, "Importance of Forecasting in Preventive Lightning Protection," presented at the 13th International Conference on Atmospheric Electricity, Beijing, China, 2007.
- [7] A. Gulyás, "Preventív Villámvédelem (Preventive Lightning Protection)," presented at the Tavaszi Szél 2007, Budapest, 2007, p. 132.
- [8] A. Gulyás, "A preventív villámvédelem alapjai (Basics of Preventive Lightning Protection)," presented at the Tavaszi Szél 2005, Debrecen, 2005, pp. 132-135.
- [9] A. Gulyás, "A villámdetektálás alapjai (Basics of lightning detection)," presented at the Tavaszi Szél 2006, Kaposvár, 2006.
- [10] A. Gulyás, B. Németh, S. Szonda, and I. Berta, "Application of preventive measures in lightning protection," presented at the 28th International Conference on Lightning Protection ICLP, Kanazawa, Japan, 2006, pp. 8-1.
- [11] B. Németh, A. Gulyás, and I. Berta, "New Preventive Methods in the Lightning Protection of Power Lines and Systems," presented at the PSC2005, Timisoara, Romania, 2005.
- [12] B. Németh, A. Gulyás, I. Kiss, and I. Berta, "Practical Uses of Preventive Lightning Protection," presented at the 15th International Symposium on High Voltage Engineering, Ljubljana, Slovenia, 2007, pp. T2-735.
- [13] A. Gulyás, B. Németh, I. Kiss, and I. Berta, "Planning and evaluation of preventive lightning protection," presented at the 17th Conference on Electromagnetic Disturbances, Bialystok, Poland, 2007.
- [14] I. Kiss, B. Németh, N. Szedenik, A. Gulyás, and I. Berta, "Advanced risk analysis of systems endangered by ESD," *JOURNAL OF PHYSICS-CONFERENCE SERIES*, vol. 142, no. 4, pp. 1-4, 2008.

- [15] A. Gulyás, B. Németh, I. Kiss, and I. Berta, "Introducing dynamic protection methods into the SCOUT system," presented at the International Youth Conference on Energetics 2009, Budapest, 2009, p. 5B1.
- [16] A. Gulyás and N. Szedenik, "3D simulation of the lightning path using a mixed physical-probabilistic model – The open source lightning model," *Journal of Electrostatics*, vol. 67, no. 2-3, pp. 518-523, May. 2009.

### **A tézisek témakörét közvetlenül nem érintő közlemények**

- [17] B. Németh, A. Gulyás, and I. Berta, "Increasing Safety in Live Line Maintenance Applying Preventive Lightning Protection," presented at the 13th International Conference on Atmospheric Electricity, Beijing, China, 2007.
- [18] B. Németh and A. Gulyás, "How to Use Lightning Detection in the Examination of Power Line Faults?," presented at the Elektroenergetika 2005, 2005.
- [19] B. Nemeth, A. Gulyás, and I. Kiss, "Lightning protection of open air mass performances," presented at the 29th International Conference on Lightning Protection ICLP, Uppsala, Sweden, 2008, pp. 8-9-1.