

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

---

**LÉGKÖRI JELENSÉGEK TANÍTÁSA HUMÁN  
OSZTÁLYBAN**  
**A villámok és hatásaik**

**Takátsné Lucz Ildikó Ágnes**  
**Témavezető: Dr. Tasnádi Péter egyetemi tanár**



**Eötvös Loránd Tudományegyetem**  
**Természettudományi Kar**

**Fizika Doktori Iskola**  
**Vezető: Dr. Gubicza Jenő egyetemi tanár**

**Fizika Tanítása Doktori Program**  
**Vezető: Dr. Nguyen Quang Chinh egyetemi tanár**

**2023**

**DOI: 10.15476/ELTE.2023.064**

# Tartalomjegyzék

I.Bevezetés .....	4
1.1 A témaválasztás.....	4
1.2 A dolgozat felépítése.....	5
II. Célkitűzések és módszerek .....	6
2.1 A kutatás célja .....	6
2.2 A kutatás módszerei .....	8
2.2.1 A MER (A Tanítás rekonstrukciós modellje).....	8
2.2.2 TPACK (Technológiai, pedagógiai, tartalmi ismeretek modellje).....	9
2.2.3 Kérdőívek (diagnosztikus és szummatív kérdőívek).....	11
2.3 Az alkalmazott modern tanítási módszerek és eszközök .....	11
2.3.1 Projektmódszer (PBL- Project Based Learning) .....	11
2.3.2 Fordított osztályterem (Flipped Classroom).....	13
2.3.3 A web 2.0.....	14
2.3.4 Gamifikáció .....	15
2.4 A kutatásban részt vevő diákok.....	17
III. Saját kutatások és eredmények összefoglalása a tézisek mentén .....	18
3.1 A villámok jelenségkörének tanítása a MER jegyében.....	18
3.1.1 A komplex gondolkodásmód fejlesztése .....	18
3.1.2 A természettudományos tárgyakhoz való kapcsolódási pontok .....	20
3.1.3 A kutatás menete .....	21
3.1.4 A téma a középiskolai tananyagba történő integrálása.....	23
3.1.5 Eredmények .....	34
3.2 Schumann rezonanciák és Felsőlégi Elektromágneses Emissziók a középiskolában .....	37
3.2.1 Elméleti háttér .....	37
3.2.2 Megjelenés a középiskolai tananyagban .....	39
3.2.3 Az eredmények értékelése (tanítási, attitűd) .....	41
3.2.4 Kiegészítő szakmai anyag a FEOE-k középiskolai tanításához .....	42
3.3 Villámok és tévképzetek .....	52
3.3.1 Bevezetés .....	52
3.3.2 Elméleti háttér .....	53

3.3.3 A leggyakrabban előforduló hiedelmek .....	55
3.3.4 További megjegyzések a hiedelmekhez .....	57
3.3.5 Felmérés a diákok körében .....	60
3.3.6 A teszt eredményei .....	61
3.4 A kísérleteket bemutató oktatási videók a középiskolai fizikaoktatásban .....	62
3.4.1 Bevezetés .....	62
3.4.2 Projekt a videókészítésre .....	63
3.4.3 A kutatásban részt vevő középiskolás diákok .....	65
3.4.4 Felmérések a rezgések, hullámok és a geometriai optika témakörének tanításában .....	67
3.4.5 A teszt eredmények és kiértékelésük.....	69
3.4.6 Konklúziók, a projekt értékelése .....	72
3.5 A web2.0-ás applikációk széleskörű alkalmazása a fizikaórákon .....	73
3.5.1 A Z generáció és tanítása.....	73
3.5.2 IKT- eszközök használata.....	74
3.5.3 Web 2.0 a fizikaórákon.....	74
3.5.4 Felmérés a diákok internetezési szokásairól.....	75
3.5.5 A kutatásban részt vevő tanulók.....	76
3.5.6 Eredmények és értékelésük .....	77
3.6 A fizikatanítás új dimenziói: a társadalmilag releváns problémák és a projektpedagógia összekapcsolása .....	85
3.6.1 Előzmények .....	85
3.6.2 Az izlandi projekt .....	87
3.6.3 A projekt szakaszai.....	88
3.6.4 Eredmények, hatások.....	90
Összefoglalás .....	91
Summary .....	92
Köszönetnyilvánítás.....	93
Az áttekintett természettudományos tankönyvek listája.....	94
Saját publikációk.....	95
Irodalomjegyzék .....	97
Függelék.....	105
A villámok tanításához szükséges alapismeretek témakörönként rendszerezve.....	105
A villámok hatásai.....	118

A web 2.0-ás applikációk fizikaórai alkalmazásának eredményességi méréséhez használt szummatív feladatlapok .....	128
--	-----

## I.Bevezetés

### 1.1 A témaválasztás

A globális felmelegedés és következményei korunk kiemelkedő problémája. A klímaváltozás egyik szembetűnő jele a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoriságának és intenzitásának fokozódása. A heves zivatarokat gyakran villámcsapások kísérik, amelyek az embereket évezredekken keresztül rettegésben tartották. A villámok pusztító hatása miatt indult meg a tudományos igényű munka e titokzatos jelenség rejtelseinek feltárására, és ma is kedvelt kutatási témaköre a geofizikának, űrkutatásnak és a meteorológiának. A napjainkban egyre gyakrabban tapasztalható extrém időjárási jelenségek, heves zivatarok, a velük együtt járó villámcsapások, a tragikus végű balesetek nagy publicitása az emberek figyelmét fokozottabban e jelenségekre irányítja. A 2020-ban bevezetett új NAT-ban (Nemzeti alaptantervben) (Magyar Közlöny,2020) és a ráépülő kerettantervben (Kerettanterv, 2020) a korábban csak a kiegészítő vagy olvasmány részben fellelhető villámok és villámvédelem kérdésének középiskolai tárgyalása, a zivataros időben való helyes magatartás kialakítása kötelező tantervi elemmé vált. A témakör a 10. évfolyamon a *Szikrák és villámok* című fejezetben jelenik meg, a korábbi tantervekben *Elektrosztatika* cím alatt tárgyalt ismeretekhez kapcsolódóan. Az elektrosztatika a középiskolai fizikatanítás szempontjából kitüntetett szerepet játszik, hiszen számos elektromosságtani fogalom ott kerül bevezetésre. Az ekkor elsajátított fogalmak, összefüggések és megismert jelenségek a későbbiekben többször visszatérnek. Ugyanakkor, tapasztalatom szerint, a fogalmak absztraktsága miatt a fizika iránt kevésbé érdeklődő diákok számára a témakör nehéznek bizonyul, kevésbé mutatnak érdeklődést iránta. Látványos, egyszerű kísérletek sokaságának bemutatásával, fizikatörténeti vonatkozások említésével azonban színesebbé, élvezetesebbé tehető az ismeretanyag elsajátíttatása. A fizikatanár helyzetét megnehezíti, hogy a kísérletek egy részének „sikeressége” időnként bizonytalanná válik (pl. párás időjárás, nem kellően megtisztított eszközök). Ezért különösen fontosnak tartom a motiváció egyéb eszközeinek szerepét: a modern oktatási technikák és módszerek alkalmazását, illetve a figyelemfelkeltő kiegészítő témák választását. Fontosnak tartom azonban kiemelni, hogy a jelenségkör tanítása, a villámcsapás veszélyeinek leírása nem korlátozható csupán az elektrosztatika témakörére. A téma több részletének megértéséhez szükséges a villámok tárgyalásának beemelése a tananyag más (mágneses indukció, elektromágneses sugárzások) fejezeteibe is. Ezt alátámasztja, hogy a villámlás nagyon összetett természeti jelenség. Ha meg akarjuk ismerni a mibenlétét, akkor látnunk kell a légkörben lejátszódó

folyamatok ok-okozati viszonyát, amely rendszerszemléletet igényel. A jelenség interdiszciplináris vonatkozása miatt hozzájárul a komplex természettudományos szemlélet fejlesztéséhez, a téma feldolgozása elősegíti a tudástranszfert. A villámok félelmetes, ugyanakkor csodálatos világa, a felsőlégkör káprázatos fénytüneményei ámulatba ejtik a diákokat. A természeti jelenségek (felhőképződés, villámok kialakulása és hozzájuk kapcsolódó egyéb jelenségek) megfigyelése, elemzése nem csak a bennünket körülvevő világ megértését teszi lehetővé, hanem felkelti a természettudományok iránt kevésbé érdeklődő tanulók figyelmét is. A mindennapi életünkhöz való kapcsolódása, a villámvédelemmel kapcsolatos alapismeretek tárgyalása pedig alátámasztja a fizika hasznosságát.

## 1.2 A dolgozat felépítése

Dolgozatom I. fejezetében áttekintem a kutatásomat motiváló tényezőket, kitérek a témaválasztás fontosságára, interdiszciplináris vonatkozásaira. A célok, az alkalmazott általános módszertani elvek és modern technikák II. fejezetbeli rövid összefoglalása után, doktori munkám III. részében áttérek a saját kutatásaim tézisek mentén történő tárgyalására. Bemutatom, hogy a villámok jelenségkörének sokoldalú megközelítése a tudástranszferen keresztül hogyan járul hozzá a komplex természettudományos gondolkodás fejlesztéséhez. Javaslatokat teszek a villámokkal kapcsolatos alapismeretek fizika tananyagba történő beillesztésére, gyakorlati alkalmazások kiemelésével (villámvédelem, villámok hatásai) hangsúlyozom a téma hétköznapi élethez való kötődését. Kitérek néhány, a jelenséghez fűződő téves elképzelésre és megvizsgálom ezek háttérben meghúzódó fizika tartalmát. A fejezetben ismertetem a 9-10. évfolyamos középiskolás tanulók körében, a tévhitekkel kapcsolatban végzett kérdőíves felmérésem eredményeit is.

Az elmúlt évtizedben a természettudományos tárgyak jelentősen veszítettek népszerűségükből, ezért a fizikatanárok körében is egyre elterjedtebbé válnak a tantárgy tanításának megújítására irányuló törekvések. A szakmódszertan gyakorlatában különleges kihívást jelentenek a természettudományok iránt kevésbé érdeklődő humán tagozatú osztályok, melyekben - a tanulás hatékonyságát szem előtt tartva- a feldolgozás módszerét, az alkalmazott eszközöket nagy körültekintéssel kell megválasztani. Saját kutatásaim második felében kitérek azokra a módszerekre, technikákra, amellyel igyekszem számukra közelebb hozni a természettudományok világát.

Dolgozatomban vizsgálom a tanulást támogató modern oktatási módszerek (projekt módszer, „peer teaching”, IBL, flipped classroom, gamifikáció) és technikai eszközök (web 2.0 applikációk) hatékony alkalmazásának lehetőségeit, valamint a tanórán kívüli tevékenységek motiváló erejét.

Az utóbbi 2 évben kialakult járványügyi helyzet alapjaiban változtatta meg a tanulási környezetet és nagy kihívás elé állította mind a tanulókat mind tanáraikat. A fizikatanításban oly fontos szerepet játszó kísérletek bemutatása az online platformok keretei között nehézkessé vált, újra kellett gondolni kivitelezésüket. (jelentős részük nem volt bemutatható) Előtérbe kerültek azok a demonstrációk, amelyek anyag- és eszközszükséglete otthoni körülmények között is kielégíthető. Kutatómunkám során vizsgáltam, hogy a tanárszakos hallgatók által készített egyszerű kísérleteket bemutató oktatási videók miként támogatják a diákok otthoni, egyéni tanulását, illetve hogyan válhatnak a tantermi oktatás hasznos eszközeivé is. Oktatási kísérletet végeztem 101 diák körében, először ennek tapasztalatait összegzem ebben a fejezetben. Ezt követően összefoglalom a tanórákon általunk használt web 2.0-s applikációkat, és három témakörben összehasonlítom a kísérleti és a kontroll csoport szummatív feladatsorainak eredményeit. Ezzel kívánom igazolni, hogy a középiskolai fizikaoktatásban is eredményesen használhatók ezek az alkalmazások.

Végezetül pedig egy Erasmus+ projekt rövid bemutatásán keresztül hívom fel a figyelmet arra, hogy a társadalmilag releváns problémák fizikatanításba való integrálása, az érzékenyítés mellett, óriási motiváló erővel bír. A nemzetközi projekt megvalósítása térben és időben is új teret nyit az oktatásnak, megváltoztatja a tanulási környezetet, a tanulási folyamat eszköztárát, lehetővé teszi más kultúrák megismerését, és elősegíti egymás elfogadását. Ezzel támogatja számos, a 21. században nélkülözhetetlen kulcskompetencia fejlesztését.

## **II. Célkitűzések és módszerek**

### **2.1 A kutatás célja**

A villámok kutatása a tudomány ma is fejlődő, folyamatosan alakuló területe. A jelenségkör egzakt leírása bonyolult matematikai és fizikai háttérismereteket igényel, ami messze túlmutat a középiskolai szinten. Doktori munkám alapvető célja, a MER (Model of Educational Reconstruction – A Tanítás rekonstrukciós modellje) (Duit et al.,2012) módszert alkalmazva, olyan tananyag kidolgozása volt, amely a villámokkal kapcsolatos jelenségek megértéséhez szükséges tudományos ismereteket átlagos középiskolások

számára is érthető módon közvetíti és szemléletformáló többletet is ad. Bár a diákok számára készült jegyzetek, feladatlapok a jelenleg érvényes kerettantervhez igazodnak, annak követelményrendszerében megfogalmazott ismeretek háttérében lévő fizikai tartalmat célozzák meg, megfogalmazásuk lehetővé teszi más tantervi felépítéshez történő adaptálásukat. Néhol emiatt túlmutatnak a szokásos középiskolai követelményeken, de ezek a részek vagy a jelenségek megértését könnyítik meg (pl. zivatarfelhő töltéseloszlása), vagy az érdeklődés felkeltésének eszközei (pl. a felső légköri elektro-optikai emissziók, vagy röviden a FEOE-k). Természetesen az alapórák keretein belül nehéz ilyen részletességgel tárgyalni a jelenségek körét, így a téma szakköri vagy jeles napokhoz kapcsolódó (pl. témanapok, természettudományos nap stb.) feldolgozásához is gondolatébresztő ötleteket kívántam nyújtani. A kifejlesztett szakmai anyagokkal, módszertani javaslatokkal a gyakorló fizikatanár kollégák munkáját kívánom segíteni. A MER módszer támogatására korszerű technikákat (web 2.0 alkalmazásokat, tanárjelöltek által készített oktatási videókat) kívántam bevonni.

Kutatásom további céljai az alábbiak szerint összegezhetők:

- a tantárgyi integráció és a tudástranszfer megvalósításával fejleszteni a diákok komplex természettudományos gondolkodását,
- a tananyagokban hangsúlyozni a gyakorlatorientált vonatkozásokat;
- igazolni, hogy modern oktatási technikáknak és pedagógiai módszereknek a fizikaoktatásba történő bevonásával a tanulási folyamat eredményessége, élményszerűsége és a diákok aktivitása fokozható, amely véleményem szerint kihatással van a tanulók motivációjára és hosszú távon a fizika iránti attitűd megváltozására;
- megvizsgálni, hogy a web 2.0-s applikációk használata hogyan támogatja a modern pedagógiai módszerek alkalmazását és a kollaboratív munkaformákat (kutatás alapú tanulás, projekt módszer, fordított osztályterem), és teszi eredményesebbé és élményszerűbbé a tanulási folyamatot;
- igazolni, hogy a tanárjelöltek által készített egyszerű kísérleteket bemutató oktatási videók nem csupán a hallgatók kísérletezési és természettudományi kommunikációs készségét fejlesztik, hanem hatékonyan alkalmazhatók a középiskolai fizikatanításban;
- alátámasztani, hogy a társadalmilag releváns problémák fizikaórai és tanórán kívüli feldolgozása, illetve összekapcsolása a projektpedagógiával a diákok



motivációjának hatékony eszköze. A témafelvetés az érzékenyítés mellett támogatja a fenntarthatóságra nevelést, felhívja a figyelmet a környezeti értékekre és fejleszti a környezeti, fenntarthatósági kérdésekkel kapcsolatos cselekvési kompetenciát.

## 2.2 A kutatás módszerei

### 2.2.1 A MER (A Tanítás rekonstrukciós modellje)

A **MER** (Model of Educational Reconstruction– A Tanítás rekonstrukciós modellje) a természettudományos nevelés kutatásának olyan keretrendszere, amely a tanítási-tanulási folyamat hatékonyságának növelése céljából a tartalmi kérdések mellett a tanulók előzetes ismereteire, tanulási igényeire és képességeire is figyelmet fordít. A módszer alkalmazása a tudományos ismereteken túl szakmódszertani jártasságot is feltételez. Három egymáshoz szorosan kapcsolódó területet ölel fel (Duit et al.,2012). Ezek:

- a természettudományos probléma leírása és elemzése tudományos és oktatási szempontból is (ideértve a kulcsfontosságú fogalmak és jelenségek elemi magyarázatának megfogalmazását is),
- a téma tanulói és tanári szempontjainak (pl. előismeretek, attitűd, képességek) vizsgálata,
- a tanulási környezet megtervezése és értékelése.

A rekonstrukció azt jelenti, hogy a tartalomspecifikus tudományos ismereteket elemi megközelítések alkalmazásával és a tanulási környezet megtervezésével alakítjuk oktatásra alkalmas tananyaggá.

A villámok összetett jelenségének egzakt leírása mind az alkalmazott fizikai törvények, mind pedig a hozzájuk szükséges matematikai ismeretek tekintetében messze túlmutat a középiskolai szinten, ezért a téma középiskolai tanítása mindenképp a tartalmi elemek átgondolását teszi szükségessé. A résztémák kijelölését megelőzően áttekinttem a kötelezően elsajátítandó ismereteket. Megkerestem a kapcsolódási pontokat a többi természettudományos tantárggyal (biológia, földrajz, kémia). Felmértem diákjaim matematikai és fizikai háttérismereteit, tájékozottságát a témakörben. Számos szakkönyv és szakkikk alapján elemeztem a villámkutatók elképzeléseinek fogalmi szintjeit. Összeállítottam diákjaim számára a tananyagot és elkészítettem a tanításhoz szükséges segédanyagokat. A tananyag szakmai háttéréként V. Cooray: Introduction to lightning; Uman: Lightning discharges; Cooper, M. A., Andrews, C. J., Holle R. L., Blumenthal R. and Aldana N.N.: Lightning –Related Injuries and Safety és M. A. Cooper:

Reducing lightning injuries worldwide című könyvek, számos szakkikk és a MetEd (Meteorological Education <https://www.meted.ucar.edu/index.php>) e-learning tananyagai szolgáltak. Ezek középiskolai szinthez jól illeszkedő tárgyalását a MER szellemében valósítottam meg. A tudományos ismeretek diákok számára történő interpretálásakor nem a jelenségek pontos leírására, hanem a megértetésére fókuszáltam. Ezért olyan modelleket (pl. tripólusú zivatarfelhő, villámcsatorna antenna modellje) alkalmaztam és egyszerűsítésekkel éltem, amelyek a jelenségek fizikai tartalmát nem változtatták meg, viszont jelentősen megkönnyítették a tárgyalást. A jelenségek leírásának elemi megközelítése jelentette az ismeretanyag “testreszabását”, vagyis az oktatási rekonstrukcióját.

A feldolgozás során az egyes osztályokban különböző módszereket, óraszervezési formákat (frontális, csoportmunka, projekt módszer, “Flipped Classroom”) és technikákat (pl. oktatási videók, web2.0 applikációk) alkalmaztam. A választott módszer mindig osztályra szabott volt és a korábbi tapasztalataimtól függött. Az osztályok eltérő érdeklődése, felkészültsége, matematikai háttértudása a szükséges alapismereteken túl a téma különböző mélységű tárgyalását tette lehetővé. A fejezet zárásaként írt tesztek, dolgozatok eredményeiből következtetéseket vontam le az egyes módszerek hatékonyságára vonatkozóan. A diákok egyéb visszajelzéseiből (pl. elégedettségi kártya) képet alkothattam arról, hogy mennyire volt számukra érthető, hasznos, figyelemfelkeltő és érdekes a téma, illetve miről hallottak volna még szívesen. Ennek figyelembevételével a tananyagot módosítottam, majd a módosított forma újra kipróbálásra került. Ezt újabb véleményezés és módosítás követte. A tananyagot az elmúlt évek során hat különböző 28-30 fős csoportban teszteltem.

2.2.2 TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge, Technológiai, pedagógiai, tartalmi ismeretek modellje)

Az elméletet a 2000-es évek elején a Michigani Állami Egyetem kutatói, Punya Mishra és Matthew J. Koehler fejlesztették ki. A modell (Koehler, M. and Mishra, P., 2009), a modern technika vívmányainak az iskolai oktatásba és a tanárképzésbe a történő hatékony integrálását célozza meg. A téma mai napig számos szakmódszertani kutatás alapjául szolgál, publikációk sokasága foglalkozik vele. Az elmélet megalkotói a TPACK lényegét a következőkben látják:

„TPACK is the basis of effective teaching with technology, requiring an understanding of the representation of concepts using technologies; pedagogical techniques that use technologies in constructive ways to teach content; knowledge of what makes concepts

difficult or easy to learn and how technology can help redress some of the problems that students face; knowledge of students' prior knowledge and theories of epistemology; and knowledge of how technologies can be used to build on existing knowledge to develop new epistemologies or strengthen old ones" (Mishra, P. and Koehler, M. J. ,2006).

ami szabad fordításban így hangzik:

A TPACK a technikai eszközök oktatásban való hatékony alkalmazásának alapja.

Megköveteli:

- a technikai eszközök és oktatásban való innovatív használati módszereik ismeretét,
- annak felismerését, hogy mitől könnyű vagy nehéz valamilyen fogalmat, tudásanyagot elsajátítani,

Ismerni kell továbbá:

- hogy a technika alkalmazása miként segíti a tanulókat az előttük álló egyes problémák megoldásában,
- a diákok előzetes tudását,
- az ismeretelmélet (=episztemológia) alapjait,
- és hogy a technika miként használható a meglévő tudásra építve új ismeretek szerzésére és a régiek megerősítésére.

A TPACK három alappillére a **TK (Technological Knowledge)** technika eszközök (hardver, szoftver, alkalmazások, kapcsolódó információs műveltségi gyakorlatok stb.) ismerete, a **PK (Pedagogical Knowledge)** pedagógiai módszerekben való jártasság és a **CK (Content Knowledge)** szakmai tudás. Ezek egymástól elválaszthatatlanok, egyik feltételezi a másikat. Az oktatás minőségének javítása érdekében fontos tisztában lenni kapcsolódási pontjaikkal és kölcsönhatásaikkal. A tanulási környezet megtervezésekor ismernünk kell, hogy a konkrét tanulási célok milyen pedagógiai gyakorlatokkal valósíthatók meg a legeredményesebben, és az alkalmazott technikai eszközök miként tudják támogatni őket. Szem előtt kell tartani a diákcsoport előismereteit, képességeit, erősségeit és gyengeségeit és nem utolsósorban az érdeklődését. Az eredményesség elengedhetetlen feltétele, hogy a kiválasztott eszköz és módszer igazodjon az iskola infrastruktúrájához, és a tanulók otthoni eszközellátottságához is. A TPACK tehát több, mint pusztán a digitális eszközök oktatásban való jelenléte. Lényegét tekintve talán digitális pedagógiaként összegezhető, amely magában foglalja a szakmai tudás digitális eszközök segítségével történő átadása mellett a tanítási megközelítést is a tanulók attitűdjének javítása és a kívánt tanítási célok elérése érdekében.

A TPACK modellt sikeresen alkalmaztam a web 2.0-s applikációk fizika órai használata során, valamint az egyszerű kísérleteket bemutató oktatóvideók tesztelésénél.

### 2.2.3 Kérdőívek (diagnosztikus és szummatív kérdőívek)

A tananyag fejlesztésekor kérdőíves felméréseket végeztem a diákok előzetes ismereteinek feltérképezésére. A témakör ismeretanyagának elsajátítása után a tanulóknak utó-teszteket is ki kellett tölteniük. A tesztek feleletválasztós (több válaszlehetőség közül az egyetlen helyes megjelölése), többszörös választós (több helyes megoldás is lehetséges) vagy rövid saját válasz megadását igénylő kérdéseket tartalmaztak. Egyes esetekben a feladatlap papír alapú, de gyakran online a kiértékelés során összehasonlító elemzéseket végeztem az előzetes, illetve az utólagos kérdőívek eredményeit illetően. A tapasztalatoknak és a diákok visszajelzéseinek megfelelően folyamatosan módosítottam az összeállított tananyagot.

Hasonlóan a tanárjelöltek által készített oktatási videók tesztelésekor is alkalmaztam diagnosztikus és szummatív kérdőíveket. Ebben a pedagógiai kísérletben négy csoportban összesen 101 fő vett részt. Az egyes csoportok esetén a videók feldolgozására más-más pedagógiai módszert választottam. A vizsgálathoz két olyan témakört jelöltem ki, amellyel a diákok középiskolai tanulmányaik során még nem találkoztak. Mindkét témakör esetén a kiválasztott videókban elhangzottak alapján összeállítottam egy-egy kérdéssort. A diákoknak a feladatlapokat a videók megtekintése előtt és utána is ki kellett tölteniük. Az eredmények kiértékelése után lehetőség nyílt az egyes alkalmazott eljárások hatékonyságának összehasonlítására. (I T Lucz and M Milner-Bolotin, 2022)

## 2.3 Az alkalmazott modern tanítási módszerek és eszközök

### 2.3.1 Projekt módszer (PBL- Project Based Learning)

A projekt módszer lényegét Hortobágyi Katalin az 1991-ben megjelent *Projekt kézikönyv* című munkájában az alábbiakban összegezte:

„A projekt egy sajátos tanulási egység, amelynek a középpontjában egy probléma áll. A feladat nem egyszerűen a probléma megoldása vagy megválaszolása, hanem a lehető legtöbb vonatkozásnak és összefüggésnek a feltárása, amely a való világban az adott problémához organikusan kapcsolódik” (Hortobágyi 1991, 17).

A projektekkel történő oktatás első jeleit már a 17. századi olasz-és franciaországi építészmérnöki képzés gyakorlatában felfedezhetjük (Virág, 2013), de a projekt módszer

elméleti modelljének első tudományos megközelítését csak az 1920-as években fogalmazta meg John Dewey (1859–1952) és William Kilpatrick (1871–1965). Kilpatrick a módszerről szóló „The Project Method” (A projektmódszer) híres cikkében már a modell gyakorlati alkalmazhatóságát is vizsgálta. A projektekkel történő oktatás első magyarországi képviselője Nemesné Müller Márta (1883-1964) volt (M. Nádasi, 2003). A projektoktatás alapját a konstruktivista tanuláselmélet jelenti, amely kiemelkedő hangsúlyt fektet a kollaborációra. A projektoktatás során a tanítási-tanulási folyamatban megváltozik a tanulási környezet, térben és időben is új dimenziók jelennek meg. Egy-egy nagyobb (pl. intézményi vagy nemzetközi) projekt gyakran igényli a tanulóktól extra szabadidő ráfordítását. Az együtt tevékenykedő diákok csoportjainak kialakítása is eltérhet a hagyományos csoportmunka során megszokottól. A csoportok mérete a projekt jellegétől függően eltérő lehet; az is előfordulhat, hogy a csoporttagok különböző korosztályokból kerülnek ki. A munkaszervezés, a feladatok delegálása során lehetőség nyílik az egyéni érdeklődésnek, az előzetes tudásnak megfelelő differenciálásra. A közös munka folyamán a diákok megtanulják tiszteletben tartani, értékelni egymás munkáját, szellemi termékét; fejlődik az egyének saját tevékenysége iránti felelősségérzete. A kitűzött határidők és a közösen megfogalmazott célok eléréséhez szükséges részfeladatok leírásainak pontos betartása pedig felkészíti a tanulókat a jövőbeli munkavégzésükre. A projektmódszer során alkalmazott technikai eszközök és egyéb pedagógiai módszerek számos 21. századi kulcskompetenciát (digitális, kollaborációs, problémamegoldó stb.) fejlesztenek. A projektoktatás során átalakul a tanár diák viszonya is. Erősödik a tanár mentor szerepe, aki itt inkább a háttérben szervezi, felügyeli az ismeretszerzési folyamatot és szükség esetén tanácsokat ad a tovább haladáshoz. A projekt témájának interdiszciplinaritása biztosítja a tudástranszfert és a tantárgyi integrációt. A feldolgozandó probléma egészben történő láttatása rendszerszemléletet igényel, így hozzájárul a komplex természettudományos gondolkodás fejlesztéséhez.

A projektek eredményességének indikátorai rövid távon lehetnek pl. a tanulók visszajelzései, a különböző tevékenységekbe bevont diákok létszámának alakulása, az elkészített produktumok minősége; hosszabb távon pedig a projekt hatására a diákok megváltozott attitűdje, felelősségvállalása és környezettudatosabb életmódja.

Véleményem szerint a projektmódszer fő erényei közé inkább a hosszútávú hatások, az együtt gondolkodás folyamata, a közösen szerzett tapasztalatok és élmények sorolandók. A projektoktatás számos előnye mellett azonban a módszer nehézségeiről sem szabad megfeledkezni. A projekt csak akkor lehet sikeres, ha gondos és minden,

előzetesen látható részletre kiterjedő tervezés és szervezés előzi meg. Ez egyrészt rengeteg előkészítő munkát igényel a tanároktól, másrészt a diákok nagyfokú önállóságát is feltételezi. A megvalósításhoz jól szervezett időbeosztás szükséges, melynek összeegyeztetése (főként vegyes csoportok és tanórán kívüli tevékenységeket is érintő projektek esetén) időnként nehézkes. A problémamegoldás során adódhatnak váratlan helyzetek, felmerülő kérdések, amelyekre azonnal reagálni kell. Egy összetett probléma esetén ez széleskörű, több szaktárgyat is érintő tájékozottságot vár el a tanároktól.

A projekt alapú oktatás szerves részét képezi tanítási gyakorlatomnak. A projektmódszert eredményesen alkalmaztam az izlandi-magyar projekt alkalmával (3.7 fejezet).

### 2.3.2 Fordított osztályterem (Flipped Classroom)

A fordított osztályterem oktatási stratégiájának néhány stílusjegye már a 19. sz. elején felfedezhető volt az amerikai West Point Katonai Akadémia környezetmérnöki képzésében. Ennek ellenére a módszer csak a 21. század fordulójára vált ismertté. A multimédiás eszközök és a digitalizáció elterjedése az oktatásban megteremtette a feltételeket az „új” oktatási módszer alapjainak lefektetéséhez. A gyakorlati alkalmazás bevezetése Glenn Platt és Maureen Lage a Miami Egyetem oktatóinak nevéhez fűződik (2000) (Hartyányi et al,2018). Azóta a kutatók több oktatóprogramot is kifejlesztettek és az oktatáspedagógia számos irányzata (problémaalapú, projektalapú, kutatásalapú tanulás) is hozzájárult a fordított osztályterem oktatási stratégiájának népszerűsítéséhez.

A módszer lényege, hogy a diákok a tanórát megelőzően tájékozódnak, új ismereteket szereznek az adott tananyaggal kapcsolatban a tanárok által előzetesen készített vagy összeállított segédanyagok (videók, e-learning anyagok, feladatlapok, mérési feladatok) alapján. A kontakt órákon az ismeretek elmélyítésére, a problémák megvitatására, a felmerült kérdések megbeszélésére kerül sor kollaboratív munkaformákat alkalmazva. A tanulási- tanítási folyamatban hangsúlyos szerepet kap a tapasztalatszerzés, az aktív tanulás, előtérbe kerül a különböző készségek fejlesztése, átértékelődik a tanár-diák szerep. A tanár inkább a közös munka koordinátora, mintsem az új ismeretek közvetítője. (Mazur 2009, Westerman 2014, Hutching and Quinney 2015) A „fordított osztályterem” pedagógiai módszer fontos elemeit az angol elnevezés is hűen összegzi. A FLIP mozaikszóban az **F** a rugalmas tanulási környezetre, az **L** a tanulóközpontúságra, az **I** a tananyag tartalmának tudatos megtervezésére és a **P** a szakmailag felkészült tanárookra utal. (**FLIP F**: Flexible Learning Environment, **L**: Learning Culture, **I**: Intentional Content, **P**: Professional Educator)

A „fordított osztályteremben” a diákok aktív egyéni tanulása (*Active learning*) mellett a társaktól való tanulás (*Peer-assisted learning*), vagy a csoportos tanulás (*Collaborative learning*) eszközei egyaránt alkalmazhatók. (Akçayır, G. and Akçayır, M., 2018) A módszer -bizonyos keretek között- szabadságot ad a tanulóknak a tanulásszervezésben (időbeosztás és a tanulás helyének megválasztása), ugyanakkor növeli a diák egyéni felelősségét az órára történő felkészülésben. Ez magában hordozza annak veszélyét is, hogy a csoport valamely, vagy esetleg több tanulója is felkészületlenül érkezik a kontakt órára, ami hátráltatja a többiek haladását is. Ennek esélye véleményem szerint csökkenthető, ha megfelelő nehézségű és mennyiségű feladatot jelölünk ki a tanulók számára, az utasításokat egyértelműen fogalmazzuk meg, és a tanulókat motiválttá, érdekeltté tesszük a feladatok elvégzésében. (pl., Aki nem készíti el a feladatot, az nem vehet részt - illetve felkészületlensége miatt önmagát zárja ki - az óra elején a játékos feladat megoldásában.) A tanulók felkészülését segíti, ha rendelkezésükre áll egy kommunikációs platform, ahol akár egymástól, akár a tanártól személyre szabott segítséget kérhetnek, ha elakadtak, vagy egyénileg visszajelzést kaphatnak. Az új ismeretek rögzítése céljából a feldolgozását követően azonban a téma összegzése nem maradhat el.

A „fordított osztályterem” módszerét sikeresen alkalmaztam mind a bemutatott projekt (3.7), mind web 2.0-ás applikációk fizikaórai alkalmazásánál említett témakörök feldolgozása során (3.6).

### 2.3.3 A web 2.0

A web2.0 olyan internetes szolgáltatások összefoglaló neve, melyek a felhasználók számára keretrendszert biztosít és széleskörű együttműködést, tudásmegosztást tesz lehetővé. A tartalmak általában szabadon szerkeszthetők, az adott szolgáltatást használók közösségébe tartozók a feltöltött anyagokat, információkat véleményezhetik. Sokszínű alkalmazásuk élményszerűvé varázsolja a fizika tanítását. A legismertebb web2.0 szolgáltatások közé tartoznak a kép-és videómegosztó oldalak, közösségi oldalak, blogok, wikik, podcastok, térképek, oktatójátékok stb. (O'Reilly, 2009)

Tanítási gyakorlatomban a fizikaoktatás 6 nagy területén használok rendszeresen web 2.0-s alkalmazásokat. Ezek a következők:

- mérések (fizikai mennyiségek közötti összefüggések felfedeztetése, fizikai törvények érvényesülésének igazolása)
- szemléltetés (olyan esetekben, amikor korlátozottak a kísérletezési lehetőségek vagy bizonyos paraméterek megváltoztatása nehezen demonstrálható)

- projektek (közösségi platformok használata a készített anyagok megosztására, kommunikációra)
- szavazások (kísérletek lehetséges kimenetelére vonatkozóan, vagy gondolkodtató kérdéseket illetően)
- ellenőrzés, játékos levezetés (rövid, gyors visszajelzés az óra bármely időpillanatában, amely a figyelem fenntartását is szolgálja)
- esetenként számonkérés.

Az általunk leggyakrabban használt applikációk:

interaktív szimulációk (Phet, Vascak, Geogebra fizika)

videómegosztó oldalak (YouTube)

online tananyagok (Mozaweb, Okosdoboz, Realika, Zanza Tv, Geomatech)

kollaborációra, tudásmegosztásra (Padlet, Twinspace, Google Drive, Microsoft OneNote, Google Classroom, Teams, Zoom)

játékos gyakorlás (Quizizz, Kahoot, Learning Apps, Wordwall, Genially)

online tesztek számonkérésre (Quizizz, Redmenta, Google űrlapok)

Három témakör esetében (*Elektrosztatika; Mágneses mező, mágneses indukció és Rezgések és hullámok*) megmutattam, hogy a fizikaoktatásban hatékonyan használtuk a web 2.0-ás alkalmazásokat.

#### 2.3.4 Gamifikáció

A digitális forradalomnak köszönhetően a mai középiskolás korosztály a Z generáció, akiket „digitális bennszülöttként” is definiálnak, számára a számítógép és az okostelefon már nélkülözhetetlen eszköznek bizonyul. Ők szinte folyamatosan jelen vannak az online térben és az információkhoz gyorsan hozzáférnek.

A gamification, amely a magyar nyelvhasználatban gamifikáció vagy játékosítás néven vált ismertté, az angol game(játék) és a fication (valamilyenné alakítás) szavak összetételéből származik. A fogalmat 2002-ben Nick Pelling (Pelling, 2011) vezette be, elsősorban az oktatás digitális eszközökkel történő élményszerűbbé tételére. Azóta a jelentésköre folyamatosan bővült, ma gamifikáció alatt leginkább „a játéktervezési elemek játékon kívüli kontextusban való használatát” (Deterding et al, 2011) értjük. Az oktatás játékosítását határozottan meg kell különböztetnünk a hagyományos értelemben vett játéktól. Az előbbi esetben előre meghatározott tanulási célt szeretnénk elérni új, élményszerű tanulási környezetben, míg az utóbbiban pusztán a játék örömét, az élvezetet keressük. A digitális játékok oktatásban való alkalmazása a motiváció hatékony eszköze,



amely hosszútávon hozzájárulhat a diákok tantárgyi attitűdjének megváltozásához, a tanulási folyamat eredményességének javulásához. A motivációt az a tanulók képességeihez mért optimális kihívások, az interaktív környezet, az azonnali visszacsatolások, az érdeklődést felkeltő feladatok biztosítják (Nádori és Prievara, 2018). A motivációs hatást fokozza, az egymással való versengés, a tanuló érdeklősége a kisebb nagyobb célok elérésében. Ehhez járul hozzá az ún. EGameFlow-élmény is, amely a játék folyamatos kihívásainak teljesítéséből fakad és felerősíti a tanulás iránti vágyat, hozzájárul a tanulók problémamegoldó gondolkodásának fejlődéséhez (Kovácsné Pusztai K., 2018). A játék során végzett aktív kísérletezés, próbálkozás útján a tanulók konkrét tapasztalatokat szereznek, elmélyítik az elsajátítandó tananyag fogalmait, rögzítik ismereteiket.

A gamifikációnak két fajtája ismert, a tartalmi és a strukturális játékosítás. Az előbbi esetben a tananyag feldolgozását tesszük játékosná (pl. szerepjátékokkal, kerettörténettel), míg az utóbbiban különböző játékelemeket, mechanizmusokat alkalmazunk (pl. pontok, szintek, jelvények). A web 2.0-s applikációk kiválóan alkalmasak a gamifikáció elemeinek a tanóra menetébe való beillesztésére. Segítségükkel könnyen készíthetünk tesztek, változatos feladatokat (kvízek, online szabaduló szobák, párosítós játékok stb.), alkalmazásukkal a tanórák élvezetesebbé, élményszerűbbé tehetők, fokozódik a diákok tanórai aktivitása és ezáltal motiváltabbá válnak. További előnyük, hogy azonnali visszajelzést kapunk minden diák egyéni teljesítményéről. Megfigyelhető az is, hogy a játékosítás során a tanulók másképpen élik meg a sikert, illetve a kudarcot. A vártnál gyengébb eredmény a játék megismétlésére, további gyakorlásra ösztönzi őket. Az egymás közötti versengés pozitívan befolyásolja a tanulók játékban való részvételét. (A tanórákon egyébként kevésbé aktív tanulók is szívesen bekapcsolódnak az ilyen típusú feladatok megoldásába.) A siker kulcsa egyrészt abban rejlik, hogy a gamifikáció elemeinek alkalmazásakor a játék megfelelő nehézségű feladatokból álljon, hogy minden résztvevő több-kevesebb sikerélményhez juthasson. Másrészt szükséges az is, hogy a végső célhoz vezető úton a kisebb célok elérését is a teljesítménnyel arányos módon jutalmazzuk. Ez segít fenntartani a tanulók motivációját. A tanulás hatékonyságát növeli, ha a diákoknak lehetőséget biztosítunk arra, hogy korábbi tévedéseiket korigálják valamilyen ellenszolgáltatás (pontlevonás, idő, jelvény visszavonása stb.) fejében.

Számos olyan web 2.0-ás alkalmazás létezik, amely a játékosítás célját szolgálja. A teljesség igénye nélkül ilyenek pl. a Quizizz, Kahoot, online szabaduló szobák (Fromann

R. and Damsa A, 2016). A legtöbbjük a felhasználó számára csak keretrendszert biztosít, a benne levő tartalom szabadon szerkeszthető. Az applikációk többféle feladattípust kínálnak fel, lehetőség van a kérdésekhez kiegészítésként képet, videót, szöveges anyagot feltölteni. Így a feladatok összeállításának csak a felhasználó kreativitása szab határt. A játék végén általában kérhetünk személyre szabott értékelést. A Quizizz és a Kahoot esetében pl. az egész csoport teljesítménye is áttekinthető, vagy akár kérdésenként is letölthetünk statisztikát. Az eredmények ismeretében a szükséges hiányok pótolhatók, a problémás feladatok újra tárgyalhatók.

A gamifikáció elemeit eredményesen használtam a 3.6 fejezetben bemutatott három témakör tanítása során.

#### 2.4 A kutatásban részt vevő diákok

Kutatásomban a Budapest II. Kerületi Szabó Lőrinc Kéttannyelvű Általános Iskola és Gimnázium (korábbi iskolám) 9-11., és az Érdi Vörösmarty Mihály Gimnázium (jelenlegi iskolám, VMG) 10-11. évfolyamos diákjai vettek részt. Az osztályok angol két tanítású nyelvűek vagy általános tantervűek, de a fizikát minden esetben magyarul tanulják. (Azoknál a kutatási eredményeknél, ahol a kéttannyelvűségnek szerepe van, ott ez kiemelésre kerül.) Minden csoport elsősorban humán érdeklődésű diákokból áll, a fizikát középszinten, heti 2 órában tanulja. A fizikaórákon csoportbontás nincs, illetve a VMG-ben a néhány fizika fakultációt választó diák az osztályból kiemelve, külön csoportban tanulja a fizikát. A tanulók a kutatás egyes fázisaiban különböző létszámban vettek részt. Ezt leginkább a kutatási cél és az adott tanévben a tantárgyfelosztás határozta meg.

### III. Saját kutatások és eredmények összefoglalása a tézisek mentén

3.1 A villámok jelenségkörének tanítása a MER jegyében [S4], [S5]

*Dolgozatomban megmutattam, hogy a villámok jelenségköre összetettsége miatt kiválóan alkalmas a komplex természettudományos gondolkodás kialakítására, fejlesztésére. A természettudományos tantárgyakhoz (földrajz, biológia, kémia) való kapcsolódási pontok feltárásával megmutattam, hogy a jelenségkör tanításával a tantárgyi integráció is megvalósítható.*

*Diákjaim számára jegyzetet készítettem, amelyben a tananyag kidolgozásakor a jelenségek megértésére törekedtem, ezért leírásukkor és a magyarázatok során a MER módszerét követtem: elemi megközelítéseket, fizikai tartalmat nem befolyásoló egyszerűsítéseket alkalmaztam.*

*Tapasztalataimon és a diákok visszajelzésein keresztül igazoltam, hogy a kidolgozott tananyagok eredményesen használhatók a fizikaoktatásban, a témaválasztásnak óriási a motiváló ereje. A téma középiskolai tananyagba történő beillesztésére gondolatébresztő javaslatokat fogalmaztam meg.*

3.1.1 A komplex gondolkodásmód fejlesztése

A komplex természettudományos gondolkodásmód kialakításához, a bennünket körülvevő világ működésének megértéséhez, a jelenségek megismeréséhez elengedhetetlenül fontos az ok-okozati viszonyok feltárása, a változások közötti levő logikai összefüggések felismerése, rendszerszemlélet kialakítása. Erre kiváló lehetőséget nyújt a légkör, ezen belül a légkör elektro-optikai jelenségeinek tárgyalása. A témakörrel a 10. évfolyamos fizika keretein belül foglalkozunk. Ekkorra a diákoknak vannak bizonyos, elsősorban a földrajz órákon szerzett előismereteik. Fizikaórai tanulmányaik alapján rendelkeznek már elektrosztatikai alapismeretekkel, egyszerű kísérleti tapasztalatokkal, melyek segítségével a zivatarfelhők kialakulása, töltéseloszlása elemi úton tárgyalható. Megvizsgálhatjuk a zivatarfelhő által keltett elektromos mező tulajdonságait és a földfelszín töltéseloszlására gyakorolt hatását. Gyakorlati alkalmazást mutathatunk az elektrosztatika törvényeinek érvényesülésére, elmélyíthetünk fogalmakat (szuperpozíció elve, elektromos megosztás, feszültség, potenciál, ekvipotenciális felület, csúcshatás stb.). A téma több részletének megértése azonban megkívánja, hogy a villámok tárgyalását a tananyag más, elektrosztatikán kívüli, fejezeteibe (mágneses indukció, elektromágneses sugárzások) is beemeljük.

A villámvédelem szempontjából kulcsfontosságú kérdés a villámáram által keltett változó mágneses mező indukciós hatása is. (Ennek következtében adott hálózatban a névleges feszültség sokszorososa is felléphet.) Az így keletkező túlfeszültség elsősorban a számítógépes és informatikai eszközök finom áramköreinek sérülését, károsodását okozhatja, ami ellen védekezniünk kell. A villámok elektromágneses sugárzásának ismerete nélkül elképzelhetetlen lenne a villámok lokalizációja, illetve a zivatartevékenység előrejelzése. Ennek hiányában számos tapasztalati tényre (pl. intenzív villámtevékenység esetén recsegő rádió) sem tudnánk kielégítő magyarázatot adni. A villámok legismertebb következménye a villámcsatorna hirtelen tágulása következtében létrejött lökeshullám, a mennydörgés. A jelenség kicsit részletesebb vizsgálatával a *Hang* témakörében tanultakhoz is kapcsolódhatunk. A villámok hatásainak tárgyalásakor nem szabad megfeledkezni az emberi szervezetre gyakorolt hatásokról sem. A közhiedelemmel ellentétben, ami a viszonylag ritkán előforduló közvetlen villámcsapást tartja az emberi szervezet számára a legveszélyesebbnek, kiemelendő, hogy a villámok elektromos hatásának elsődleges veszélyforrása az emberi idegrendszer és a szervezet elektromos működésének károsítása. (Cooper, 2016)

Természetesen a villámok pusztító hatásuk mellett számos káprázatos felsőlégköri elektro-optikai jelenség forrásai is lehetnek. Ezek tárgyalása messze túlmutat a középiskolai tananyagban, de tapasztalatom szerint, amennyiben időnk engedi, mégis érdemes foglalkozni velük. Szemet gyönyörködtető látványuk felkelti a fizika iránt kevésbé érdeklődő diákok figyelmét is. Számos kiváló minőségű, „timelapse videó” érhető el az interneten, a jelenségekre pedig elemi úton magyarázatot is adhatunk.

A Föld különböző helyein másodpercenként zajló kb. 40-100 villám a gerjesztő forrása a Schumann-rezonanciák (SR). A SR-k a villámok által keltett elektromágneses hullámok állóhullám állapotai, vagy más néven rezonanciái. Középiskolai említésük még az érdeklődő diákok körében is csak akkor képzelhető el, ha a mechanika témakörében korábban, pl. rugalmas kötélen már megfigyeltük a rögzített, illetve szabad végről visszaverődő hullámokat, a hullámok interferenciája révén kialakuló állóhullám mintázatot vagy tanulmányoztuk a hanghullámok esetén különböző határfeltételek mellett a levegőoszlop rezgéseit (Finta Zs., Takátsné Lucz I., és Schramek A. 2021). Globális kérdéseket vizsgálva megemlíthető, hogy a kutatók összefüggést fedeztek fel a villámaktivitás és a Föld felszíni hőmérséklet-növekedése között. Ugyanakkor még kutatások folynak, hogy a felszíni átlaghőmérséklet növekedésével a villámok előfordulásának gyakorisága is növekszik-e. A különböző globális felmelegedési

modellek eredményei azonban továbbra is ellentmondásosak, így a kérdésre egyértelmű válasz nem adható (Finney, et.al.,2018; Chakraborty et.al,2021; Romps et.al., 2014).

### 3.1.2 A természettudományos tárgyakhoz való kapcsolódási pontok

A diákok légkörrel kapcsolatos ismereteiket elsősorban a földrajzórakon sajátítják el. Az érvényben lévő kerettanterv szerint a földrajz tantárgyban önálló fejezet foglalkozik a légkörrel. A tanulók megismerkednek a légkör szerkezetével, fizikai és kémiai jellemzőivel, a légszennyezés forrásaival és globális következményeivel. Vizsgálják a különböző légköri folyamatok és jelenségek (felhő- és csapadékképződés, ciklonok, anticiklonok, trópusi ciklonok, időjárási frontok) időjárást alakító hatását, megtanulnak időjárási térképeket és előrejelzéseket értelmezni. A légkör globális változásainak és a hozzáfűződő problémáknak (az ózon körforgása és az ózonréteg elvékonyodása, savas esők hatása, éghajlatváltozás stb.) megvitatásával a tanulók környezettudatos szemléletének fejlesztésére is lehetőség nyílik.

Az elmúlt évtizedekben a fizikában a tudományos ismeretek halmozódásával a törzsanyagban háttérbe szorultak a meteorológiai vonatkozású témák. Jelenleg általában a fizikai törvényszerűségekhez kapcsolódva, többnyire mérési feladatokban jelennek meg. A tankönyvekben leggyakrabban a kiegészítő vagy olvasmány részben, mint érdekesség fordulnak elő. Ide sorolhatók a légköri sugárzási folyamatok, légköri elektromos és optikai jelenségek, valamint a csapadékképződés egyes komponensei (páratartalom, a csapadékok fajtái, halmazállapot-változások). Ebben hozott változást a 2020-ban bevezetett új NAT, melyben nagyobb teret kapott e jelenségek tanítása, a villámcsapás veszélyeinek és a villámvédelem kérdésének tárgyalása.

A földrajz és fizika tárgyak mellett a középiskolák 11. évfolyamán új tantárgyként jelent meg a természettudomány. Ennek kerettanterve javasolja pl. az időjárás és az éghajlatváltozás előrejelzési módszereinek tanulmányozását, valamint számos társadalmilag releváns, globális probléma (pl. klímaváltozás, levegőszennyezés, az éghajlatváltozás természetes és antropogén folyamata) feldolgozását a korábban, a fizika és földrajz tantárgyak tanulása során szerzett ismeretek alapján. E témakörök megvitatása számos kulcskompetencia fejlesztése mellett hozzájárul a diákok környezettudatos szemléletének formálásához.

A légköri elektromos jelenségek leírása természetesen elképzelhetetlen a kémiában szerzett alapismeretek nélkül. Ott találkoznak először a középiskolás diákok az elektromos állapot, a töltés fogalmával, adnak magyarázatot az elektromos vezetési

mechanizmusokra, fedezik fel az elektromos áram és a kémiai reakciók közötti összefüggéseket. Kémiai tanulmányaik alapján tudják értelmezni a villámok által kibocsátott elektromágneses sugárzást és a villámok színét.

A témakör a villámok emberi szervezetre gyakorolt hatásain keresztül a biológiában tanultakhoz is kapcsolódik. A villám hatalmas áramai jelentősen megzavarhatják az ember idegrendszeri szabályozását irányító finom bioelektromos hatásokat. Erős elektromos tere hirtelen szívmegálláshoz, emlékezetkieséshez, bénuláshoz vezethet, de okozhat maradandó idegrendszeri károsodásra utaló neuropszichológiai változásokat, epilepsziát, memóriazavarokat, emlékezetkiesést és személyiségváltozásokat is (Cooper, 2016). A villám a vezetési csatorna lökéshullámai által károsíthatja a hallást, elektromágneses sugárzásának köszönhetően pedig látászavarokat idézhet elő.

### 3.1.3 A kutatás menete

A tananyag összeállításakor először áttekintettem a fizika, földrajz, biológia és kémia tantárgyak NAT 2020 kerettanterveinek és a követelményrendszerének idevonatkozó részeit. Meghatároztam a tantárgyak kapcsolódási pontjait, a tanítandó téma kulcsfogalmait, alapjelenségeit és az elsajátítandó ismereteket. Számos korábbi tankönyvet megvizsgáltam, hogy milyen formában és mélységben érintették az általam választott jelenségek körét. Kutatómunkát folytattam a villámokkal kapcsolatos jelenségek megértéséhez szükséges tudományos tényanyag összegyűjtésére. A MER jegyében elkészítettem a szakmai anyag bonyolult matematikát és nagyon absztrakt fizikai háttérismeretet nélkülöző középiskolai interpretációját. Az elméleti összefoglalót a dolgozat függeléké tartalmazza, a diákok számára készített jegyzet a dolgozat végén található linken<sup>1</sup> érhető el. A tananyag szakmai háttéréként számos a 2.2.1 pontban már említett szakkönyv és szakkikk, valamint a MetEd (Meteorological Education) platform anyagai szolgáltak.

A kidolgozott tananyagban a zivatarfelhők leegyszerűsített tripólusú modelljéből kiindulva értelmezem a zivatarfelhők elektromos terét és hatását a földfelszín töltéeloszlására, vizsgálom a zivatarfelhők szerepét a nagy légköri áramkörben. A villámok típusainak tárgyalását követően a jegyzetben a villámok legfontosabb tulajdonságaival, időbeli lefolyásával ismerkednek meg a diákok. A tananyagban kitérek a földből kiemelkedő csúcsok szerepére a villámcsapás kialakulásában, valamint a villámhárító működési elvére, villámcsapások különféle hatásaira. Elsősorban az emberi szervezetre gyakorolt élettani hatásokra fókuszálok. (A tanítás során kitértem néhány a

villámokkal kapcsolatban kialakult tévhitre is, valamint a villámveszélyes helyzetek elkerülésére.) A fizika törvényeinek gyakorlati alkalmazásaként a jegyzetben megemlítésre kerül a villámok lokalizációja és az előrejelzések fontossága is. A tanításhoz készítettem néhány segédanyagot (feladatlap, kérdőív, játékos feladatok applikációkkal) is. A szakmai anyag összeállításával, a tanítási tapasztalatok megosztásával a fizikatanár kollégáknak szerettem volna segítséget nyújtani az újonnan bevezetett tananyag tanításához.

A témaválasztással és a tanítás során alkalmazott pedagógiai módszerekkel és modern technikákkal a diákok tantárgyi motivációjának fokozása, a fizika iránti attitűdjük javítása volt a célom. Fontosnak tartom azt is, hogy az ismeretek elsajátításával a diákok a mindennapi életükhöz is hasznos információkhoz jutottak (pl. villámveszélyes helyzetekben mi a teendő), a műszaki tudományok iránt érdeklődők pedig betekintést nyerhettek a villámlokalizációs alapismeretekbe.

A kidolgozott szakmai anyag teljességében nyilván nem fér a kötelező tananyagba, azonban szakkörön kibontható, és hasznos kiegészítést jelent mind a fizika, mind a földi légkör sajátosságainak jobb megismeréséhez.

A tanórai feldolgozás során az alábbi, mindenki számára ingyenesen elérhető felületeket és applikációkat használtuk (1. táblázat):

Az applikáció vagy a felület neve	Rövid leírása	Elérhetősége
COMET MetEd	földtudományi szakmai anyagok gyűjteménye meteorológusok és a földtudományok iránt érdeklődő elsősorban felsőoktatási hallgatók részére	<a href="https://www.meted.ucar.edu/index.php">https://www.meted.ucar.edu/index.php</a>
National Weather Service	oktatási segédanyagok széleskörű választéka középiskolások számára, amely nagyszerű animációkat, tanórai tevékenységeket és játékokat, rengeteg statisztikát tartalmaz a villámok témakörének feldolgozásához	<a href="https://www.weather.gov/safety/lightning-myths">https://www.weather.gov/safety/lightning-myths</a>
Phet	kutatás alapú szimulációk gyűjteménye a különböző természettudományok területén	<a href="https://phet.colorado.edu/en/simulations/browse">https://phet.colorado.edu/en/simulations/browse</a>
Physics at school	interaktív szimulációk tárháza fizikából	<a href="https://www.vascak.cz/physicsanimations.php">https://www.vascak.cz/physicsanimations.php</a>

Az applikáció vagy a felület neve	Rövid leírása	Elérhetősége
OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) honlapja	időjárás-előrejelzéseket, veszélyjelzéseket, radar-, felhőzet- és égképeket, hőmérséklet- és csapadék adatokat, illetve meteorológiai alapismereteket tartalmaz közérthető formában	<a href="https://www.met.hu/">https://www.met.hu/</a>
Quizizz	játékos kvízek, interaktív leckék érhetők el a felületen. A felhasználók sablonok alapján saját tartalmakat is létrehozhatnak. Gyakorlásra, az ismeretek elmélyítésére és a figyelem fenntartására kiválóan alkalmas eszköz. Különböző statisztikák alapján azonnali visszajelzést ad a pedagógus számára a játékban résztvevő összes diák teljesítményéről.	<a href="https://quizizz.com/">https://quizizz.com/</a>
Learning Apps	A Quizizzhez hasonló felület, amely többféle sablon választási lehetőségét kínálja fel.	<a href="https://learningapps.org/index.php?overview&amp;s=&amp;category=0&amp;tool=">https://learningapps.org/index.php?overview&amp;s=&amp;category=0&amp;tool=</a>

*1.táblázat* A leggyakrabban alkalmazott applikációk és platformok

Az összeállított tananyagokat az elmúlt négy év mindegyikében egy-egy osztályban kipróbáltam, a tapasztalatoknak megfelelően többször módosítottam. A tananyagok felhasználásához módszertani ajánlásokat is készítettem, megmutattam, hogy a villámokkal kapcsolatos ismeretek hogyan illeszthetők be a fizika törzsanyagának egyes fejezeteibe.

### 3.1.4 A téma a középiskolai tananyagba történő integrálása

A villámok érdemi tárgyalása a középiskolában nehéz, hiszen a diákok nem rendelkeznek a leírásukhoz szükséges bonyolult matematikai és fizikai ismeretekkel, többségük még csak említés szintjén sem hallott az elektrodinamika alaptörvényeiről, a Maxwell-egyenletekről. Ezért meg kell elégednünk azzal, hogy egyszerűsítő feltételek mellett a lényegi gondolatok megértésére törekszünk és így adunk elemi magyarázatot a hétköznapi életben is megfigyelhető jelenségekre. Bár a forgalomban levő tankönyvek



jelentős része a villámokat elsősorban az elektrosztatikai ismeretekhez kapcsolódóan vizsgálja, fontosnak tartom a jelenség tárgyalásának beemelését a tananyag más (mágneses indukció, elektromágneses sugárzások) fejezeteibe is. A különböző témakörökben tanult törvények felhasználása elősegíti a tudástranszfert, amely fejleszti a diákok természettudományos szemléletét. Az új ismeretek korábbiakhoz való kapcsolása pedig segíti azok rögzülését. Az alábbiakban a fizika egyes fejezeteihez tartozó elméleti háttér rövid áttekintése után néhány javaslatot teszek a villámok témakörének a tananyagba történő beillesztésére.

### 3.2.2.1 Elektrosztatika

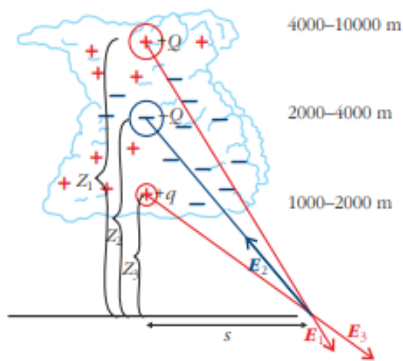
Az elektrosztatikában lényegében a felhők elektromos szerkezetének egyszerűsített modelljei és az átütés kérdései tárgyalhatók, a villámok lefolyása és tulajdonságainak ismertetése a tananyag tartalmi bővítését teszi szükségessé. Az elektrosztatika bevezetésekor bemutatható kísérletek, a dörzselektromos szikrák, illetve a Van de Graaf-generátor és a leydeni palack nagyobb szikráinak bemutatása, valamint a villámokkal való analógiák jó alkalmat szolgáltatnak arra, hogy a villámkeletkezésről és a zivatarfelhő elektromosságról egyszerű képet mutassunk be tanulóink számára. Az elektrosztatika tanításában azonban mindenképpen annak fogalom- és törvényrendszerének megismertetését kell elsődlegesnek tekinteni, s ehhez alkalmazkodva kell megválasztanunk a villámmal kapcsolatos ismeretanyagot. Ebben az esetben az elektrosztatikai ismeretek gyakorlati alkalmazásának vagy illusztrációként tárgyalhatók a villámokkal kapcsolatos ismeretek.

A következőkben néhány csatlakozási pontot emelek ki az *Elektrosztatika* fejezetéből, ahol érdemes villámokkal kapcsolatos anyagot feldolgozni.

1. A töltés mibenlétének elmélyítését segíti, ha nagyságrendi becslést adunk arra, hogy egy villámcsapás során mennyi elektron áramlik a földbe. (Egy villámcsapás alkalmával a földbe áramló töltésmennyiség 1-2 C.

Ez a töltésmennyiség  $\frac{Q}{e} = \frac{1\text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}} = 6,25 \cdot 10^{18}$  db elektron töltésével egyezik meg.)

2. A Coulomb törvény alkalmazásaként a felhők hárompólusú modelljét (1. ábra) használva és a töltéseket pontszerűnek tekintve kiszámíthatjuk a felhőtől távolodva a térerősséget. Alkalmos töltésmennyiségekkel meghatározhatjuk, hogy felhő-felhő, illetve felhő-föld villám hatására hogyan változik a térerősség. Több töltés terének összegzésével illusztrálhatjuk, hogy az elektrosztatikus térre érvényes a szuperpozíció elv.



1.ábra

A felhő elektromos tere a Föld felszínén

ahol  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ ,  $Q$  a felhő felső pozitív,  $-Q$  a felhő középső negatív,  $q$  a felhő alsó pozitív tartományának töltése;  $r_1, r_2, r_3$  a földfelszín vizsgált pontjának távolsága az egyes töltéscentrumoktól,  $z_1, z_2, z_3, s$  az ábrán jelölt távolságok.

Érdeemes a földfelszínt először síknak tekinteni, és a térerősségek vektori összegzése

mellett a felszínre merőleges térerősség összetevőt is meghatározni. Számítógépes ábrával jól bemutatható ennek az összetevőnek a változása.

$$\Delta E = k \frac{2qz_3}{(z_3^2 + s^2)^{3/2}} - k \frac{2(Q-Q')z_2}{(z_2^2 + s^2)^{3/2}}, \text{ ahol } Q' = Q - \Delta Q$$

A számítások során feltételezzük, hogy a felhő-föld villám a felhő alsó pozitív tartományát teljesen semlegesíti. Ha egy villámlás alkalmával a negatív töltéscentrum töltésmennyiségének változása  $-\Delta Q$ , akkor a villám a felszín felé  $-\Delta Q + q$  töltést szállít. A tanítás során azonban érdemes megjegyeznünk, hogy valójában a felhő töltéscentrumainak megfelelő töltésmennyiségek nem tekinthetők pontszerűnek.

A töltéscentrumoktól származó térerősségvektorok a földfelszín egy pontjában	A töltéscentrumoktól származó térerősségvektorok felszínre merőleges komponensei a földfelszín egy pontjában
$E_1 = k \frac{Q}{r_1^2} \frac{\mathbf{r}_1}{r_1}$	$E_1 = -k \frac{2Qz_1}{(z_1^2 + s^2)^{3/2}}$
$E_2 = k \frac{Q}{r_2^2} \frac{\mathbf{r}_2}{r_2}$	$E_2 = k \frac{2Qz_2}{(z_2^2 + s^2)^{3/2}}$
$E_3 = k \frac{q}{r_3^2} \frac{\mathbf{r}_3}{r_3}$	$E_3 = -k \frac{2qz_3}{(z_3^2 + s^2)^{3/2}}$
$E = E_1 + E_2 + E_3$	$E = E_1 + E_2 + E_3$

2.táblázat

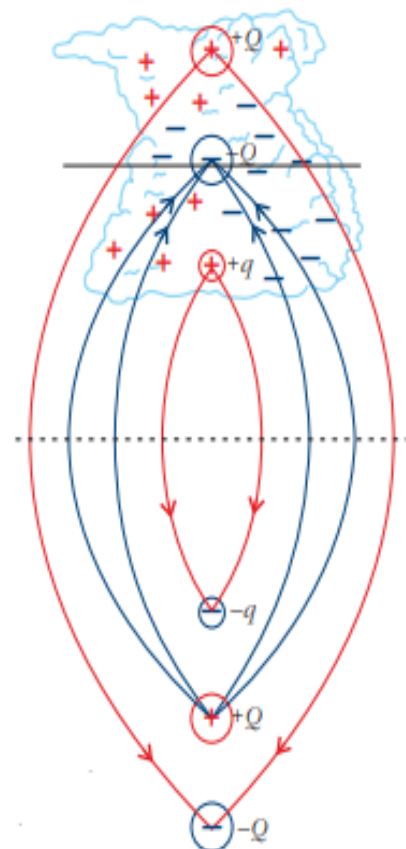
A töltéscentrumoktól származó térerősségvektorok és felszínre merőleges komponensei

3. A feladat kapcsán megbeszélhető, hogy mekkora térerősség, illetve feszültség szükséges ahhoz, hogy a villámcsapás bekövetkezzék. Tisztázható az átütési feszültség fogalma. A nagyságrendek ismertetésekor elfogadható, hogy ilyen térerősségek mellett a föld (és az emberi test is jó vezető, így a Föld felszíne ekvipotenciális felület. (Ezt az elektrosztatikus kísérletek is jól alátámasztják.)

4. Ismerve, hogy a Föld negatív töltéssel rendelkezik, furcsa, hogy a felhő föld villámok negatív töltést szállítanak a földre. Az ellentmondásosnak látszó tény magyarázata jó példa a megosztás jelenségére, tehát arra, hogy az elektromos térbe helyezett vezetőkből a töltések átrendeződnek. (A többlettöltés a vezetők felszínén helyezkedik el, a külső tér erősebb a felületre, belül a tér erőssége zérus, és a teljes térfogat ekvipotenciális.) A felhő központi nagy negatív töltése miatt a föld töltéseloszlása megváltozik, a felhő alatt nagy tartományban pozitív töltéstöbblet keletkezik. (Ez természetesen nem sérti a szuperpozíció elvét, mert amikor a töltéseloszlás sztatikussá válik, a kialakuló tér a teret létrehozó töltések függetlenül számítható terének szuperpozíciója lesz. Érdemes a diákokkal felrajzoltatni hogyan képzelik a földet vezető sík és egyetlen ponttöltés terének erővonalképét, berajzolva az ekvipotenciális felületeket is. (Szimuláció segítségével illusztrálhatjuk is.)

5. Applikáció segítségével megvizsgálhatjuk több pontszerű töltés együttes elektromos terét. Két azonos nagyságú, ellentétes előjelű töltés együttes terében kereshetünk zérus potenciálú helyeket. Megvizsgálhatjuk egy pozitív töltés és tőle adott távolságban levő egyenesen elhelyezett sok negatív töltés elektromos mezőjét.

6. A földet vezető sík és a ponttöltés terének számítása megoldható a tükörtöltés módszerrel (2. ábra). Tükrözzük a ponttöltést a síkra és előjelét változtassuk ellenkezőre, majd vegyük el a vezető síkot. A két ponttöltés tere megegyezik az eredeti töltés és a síklap terével (természetesen csak abban a félsíkban, amelyben az eredeti töltés van, hiszen a másik félsírt a vezető sík árnyékolja).



2. ábra  
Tükörtöltéspárok tere  
(Az ábrán a tükörtöltéspárok terét 2-2 erővonal szemlélteti, az ábra nem a három töltéspár eredő terét mutatja.)

Ha a ponttöltés potenciáljára vonatkozó  $U = k \frac{Q}{r}$  formulát a diákok ismerik, akkor a tükörtlítés módszer helyessége a vezetősík ekvipotenciális (zérus potenciálú) tulajdonságát felhasználva szép, egyszerű gondolatmenettel igazolható. Induljunk ki a töltés és a tükörtlítés teréből. Azonnal adódik, hogy a két töltést összekötő egyenes felező merőleges síkjának potenciálja zérus, hiszen a felező merőleges sík minden pontja egyenlő távolságban van a töltésektől, így a két ellentétes töltés potenciáljának összege a sík minden pontjában zérus. A tükörtlítés módszerrel meghatározható a jó vezetőnek tekintett földön kialakuló tér nagysága.

7. Tisztázható a földből kiemelkedő csúcsok szerepe a villámcsapás kialakulásában. A jó vezető földhöz csatlakozó hegyes tereptárgyak jó vezetőként azonos potenciálra kerülnek a földdel, a térerősség azonban a csúcsok környezetében megnövekszik, emiatt ott a levegő vezetőképessége nő, az átütési szilárdság csökken a csúcshatás miatt. (Ez a kérdés bonyolult, legegyszerűbb, ha kísérlettel, a csúcshatás bemutatásával illusztráljuk.)

8. A csúcshatás ismeretében tárgyalható Benjamin Franklin találmányának, a villámhárítónak, a működési elve. Megvizsgálhatjuk a védett terület alakulását függőlegesen, illetve vízszintesen elhelyezett felfogók esetén a védőszöges módszer (Horváth, 1997) segítségével, majd megemlíthetjük a Horváth Tibor által kidolgozott gördülő gömbös eljárást (Horváth, 1997).

9. Faraday elektrosztatikus árnyékolást demonstráló, történelmi jelentőségű kísérletének (Faraday-kalitka) bemutatása és elemzése után kitérhetünk a külső villámvédelemben alkalmazott ún. hálós módszerre is. Hangsúlyoznunk kell azonban a külső villámvédelem mellett a belső villámvédelem fontosságát is, amelyre később a mágneses indukció témakörében érdemes visszatérnünk.

A villámok elektrosztatikai tárgyalása itt lezárul.

#### 3.2.2.2 Az elektromos áram

A villámnak mind térbeli, mind időbeli szerkezete bonyolult. Nyilvánvaló, hogy a tanításban megelégedhetünk a folyamat két szakaszra, az elővillámra és a fővillámnak nevezhető visszacsapó villám szakaszra bontásával. Az elővillámot a lefelé haladó és ennek során vezetési csatornát kialakító kisüléssel érdemes azonosítani, míg a fővillámot a visszacsapó szakasszal. A visszacsapó szakasz annak ellenére, hogy nagyon rövid (mindössze néhány száz mikroszekundumig) ideig tart, a villámlás legfontosabb része. A villámcsapás pusztító hatása és a mennydörgés is ennek a következménye.

Az elektromos áram témakörére áttérve elkezdhetjük egyszerűsített formában a villámokban bekövetkező töltésmozgást is tárgyalni. Ha a villám szakaszaival nem foglalkoztunk, az egyetlen villámcsapás által szállított  $Q$  töltést a villámcsapás idejével elosztva definiálhatjuk a villám átlagos áramerősségét, és becslést adhatunk a villámcsapás energiájára is, megmutathatjuk milyen korlátai vannak a hasznosításának. E kérdések megbeszélésével számos, a villámokkal kapcsolatban kialakult tévhit elosztható. Az alábbiakban néhány lehetőséget emelek ki a jelenségnek az *Elektromos áram* témakörbe való beillesztésére:

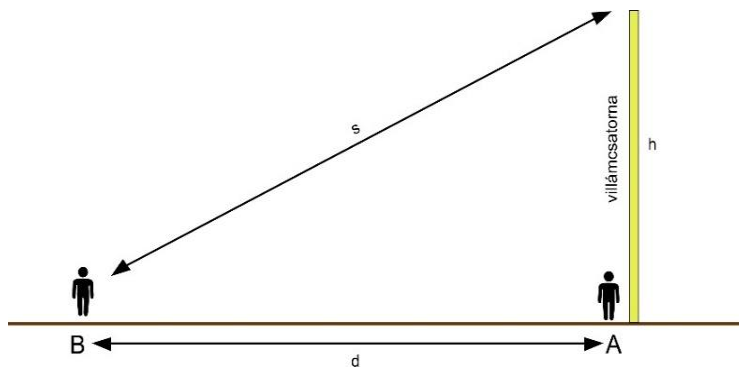
1. Amikor már megismerkedtünk az elektromos áram különböző típusaival, érdemes felvetni a kérdést, hogy a villámáram vajon melyik csoportba sorolható. Egyen-, váltakozó vagy változó áram-e vagy esetleg egyik sem, illetve ennek milyen következményei vannak.

2. A háztartásokban használt 10 A-es és a villámáram átlagos 30kA-es nagyságrendi viszonyának összehasonlításával érzékeltethető a villámcsapások elektromos eredetű hatásainak veszélyessége. Itt kitérhetünk a villámveszélyes helyzetekre, az ilyen szituációkban tanúsított helyes viselkedésre, valamint a villámáram élettani hatásaira is. Összehasonlíthatjuk a nagyfeszültségű hálózatok és a villámok okozta baleseteket, felhívhatjuk a diákok figyelmét a segítségnyújtás módjára és fontosságára.

3. A villámáram élő szervezetre gyakorolt hatásai közül célszerű kiemelni a lépésfeszültséget, amely komoly veszélyforrást jelenthet. *Lépésfeszültségnek* nevezzük azt a potenciálkülönbséget, amely a villámáram hatására a talaj két pontja között lép fel, ha ez a két pont a villám lecsapási helyétől az ember lépéshosszának távolságában, két különböző ekvipotenciális felületen található (Cooray,2015). A lépésfeszültség mellett érdemes hangsúlyozni az érintési feszültség és az átívelés szerepét is. (A téma részletesebben a tévHITEKRŐL SZÓLÓ FEJEZETBEN KERÜL KIFEJTÉSRE.) Az itt elhangzott ismeretek tárgyalását balesetvédelmi szempontból is fontosnak tartom, hiszen nemcsak a villámok, hanem a háztartási és a nagyfeszültségű elektromos hálózatok vonatkozásában is alkalmazhatók.

4. Az elektromos áram hatásai című fejezetben képi illusztrációk elemzésével megvizsgálhatjuk a villámáram hő- és élettani hatását. A hőhatás okozza a villámkárak jelentős hányadát (pl. erdőtüzek, lakó- és egyéb épületek tüzesetei), legfontosabb következménye pedig a villámlást kísérő dörgés kialakulása. A jelenség értelmezésével feleleveníthetők a hőtani alapismeretek. A villámlás és a mennydörgés észlelése között eltelt időből egyszerű számítás segítségével meghatározható, hogy milyen messze van

tőlünk a zivatar. Megvizsgálható, hogy mennyi ideig halljuk a dörgést. Választ kereshetünk arra is, mi az oka annak, hogy különböző hangot hallunk közeli ill. távoli dörgés esetén.



Az A pontban álló megfigyelő a villámcsatorna alsó pontjából jövő dörgést a villámlással egyidőben hallja, míg a csatorna felső pontjából kiinduló kb. 21 szekundummal később.

3.ábra Mennyi ideig halljuk a dörgést?

(A hang terjedési sebessége a 20 °C-os levegőben 340 m/s,  $h=7000$  m így

$$t = \frac{h}{v} = \frac{7000 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \cong 20,6 \text{ s})$$

Az A-tól  $d = 10000$  m távolságban álló B -beli megfigyelő esetében ezek az idők  $t_1 = \frac{d}{v} = \frac{10000 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \cong 29,4 \text{ s}$  és  $t_2 = \frac{s}{v} = \frac{12200 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \cong 35,9 \text{ s}$ , így

$\Delta t = 6,5 \text{ s}$ . Vagyis ő a dörgést csupán 6,5 másodpercig észleli.

A tereptárgyak a hanghullámok egy részét elnyelik, illetve visszaverik. Ezek a jelenségek befolyásolják a dörgés észlelését. A hanghullám energiájának levegőben való elnyelődése nagyban függ a hullám frekvenciájától. Ez a levegő molekuláris szerkezetével és elnyeléssel magyarázható. A nagy frekvenciájú (magas) hangok jobban csillapodnak, mint az alacsony frekvenciájúak (mélyek). Ez az egyik oka annak, hogy a közeli dörgés esetén éles, csattanó hangot hallunk, míg távoli esetén mély, morajló hangot észlelünk. A csillapodás mértéke a frekvencián kívül a levegő relatív nedvességtartalmától, hőmérsékletétől és a meteorológiai viszonyoktól (pl. szél) is függ. Az elnyelődést a felszín borító növényzet fajtája, lombossága, sűrűsége is befolyásolja. A hőhatás kapcsán, amennyiben időnk engedi érdekességképpen megemlíthető, hogy mi történik, ha a villám egy fába (kéreg leválása), vagy megfelelő összetételű homokos talajba (fulgurit képződése) csap, illetve taglalható a villámcsatorna átmérőjének mérési módszere is.

*Mágneses mező, elektromágneses indukció*

Két hosszú, egymással párhuzamos, egyenes áramvezető kölcsönhatásának tárgyalásakor gyakorlati alkalmazásként megemlíthető a villámok dinamikai erőhatása. A középiskolai

leírásához, az egyszerűség kedvéért, a villámáramot hosszú, egyenes áramjárta vezetőnek tekinthetjük. Ekkor a mágneses indukcióvektor nagysága a vezetőtől  $s$  távolságban a  $B = \mu_0 \frac{i_1(t)}{2\pi s}$ , ahol  $i_1(t)$  a vezetőben folyó áram,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Vs/Am a vákuum mágneses permeabilitása és a két párhuzamosan futó áramvezető között fellépő erő nagysága

$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi s} \cdot i_1(t) \cdot i_2(t)$  összefüggés alapján határozható meg. (Két, egymással szöget bezáró áramvezető esetén bonyolultabb a leírás és az erő iránya is változhat.) Ennek alapján megbecsülhetjük meghajlított vezetők két ága között (pl. ereszt, párkányt megkerülő vezeték) fellépő erőt, amely akár az 1000 newton nagyságrendet is elérheti. Mivel a villámáram pillanatszerű áramlökécs, ezért a hatására létrejövő erő is lökésszerű. Az így létrejövő impulzus ( $I = \frac{\mu_0}{8\pi s} \cdot \int_0^{t_d} i^2(t) dt$ , ahol  $t_d$  a visszacsapó villám időtartama) felelős a két vezető között fellépő mechanikai hatásokért és okozza pl. a csatornák deformálódását vagy esetleges leszakadását. A fenti impulzusformula esetén feltételeztük, hogy a visszacsapó villám árama a két vezető között egyenlő mértékben oszlik meg, így a két ág között fellépő erő

$$F(t) = \frac{\mu_0}{8\pi s} \cdot i^2(t) \text{ alakot ölti (Cooray, 2015).}$$

A villámkisülések által létrehozott erős változó mágneses tér hatására az épületen belüli erősáramú vezetékekben feszültség indukálódik. (A korábban említetteknek megfelelően a villámáram által indukált mágneses teret jellemző indukcióvektor nagysága a vezetőtől  $s$  távolságban:  $B = \frac{\mu_0}{2\pi s} \cdot i(t)$ . Ha a legegyszerűbb esetet tekintjük, amikor az  $a$  oldalhosszúságú négyzet alakú hurkon áthaladó teljes fluxus megváltozását vizsgáljuk, ha a hurok síkja párhuzamos a vezetővel, akkor:

$$\varphi = \int_{s_1}^{s_2} \frac{\mu_0}{2\pi s} \cdot i(t) \cdot a ds = \frac{\mu_0 a i(t)}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{s_2}{s_1}\right)$$

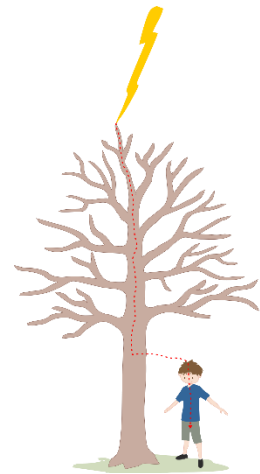
ennek megfelelően az indukált feszültség pedig

$$U_i = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln\left(\frac{s_2}{s_1}\right) \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

R ellenállású vezetőhurok esetén az indukált áram maximális erőssége

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R} = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln\left(\frac{s_2}{s_1}\right) \cdot \left(\frac{di(t)}{dt}\right)_{max}$$

Pl. a vezetőtől 10 m távolságban levő 1 m<sup>2</sup> területű négyzet alakú hurok esetén, ha a visszacsapó villám áramának csúcserője 100 kA/μs „sebességgel” változik, akkor a hurokban 2 kV feszültség indukálódik. (Természetesen normál középiskolai osztályban ezek a számítások nem végezhetők el, az adatok csak közlés szintjén tájékoztató jellegűek lehetnek.) Ennek következtében a fogyasztói hálózatban rövid ideig tartó feszültség-növekedés figyelhető meg, amely a névleges feszültség sokszorososa is lehet. Ezt nevezzük túlfeszültségnek, amely a fogyasztók és az elektromos szigetelések sérülését, károsodását okozhatja. Ezért a belső villámvédelem fő feladata a túlfeszültség elleni védekezés. Az indukált feszültség növeli az átívelés kockázatát is. Ha pl. villám csap egy fába, akkora a fa közelében tartózkodó ember és a lombkorona között fellépő feszültség miatt a villámáram “átugorhat” az emberre és rajta keresztül juthat a földbe (4.ábra). A fa és az ember által alkotott áramkörben villámáram erős változó mágneses fluxusa feszültséget indukál. Ez a feszültség hozzáadódik a lombkorona és az ember feje között létrejött feszültséghez, így növeli a levegő átütésének veszélyét. (Cooray, 2015, Cooper, 2016)



4.ábra Átívelés

#### *Elektromágneses sugárzás*

A fizikatanítás során, a fizikátörténetet követve, előbb az elektromos, majd a mágneses mező fogalomrendszerével, tulajdonságaival, törvényeivel ismerkedünk meg. Az elektromágneses hullámok, elektromágneses sugárzás témakörének jelentősége abban rejlik, hogy a két mező kölcsönhatásán keresztül itt kapcsolódik össze a két mező. (Juhász A., Tasnádi P., Wiener Cs., Gócz É., 2021) A témakör középiskolai tanítása nagy kihívást jelent, mert a 10. évfolyamos diákok nem rendelkeznek megfelelő absztrakciós készséggel, illetve a jelenségek leírásához szükséges bonyolult matematikai és fizikai ismeretekkel. A tananyag feldolgozását az is nehezíti, hogy a mechanikai hullámokkal ellentétben az elektromágneses hullámokról nincs lehetőségünk érzékszerveink útján közvetlenül tapasztalatot szerezni. A tanítás során a mechanikai hullámoknál megismert fogalmak, jelenségek analógiájára támaszkodhatunk (Finta Zs., Takátsné Lucz I., Schramek A., 2021)

1. A villámok elektromágneses sugárzása lehetőséget nyújt az **elektromágneses hullámok bevezetésére** (Juhász A., Tasnádi P., Wiener Cs., Gócz É., 2021). A villámok elektromágneses sugárzásának tárgyalását célszerű egyszerű kísérlettel kezdeni. A villámokat tantermi körülmények között szikrákkal helyettesíthetjük. (A teljes képhez azonban hozzátartozik, hogy valójában a villámok nem azonosíthatók a két elektród



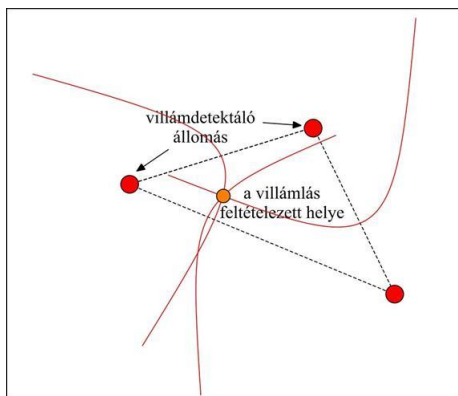
között létrejött szikrákkal, egyrészt mivel a villámok esetében nem beszélhetünk elektródákról, másrészt pedig, míg a szikráknál egyirányú a töltésáramlás folyamata, a villámokban a folyamat bipoláris.) Ha bekapcsolt rádiókat közép, illetve rövid hullámú sávban megfelelően hangoljuk (kb. 1MHz frekvencia megfelelő) és a rádió mellett ebonitrudat dörzsölünk akkor megfigyelhetjük, hogy a rádió sercegő hangot ad. Természetesen, ha a tanóra idején az idő zivataros, a rádió a villámok hatására is serceg. A kvalitatív magyarázat egyszerű: az elektromosan töltött testek nem csupán sugározni képesek, hanem a rájuk eső elektromágneses sugárzás egy részét el is nyelhetik. Ekkor a sugárzás elektromágneses tere a töltött részecskéket rezgésbe hozza és a sugárzási energia egy része átalakul a részecskék rezgési energiájává. Ez az energiaátadási folyamat figyelhető meg a fent említett esetben is. A villámlás elektromágneses tere a vevőkészülék antennáját elérve az antenna elektronjait rezgésbe hozza, és a rádió megfelelően hangolt rezgőkörét gerjeszti. A villámok rádióhullámú tartományának értelmezésében tehát építhetünk az antenna sugárzásával való analógiára.

2. Az antennák tulajdonságainak ismeretében egyszerű számítást is végezhetünk, de tudatosítanunk kell azt, hogy ez inkább csak illusztráció és nem a valóság modellje. A villámot hatalmas unipoláris antennának tekintve az antenna hossza a rezonancia módusban éppen a kisugárzott hullámhossz negyede. A 2-8 km magasságból lecsapó felhő föld villám az egyszerű modell szerint az antenna 10-40 kHz közötti tartományban sugározna. A becslés a hosszúhullámú rádióhullám tartományba esik. Ilyen hullámokat a villámok valóban kisugároznak, de a rádióhullámú tartomány maximális energiája az MHz nagyságrendű tartományba esik. A becslést elsősorban az teszi megkérdőjelezhetővé, hogy a villám nagy antennája nem a rajta futó periodikus jelek miatt kelti az elektromágneses hullámot, hanem néhány gyors egymásutánban bekövetkező lökészerű töltésáramlás miatt. Emiatt az antenna, mint fizikai kép használható, de az antennára vonatkozó számítások közvetlenül csak kritikával alkalmazhatók.

3. A fizikatanításban különös figyelmet fordítunk a gyakorlati vonatkozások kiemelésére. Erre kiváló lehetőséget nyújt a villámok pontos helyének meghatározása, a **villámlokalizáció** alapjainak tárgyalása.

A villámok által keltett elektromágneses sugárzást a frekvencia függvényében, a keletkezés helyétől különböző távolságig észlelhetjük. A sugárzás különböző mérőeszközök segítségével detektálható és a villámlás helye ezáltal meghatározható. Erre többféle eljárás is alkalmazható. A legelterjedtebb közülük az *iránymérési* és a

beérkezési idő különbség mérésén alapuló ún. *TOA-módszer* (Time of Arrival). Az előbbi esetben az egy-egy antennapáron beérkező jelek fáziskülönbségét mérik. Ezt követően a villám pontos pozícióját háromszögeléssel határozzák meg. A TOA eljárásnál azt használják ki, hogy mivel az állomások a forrástól különböző távolságban vannak ezért a jelek eltérő időben érkeznek a vevőkhöz. Ezt az időkülönbséget mérik, majd az idő adatokat GPS segítségével szinkronizálják. A mért adatok alapján hiperbolát illesztnek az állomások közé, melyek metszéspontja adja meg a villámok pontos helyét. A módszer alkalmazásával nem csak a lecsapó villámok helyének meghatározására, hanem a zivatarfelhőkben keletkező kisülések detektálására is mód van. Mivel ezek általában megelőzik a lecsapó villámokat, ezért fontos szerepet töltenek be a villámok előrejelzésében,



5.ábra  
A villámlokalisasió alapja

A villámlás helyétől  $r_1, r_2$  és  $r_3$  távolságban lévő A, B, C pontokban található 3 állomás(vevő). Ezek egymástól való távolsága ismert, az ábra jelöléseinek megfelelően  $d_1, d_2$  és  $d_3$ . Az elektromágneses hullámok azonos tulajdonságú pontjai (pl. a csúcserő) az állomásokra  $t_1, t_2$  és  $t_3$  időpontban érkeznek. Mivel a villámlás helyét nem ismerjük, ezért célunk az  $r_1, r_2$  és  $r_3$  meghatározása. Felhasználva, hogy az elektromágneses hullámok terjedési sebessége  $c$ , a

mért időkülönbségekre fennállnak az alábbi összefüggések:

$$\frac{r_1}{c} - \frac{r_2}{c} = t_1 - t_2, \quad \frac{r_2}{c} - \frac{r_3}{c} = t_2 - t_3, \quad \frac{r_1}{c} - \frac{r_3}{c} = t_1 - t_3$$

(A  $t_1 - t_3$  különbség felírására nincs szükség, hiszen az nem ad ezektől független egyenletet.) A két egyenlet mindegyike egy-egy hiperbolát határoz meg, melyek metszéspontjában történt a villámlás. Ha a villámlás a 3 állomás által meghatározott háromszögön kívül jött létre, akkor a hiperbolák két pontban is metszhetik egymást, ezért nem tudnánk egyértelműen meghatározni a villámlás helyét. Ennek elkerülése céljából a mérést 4 állomáson végzik el és a három hiperbola metszéspontja jelöli ki a villámlás pontos helyét (Mészáros, 2013).

Ma már a villámlokalisasió segítségével a zivatarfelhőkben kialakuló villámok is azonosíthatók. Mivel ezek a lecsapó villámok előtt keletkeznek ezért lehetőség nyílik a villámok előrejelzésére is, amivel a villámok által okozott pusztító károk jelentősen

csökkenthető vagy akár meg is előzhető. Az előrejelzésnek a repülés és a szabadtéri tömegrendezvények szervezése tekintetében is meghatározó szerepe van.

4. Az elektromágneses spektrum tárgyalásakor kitérhetünk a villámok elektromágneses sugárzására az emberi szem számára látható tartományban és értelmezhetjük a jelenséget. (értelmezés a bevezetőben) Mivel a villámok színe a teljes spektrumot tartalmazza, így színük fehér. Természetesen azonban láthatunk köztük ibolya-, bíbor-vagy ritkábban sárga, illetve zöldes színűeket is. A levegőben előforduló nitrogén miatt kékes, míg az oxigénnek köszönhetően zöldes színűnek láthatjuk a villámokat. (Az utóbbi jelenség természetesen sokkal ritkábban tapasztalható.) A villámlás színét azonban számos más légköri tényező is befolyásolja: pl. a levegő nedvességtartalma, a levegőben található szennyező részecskék, illetve a villámcsatorna és a megfigyelő közötti távolság. Ha nagy mennyiségű vízgőz található a levegőben, akkor a villámlás színe vörösesbe hajlik. A kékes színű villám nagy mennyiségű jégesőre utal, a villámok lila vagy lilás árnyalatú színeit pedig a magas légköri páratartalom okozza. A meglehetősen ritkán előforduló sárga színt a levegőben lévő magas porkoncentráció okozza. Ezek oka, hogy a villámlás erős elektromos tere gerjesztheti a levegő, illetve a levegőben található vízgőz, vagy szennyező részecskék molekuláit. A színek vizsgálata nem csak a levegő összetételének tanulmányozására ad lehetőséget, hanem segítségével a villámcsatorna hőmérséklete is megállapítható.

### 3.1.5 Eredmények

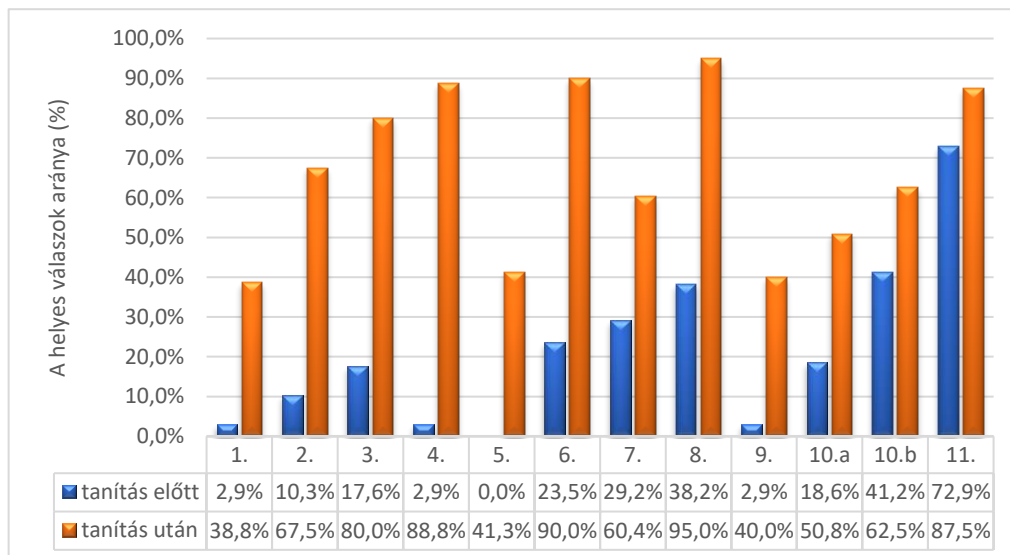
A villámokat minden diák ismeri, így a téma megkezdésekor érdemes a tanulók tapasztalataira támaszkodva összegyűjteni az előismereteket. Az előzetes felmérés azért is hasznos, mert a különböző diákcsoportok ismeretei jelentősen eltérhetnek és a felmérés birtokában alkalmazkodhatunk az előzetes tudáshoz, illetve megismerhetjük a jellegzetes tévképzeteket. Ezért kérdőíves felmérést végeztem diákjaim körében. A tesztben 48 fő vett részt. Az ő eredményeik láthatók a 6. ábrán. A kérdések sorszáma az alábbi lista kérdéssorára vonatkozik. (A kérdéseket követő zárójelben az elvárt kulcsfogalmak, értékelési szempontok találhatóak.)

1. Normál körülmények között a levegő jó szigetelő. A villámok kialakulásához a levegőnek vezetővé kell válnia. Szerinted hogyan lehetséges ez?  
(A levegő vezetőképessége ugrásszerűen megnő/ a levegő átütési szilárdsága hirtelen lecsökken.)
2. Véleményed szerint a Föld mely részén fordulnak elő leggyakrabban villámok? (földrajzi hely, éghajlati öv megnevezése)

Miért? (magas felszíni hőmérséklet, a levegő nagyon intenzív felfelé történő áramlása, zivatarfelhő képződés)

3. Mi a villám? (légköri elektromos kisülés)
4. A keletkezés helye szerint hogyan csoportosíthatjuk a villámokat? Nevezd meg az egyes csoportokat!  
(CC: felhő-felhő, IC: felhőn belüli, CA: felhő- a felhő környezetében lévő levegőbe csapó, CG: felhő-föld vagy másképp lecsapó villám)
5. A tapasztalat szerint a Föld felszíne negatív töltésű. A lecsapó villámok mégis 70 %-ban negatív töltést szállítanak a földfelszín felé. Szerinted, hogyan lehetséges ez? (töltések elhelyezkedése a zivatarfelhőn belül és a Föld felszínén, az elektromos megosztás jelenségének megemlítése)
6. Mit gondolsz, melyik állítás igaz? A villámáram:
  - a) egyenáram
  - b) váltakozó áram
  - c) egyik sem (Válasz: c)
7. Mit gondolsz, hogyan jön létre a mennydörgés? (a villámcsatorna környékén a levegő hőmérséklete ugrásszerűen megnő, a levegő hirtelen kitágul, lökéshullám jön létre)
8. Milyen hatásait ismered a villámoknak? Sorolj fel közülük legalább 4 különbözőt! (ld. Függelék)
9. A villám többféle módon jelenthet veszélyt az emberre. Szerinted ezek közül melyik a leggyakoribb? Miért? (A föld áramai, a villámokhoz kapcsolódó balesetek 50-55%-át okozzák.)
10. A villámhárító hosszú, gyakran hegyes csúcsban végződő, földelt vezető rúd, amelyet általában a védendő objektum tetején helyeznek el.
  - a) Tudod-e, hogyan működik a villámhárító? Írd le röviden!  
(a csúcshatás és a csúcs körüli levegő ionizációjának említése)
  - b) Helyes-e a „villámhárító” elnevezés? Válaszodat indokold! (Nem, a villámhárító nem a villámokat hárítja el, hanem elvezeti a földbe a töltéseket, és ezzel a villám által okozott károkat csökkenti, „hárítja el”.)
11. A dörgés és a villámlás észlelése között eltelt idő ( $t = 3s$ ) ismeretében határozd meg a villámlás távolságát!  
(A hang terjedési sebessége  $v = 330 \text{ m/s}$ )  
(a szükséges összefüggés felírása, az adatok behelyettesítése, számolás)

Az előteszt segítségével a diákok hozott ismereteit, míg az utóteszt alkalmával a tanítás után elsajátított ismereteket mértem fel. A két teszt kérdései megegyeztek, így az alábbi diagram (6.ábra) a diákok tudásában bekövetkezett változást szemlélteti.



6.ábra Az elő-és utóteszt eredményének összehasonlítása kérdésenként

A gondolkodtató (pl.5.) vagy az összetett kérdések esetén (indoklást megadó pl. 2., 9. vagy rövid kifejtős pl.10.) a válaszok megadott szempontok alapján történő értékelésének összesített eredményeit tükrözi a diagram. Jól látható, hogy a tananyag tárgyalását követően az eredményekben szignifikáns javulás következett be. Ezzel igazoltam, hogy a kidolgozott tananyag eredményesen használható. A diagramon ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy a gondolkodtató kérdésekben a fejlődés kisebb mértékű, mint a többi (tényanyagra vonatkozó) esetben. A teszt ezzel rávilágított arra is, hogy a témakör széleskörű lexikai ismeretekre épül, ezért nagy a tanár felelőssége abban, hogy a villámok témaköréből mit és hogyan emel be a tananyagba.

Néhány további gondolat a tesztek eredményeinek értékeléséhez:

### 2. kérdés

Az előteszt során egyetlen diák sem indokolta válaszát, míg az utóteszt esetében ez az arány 50,0 % -ra emelkedett. Az előteszt alkalmával a tanulók 89,7 % -a, míg az utóteszten a diákok 15 % -a adott rossz választ, vagy nem válaszolt.

### 3. kérdés

mind a 4 csoportot megnevezte

### 9. kérdés

Az előteszt során a diákok 83,3%-a a közvetlen villámcsapás okozta halált jelölte meg az embert leginkább veszélyeztető tényezőként. (Ennek 87,5%-a más hatásra ki sem tért.) Az utóteszt alkalmával, aki helyes választ adott (40%), annál az indoklás is tökéletes volt. A többiek a villámok elektromágneses hatását, azon belül a UV- sugárzását emelték ki az emberi szervezetet leginkább károsító hatásként.

#### *10.b kérdés*

A tanulók 10 %-a vélte helyesnek az elnevezést. Véleményük szerint azért, mert a villámhárító a védendő objektumot megóvjaa a villámok pusztító hatásától. A diákok 55%-a nem indokolta választát.

#### *11. kérdés*

A szükséges összefüggést mindkét alkalommal mindenki helyesen írta fel, az előteszt esetében tanulók 8,3% -nál, míg az utótesztnél a diákok 4,2% -nál hiányzott a végeredmény, a többinél az egyenletrendezés okozott problémát.

### 3.2 Schumann rezonanciák és Felsőlégi Elektromágneses Emissziók a középiskolában [S9], [S10]

*Elsősorban tanároknak szóló segédanyagot készítettem a felsőlégi elektromágneses jelenségek (FEOE-k) középiskolai feldolgozásához. A szakmai anyag elemi megközelítésben tárgyalja a jelenségeket. A diákok visszajelzései alapján igazoltam, hogy a tudomány új kutatási területei, eredményei, a különböző autentikus internetes források lenyűgöző videófelvevételei a fizika iránt kevésbé érdeklődők figyelmét is megragadják.*

#### 3.2.1 Elméleti háttér

##### *A Felsőlégi Elektromágneses Emissziók (röviden FEOE-k)*

A magyar tudományos szóhasználatban FEOE (Felső légi Elektromágneses Emissziók) néven ismertté vált jelenségekről a szemtanúk beszámolóinak alapján az első feljegyzés 1885-ben született (Rodger, 1999). Ezt követően többször észleltek hasonló jelenségeket, mivel kézzel fogható bizonyítékok (fotók vagy videók), nem álltak rendelkezésre velük kapcsolatban, ezért a tudományos világ nem mutatott nagy érdeklődést irántuk. Annak ellenére, hogy Wilson a zivatarkezelés tanulmányozása során már 1925-ben következtetett jelenlétükre az érdeklődés középpontjába csupán a II. Világháború után kerültek. Ekkor ugyanis a légi közlekedés megélénkülésével az utasok és pilóták egyaránt egyre gyakrabban számoltak be hasonló jelenségekről. Váratlan felvillanásuk és igen rövid élettartamuk miatt észlelésük nagy kiterjedésük ellenére korántsem egyszerű. Változatos formában, színekben pompáznak.

Ez adott ihletet a kutatóknak a jelenségek elnevezésére is. Találhatunk közöttük olyanokat, melyek neve az eredetükre vagy jellemző tulajdonságukra utal, mint pl. a vörös lidércek (sprites = **S**tratospheric/**M**esospheric **P**erturbations **R**esulting from **I**ntense **T**hunderstorm **E**lectrification), gyűrűlidércek (elves = **E**missions of **L**ight and **V**LF perturbations from **E**MP events) és kéknyalábok (blue jets), illetve olyanokat is, melyek a képzelet szülöttei, mint pl. a manók (trolls), a törpék (dwarfs) és a szellemek (ghosts). Kialakulásuk eltérő módon magyarázható ugyan, de a villámtevékenységek után a felhőkben maradó töltéseknek, illetve a zivatarfelhők töltésmegosztó hatásának mindig meghatározó szerepe van.

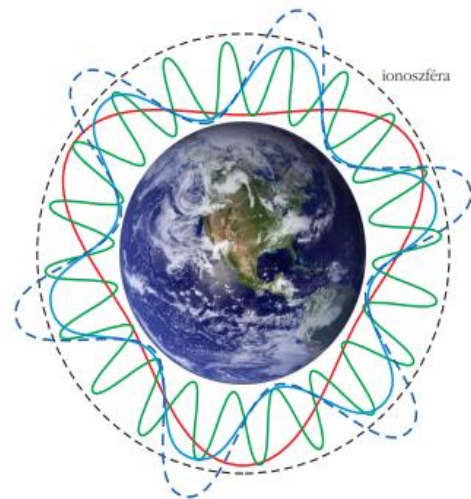
*Schumann-rezonanciák:*

A Föld felszíne és az ionoszféra alsó határa közötti ún. üregrezonátorban a villámok által keltett nagyon alacsony frekvenciájú elektromágneses hullámok állóhullámokat (más néven elektromágneses rezonanciákat) hoznak létre. Ezeket a rezonanciákat 1952-ben *Winfried Otto Schumann* pusztán elméleti úton már megjósolta, majd pár évvel később, 1960-ban kísérleti úton ki is mutatták őket. Az ő tiszteletére ezeket a rezonanciákat Schumann-rezonanciáknak (SR) nevezzük.

A rezonanciákhoz meghatározott frekvenciák tartoznak (kb. 8, 14, 20, 26 Hz stb.), melyeket a Maxwell-egyenletekből a peremfeltételek figyelembevételével (a Föld felszíne és az ionoszféra is jó vezető) az alábbi összefüggés alapján számolhatunk ki:

$$f = \frac{c}{2\pi R} \sqrt{n(n+1)}$$
, ahol R a Föld sugara, c a fény terjedési sebessége vákuumban, n tetszőleges egész szám. (Cooray,2015; Bozóki, 2017)

A mért frekvenciák némileg eltérnek a számolt értékekhez képest mivel az ionoszféra nem tekinthető tökéletes vezetőnek. Továbbá az ionoszféra vezetőképességét az úridőjárás is befolyásolja és a napszaktól függően is változik, ezáltal módosulnak az „üregrezonátor” peremfeltételei is, amely a SR-frekvenciákban eltérést eredményez.



7.ábra

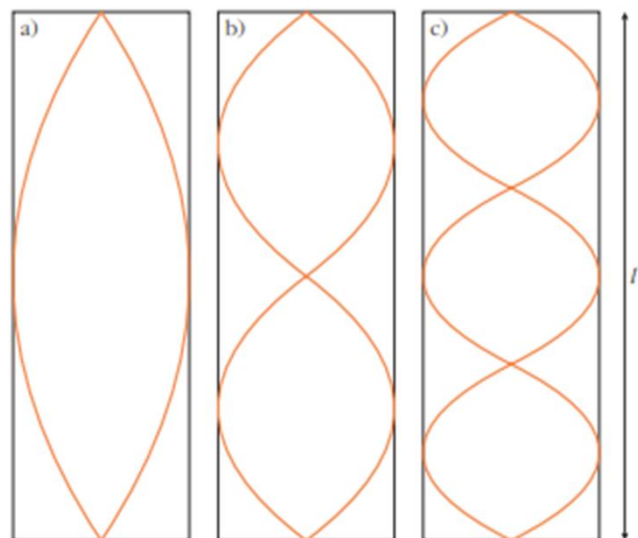
Vázlatos ábra a földfelszín és az ionoszféra közötti üregrezonátorban kialakuló Schumann-rezonanciákról  
A kép forrása: NASA/Simoes

A legalacsonyabb frekvenciaértékhez tartozó hullámhossz nagyjából megegyezik a Föld kerületével. Ezt a kb. 8 Hz-es frekvenciát a Föld természetes frekvenciájának tekintik és gyakran a "Föld szívveréseként" is említik. Az elnevezés annak köszönhető, hogy ez a frekvencia a természetben gyakran fordul elő, pl. a legtöbb emlősállat agyfrekvenciájára is ez az érték jellemző. A vélt kapcsolat szorossága azonban kétséges.

### 3.2.2 Megjelenés a középiskolai tananyagban

A FEOE-k (**F**elsőlévköri **E**lektro-**O**ptikai **E**missziók) vizsgálata messze túlmutat az alaptantervi követelményeken, így az elkészített szakmai anyag tanórai keretek között csak kiegészítő anyagként használható. A FEOE-k tárgyalására a 10. osztályban kínálkozik lehetőség, azt követően mikor a diákok már megismerkedtek az időben állandó és az időben változó elektromágneses mező fogalmaival, alapjelenségeivel is. Feldolgozása azonban főként szakkörök, témahetek keretében javasolt. A téma újszerűsége és látványossága miatt kiválóan alkalmas a tanulók fizika iránti érdeklődésének felkeltésére, fenntartására, napjaink tudományos kutatási módszereinek és eredményeinek népszerűsítésére. Különböző internetes forrásokban számos lélegzetelállító videót találhatunk, lehetőségünk van lassítva is megnézni a felvételeket és gyönyörködni bennük. A jelenségek tárgyalása ismeretanyagában támaszkodik a földrajz, kémia tantárgyakban, illetve a fizika korábbi témaköreiben tanultakra, ezzel elősegíti a tantárgyi integrációt és hozzájárul az egységes természettudományos gondolkodásmód kialakításához.

A SR-ról a középiskolában csak akkor érdemes beszélnünk, ha a mechanika témakörében korábban már megfigyeltük a rugalmas kötélen rögzített, illetve szabad végről visszaverődő hullámokat, a hullámok interferenciája révén kialakult állóhullám mintázatot vagy tanulmányoztuk a hanghullámok esetén különböző határfeltételek mellett a levegőoszlop rezgéseit (8.ábra).



8.ábra

Mindkét végén zárt levegőoszlop rezonanciafrekvenciái

$f = nc/(2l)$ , ahol  $n$  pozitív egész szám,  $c$  a hang terjedési sebessége levegőben,  $l$  a levegőoszlop hossza.

$a$ : alaphang,  $b$ : első felhang,  $c$ : második felhang



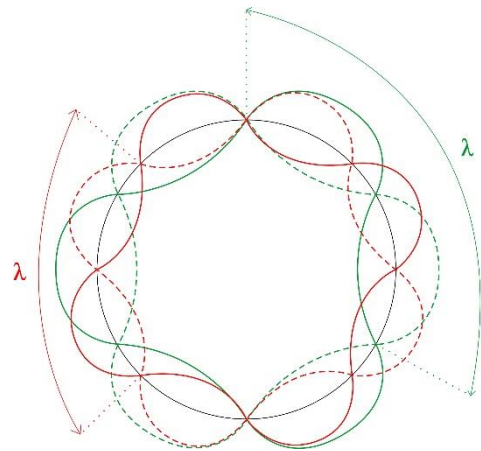
Az elektromágneses hullámok rezonanciájának tárgyalását kiválóan megalapozza, ha korábban már megismerkedtünk azzal is, hogy pl. adott hosszúságú, mindkét végén zárt levegőoszlop esetén hol keletkeznek csomópontok és duzzadóhelyek, hogyan határozhatók meg az egyes állóhullámokhoz tartozó rezonanciafrekvenciák.

Ha ezek az ismeretek már a rendelkezésünkre állnak, akkor a részletes leírást természetesen mellőzve, elemi úton tovább gondolható, hogy a Föld felszíne és az ionoszféra közötti ún. üregrezonátorban az elektromágneses hullámok is hasonló módon állóhullámokat hoznak létre. Természetesen a gömbréteg állóhullámai nem képzelhetőek el egyszerűen. A gömbhéj

rezonanciái helyett vizsgálhatjuk a körgyűrűben, vagy a kör alakú húron kialakult állóhullámokat <https://www.youtube.com/watch?v=fAaQAOZ3ZdQ>. Ez utóbbi esetben az állóhullámok úgy jönnek létre, hogy a kör kerületén a hullámhossz egészszámú többszöröse fér el, vagyis  $n\lambda = 2r\pi$  (9.ábra). Mivel  $c = \lambda f$ , ezért a rezonanciafrekvenciák az  $f = \frac{c}{2r\pi}n$  összefüggés alapján határozhatók meg, ahol  $r$  a kör sugara,  $n$  tetszőleges pozitív egész szám, és  $\lambda$  a kialakult hullámhossz. Ezek az értékek kismértékben ugyan, de eltérnek a valós SR-frekvenciáktól. A szemléletes kép alapján azonban el tudjuk fogadtatni a háromdimenziós hullámok interferenciáját és a SR-frekvenciákat meghatározó összefüggést. (Érdekes megfigyelni azt, hogy az analógiából számolt frekvenciák kevésbé térnek el a szakirodalomból ismert értékektől, mint az

$f = \frac{c}{2\pi R}\sqrt{n(n+1)}$  összefüggés alapján számoltak. Ennek oka a korábban már említettek mellett, hogy az üregrezonátor modellből egzakt módon meghatározott frekvenciaösszefüggés (Sátori, 2011) figyelembe veszi az elektromágneses hullámok csillapodását is, ami a fenti egyszerűsített összefüggésben nem jelenik meg.)

Összességében megállapítható, hogy a húrok és a légoszlop rezgései jó analógiát jelentenek a fizikai tartalom megértéséhez.



9. ábra

A körhúron kialakuló állóhullámok (zöld színnel  $n=3$ , pirossal  $n=4$  eset,  $\lambda$  a hullámhossz az egyes esetekben)

### 3.2.3 Az eredmények értékelése (tanítási, attitűd)

A kiegészítő tananyagot három osztályban (84 fő) próbáltam ki tanórai keretek között. A jelenségkör nem tartozik a középiskolai tananyaghoz, és számos jelenleg is nyitott kérdést rejteget magában még a tudományos világ számára is. Ezért feldolgozásával nem az ismeretek elsajátíttatása, hanem elsősorban az érdeklődés felkeltése volt a célom. Előzetesen tájékoztam diákjaim körében, hogy hallottak-e már ezekről a felsőléggöri kiséleésekről. A 84 főből mindössze 3 tanuló jelezte, hogy valahol olvasott már róluk. A tanítást követően a diákoknak pár kérdésből álló utótesztet kellett kitölteniük a látottakhoz, hallottakhoz kapcsolódóan. Ezek főként az egyes jelenségek felismerését és lexikai ismereteket céloztak meg (Pl. Miért vörös a vörös lidérc, és miért kék a kék nyaláb? Mi okozza a gyűrűlidérc alakját?). Az utóteszten az elért eredmények minden kérdés esetében 90-96,5% között mozogtak. Véleményem szerint ezek a nagyon magas százalékok és a kis szórások alátámasztják azt, hogy középiskolában ez a jelenségkör csak az ismeretek közvetítésének szintjén tárgyalható, néhány egyszerű, elemi magyarázattal kiegészítve. Ugyanakkor legalább az említés szintjén érdemes velük foglalkozni, mert a téma újszerűsége, látványossága rendkívül motiváló. A tanórákat követően megkértem diákjaimat, hogy 1-től 5-ig (1- a legrosszabb, 5 a legjobb) terjedő skálán értékeljék mennyire volt számukra érdekes, érthető a téma és feldolgozása, mennyire tartják fontosnak azt, hogy a tudomány legújabb eredményeiről és a kutatókat foglalkoztató kérdésekről értesüljenek. A válaszok megoszlása a következőképpen alakult:

#### **Mennyire tartottad érdekesnek a témát?**

1: 0 %    2: 0 %    3: 9,5 %    4: 52,4 %    5: 38,1 %    átlag pont: 4,29

#### **Mennyire volt érthető számodra?**

1: 0 %    2: 3,6 %    3: 14,3 %    4: 58,3 %    5: 23,8 %    átlag pont: 4,02

#### **Mennyire tartottad érdekesnek a felhasznált segédanyagokat (videók, jegyzet)?**

1: 0 %    2: 2,4 %    3: 11,9 %    4: 59,5 %    5: 26,2 %    átlag pont: 4,09

#### **Mennyire tartod fontosnak, hogy a legújabb tudományos kutatásokról és azok eredményeiről is értesülj a fizikaórákon?**

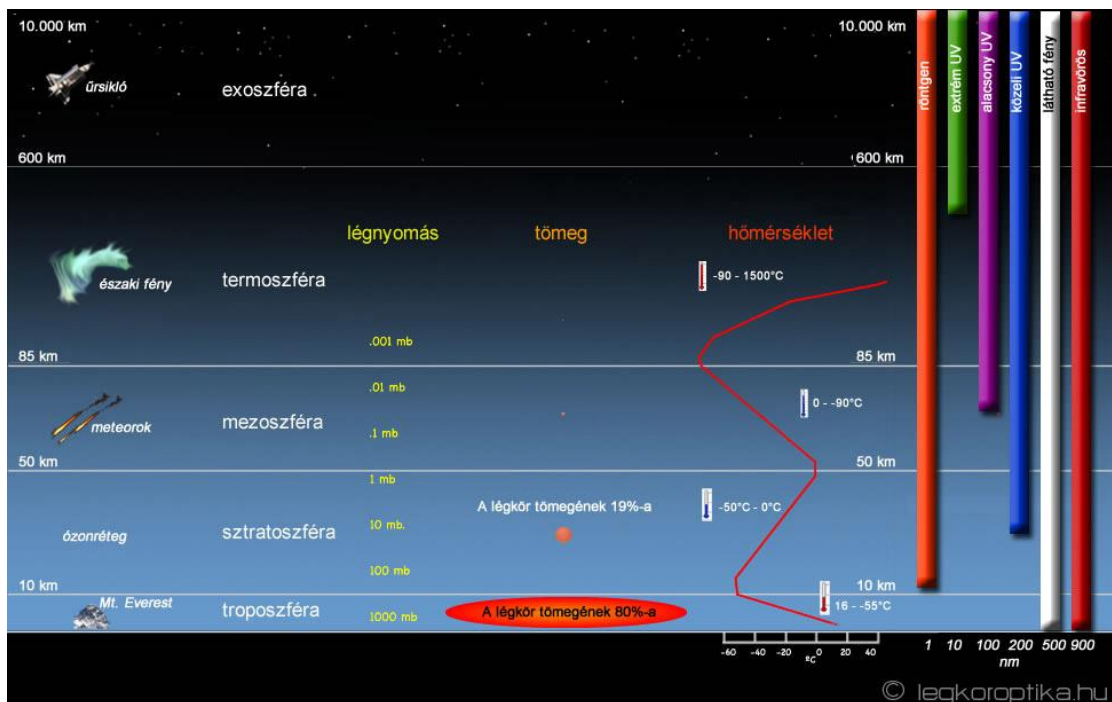
1: 0 %    2: 5,9 %    3: 21,4 %    4: 22,6 %    5: 50 %    átlag pont: 4,17

### 3.2.4 Kiegészítő szakmai anyag a FEOE-k középiskolai tanításához

#### Felsőlégi elektro-optikai jelenségek

A természettudományos szakirodalomban már a 19.sz. végétől említik a felső légkörben megjelenő csodálatos, ám titokzatos fényjelenségeket. Váratlan felvillanásuk és igen rövid élettartamuk miatt észlelésük, nagy kiterjedésük ellenére, korántsem egyszerű. Az 1990-es évektől kezdődően a nemzetközi szakirodalomban „transient luminous events”, azaz átmeneti fénytűneményként vagy röviden TLE néven említi őket. A magyar tudományos szóhasználatban a FEOE, vagyis **Felsőlégi Elektro-Optikai Emissziók** összefoglaló név terjedt el. A továbbiakban ezeket a jelenségeket vizsgáljuk meg közelebbről.

A légkörnek a földfelszíntől 50 km-nél távolabb eső tartományát felsőlégi körnek nevezzük. Ha a hőmérsékleti profilt tekintjük, akkor a felsőlégi kört a mezoszféra (50-85 km), a termoszféra (85-500 km) és az exoszféra (500-10000 km) alkotja.



9.ábra

A Föld légkörének rétegzettsége

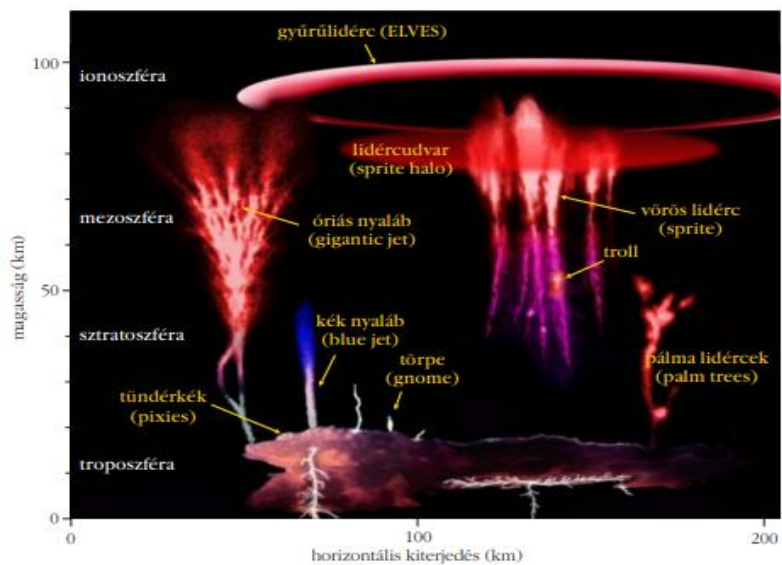
a kép forrása: <http://legkoroptika.hu/alegkorfelepitese>

Az ábrán balról jobbra haladva légkör egyes rétegei láthatók a hozzájuk tartozó nyomás- és hőmérséklettartományokkal. Az ábra reprezentálja a légkör tömegének megoszlását a rétegek között, illetve mutatja, hogy a Napból érkező sugárzás a hullámhossz függvényében meddig hatol be a földi légkörbe.

A földi légkörnek azonban ismert egy másik felosztása is, amely a mi esetünkben meghatározó szerepet játszik. Ez pedig nem más, mint a légkör vezetőképesség szerinti tagolása. Ebben az esetben megkülönböztetünk elektrosztatikai tartományt, ahol a levegő szigetelőként viselkedik; illetve olyan réteget, ahol a levegő vezetőképessége ugrásszerűen megnövekszik. Ez a tartomány az ionoszféra.

A légkör alsóbb régióiban a gázok semleges atomok vagy molekulák formájában fordulnak elő, ezért ott a levegő szigetelőként viselkedik. A felszín közelében, a földkéregben található radioaktív anyagok sugárzásának köszönhetően, a levegőben előfordulnak ugyan csekély számban szabad elektronok (1 cm<sup>3</sup> levegőben 10 db szabad elektron), de ez önmagában még nagyon kevés ahhoz, hogy a levegő vezetővé váljék. Távolodva a felszíntől a légköri vezetőképesség alakulását a naptevékenységből származó töltött részecskék, valamint a kozmikus sugárzás is jelentősen befolyásolja. Ennek köszönhetően ugrásszerűen megnő a levegőben az ionok és a töltött részecskék száma, ami a vezetőképesség rohamos növekedéséhez vezet.

A felsőlégköri elektro-optikai emissziók (10.ábra), vagy röviden FEOE-k, a zivatarfelhők teteje és az ionoszféra alsó része között jönnek létre. Kialakulásukban meghatározó szerepe van a villámtevékenységek után a felhőkben maradó töltéseknek, illetve a zivatarfelhők töltésmegosztó hatásának.

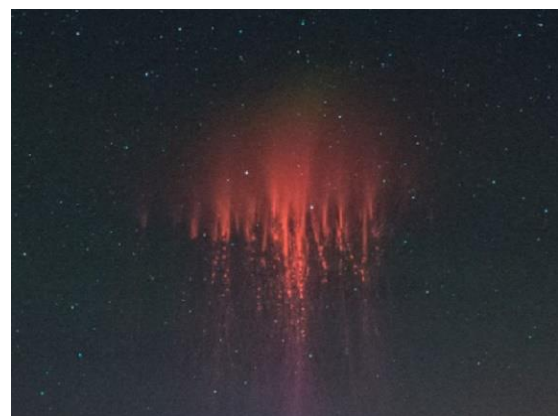


10. ábra

Felsőléggöri elektro-optikai emissziók  
 a kép forrása: Barta V.-Bör J.-Sátori G.:  
 Felső léggöri elektro-optikai emissziók és megfigyelésük  
 Sopronból

A tudományos szakirodalomban már több, mint száz éve említést tesznek zivatarfelhők fölött megjelenő vörös lidécekről (Rodger,1999). A szemtanúk beszámolói alapján az első feljegyzés 1885-ben született. A R.M.S Moselle kereskedelmi hajó legénysége észlelte először a jelenséget, amikor hajójuk elhagyta a Jamaika partjainál fekvő Kingston kikötőjét. A következő alkalommal, 1903-ban Calcutta közelében vettek észre sárgás

fényű, rakéta alakú, felfelé emelkedő kisüléseket. 1936-ban Angliában is megfigyeltek ilyen fénytüneményeket, sőt 1951-ben Malan és Schonland (villámok kutatásával foglalkozó tudósok) már kapcsolatot vélt felfedezni a pozitív lecsapó villámok és a felhőtető fölött létrejövő elektromos kisülések között (Rodger,1999). A zivatarfelhők fölött kialakuló elektromos optikai jelenségek tanulmányozásában és megértésében jelentős előrelépést a zseniális C.T.R. Wilson gondolatai jelentettek, aki 1925-ben megkísérelt magyarázatot adni ezekre a kisülésekre (Williams,2001). Feltételezése szerint a villámkisülések alkalmával a leépülő felhődipólból elektromágneses sugárzás indul ki, amelynek elektromágneses tere kölcsönhatásba lép az ionoszféra alsó rétegével. Ismerve, hogy a levegő átütési szilárdsága a földfelszíntől távolodva exponenciálisan csökken, elképzelhetőnek tartotta, hogy ezeket a gázkisülésekre emlékeztető jelenségeket a villám elektromos tere idézi elő. Mivel kézzel fogható bizonyítékok (fotók vagy videók), nem álltak rendelkezésre a FEOE-kal kapcsolatban, ezért a tudományos világ nem mutatott nagy érdeklődést irántuk. A II. Világháború után, mikor megélénkült a légi közlekedés, utasok és pilóták egyaránt egyre gyakrabban számoltak be csodálatos, változatos alakú fényjelenségről, amit ma vörös lidércnek nevezünk. A NASA űrsiklóinak is sikerült megörökítenie néhány ilyen eseményt. Így már valóban az érdeklődés középpontjába kerültek ezek a légköri jelenségek. 1989. július 6-án az Észak-Amerikai Minnesota Egyetem kutatócsoportja (Winckler, Franz és Nemzek) lefényképezett egy akkor még ismeretlen, ma vörös lidérc néven emlegetett jelenséget. A vörös lidérc (red sprite), akárcsak a gyűrűlidérc (elve) elnevezés W. Lyonstól származik. (Annak ellenére, hogy e szavaknak köznapi jelentése is van, mindkettő betűszó, a „sprite” a Stratospheric/Mesospheric Perturbations Resulting from Intense Thunderstorm Electrification, és az „elve” az Emissions of Light and VLF perturbations from EMP events elnevezésből ered.) Walter Lyons a Colorado FMA Kutatóközpont meteorológusa, meteorológiai szempontból vizsgálta ezeket a pillanatszerű felvillanásokat, és 1993



*11. ábra  
Medúza alakú vörös lidérc  
A kép forrása:  
Harald Edens, Langmuir Laboratory for  
atmospheric research  
Spaceweather.com*

óta készít videó-felvételeket róluk. A kutatómunkában Lee Marshall elektromérnök volt a társa, aki a jelenséghez kapcsolódó elektromágneses hullámok grafikus megjelenítésén dolgozott, sőt ő volt az, aki először rögzítette a sprite-ok és az elve-k „hangját” is.

A rövid történeti bevezető után vegyük sorra ezeket a pillanatszerű, a fényképeken is szemet gyönyörködtető elektromos kisüléseket.

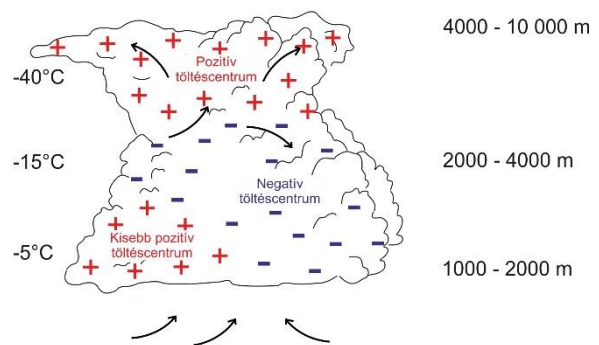
### *A kisülések magyarázata*

A **vörös lidércek** (red sprites) 50-90 km magasságban, többségében szárazföldek fölött, aktív zivataros területeken fordulnak elő. Ritkábban óceánok és tengerek felett is észleltek vörös lidérceket. Élettartamuk 5-300 ms között változik, átlagosan 98 ms. Általában pozitív felhő-föld villámkisülések után, önállóan vagy csoportosan figyelhető meg (Bór, 2010). Mind vízszintes mind függőleges kiterjedésük elérheti akár az 50 km-t is. Alakjuk rendkívül változatos, lefelé és felfelé is terjednek. A lefelé nyúló ágakon időnként fényesebb részek is láthatók, amelyek felfelé mozognak. Ezeket nevezzük trolloknak. A lidércek „feje” vörös, a lefelé nyúló ágakban egyre több kék jelenik meg. Ez az 50 km fölötti tartományban  $N_2$  molekulák, míg az 50 km alattiban a  $N_2^+$  ionok gerjesztésével magyarázható, a színüket a légköri nyomás is befolyásolja. Ennek köszönhetően a vörös lidércek a felső rétegben legintenzívebben a 600-800 nm, míg az alsóban a 450 nm alatti tartományban sugároznak.

### **Hogyan jönnek létre a vörös lidércek?**

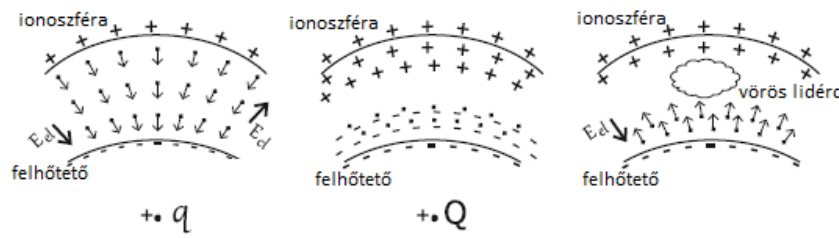
A folyamat megértéséhez előbb vizsgáljuk meg a zivatarfelhő töltéseloszlását!

A zivatarfelhőben a jégrészecskék ütközéseik során aprózódnak és töltést nyernek. A folyamat nagyon összetett, több részlete még nem teljesen tisztázott. Az azonban már ismert tény, hogy a részecskék töltésének kialakulása hőmérsékletfüggő. A felhő magasabb régiójában, ahol a hőmérséklet  $-15^\circ\text{C}$ -nál alacsonyabb, az apróbb részecskék pozitív, míg a nagyobb, nehezebb részecskék negatív töltésűekké válnak. A kisebb,



12. ábra  
A zivatarfelhő töltéseloszlása

könnyebb részecskéket a felhőben uralkodó légáramlat magával ragadja, és felhőtető felé szállítja. A nehezebb részecskék lefelé, a felhő közepe felé esnek. A felhő alsó részében, ahol magasabb a hőmérséklet, a folyamat ellentétesen zajlik. A nagyobb részecskék lesznek pozitív töltésűek és a felhő alsó rétege felé esnek, míg a kisebbek negatív töltésűvé válnak és a felhő közepe felé áramlanak. Így jön létre a zivatarfelhő három pólusú (tripólusú) töltéseloszlása, amelyet a 12. ábra is szemléltet. Mivel a felhőtető pozitív töltésű, ezért a felhő fölötti tartományban olyan elektromos mezőt hoz létre, melynek térerősség vektora felfelé mutat ( $E_{Cl}$ ). Ez az elektromos mező az ionoszféra alsó része és a felhőtető közötti térrészben található szabad elektronokat lefelé, míg a pozitív töltésű ionokat az ionoszféra felé gyorsítja. Az így létrejött elektromos mező ( $E_{El}$ ) ellentétes irányú a felhő által létrehozottal (13. ábra). A folyamat addig zajlik, amíg a két elektromos mező ki nem egyenlíti egymást. Eredményeképpen pedig a felhőtető felé vándorló elektronok a felhő tetején vékony negatív réteget hoznak létre. Villámláskor a zivatarfelhő töltésének legnagyobb részét elveszíti, ezért  $E_{Cl}$  jelentősen lecsökken, esetleg zérussá is válhat. Így az  $E_{El}$  hatására a szabad elektronok a felhő tetejéről az eredeti helyük felé mozognak. Útjuk során a levegő molekuláit ionizálják vagy ionjait gerjesztik és ennek köszönhető a vörös lidérc néven ismert fényjelenség (Cooray,2015).



13. ábra

**A vörös lidérc kialakulása**

(V.Cooray,2015 nyomán)

Általában nagyon erős villámlás okozhat vörös lidérc felvillanásokat a felső légkörben. Ennek oka az, hogy az erős villámlások tudnak nagy mennyiségű töltést eltávolítani a felhőből.

**Mi okozza a lidércnek lenyúló ágait?**

A villámlás által keltett elektromos mező térerőssége nem csak a földfelszíntől való távolságtól, hanem a villámban szállított töltésmennyiségtől is függ. A térerősség különböző töltésmennyiségek esetén más-más magasságban éri el a kritikus értéket és ennek köszönhetően más magasságokban eredményeznek kisüléseket. Így keletkeznek a

vörös lidércek lenyúló ágai. Nagyon intenzív vörös lidérc kisülést követően másodlagos kisüléseket is észleltek már a kutatók. Ezek kis időeltolódással jelentek meg a vörös lidérc fölött és zöld színben pompáztak. Színük a légkörben található oxigén gerjesztett állapotára utal. Nevüket is innét kapták **Green emissions from excited Oxygen in Sprite Tops** vagy röviden **GHOST**.

**A lidércudvarok (sprite halok)** 70-85 km magasságban megjelenő, korong alakú jelenségek. Óceánok és tengerek felett gyakrabban fordulnak elő, mint szárazföldek fölött. Pozitív és negatív villámkisülések alkalmával is megjelenhetnek. Érdekességként érdemes megemlíteni, hogy a haló középpontja egybeesik az őt kiváltó villám helyzetével. A vörös lidércekhez hasonlóan legintenzívebben a 600-800 nm tartományban sugároznak. A haló kiterjedése függőlegesen kb. 10 km, vízszintesen akár 100 km is lehet. Megfigyelésüket nehezíti a nagyon rövid élettartamuk, mindössze kb. 1 ms-ig észlelhetők.

**A gyűrűlidércek (elvek)** a legrövidebb életűek, ugyanakkor a leggyakoribb FEOE típust alkotják. Élettartamuk kevesebb, mint 1 ms. Előfordulásuk gyakorisága átlagosan, globálisan 35-70 esemény/perc. (összehasonlításképpen a vörös lidércek előfordulásának gyakorisága átlagosan, globálisan: 0,5-1 esemény/perc, míg a halóké: 4 esemény/perc). A gyűrűlidércek 75-105 km magasságban, pozitív vagy negatív felhő-föld villám fölött egyaránt kialakulhatnak. Gyűrű alakú kisülések, melyeknek átmérője a kiváltó villámok intenzitásától függ, kb. 100-700 km között változik (Bór, 2010).



*14. ábra*  
Gyűrűlidérc Csehországban  
2017.04.02-án  
*A kép forrása: weather.com*

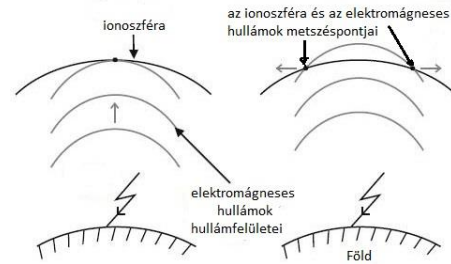


## Miért gyűrű alakú a gyűrűlidérc?

A villámlásról tudjuk, hogy a tér minden irányában fénysebességgel terjedő elektromágneses hullámokat kelt. Továbbá az is ismert, hogy az elektromágneses hullámok vezető közeggel való kölcsönhatásának következtében a vezető közegben áram indukálódik. Ez történik akkor is, amikor a villámlás hatására kialakuló elektromágneses hullámok eléri a 60-90 km magasságban lévő

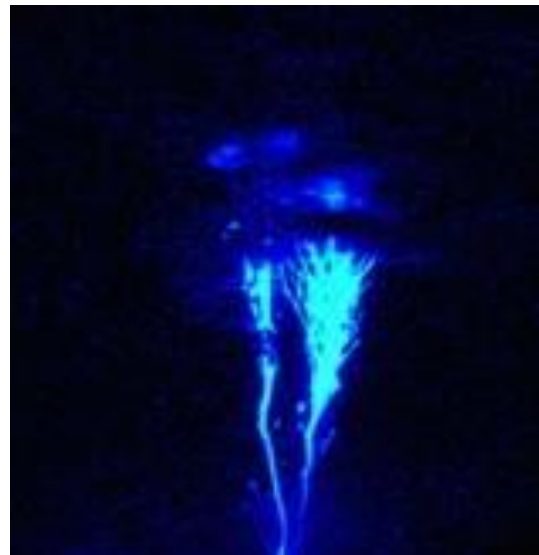
ionoszférát. Az elektromágneses hullámok a villámlásból kiindulva gömbhullámként terjednek. Az ionoszféra eléréséig megtett útjuk hossza függ attól, hogy a villámlás mely pontjából indulnak ki és milyen irányból érkeznek. A 15. ábra azt az esetet mutatja, amikor a megtett út a legrövidebb. Ekkor az elektromágneses hullámok az ionoszférával először közvetlenül a villámlás lecsapási helye fölött találkoznak (Cooray, 2015). Az elektromágneses hullámok és az ionoszféra kölcsönhatása miatt az ionoszférában áram indukálódik. Az elektromos áram az elektronok rendezett mozgása. Ezek az elektronok mozgásuk során ütköznek a levegőben található nitrogén- és oxigén atomokkal. Az ütközések egy része ionizációhoz vezet, más része pedig az atomokat gerjeszti. A gerjesztett állapotból az alapállapotba való visszatérés fénykibocsátást eredményez. Az elektromágneses mező az ionoszféra egyre távolabb eső részeivel is kölcsönhatásba lép, így a fényjelenség messzebb lévő területekre is kiterjed. Ezt a mindössze kb. 1 ms-ig tartó fényjelenséget láthatjuk gyűrűlidércként.

A kék nyalábok (blue starters, blue jets) közös jellemzője, hogy megjelenésük nem köthető egyedi villámtevékenységhez, kialakulásukban a töltésszétválasztó folyamatok a meghatározóak. A töltésszétválasztás határozza meg azt, hogy az adott nyaláb milyen magasra tud



15. ábra

A villámlásból kiinduló elektromágneses hullámok és az ionoszféra találkozása (V.Cooray, 2015 nyomán)



16. ábra

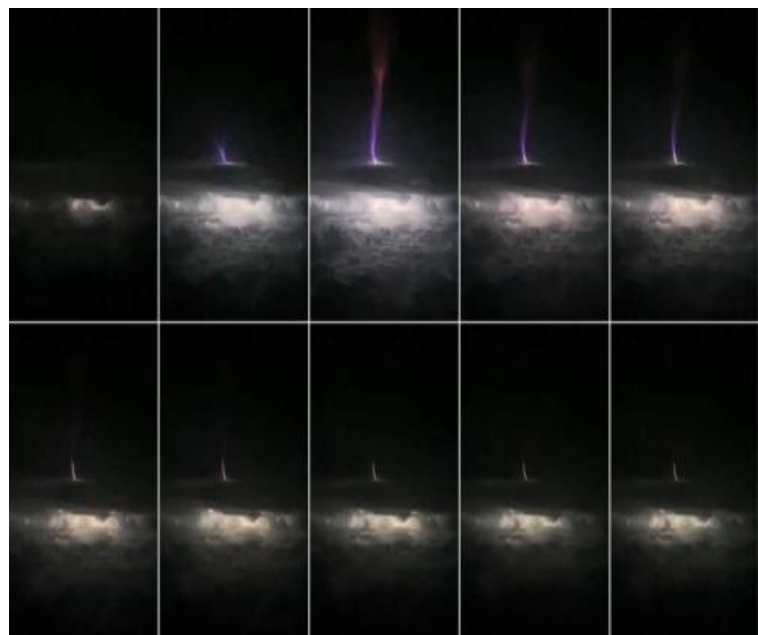
Kék nyaláb

A kép forrása:

<http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/KekNyala.htm>

emelkedni, továbbá a színük árnyalatát is. A világosabb nyalábok esetén intenzívebb a töltésszétválasztás. A kék nyalábok a zivatarfelhő szűk tartományából, a felhő tetejéről (kb. 15-18 km magasról) indulnak ki és legfeljebb kb. 40 km-t emelkednek felfelé, az ionoszféra felé. Emelkedési sebességük kb.  $10^5$  m/s. A 10 km-nél kisebb hosszúságú kék nyalábokat, kis kék nyaláboknak (blue starters), míg az ennél hosszabbakat egészen a 40 km-es hosszig közönséges kék nyaláboknak (blue jet) nevezzük. A nyalábok általában ferde helyzetűek, végük tölcsérszerűen kiszélesedik és elhalványodik. Átlagos élettartamuk 200-300 ms. Kék színüket annak köszönhetik, hogy a felhő tetejéből felfelé induló pozitív elővillámban a szabad elektronok a  $N_2^+$  ionokat gerjesztik.

A trópusi **óriás nyalábok (gigantic jets)** megjelenésükben a kék nyalábokhoz hasonlóak, de a felhő tetejétől egészen az ionoszféráig nyúlnak. Emelkedési sebességük szintén  $10^5$  m/s nagyságrendbe esik. Míg a kék nyalábok pozitív töltésűek, így pozitív töltést szállítanak a felső légkör felé, ezzel szemben az óriás nyalábok negatív töltésű kislülések. Őket nem felhő-föld villám váltja ki. Számos elmélet létezik, amely ezeknek a kislüléseknek a természetét magyarázza. A legújabb



17. ábra

Az óriás nyaláb kialakulása

A kép forrása:

Dr. Tony Phillips: *Close Encounter with a Gigantic Jet*  
<https://spaceweatherarchive.com/2019/10/25/close-encounter-with-a-gigantic-jet/>

modellek szerint az óriás nyalábok akkor jönnek létre, amikor a zivatarfelhő felső pozitív töltéscentrumának vonzó hatására a közepén elhelyezkedő negatív tartományból töltések szakadnak ki és indulnak el felfelé, a pozitív tartomány felé. A kiszabaduló töltések először semlegesítik a felhő felettük elhelyezkedő pozitív részét, majd áttörik a teljes tartományt és a felhőtető fölé magasodnak. Ahhoz, hogy ez bekövetkezhesen a kiindulási negatív centrumban a töltéssűrűségnek sokkal nagyobbak kell lenni, mint az ellentétes töltésű pozitív tartományban. Az óriás nyalábok megfigyelése különös

eseménynek számít, mert a kialakulásukhoz szükséges feltételek a természetben csak nagyon ritkán adóttak. Az óriás nyalábok jellemzően negatív töltést szállítanak az ionoszféra felé, ennek ellenére 2010. aug. 12-én a kínai Sárga folyó fölött kialakult viharban a becslések szerint 89 km magassáig emelkedő, pozitív töltésű óriás nyalábot észleltek. A kutatók elemezték a vihar meteorológiai paramétereit. Megállapították, hogy tipikus nyári viharról volt szó, ezért még keresik a rendellenes viselkedés magyarázatát.

Az óriás nyalábok különlegessége, hogy úgy látszik, mintha a felhőtetőből indulnának ki (valójában nehezen megfigyelhető magjuk ez alatt található) a nyaláb tetőhöz közeli része fehér, majd kékre vált, elérve a kb. 80 km-es magasságot a teteje vörös lesz, akárcsak egy vörös lidérc (17. ábra). Az óriás nyalábról először az Arecibo Observatory kutatói készítettek felvételt az óceán fölött kialakult viharban. A jelenség mindössze 1 s-ig tartott és kb. 50 000 m/s sebességgel tört a magasba. Elérve a 160 000-270 000 m/s-os sebességet két ágra osztódott, majd tovább emelkedett az ionoszféráig kb. 2 000 000 m/s sebességgel, ahol rendkívül fényes jelenség formájában szétoszlott. Ezt követően 2002 júliusában Tajvanon (szintén tenger felett), 2010-ben Kínában egy szárazföldi vihar alkalmával, majd 2014-ben Argentína Entre Rios tartományában észleltek hasonló jelenségeket. 2016-ban, a véletlennek köszönhetően, egy kínai fotós a Perzsa meteorák fényképezése közben készített nagylátószögű képet óriás nyalábról. Az óriás nyalábok kutatásában az áttörést Chris Holmes repülőgép-pilóta videó felvételei jelentik. 2019. 10.25-én a Mexikói öböl (Yucatan félsziget) fölött repült 10700 m magasságban, amikor szupercellában kialakuló villámtevékenységről készített felvételeket. A videóban rengeteg vörös lidércet és a felhőtető fölé emelkedő nyalábot örökített meg. A felvétel pillanatképei alapján a kutatók nyomon követhették az óriás nyalábok kialakulásának folyamatát. Eszerint a nyalábokban először a viszonylag hidegebb kék szálak emelkednek fel, majd a felhőtetőből kiindul egy sokkal lassabban mozgó, fehér, forró vezetési csatorna. Holmes felvételei alapján egyértelműen megállapítható, hogy az óriás nyalábok még azelőtt elérik az ionoszférát mielőtt ez a villámcsatorna elhagyja a felhőtetőt. Ebből a kutatók arra következtettek, hogy a zivatarban sokkal erősebb elektromos mező alakulhat ki, mint azt valaha is feltételezték. Az óriás nyalábokkal kapcsolatban még számos nyitott kérdés vár válaszra.

**Egyéb felső légköri kisülések: Tündérek (Pixies) Trollok (Trolls) és Törpék (Gnomes),**

[https://www.youtube.com/watch?v=nN2ohgVHpDI&ab\\_channel=PaulMSmith](https://www.youtube.com/watch?v=nN2ohgVHpDI&ab_channel=PaulMSmith)

Élettartamuk néhány 100 ms. A Tündérek (Pixies) csoportosan előforduló, mozdulatlan felfénylések a 15-18 km magasságban lévő felhőtetőn. Nevüket onnét kapták, hogy a fotókon mindössze 1-1 pixel felvillanását okozzák.

A Trollok (Transient Red Optical Luminous Lineament), 60-70 km magasságban figyelhető meg, a vörös lidércek lenyúló ágain haladnak felfelé kb.150 km/s sebességgel.

A Törpék (Gnomes) a zivatarfelhő üllő alakú tetejéről felfelé mutató, apró, rendkívül fényes, tűske formájú kisülések. Csak néhány mikrosekundumig tartanak, legfeljebb 200 m szélesek és 1 km hosszúak. Színük nem ismert, mivel eddig csak fekete-fehér felvételeken figyelték meg őket.

### 3.3 Villámok és tévképzetek [S3], [S6]

*A villámokkal kapcsolatban számos tévhit él a köztudatban. Felmérést végeztem 9-10. évfolyamos gimnáziumi tanulók körében, melyben azt vizsgáltam, hogy mit gondolnak ezekről a közismert hiedelmekről. A kísérleti csoportban a mérést a tanítást követően egy év múlva megismételtem. (A diagnosztikus és a szummatív kérdéssor megegyezett.) Az eredmények kiértékelése alapján megmutattam, hogy a tévhitek háttérében elsősorban a jelenségek megértéséhez szükséges alapismeretek hiánya áll. A hiedelmek kialakulásához hozzájárul az is, hogy a villámokról rendelkezésre álló tudományos ismeretanyag jelenleg sem teljes, napjainkban is alakul, egyre bővül. A különböző internetes platformokon, médiaforrásokban néha egymásnak ellentmondó információkat is találhatunk. Számos esetben csak szemtanúk beszámolóit állnak rendelkezésre, ezek hitelessége azonban megkérdőjelezhető (pl. gömbvillámok).*

#### 3.3.1 Bevezetés

Az emberek évezredekken keresztül rettegettek az ismeretlen eredetű, óriási intenzitású villámcsapásoktól, gyakran természetfeletti erőt tulajdonítottak neki. Ennek jelei felfedezhetők az ókori mítoszokban és az ősi kultúrák művészetében megjelenő villámábrázolásokban is. (Pl. az ókori görögök Zeusz ábrázolások) Ezt őrzik a hét napjai közül az angol és a dán csütörtöki és a német keddi nap elnevezés is. Az előbbi vélhetően a „Thor ’s Day” -ből (Thor napjából) ered, míg az utóbbi szóösszetétel jelentése a mennydörgés napja. (der Donner = mennydörgés, der Tag = nap) A középkori templomi harangok felirata is az emberek villámoktól való félelmét tükrözi. A vihar közeledtével ők harangozással próbálták távoltartani a viharfelhőket és így „védekeztek” a villámcsapások ellen (Tasnádi, 2021). Az ismeretek hiánya mítoszok és tévhitek kialakulásához vezetett.

A 18. század második felében a villámok pusztító hatása (gyakori tűz-, illetve ritkábban előforduló halálesetek) miatt indult meg a tudományos igényű munka a titokzatos jelenség rejtelseinek feltárására. Az első eredményt a villámvédelemben Benjámín Franklin érte el a villámhárító feltalálásával. A villámok fizikai természetének leírása azonban még további kutatást igényelt, és még ma is a meteorológiai és űrkutatások középpontjában áll.

A villámokkal kapcsolatban azonban jelenleg is számos tévhit él a köztudatban. (Tévhitnek vagy tévképzetnek nevezzük a tudományos elméletekkel össze nem egyeztethető, mélyen gyökerező, rendkívül stabil téveszméket.) (Korom,1997) A tévhitek kialakulásának több oka is lehet. Jelentős szerepet játszhatnak benne azok a naiv elképzelések, prekoncepciók, amelyeket a diákok még a tanulás előtt magukkal hoznak az iskolába. Befolyásolhatja az ismeretszerzést a környezet, a barátok és az ismerősök, illetve a média és nem utolsósorban az interneten elérhető információk sokasága. A mai digitális világunkban a szaktárgyi tudás átadása mellett ezért nagyon fontosnak tartom azt, hogy diákjaimnak megtanítsam az autentikus források használatát is. A tévhitek kialakulásának másik lehetséges forrása az ismeretek rögzülésének nem megfelelő módja. A memóriánkban tárolt információk hálószerűen kapcsolódnak össze. E fogalmi hálónak az egyes elemei annál könnyebben előhívhatók, minél több szál köti őket össze. Az új ismereteknek ebbe a fogalmi hálóba kell beépülniük. Ha ez nem történik meg, mert pl. a diák nem rendelkezik a szükséges háttértudással, akkor a megértés hiányában nem jönnek létre ezek a kötelékek, az új információk elszigetelődnek és könnyen feledésbe merülnek. Ez hosszú távon a sikerélmény elmaradásához és motiválatlansághoz is vezethet. Ennek tükrében látható, hogy az elméleti háttér elsajátítása fontos szerepet tölt be a tévképzetek kialakulásának megelőzésében, illetve, ha már ilyen hibás elképzelésekkel szembesülünk, akkor annak tisztázásában. A diákoknak a fizika egyes területein (elsősorban mechanika, optika) kialakult tévképzeteivel, azok elosztatásának lehetőségeivel számos oktatáskutató és tanulmány foglalkozik. (Kuczmann, 2017). Dolgozatomban vizsgáltam a villámokhoz fűződő téves elgondolásokat és azok háttérében levő fizikai tartalmat is.

### 3.3.2 Elméleti háttér

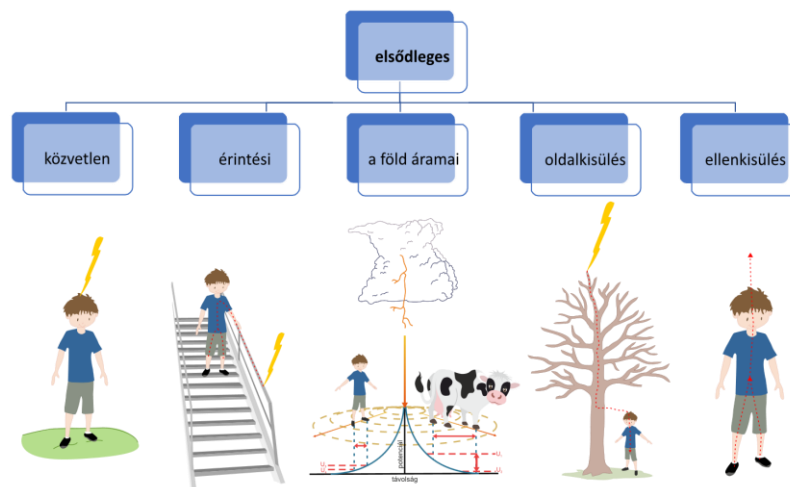
A villámokkal kapcsolatban kialakult hiedelmek többsége a villámveszélyes helyzetekben való helyes cselekedetekhez, az élettani hatásokhoz, illetve a villámvédelem alapkérdéseihez kötődik. Ahogyan már korábban is említettem, a villámkárok típusát és súlyosságát döntően a villám áramlökések maximuma ( $I_{max}$ ), a villám áramának maximális változási sebessége  $(dI/dt)_{max}$ , a villámban átvitt össztöltés, és az úgynevezett hatásintegrál határozza meg.

#### 3.3.2.1 Az élettani hatások

A villámcsapások élettani hatása továbbá függ a villámáram emberi testen való átfutás idejétől is. Előfordulhat, hogy nagyon rövid ideig akár 80-100 A (amper) erősségű áram is áthalad az ember testén anélkül, hogy sérülést okozna, ugyanakkor izomgörcsöt kiváltva mégis az életfunkciók leállításához vezethet. A hatás szempontjából fontos

tényező az is, hogy a villámáram milyen útvonalon halad át az ember testén, érint-e létfontosságú szerveket.

A villámok hatásait csoportosíthatjuk aszerint, hogy elektromos, vagy nem elektromos eredetűek. Az előbbiek közé tartozik a közvetlen villámcsapás, az érintési feszültség, a villámcsapás következtében a földben folyó áramok okozta pl. lépésfeszültség vagy átívelés, az oldalkisülés és az ún. ellenkisülés. Ezeket tekintjük a villámok elsődleges hatásainak. Bár a hagyományos szemlélet a közvetlen villámcsapást tartja a legveszélyesebbnek, valójában az elektromos hatás elsődleges szerepe abban mutatkozik meg, hogy a villám hatalmas áramai nagy mértékben megzavarhatják az ember idegrendszeri szabályozását és a szervezet elektromos működését irányító finom bioelektromos hatásokat. A villám nagy elektromos tere hirtelen szívmegálláshoz, emlékezetkieséshez, bénuláshoz stb. vezethet. Ez az oka annak, hogy látszólag gyógyult betegek is mutathatnak később súlyos tüneteket (neuropszichológiai változások, epilepszia, memóriazavarok, emlékezetkiesés, személyiségváltozások stb.), amelyek maradandó idegrendszeri károsodásra utalnak (Cooper and Holle, 2019; Cooper et al., 2016).



*18.ábra*  
A villámok elsődleges hatásai  
(a rajz Mary Ann Cooper nyomán készült)

Másodlagos hatás lehet pl. a villám hőhatása, ami nem csak olvasztó hatásában nyilvánul meg, hanem a vezető csatorna lökeshullámainak kialakulását is eredményezi. A lökeshullámok további károsodásokhoz is vezethetnek pl. halláskárosodás és Shrapnel hatás. Mint minden elektromos áram, így a villámáram is mágneses teret létesít. Bár normál élethelyzetben a villámáram élettanilag káros mágneses hatásával nem kell számolnunk, mégis, ha valaki pl. pacemakerrel rendelkezik akkor az fokozott óvatosságra

intő tényező. Nem tekinthetünk el azonban a villám által kibocsátott elektromágneses sugárzás következményeitől, amelyek a szem gyulladáisos betegségeit idézhetik elő.

*a villámok egyéb hatásai*

a dörgés

A jelenséget már korábban vizsgáltam. (3.2.2.2 fejezet 4. pont)

A villámlás pozitív hatásai

Bár a dolgozatomban a tantervi követelményekhez igazodva a villámok negatív aspektusait, a villámcsapások veszélyeit hangsúlyozom, a villámoknak kétségtelenül ismertek pozitív hatásai is, amelyet a szakirodalomban is csak meglehetősen ritkán említenek. Ilyen a villámok létfontosságú szerepe mind az ózonréteg védelmében, mind az emberi táplálkozásban. Egy közepes méretű villám kb. 150 kg ózont termel a felsőlégkörben, ami nélkülözhetetlen a Nap káros UV sugárzással szembeni védelméhez. (Borucki and Chameides, 1984) Közismert tény az is, hogy a Föld légkörének 78 %-át adó nitrogén a levegőben molekuláris formában van jelen ( $N_2$ ). Így nehezen lép reakcióba más vegyületekkel. Ahhoz, hogy a fotoszintézisben, illetve a különböző kémiai reakciókban részt tudjon venni, fel kell szakítani a két nitrogénatom közötti kötést. A villámlás ennek a folyamatnak a fő természetes forrása, hiszen ő biztosítja a nitrogén-oxidok és az ammónium keletkezéséhez szükséges energiát. Az így keletkezett molekulák esőzéssel jutnak a földfelszínre és jelentősen elősegítik a növények növekedését. (Borucki and Chameides, 1984) (További források lehetnek: a kozmikus sugárzás, a Naptól származó nagyenergiájú részecskék, a légkör elektromos kisülései és élő organizmusok pl. talajban élő baktériumok vagy a kék és zöld algák.) Az elektromos kisülésekben, így a villámláskor is, a nitrogén-oxidok kétféle módon jöhetnek létre: az elektronok ütközési folyamataiban, illetve a hőhatásnak köszönhetően. Az előbbi a korona- illetve a szalag kisülésekben, míg az utóbbi a vezetőcsatornában és a visszacsapásokban valósul meg (Cooray, 2015). A földi légkör második leggyakoribb összetevője az oxigén (21%), mely leginkább szintén molekulák formájában fordul elő ( $O_2$ ). Az oxigénmolekulákban az atomok közötti kötések felszakításához jóval kevesebb energia is elegendő, mint a nitrogénmolekulák esetében; ezért az elektronok ütközési folyamataiban a nitrogénatomok mellett oxigénatomok is keletkeznek, mely befolyásolja a troposzférikus és a sztratoszférikus ózon termelését.

### 3.3.3 A leggyakrabban előforduló hiedelmek

A villámokkal kapcsolatos hiedelmek bemutatására a 10 leggyakrabban előfordulót választottam ki.



	<b>Gyakori hiedelmek</b>	<b>A diákok válaszai</b>
1.	A villámok által okozott balesetek és halálesetek leggyakrabban a közvetlen villámcsapások miatt következnek be. (Hamis)	Igen: 86,8 % Nem: 13,2 %
2.	A villám soha nem csap kétszer ugyanarra a helyre. (Hamis)	Igen: 36,4 % Nem: 63,6 %
3.	A villám mindig a környezetéből kiemelkedő, legmagasabb pontba csap le. (Hamis)	Igen: 63,6 % Nem: 36,4 %
4.	Villámcsapás esetén a halál elsődleges oka az égési sérülés. (Hamis)	Igen: 79,1 % Nem: 20,9 %
5.	A zivatar a szabadban ér bennünket. Mivel tudjuk, hogy a villám mindig a legmagasabb objektumba csap bele, ezért a földre hasalunk. Helyesen cselekedünk-e? (Nem)	Igen: 76,4 % Nem: 23,6 %
6.	Hegymászás közben ért a vihar bennünket, villámlik. Menedéket nyújtó turistaház nincs a közelben. A hegyoldalban találtunk egy kis mélyedést a sziklában. A szakadó eső elől ide menekültünk, és itt várjuk meg a vihar elmúlását. Helyesen gondolkodtunk-e? (Nem)	Igen: 92,7 % Nem: 7,3 %
7.	A villámsújtotta embert nem szabad megérinteni, mert „megráz”. (Hamis)	Igen: 43,7 % Nem: 56,3 %
8.	Villámláskor még zárt épületen belül is veszélyes fürdeni vagy zuhanyozni. (Hamis)	Igen: 38,2 % Nem: 61,8 %
9.	Fejezd be a mondatot úgy, hogy az állítás igaz legyen!  A villám energiájának hasznosítása..... (c)  a) jelenleg technikailag még nem megoldott, de érdemes a gondolattal foglalkozni. b) már megoldott. c) nem érdemes vele foglalkozni.	a: 57,7 %  b: 13,2 %  c: 29,1 %
10.	Fejezd be a mondatot úgy, hogy az állítás igaz legyen! A villámáram ....(c)  a) egyenáram. b) váltakozó áram. c) egyik sem.	a: 34,1 %  b: 54,5 %  c: 11,4 %

3. táblázat Villámokkal kapcsolatos gyakori hiedelmek

A felmérésben 119 diák vett részt, az általuk adott válaszok eredményei láthatók a 3. táblázat 3. oszlopában.

### 3.3.4 További megjegyzések a hiedelmekhez

#### 1. kérdés

A köztudatban legelterjedtebb nézet szerint a közvetlen villámcsapás a legveszélyesebb. Ezzel szemben viszont a villámcsapás hatására a földben futó áramok és az oldalkisülések jóval nagyobb veszélyforrást jelentenek. (ld. 4.ábra és *A villámok hőhatása c. rész*)

#### 2-3. kérdés

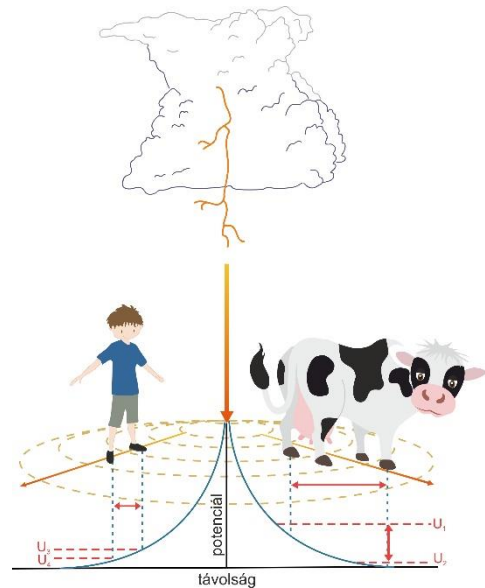
Az állítás cáfolataként néhány egyedi eset megemlíthető (pl. Empire State Building), de természetesen ez magyarázatként nem elegendő. Ha adott helyen az eredeti villámcsapást létrehozó meteorológiai körülmények többször is megvalósulnak, akkor megállapítható, hogy nagy valószínűséggel csap le ugyanoda a villám. A villám lecsapási helyét elsősorban az határozza meg, hogy mely tereptárgyat érint legelőször a villámcsúcs köré rajzolt kb. 30-50 m sugarú gömb. Ennek a gömbnek a sugarát a szakirodalom *lecsapási távolságnak* nevezi. A lecsapási helyet azonban befolyásolja a talaj típusa és nedvességtartalma is, hiszen ezektől a paraméterektől függ a talaj vezetőképessége. Sőt pl. egy fa esetén előfordulhat az is, hogy a talaj felszíni rétegei nem jó vezetők, de a fa gyökerei mélyebb, jól vezető rétegeket is elérhetnek, ezzel növelve a villámcsapás kockázatát.

#### 4.kérdés

A villámcsapás okozta halál legfőbb oka, hogy a hatalmas villámáramok rendkívüli mértékben megzavarják az emberi idegrendszer és a szervezet elektromos működését szabályozó finom bioelektromos mechanizmusokat. A villámok erős elektromos tere hirtelen szívmegálláshoz is vezethet.

#### 5.kérdés

A talajon való elnyújtózás a lépésfeszültség kialakulása miatt nem ajánlott. Ilyenkor ugyanis nagy a valószínűsége annak, hogy testünk két különböző potenciálon levő pontot köt össze.



19.ábra  
Lépésfeszültség

A 19. ábra jelöléseit használva összehasonlítható a lépésfeszültség értéke az ember és pl. a tehén esetén.

$$U_3 = 480 \text{ kV}$$

$$U_4 = 457,5 \text{ kV}$$

$$U_{34} = 22,5 \text{ kV}$$

( $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  és  $U_4$  értékei  $U(r) = \frac{I(t)}{2\pi\sigma r}$  alapján számolt értékek)

Az emberi test ellenállását  $1000 \Omega$ -nak feltételezve megbecsülhető a fiú testén átfolyó áram:  $I = \frac{U_{34}}{R} = 22,5 \text{ A}$ .

Pl. egy  $180 \text{ cm}$  magas ember esetén, ha a személy a villámcsapás helyétől kiindulva sugárirányban helyezkedik el a talajon, akkor ez az érték:  $I = \frac{U_{34}}{R} = 72,84 \text{ A}$ .

( $30 \text{ kA}$ -es átlagos villámáram maximumot feltételezve, a lecsapási helytől  $10 \text{ m}$  távolságban  $U_3 = 477,47 \text{ kV}$  és  $U_4 = 404,63 \text{ kV}$ , így  $U_{34} = 72,84 \text{ kV}$ .)

Ahogy a fenti ábrán is látható, a nagytestű, négylábú állatok esetében a mellső és hátsó végtagok távolsága lényegesen nagyobb az emberi lépéshossznál, ezért a végtagok között mérhető feszültség az embernél tapasztalt lépésfeszültségnek akár  $2$ - $3$ -szorosra is lehet, ami az állatok pusztulásához vezethet.

(A tehén esetén:  $U_1 = 480 \text{ kV}$ ;  $U_2 = 417,5 \text{ kV}$ ;  $U_{12} = 62,5 \text{ kV}$ )

6.kérdés

A talajban futó villámáram hatására az üreg peremének két pontja között ívkisülés jöhet létre, ha ennek árama átfolyik az ember testén, akkor veszélyt jelenthet rá. (8. ábra)

7.kérdés

Közvetlen villámcsapáskor a villámban kiegyenlítődő töltésmennyiség az ember jó vezetőnek minősülő testén keresztül a földre jut és nem halmozódik fel a testében. Ezért nem tudja megrázni a segítségére siető embert, ha az hozzáér a bajba jutott emberhez.

8.kérdés

Régen a vízvezetékek fémből készültek, így vezették az elektromosságot. Az érintési feszültség fellépésének veszélye miatt egy régi házban valóban nem célszerű villámláskor fürdeni, zuhanyozni. Ma már műanyag vízvezetékcsöveket használnak. Ebben az esetben ilyen kockázat nem lép fel.

9.kérdés

Gyakran halljuk, olvassuk, hogy a villám nagy energiájú légköri elektromos kisülés. De vajon mekkora ez az energia? Ha valóban olyan tetemes mennyiségű, akkor joggal

vetődik fel bennünk a kérdés, hogy lehetséges-e a hasznosítása. A tipikus villám első visszacsapásának árama: 30 kA, amely kb. 50 MV hatására jön létre. A további visszacsapások esetén a feszültség általában 20 MV. Ezért átlagos 35MV-tal célszerű számolni. A villámban szállított átlagos töltésmennyiség: 7,5 C.

Ekkor a villám átlagos energiája:  $W = Q \cdot U = 7,5 \text{ C} \cdot 35 \text{ MV} = 2,625 \cdot 10^8 \text{ J}$

Mivel 1 liter fűtőolaj fűtőértéke – kb. 10,3 kWh  $\approx 3,708 \cdot 10^7 \text{ J}$ ), ez az energia kb. 7 liter fűtőolaj elégetésekor felszabaduló energiával egyezik meg (<https://futespiac.hu/az-energiahordozok-futoerteke.html>).

A Földön másodpercenként átlagosan 100 villámlás történik, ez 1 év alatt

$3600 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 100 = 3,1536 \cdot 10^9$  villámot jelent, amelynek összenergiája:

$8,2782 \cdot 10^{17} \text{ J} = 2,2995 \cdot 10^{11} \text{ kWh} = 229,95 \text{ TWh}$ . (Összehasonlításképpen érdemes megemlíteni, hogy Magyarország éves energiafelhasználása a 2021-es adatok alapján

kb. 1133 PJ  $\approx 314 \text{ TWh}$  (<https://www.ksh.hu/energiagazdalkodas>). Ha ezt az energiát

össze is tudnánk valahogy gyűjteni, akkor is ez mindössze  $P = \frac{W}{t \cdot A} = \frac{2,625 \cdot 10^{10} \text{ J}}{1s \cdot 5,099 \cdot 10^8 \text{ km}^2} \cong$

51,5 W teljesítményt jelentene a Föld felszínének 1 km<sup>2</sup>-n. (A Föld átlagos sugara és felszíne, ha gömb alakot feltételezünk:  $R = 6370 \text{ km}$ ,  $A = 4\pi R^2 \cong 5,099 \cdot 10^8 \text{ km}^2$ )

Természetesen ezek az adatok módosulnak, ha változik a villámban szállított töltés mennyisége, illetve a felhő feltételezett potenciálja. Mindenesetre a becslés arra jó, hogy illusztrálja, miért nem gazdaságos a villámok energiájának felhasználása. A villámlás energiájának hasznosításával kapcsolatban számos más probléma is felmerül. Adott időpillanatban a villámsújtotta területek a Föld felszínének mindössze 4-5 %-át adják. A villám létrejöttének helye előre kiszámíthatatlan, a villámlás időtartama pedig rendkívül rövid. Továbbá a villámláskor felszabaduló energia jelentős hányada a villámlást kísérő hang- és fényjelenségek kialakulására fordítódik, így a Föld felszínét ennek az energiának csak kis része éri el.

A villámok hatását döntően meghatározó tulajdonságok között fontos szerepet játszik a villámok fajlagos energiája. Ez az energia a villámáram hatására az 1  $\Omega$  ellenálláson felszabaduló energiát jelenti. A villám fajlagos energiája negatív villámok esetén átlagosan kb. 0,05 MJ/  $\Omega$ . (Horváth, 1997) Ez azt jelenti, hogy 1  $\Omega$  ellenálláson 0,05 MJ energia szabadul fel. (A pozitív villámok fajlagos energiája ettől lényegesen nagyobb lehet, viszont ezek előfordulása sokkal ritkább.) Ha ezt az áramot egy 3 kW teljesítményű fogyasztón vezetjük át, akkor kb. 4,5 percig lenne képes üzemeltetni azt. (Az  $U=220 \text{ V}$ -

on üzemelő 3 kW teljesítményű fogyasztó ellenállása,  $R = \frac{U^2}{P} \approx 16,13 \Omega$ , a rajta felszabaduló energia a villám fajlagos energiáját figyelembe véve a fogyasztó  $W = 16,13 \Omega \cdot 0,05 \text{ MJ} \approx 0,8 \text{ MJ}$ ,  $t = \frac{W}{P} = \frac{0,8 \text{ MJ}}{3000 \text{ W}} \approx 267 \text{ s} \approx 4,5 \text{ perces}$  üzemeltetésére lenne elegendő.


#### 10.kérdés

A villámáram egyiknek sem tekinthető, hiszen a villámáram nagyon rövid ideig tartó áramlökés.

A villámáram jellegének ismerete azért fontos, mert ez határozza meg a villámkárok típusait és azok súlyosságát.

#### 3.3.5 Felmérés a diákok körében

Kutatásom során összegyűjtöttem a villámok témakörében a köztudatban leggyakrabban előforduló téves elképzeléseket (3.táblázat). Elsősorban azokra fókuszáltam, amelyek közvetlenül kapcsolódnak mindennapi életünkhöz, illetve tárgyalásuk balesetvédelmi szempontból kiemelkedő jelentőségű. A villámok élettani hatásait érintő kérdések és ismeretek ugyanis a nagyfeszültségű elektromos hálózatok vonatkozásában is alkalmazhatók. Tanulmányoztam az egyes jelenségek mögött felfedezhető fizikai tartalmat, és a középiskolai diákok számára történő interpretációjának lehetőségét.

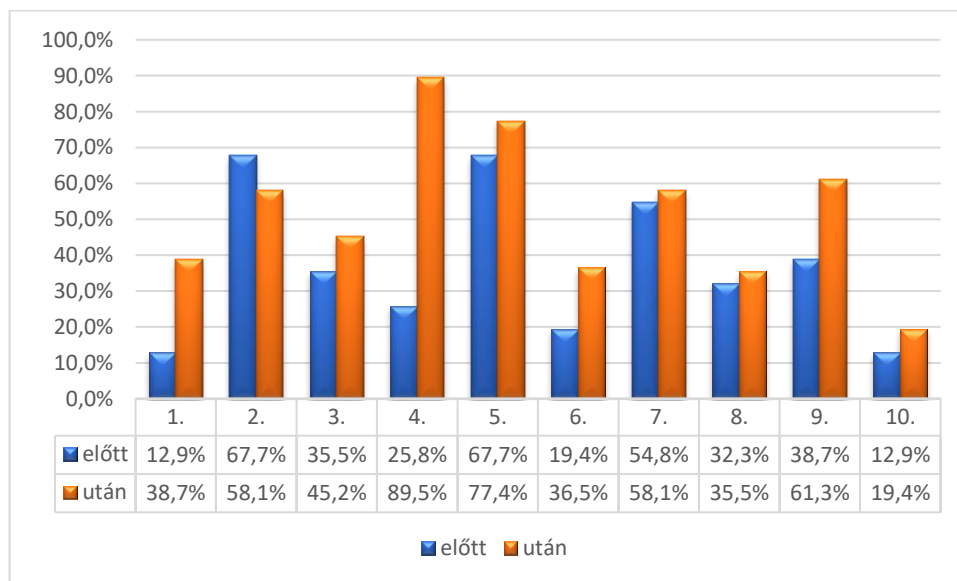
	
Szabadtéri program tervezésekor mindig kísérd figyelemmel az időjárás-előrejelzést!	Ne keress menedéket magányosan álló fa alatt!
Vihar közeledtekor húzódj biztonságos helyre (megfelelő villámvédelemmel rendelkező házba, vagy maradj az autóban)!	Ha a hegyekben túrázol és ott ér a vihar, ne keress menedéket egy szűk sziklamélyedésben!
Ha nyílt terepen ér a vihar és villámlik, guggolj le!	Ne tartózkodj vízben!
Kerüld a nagy csoportokat!	Ne fekédj elnyúlva a talajon!
Kerüld a környezetéből kiemelkedő területeket (hegygerinceket, hegycsúcsokat)!	Ne tartózkodj elektromos vezetékek és elektromosságot jól vezető tárgyak közelében!
Emlékezz a 30/30-as villámvédelmi szabályra!	Ne használd hálózatról üzemeltetve az elektromos készülékeket!
Kerüld a környezetéből kiemelkedő, magas tárgyakat!	Ne érints meg betonszerkezeteket!
Ha valakit a közeledben villámcsapás ért, segíts neki! Az elsősegély életet menthet, és hívj mentőt!	Ne fekédj betonpadlóra és ne dőlj betonfalaknak!

4.táblázat Hogyan viselkedjünk villámveszélyes helyzetekben?

Kérdéssort állítottam össze a villámok legfontosabb tulajdonságaira, a villámveszélyes helyzetekben való helyes viselkedésre, valamint a külső és belső villámvédelemre vonatkozóan. A kérdések elsősorban feleletválasztós, eldöntendő, illetve néhány esetben rövid választ igénylők voltak. A teszt eredményeinek kiértékelését és megbeszélését követően néhány pontban rögzítettük, hogyan csökkenthetők a villámveszélyes helyzetek kockázatai (4. táblázat). Ez azért is fontos, mert az ilyenkor javasolt magatartás elsajátíttatása, amivel megelőzhető a sérülések, vagy csökkenthető azok hatása, az iskolai fizikaoktatás egyik kiemelkedő gyakorlati feladata.

### 3.3.6 A teszt eredményei

A kérdőívek kitöltésében 119 fő, 9-10. osztályos gimnáziumi tanuló vett részt, a két évfolyamról kb. azonos létszámban. Az adatok az általuk adott válaszokra vonatkoznak. A tanulók a tesztet ellenőrzött körülmények között, Google Űrlapon töltötték ki, így az összesített eredményekről azonnali visszajelzést kaptam. (Takátsné és Tasnádi, 2022) A kísérleti csoportban (31 fő) megvizsgáltam, hogy a tanulást követően egy év elteltével hogyan alakult a diákok véleménye a fenti kérdésekkel kapcsolatban.

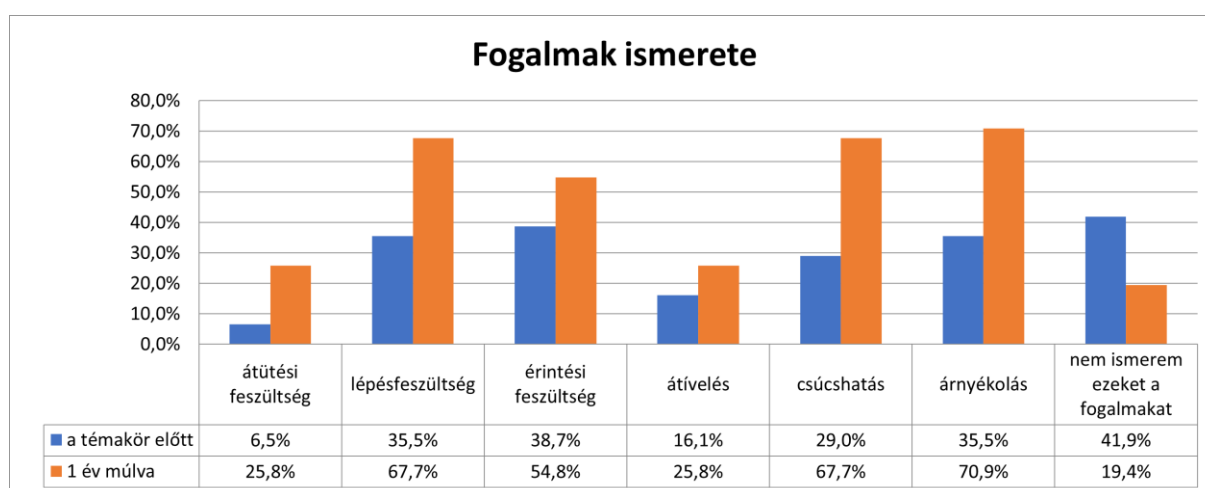


20.ábra

A diákok véleményének alakulása a villámokhoz fűződő hiedelmekkel kapcsolatban

A diagram alapján egyértelműen megállapítható, hogy a csoport eredményei a tananyag elsajátítása után jelentősen javultak, annak ellenére, hogy az eltelt idő alatt az ismeretek egy része feledésbe merült. Néhány kérdés esetén szignifikáns (több, mint 20%-os) eltérés mutatkozik a helyes válaszok számában. (Ilyenek pl. az 1.,4., és 9. kérdés) Mindössze egy kérdésnél tapasztaltam visszaesést (-9,6%), ez a 2. feladat volt.

Felmértem azt is, hogy a vizsgált jelenségekhez kapcsolódó néhány alapfogalom tekintetében mennyire tájékozottak a tanulók. A kísérleti csoport eredményeit szemlélteti az alábbi diagram (21.ábra). A legtöbb esetben itt is megfigyelhető a legalább 15%-os fejlődés. Fontos kiemelni azt is, hogy míg a teszt előtt a diákok kb. 42 %-a még csak nem is hallott ezekről a fogalmakról, addig 1 év elteltével ez az arány mindössze 19,4 %-ra csökkent.



21.ábra

A jelenségek megértéséhez szükséges fogalmak ismerete

Mindezek tükrében valószínűsíthető, hogy a hiedelmek kialakulásában fontos szerepet játszik a jelenségek megértéséhez szükséges ismeretek hiánya, a téves elképzelések eloszlásában pedig hasznosnak bizonyult a témakör tananyagba való integrálása.

3.4 A kísérleteket bemutató oktatási videók a középiskolai fizikaoktatásban [S2] *Megmutattam, hogy a tanárjelöltek által készített, egyszerű, otthon is könnyen elvégezhető fizikai kísérleteket bemutató oktatási videók eredményesen alkalmazhatók mind az online, mind pedig a jelenléti középiskolai fizikaoktatásban. (Kutatásomban kanadai tanárjelöltek által készített 3-6 perces, feliratokkal, magyarázó ábrákkal, figyelemfelkeltő jelekkel ellátott YouTube-típusú videókat vizsgáltam.)*

#### 3.4.1 Bevezetés

A természettudományos gondolkodásmód kialakításában, a szemléletformálásban a fizika meghatározó szerepet játszik. A fizika empirikus tudomány, ezért a fizikatanítás középpontjában a kísérletezés áll. A természettudományos megismerés folyamatának

(megfigyelés; leírás; fogalmak, mennyiségek bevezetése; kérdések, hipotetikus magyarázatok megfogalmazása, modellalkotás; számolás; következtetések levonása; az eredmények kísérleti ellenőrzése) alapvető módszere a kísérletezés, melynek során a jelenséget előre megtervezett körülmények között mesterségesen idézzük elő. A kísérlet célját tekintve többféle lehet:

- fogalmakat, összefüggéseket és alaptörvényeket felfedeztető;
- verifikáló, vagyis bizonyos körülmények között valamilyen ismert fizikai törvényt igazoló;
- illetve látványos, figyelemfelkeltő, esetleg meglepő kimenetelű, melynek a diákok motivációja szempontjából van kiemelkedő szerepe.

A kísérletek egy részében különböző fizikai mennyiségeket mérünk és keressük a köztük levő összefüggéseket, míg másik felében csak megfigyeljük a jelenségeket és megállapításokat teszünk. A kísérletek és az eredmények matematikai leírásának módja befolyásolja a diákok motivációját és hosszabb távon a fizikához való attitűdjét. A klasszikus kísérletek hagyományos kísérleti eszközökkel történő bemutatása több iskolában egyre nagyobb kihívást jelent a tanárok számára a szertárak hiányos, elavult eszköztára miatt. Ez azt eredményezi, hogy egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a speciális eszközöket nem igénylő kísérletek. Ehhez hozzájárul a digitális eszközök térhódítása az oktatásban is, ami szükségessé teszi kísérleteink újragondolását. A pandémia alatt az online oktatásra való áttérés rendkívüli oktatási környezetet teremtett, amely sürgette, hogy megoldást találjunk a kísérletek bemutatására is. Kutatásomban egyszerű, akár otthon is könnyen elvégezhető kísérleteket bemutató oktatási videók fizikatanításban való hatékony alkalmazásának lehetőségeit vizsgáltam.

#### 3.4.2 Projekt a videókészítésre

Az MTA-ELTE Tantárgy-pedagógiai Kutatócsoport tagjaként részt vettem Prof Marina Milner-Bolotinnal (University of British Columbia, Vancouver, Department of Curriculum & Pedagogy) végzett közös kutatásban, melynek célja a hazai fizika szakmódszertan nemzetközi kontextusba való helyezése mellett a tanárjelöltek kísérletező képességének és kreativitásának fejlesztése volt. A közös munka során a kanadai partnerrel való kapcsolattartás, a hazai oktatási videók készítésének koordinálása és középiskolai diákok körében való tesztelése, az eredmények kiértékelése, konklúziók és felhasználási javaslatok megfogalmazása volt a feladatom.



A projektben **három célt** fogalmaztunk meg. Ezek:

- a tanárjelöltek oktatási videók tervezésébe történő bevonása; kísérletező, pedagógiai és természettudományos kommunikációs képességük fejlesztése;
- a középiskolás diákok érdeklődésének felkeltése, motivációjának fokozása és a fizika iránti attitűdjük javítása;
- empirikus igazolása annak, hogy az egyszerű kísérleteket bemutató oktatási videók a megfelelő módszerek alkalmazása mellett mind a jelenléti mind az online oktatásban, támogatják a diákok önálló tanulását.

A kutatásban a DBT with TF (Deliberate Pedagogical Thinking with Technology Framework) (Milner-Bolotin M, 2020), PCK (Pedagogical Content Knowledge) (Shulman L S, 1986), illetve TPACK (Koehler M J and Mishra P, 2015) módszereket alkalmaztuk.

#### 3.5.2.1 A projekt három fázisa

##### 1. fázis – Előzmények, videók készítése a UBC-n

A kanadai UBC-n (University of British Columbia, Vancouver) 2010 óta évi rendszerességgel kerül megrendezésre a Family Math and Science Day (FMSD). A rendezvény célja a matematika és a természettudományok népszerűsítése mellett a tanárjelöltek kísérletező és természettudományos kommunikációs készségének fejlesztése. Az esemény minden érdeklődő számára szabadon látogatható. A program során tanárjelöltek mutatnak be és magyaráznak meg egyszerű, speciális eszközöket nem igénylő, akár otthon is elvégezhető rövid, látványos kísérleteket (Milner-Bolotin M and Milner V, 2017). Ez a természettudományos nap adta az ötletet a UBC professzorainak a kísérleteket bemutató oktatási videók készítéséhez (Tembrevilla G and Milner-Bolotin M, 2019; Milner-Bolotin M, 2021). A tanárjelölteket arra kérték, hogy készítsenek a középiskolai tantervhez igazodó, 3-6 perces rövid, YouTube-típusú videókat, melyben hasonló kísérleteket mutatnak be. A videókat feliratokkal, magyarázó ábrákkal, figyelemfelkeltő jelekkel kellett ellátniuk, majd az elkészült anyagokat az erre a célra létrehozott YouTube-csatornára kellett feltölteniük (Milner-Bolotin M, 2021). Az UBC oktatói a csatornát nyilvánossá tették, ezáltal az elkészült anyagok bármely kolléga számára hozzáférhetők és gondolatébresztők lehetnek. Az így összeállított és megosztott gyűjtemény pedig a tanárjelölteknek jelenthet nagy segítséget a felkészülésben a későbbi tanári munkájuk során. A tanárjelöltek munkájának megkönnyítésére Marina Milner-Bolotin és kutatócsoportjának tagjai mintavideókat készítettek, speciális kurzust tartottak

a hallgatóknak az oktatási videók készítésének fortélyairól. Az elkészült videók itt érhetők el: [https://www.youtube.com/channel/UCHKp2Hd2k\\_dLjODXydn2-OA](https://www.youtube.com/channel/UCHKp2Hd2k_dLjODXydn2-OA)

## 2. fázis - A videók középiskolai alkalmazásának tesztelése

Áttekintettem a kanadai kutatócsoport és hallgatók által korábban készített videókat. Kiválasztottam két olyan témakört (Rezgések és a hang, illetve Geometriai optika), amely tartalmában jól illeszkedik a magyar kerettantervhez és követelményrendszeréhez. A témakörök kijelölésénél fontos szempont volt, hogy olyan fejezeteket válasszak ki, amelyeket a kutatásban részt vevő diákok középiskolai fizika tanulmányaik során még nem érintettek. Mindkét témakörből 5-5 videót emeltem ki megtekintésre. Ezekhez a bemutatott tartalmak alapján egy-egy rövid kérdéssort állítottam össze (6. táblázat). A videókat az egyes csoportokban (4 csoport, összesen 101 fő) különböző pedagógiai módszereket alkalmazva dolgoztuk fel (5. táblázat). A tanulóknak a videók megtekintése előtt és utána is válaszolnia kellett tartalmukat tekintve ugyanazokra a kérdésekre. Az utóteszt utolsó kérdése az előtesztben nem szerepelt, mert mindkét témakör esetében olyan jelenségre vonatkozott, amelyről korábban a diákok nem rendelkeztek információval.

## 3. fázis- ELTE tanárjelöltek videóképzése

A vancouveri egyetemmel folytatott együttműködés keretében megkaptuk a UBC speciális, oktatási videóképzéssel kapcsolatos, fizika tanárképző kurzusának tantervét és követelményeit. Ennek alapján a magyar hallgatókkal is elsajátítottuk a videóképzéshez elengedhetetlenül szükséges ismereteket, létrehoztunk egy videósablont. Majd a tanultak alkalmazására tanárjelöltjeink is készítettek hasonló videókat. A projektterv alapján a magyar videókat a UBC hallgatói tesztelik. Tervezzük további videók készítését és a videógyűjtemény számára önálló csatorna vagy online felület létrehozását is.

Mivel kutatásom oktatási videókra vonatkozó részének fókuszpontjában a videók középiskolai tesztelése állt, a továbbiakban az ott alkalmazott módszereket és eredményeket részletezem.

### 3.4.3 A kutatásban részt vevő középiskolás diákok

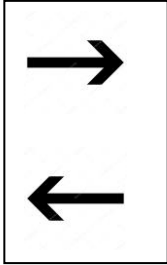
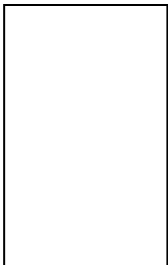
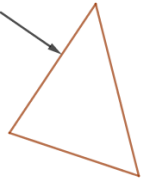
A kutatásban összesen 101 diák vett részt négy csoportban. Megoszlásuk: I. csoport 29, a II. 24, a III. 20 és a IV. 28 fő. Mindannyian a Szabó Lőrinc Kéttannyelvű Gimnázium 9-10. évfolyamos tanulói voltak. (Ez a hagyományos képzés 9-11. évfolyamának felel

meg.) Az I., II. és IV. csoport tagjai angol két tanítási nyelvű, míg a III. csoport tanulói általános tantervű képzésben részesültek. Az első csoport kivételével a fizikát mindenki magyar nyelven tanulta, heti 2 órában. Az I. csoport nyelvi előkészítő osztály volt, akik a vizsgált tanévben kezdték meg középiskolai tanulmányaikat, az iskola helyi tanterve alapján szaktárgyakat még nem tanultak. A tanulók átlagos képességűek, a csoportok korábbi fizika szaktárgyi előmenetele között szignifikáns különbség nem mutatkozott. A tanulók fizika iránti attitűdje is átlagosnak mondható. A részt vevő diákok angol nyelvi szintje általában középhaladó, haladó, így a videók tartalmi megértése számukra nyelvi nehézségbe nem ütközött. Mindössze az I. csoportban akadt néhány olyan tanuló, aki kezdő szintű angol nyelvtudással rendelkezett. Az iskola jellegéből adódóan a kéttannyelvű osztályokban (ilyen pl. a II. és a IV. csoport) a középiskolai tanulmányok első évében heti 27 órában tanulnak a diákok angol nyelvet, a tanév végén FCE (nemzetközi nyelvvizsga) vizsgát kell tenniük. Tanulmányaikat csak sikeres vizsga esetén folytathatják a kéttannyelvű képzésben, ahol a továbbiakban néhány szaktárgyat angol nyelven tanulnak. Az általános tantervű III. csoport kutatásba történő bevonása azért is bizonyult célszerűnek, mert eredményeik összehasonlítása a kéttannyelvű társaikkal rávilágított arra, hogy a kutatási eredmények és konklúziók a hagyományos oktatás keretei között is eredményesen alkalmazhatók.

### 3.4.4 Felmérések a rezgések, hullámok és a geometriai optika témakörének tanításában

<b>A csoporttevékenység leírása</b>	<b>Előteszt</b>	<b>Időtartam</b>	<b>Utóteszt</b>
<b>1.csoport:</b> a tanulók projektoros kivetítéssel, közösen nézték meg a videókat	4 kérdés az <i>Optika</i> témakörből	5 perc	5 kérdés az <i>Optika</i> témakörből válogatott videókhöz
<b>2.csoport:</b> a tanulók okostelefonjaikat használva egyénileg tekintették meg a videókat	válogatott videókhöz +	5 perc	+
<b>3.csoport:</b> a diákok együtt nézték meg a videókat, majd társaikkal megbeszélhették a látottakat	4 kérdés a <i>Rezgések és a hang</i> témakörből	5 perc + 5 perc	5 kérdés a <i>Rezgések és a hang</i> témakörből válogatott videókhöz
<b>4.csoport:</b> a diákok együtt nézték meg a videókat. Ezt követően a videókhöz kapcsolódó irányított kérdéseket kaptak, majd újra megtekintették a videókat miközben jegyzeteket is készíthettek.	válogatott videókhöz	5 perc + 5 perc + 5 perc	Az elő- és az utóteszt kérdései egy-egy kivételével megegyeztek.

5.táblázat A témakörök feldolgozása során alkalmazott pedagógiai módszerek

Téma	Geometriai optika	Rezgések és a hang
Az online gyűjteményből válogatott videók	<p>Making a light beam visible: Exploring light from a laser pointer</p> <p>Reflection and Refraction of Light</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. An 'alternative' magnifying glass</li> <li>2. Law of reflection: Figuring out the distance between a mirror to a virtual image</li> <li>3. Reflection in a Plane Mirror</li> <li>4. How optical fibres work</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Natural Frequency and Harmonics</li> <li>2. Sound and Music</li> <li>3. Singing Wine Glasses</li> <li>4. Frogs in the Lab</li> </ol>
A videókhöz kapcsolódó kérdések	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jellemezd a síktükör által alkotott képet!</li> <li>2. Két ellentétes irányba mutató nyilat rajzolunk egy papírra. Egy üres poharat helyezünk a papír elé, majd megtöltjük vízzel. Az üres téglalapba rajzold le, mi történik szerinted a nyilakkal!</li> </ol> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  </div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  </div> </div> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Rajzold be az ábrába a prizmán áthaladó fénysugár útját! (A beeső fénysugár merőleges a prizma felületére.)</li> </ol> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  </div> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Miért szükséges krétapor a fénysugár láthatóvá tételéhez?</li> <li>5. Miért nem lép ki a fénysugár az optikai kábelből? Nevezd meg, milyen fizikai jelenséggel magyarázhatjuk! (Ez a kérdés csak az utótesztben szerepelt, mivel a videó megtekintése előtt a diákok nem rendelkeztek a szükséges információkkal.)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Melyek a hang fizikai jellemzői? Milyen fizikai mennyiségek határozzák meg őket?</li> <li>2. Hogyan függ a hang magassága a gitárhúr átmérőjétől?</li> <li>3. Hogyan változik a hang frekvenciája, ha növeljük a gitárhúr hosszát?</li> <li>4. Hogyan változtatható a „muzsikáló” borospohár hangmagassága, illetve hangereje?</li> <li>5. Mi a különbség a békamama és a kicsi béka hangja között? Miért? (Ez a kérdés csak az utótesztben szerepelt, mivel a videó megtekintése előtt a diákok nem rendelkeztek a szükséges információkkal.)</li> </ol>

6.táblázat Az elő-és utóteszt kérdései

### 3.4.5 A teszt eredmények és kiértékelésük

A 7. és 8. táblázat az egyes csoportok eredményeit tartalmazza a két kiválasztott témakör esetében.

Kérdések	A diákok válaszaiban bekövetkezett változás megoszlása csoportonként			
	I.csoport (%)	II.csoport (%)	III.csoport (%)	IV.csoport (%)
<b>K1</b>	0	8.70	72.2	18.2
<b>K2</b>	6.90	8.70	-11.1	36.4
<b>K3</b>	- 6.90	17.4	16.6	40.9
<b>K4</b> (a hiányos válaszok nélkül)	20.7	52.2	11.1	41.0
<b>K4</b> (a hiányos válaszokkal együtt)	44.8	69.6	5.60	77.3
<b>K5</b> (a hiányos válaszok nélkül)	31.0	17.4	55.6	90.9
<b>K5</b> (a hiányos válaszokkal együtt)	89.6	87.0	88.9	90.9

7.táblázat A diákok eredményeinek alakulása **A rezgések és a hang** témakörében

Kérdések	A diákok válaszaiban bekövetkezett változás megoszlása csoportonként			
	I.csoport (%)	II.csoport (%)	III.csoport (%)	IV.csoport (%)
<b>K1</b> (a hiányos válaszok nélkül)	4.20	0	-5.00	13.7
<b>K1</b> (a hiányos válaszokkal együtt)	-4.10	8.70	3.00	27.2
<b>K2</b>	25.0	39.2	30.0	36.4
<b>K3</b>	83.5	0	15.0	77.3
<b>K4</b>	33.3	39.1	25.0	40.0
<b>K5</b> (a hiányos válaszok nélkül)	0	0	25.0	27.3
<b>K5</b> (a hiányos válaszokkal együtt)	20.8	26.1	55.0	68.2

8.táblázat A diákok eredményeinek alakulása **A geometriai optika** témakörében

A I/K1 az I. csoport 1. kérdésre adott válaszainak alakulását reprezentálja az elő és utóteszt során. Pl. a 7. táblázat II/K1 mezőjében található 8,7 % azt jelenti, hogy a II. csoport az utóteszt alkalmával 8,7%-kal jobban teljesített, mint az előteszt során; míg ugyanebben a táblázatban a III/K2 mezőben megjelenő -11,1%-os eredmény azt mutatja,

hogy a III. csoport a 2. kérdésre adott válaszai az utóteszt esetében 11,1%-kal gyengébben sikerültek, mint az előteszt során.

Az eredmények elemzése alapján megállapítható, hogy számos kérdésben szignifikáns javulás tapasztalható, ugyanakkor a javulás mértéke csoportonként eltérő, ahogyan ezt a táblázat adatai is jelzik. Az adatok azt a feltételezést is alátámasztják, hogy az ilyen típusú oktató videók eredményesen használhatók az önálló tanulásban is. A kiscsoportokban folytatott (III. és IV. csoport esetén) megbeszélések és az irányított kérdések (IV. csoport) támogatták a tanulási folyamatot. A diákok azokban a csoportokban értek el jobb eredményeket, ahol az utóteszt előtt lehetőségük volt rövid megbeszélésre. A legjobb teljesítményt a IV. csoport nyújtotta, vélhetően az irányított kérdéseknek köszönhetően. A II. csoport tanulói magabiztosabb angol nyelvi tudásuk miatt jobb eredményeket értek el, mint I. csoportos társaik.

A 7. táblázatban látható adatok mélyebb megértéséhez érdemes néhány további észrevételt tenni:

A csoportok előzetes fizikai ismereteiben szignifikáns különbség nem volt tapasztalható, ugyanakkor a III. csoport diákjai voltak a legérdeklődőbbek és leginkább motiváltak.

Észrevételek a *Rezgések és a hang* témaköréhez:

1. Bár a tanulási folyamat során a diákok többségének teljesítménye javult, néhány esetben meglepő eredmények is születtek. Ezek közül a legkiemelkedőbb pl. a III/K2 esetben. Itt vélhetően az történhetett, hogy az egyik fizikából egyébként jól teljesítő tanuló valamit félreérthetett és a megbeszélés során meggyőzte a bizonytalankodó társait. Ezt a feltételezést az is megerősíti, hogy hasonló jelenséget már mások is tapasztaltak (Lasry N, et al., 2014), amikor egy olyan tanuló, aki nagy hatással van társaira, képes meggyőzni őket a helytelen válaszról. Mégis meglepő volt az eredmény, mert ebből az osztályból 8 tanuló is gitározik, így saját tapasztalatokkal is rendelkeznek.
2. A gitárhúr által keltett hang a videóban is említett több tényezőtől (pl. feszítettség, hossz, átmérő, anyagi minőség) függ. A diákok nem emlékeztek minden tulajdonságra. Volt néhány olyan tanuló, aki az előteszt során ugyan helyes választ adott, de nem volt biztos magában, az utóteszt során hibásra módosította válaszát.
3. A K4 két kérdést is tartalmazott, az egyik a hangmagasságra, míg a másik a hangerővel foglalkozott. A diákok egy része csak az egyik kérdéssel foglalkozott.
4. A K4/III. a javulás mértéke azért nem lehetett magasabb, mert a csoport az előteszt során már 94,4%-os, míg az utóteszten 100%-os eredményt ért el.

5.-6. K5 kérdés a jellegéből fakadóan csak az utótesztben szerepelt, mert erre vonatkozó ismeretekkel korábban a diákok nem rendelkeztek. A hiányos válaszok abból adódtak, hogy néhány tanuló helyes magyarázatot adott ugyan, de elfelejtett válaszolni a kérdésre.

Észrevételek a *Geometriai optikához*:

Az előző esethez hasonlóan a legtöbb diák fogalmi megértése jelentősen javult.

Az alábbiakban néhány negatív eredményt és lehetséges okait részletezem:

1. A K1 esetben a hiányos válasznak tekintetem, ha a tanuló nem sorolta fel a keletkezett kép mindhárom tulajdonságát (valódi/virtuális, nagyság, állás) Ezt azonban úgy gondolom, hogy elsősorban nem a megértésbeli hiányosság okozta, hanem a kép geometriai optikai leírásában való jártasság hiánya.
2. A K1(hiányos válaszokkal együtt) /I. negatív eredménye véleményem szerint azzal magyarázható, hogy néhány tanuló, aki az előtesztet alkalmával habozott és hiányosan válaszolt, teljesítménye javult, de a többiek a videók megtekintése után rosszul válaszoltak. Nőtt azoknak a száma is, akik nem válaszoltak. Ez arra utalhat, hogy időre van szükség a téma megértéséhez. Így a tanulóknak további tapasztalatokra és több időre van szüksége a fogalmi megértéshez, mint ahogyan ezt már más oktatáskutatók is megállapították. (Milner-Bolotin M,2012; Heron P R L and McDermott L C,1998; Goldberg F M and McDermott L C, 1987; Goldberg F M and McDermott L C, 1986)
3. K2/II a várakozásnak megfelelően lényegesen jobban teljesített az utótesztben.
4. I. csoport diákjai voltak a legfiatalabbak. Ők még vonalzó segítségével pontosan megrajzolták a prizmán áthaladó fénysugár útját, míg a többi csoport tagjai csak vázlatot készítettek és nem figyeltek a részletekre. Rajzaikon a jellegzetes tulajdonságok sem voltak felismerhetők. Így a legfiatalabb diákok adták a legpontosabb válaszokat.
5. K5 csak az utótesztben szerepelt. A 4.táblázat K5 felső sorában azok a tanulók találhatóak, akik nem csak helyes választ adtak, hanem a fizikai jelenséget (teljes visszaverődés) is megnevezték. Mint látható az I. és II. csoportban nem akadt egyetlen teljesen helyes válasz sem, ilyen csak a III. és IV csoportban volt. Ez valószínűleg a videók angol nyelvűségével magyarázható, tekintettel arra, hogy az új terminológia mellett, a nyelvi nehézségek további kihívást jelentettek diákok számára. A 4. táblázat utolsó sorában azok a tanulók is szerepelnek, akik nem tudták megnevezni a jelenséget, de helyes választ adtak.



### 3.4.6 Konklúziók, a projekt értékelése

A projekt során olyan módszer került kidolgozásra, melynek célja a tanárjelöltek szakmai ismereteinek, kísérletező, pedagógiai és természettudományos kommunikációs kompetenciáinak fejlesztése volt. Ennek eszközéül az oktatási videók készítésébe való bevonásuk szolgált. Amellett, hogy elsajátították az oktatási videók készítésének fortélyait, saját tapasztalatokon keresztül szembesülhettek a nehézségekkel is. A sokrétű munka miatt nagyon élvezték a projektben való részvételt. A videók készítése során a hallgatók önbizalmat szereztek a fizikai ismeretek középiskolai szintű hatékony kommunikációjában, ami a későbbi tanári életpályájuk alatt hasznos lesz számukra.

A videók, nyilvánosságuk miatt (a korábban már említett YouTube-csatornán elérhetőek), a többi kolléga számára is szabadon felhasználhatók oktatási segédanyagként, illetve a vállalkozó kedvűek ötleteket meríthetnek belőlük további hasonló videók készítéséhez.

A középiskolai tesztelés eredményeit tekintve bebizonyosodott, hogy az alkalmazott pedagógiai megközelítések a különböző oktatási környezetekben (jelenléti vagy virtuális térben) eredményesen használhatók. A tesztelések során szerzett tapasztalataim szerint meggyőződésem, hogy a kipróbált pedagógiai módszerek alkalmasak a tanulók figyelmének felkeltésére, interaktivitásának fokozására még akkor is, ha az angol nyelvű videók némi nehézséget jelentenek számukra.

A tanulás eredményességének maximalizálására a következőket javaslom:

- Érdemes szójegyzéket készíteni a videóban elhangzó új szavakból és kifejezésekből. A videók megtekintése előtt célszerű ezt áttekinteni.

A tanulók motivációját pozitívan befolyásolja,

- ha a videók megtekintése előtt megkérdezzük őket, hogy véleményük szerint mi lesz az adott kísérlet kimenetele,
- ha irányított kérdéseket teszünk fel a videók tartalmával kapcsolatban.
- Ösztönözni kell a tanulókat arra, hogy állítsák meg, vagy játsszák újra a videót, ha nem értették meg amit láttak,
- a videókat érdemes inkább kis csoportokban megtekinteni mintsem önállóan, így lehetőség nyílik arra is, hogy a diákok megbeszélhessék a látottakat, hallottakat.
- Bátorítani kell a tanulókat arra, hogy megvitassák a látottakat, kérdéseket tegyenek fel velük kapcsolatban és keressenek rájuk magyarázatokat.

Az együttműködés abból a szempontból is kiemelkedő jelentőségű volt, hogy lehetőség nyílt annak bemutatására, hogy a módszertani kutatások hogyan ültethetők át a

gyakorlatba az oktatástechnológia kontextusában mind a tanárképzésben, mind a középfokú fizikatanításban.

### 3.5 A web2.0-ás applikációk széleskörű alkalmazása a fizikaórákon [S1], [S8]

*A társadalom megváltozott igénye, a diákok Z generációjának hatékony oktatása, felkészítése jövőbeli életpályájukra megköveteli a fizikatanítás digitalizációját is. Ugyanakkor fontosnak tartom, hogy megtaláljuk a megfelelő egyensúlyt a hagyományos és a digitális tartalmak és módszerek alkalmazása között, ügyeljünk a fizikai tartalmi gazdagság megőrzésére. Megmutattam, hogy a web 2.0-ás applikációk széleskörű alkalmazása fokozza a tanulók aktivitását, a fizikatanítás eredményességét és több 21. századi kulcskompetenciát is fejleszt. Igazoltam, hogy a gamifikáció (játékosítás) elemeinek beépítése a tanórák menetébe élményszerűbbé varázsolja azokat, a kortársakkal való versengés növeli a diákok motivációját.*

#### 3.5.1 A Z generáció és tanítása

A generációkutatás a 20. század második felében indult meg (Komár, 2017) A hétköznapi értelemben vett biológiai alapon történő csoportosítás azóta jelentős változáson ment keresztül a társadalmi, értékrendbeli változásoknak, illetve a rohamos technológiai fejlődésnek köszönhetően. Ma az egyének besorolása a különböző nemzedéki csoportokba (Baby boom, X, Y, Z és alfa) elsősorban szociológiai jellemzők (szociálpolitikai környezet, gazdasági körülmények, technológiai fejlettség stb.) alapján történik. Ebben a születési időpontnak meghatározó szerepe van. Jelenleg a középiskolák padjaiban a Z generáció (akik 1995 – 2010 között születtek) (Tari, 2011) tagjai ülnek. Hatékony oktatásuk elengedhetetlen feltétele, hogy ismerjük őket, generációjuk jellemző vonásait, tanulási szokásaikat. Ők az információs társadalom gyermekei, akik az internet világába születtek, szocializációjukat a digitalizáció határozza meg. Gyors információáramláshoz és annak befogadásához szoktak, rengeteg időt töltenek online térben. Tanulási szokásaik átalakultak, tanulási tevékenységeikben meghatározó szerepe van az interaktivitásnak, kollaborációnak. A Z generáció egyik fontos jellemzője a szétszórt, osztott figyelem, amely ingerszegény helyzetekben nehezen tartható fenn. A Z generáció a tanulási folyamatban szívesen és magabiztosan használja az IKT-s (információs-kommunikációs technológia) eszközöket, így a web 2.0-s alkalmazásokat is. (Szőke-Milinte Enikő, 2020)

### 3.5.2 IKT- eszközök használata

A technika rohamos fejlődése, az információk gyors és könnyű elérhetősége, a társadalom igényeinek megváltozása módosította a lexikai tudás és a készségek szerepének megítélését is. Előtérbe kerültek olyan kulcskompetenciák, mint pl. kollaborációs készség, kreativitás, digitális kompetencia stb. Mindez szükségessé teszi az oktatás és a tanulás folyamatának megreformálását is. (Oblinger, Diana G. és Oblinger, James. L, 2005, Bessenyei, 2010). Az IKT-s eszközök oktatásba történő integrálásának fontos szerepe van abban, hogy a diákok megismerkedjenek az új eszközök használatával; majd később, felnőtt korukban kreatívan használják a hasonló technológiákat mind munkavégzésük, mind mindennapi tevékenységeik során. Alkalmazásuk másik fontos célja az oktatás eredményességének, élményszerűségének és a diákok tanulási folyamatban való aktív részvételének fokozása, ami hozzájárulhat a tantárgy iránti pozitív attitűd kialakításához. Az IKT-eszközök oktatásba történő bevonására több lehetőség is kínálkozik. Ilyen terület lehet pl.:

- az oktatás szervezése (pl. Moodle, Edmodo),
- közösségi platformok létrehozása (pl. eTwinning), amely új kommunikációs teret nyit és megváltoztatja a kapcsolattartás formáit,
- új dimenziók teremtése a tudásmegosztásra, kollaborációra (web 2.0 alkalmazások használata, virtuális tantermek),
- mobiltechnológia alkalmazása (pl. e-learning tananyagok, fizikai mennyiségek mérése),
- a tanulási folyamat kiterjesztése térben és időben (bármikor hozzáférhető, megismételhető),
- további lehetőségek a differenciálásra, fejlesztő értékelésre (személyre szabott visszajelzések, egyéni fejlesztés)

### 3.5.3 Web 2.0 a fizikaórákon

A számítógépek elterjedésével a hagyományos iskolamodell mellett megjelent és egyre nagyobb teret hódít az ún. konnektivista tanulásmélelet, amikor a tanulók a tanár által gondosan megtervezett tanulási környezetben digitális eszközök segítségével szerzik meg az ismereteket. Erre kiváló lehetőséget nyújtanak a web 2.0-s alkalmazások. A web 2.0 a webes alkalmazások és szolgáltatások második generációja, amelynek legfőbb jellemzője az interakció. Elődjével, a web1.0-val szemben, amelyet információmegosztásra hoztak létre, ez utóbbi inkább a felhasználók kommunikációjára és együttműködésére épül.

Számos web 2.0-s alkalmazás ingyenesen is elérhető, a tartalmat a felhasználók sok esetben szabadon szerkeszthetik. A legismertebb ilyen alkalmazások pl. a közösségi médiák, blogok, wikik, podcastok, e-learning tananyagok, videómegosztó oldalak, oktató játékok, webquestek, kvízek stb. Annak ellenére, hogy korunkban nagy érdeklődés mutatkozik a web 2.0 -s eszközök oktatásba történő bevonása iránt és több kutatás is kiemeli jótékony hatását az oktatásra, mégis a szakirodalomban kevés a jó gyakorlatot bemutató példa, főként a középiskolás korosztályt illetően.

Kutatásom célja annak igazolása volt, hogy a web2.0-s eszközök korszerű pedagógiai módszerekkel kiegészítve a középiskolai fizikaoktatásban is eredményesen alkalmazhatók. A tanulók aktivitásának fokozásával, a játékosítás elemeinek bevonásával a fizika iránt kevésbé érdeklődő diákok számára is motiválóak lehetnek. Vizsgáltam továbbá azt is, hogy az alkalmazások segítségével hogyan valósítható meg a diákok közötti együttműködés, kommunikáció tantermen belül és kívül; hogyan támogatják a modern társadalom által elvárt képességek fejlesztését (mint pl. a kritikus gondolkodás; kreativitás; digitális kompetencia; kommunikációs, problémamegoldó, valamint kollaborációra való képesség). A web 2.0-s eszközök változatos használata azt a célt is szolgálta, hogy a diákok minél többféle ötlettel, módszerrel találkozzanak, amely arra inspirálja őket, hogy az applikációk segítségével saját maguk is tudjanak létrehozni egyszerű tartalmakat pl. kvízeket. Véleményem szerint ez hozzájárul a tanulók digitális kompetenciájának fejlődéséhez; a kérdések, feladatok megfogalmazásán keresztül pedig elmélyíti szaktárgyi tudásukat.

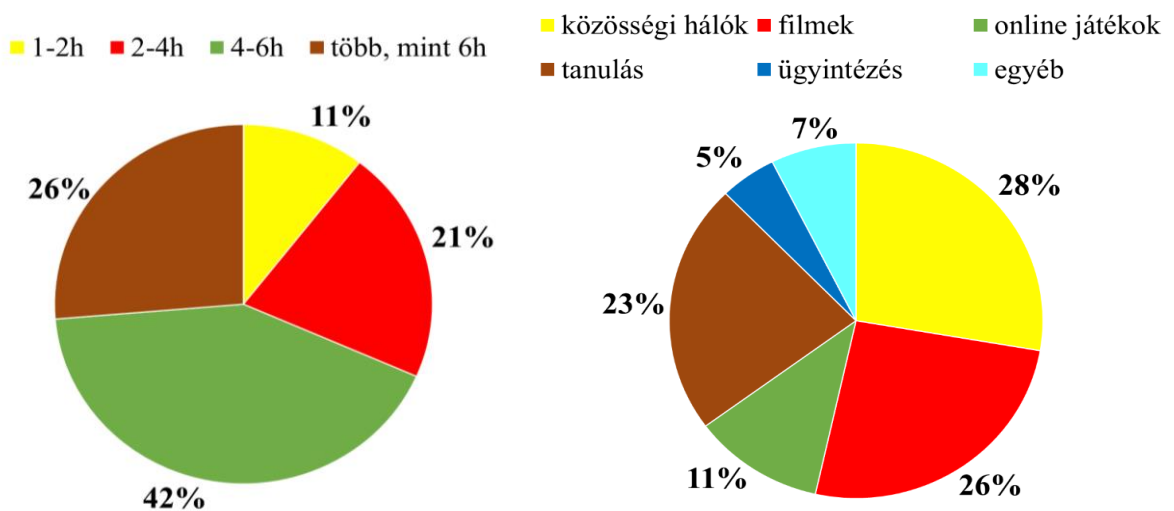
A pandémia miatt kutatásom ideje alatt a tanulók az egyik tanévben 3, míg a rákövetkezőben 7 hónapon keresztül online oktatásban részesültek. Ez rendkívüli helyzetet teremtett az oktatásban és nagy kihívást jelentett mind a tanárok mind a diákok részére. Ugyanakkor pozitív hozadéka volt, hogy felgyorsította az oktatás digitalizációját, amelyet a megváltozott társadalmi igények már amúgy is sürgettek.

Napjainkban az applikációk széles és egyre bővülő palettája áll rendelkezésünkre, ezért fontosnak tartom, hogy mindig gondosan mérlegelve válasszuk ki a céljainknak, igényeinknek és a tanulók életkorának és képességeinek legmegfelelőbbet. A tanórai felhasználás során ügyeljünk arra, hogy a tartalmi gazdagság ne sérüljön.

#### 3.5.4 Felmérés a diákok internetezési szokásairól

Felmérést készítettem a diákok internetezési szokásairól és a web 2.0-s eszközök fizika órai alkalmazásának eddigi tapasztalatairól. A kérdőív eredményei alapján képet kaptam arról, hogy a kísérleti csoportban a tanulási folyamat szervezésekor milyen típusú

alkalmazásokra célszerű fókuszálni. A felmérésből egyértelműen igazolódni látszik az a feltevés, hogy a megkérdezett kb. 50 diák jelentős hányada rengeteg időt tölt online felületeken, ugyanakkor a felhasználási lehetőségek tekintetében kevésbé tájékozottak. A megkérdezett diákok 26%-a naponta átlagosan több, mint 6 órát; további 42%-a pedig 4-6 órát tölt internetezéssel. Többnyire a közösségi oldalakat látogatják és az online töltött idő mindössze 23% -ában használják tanulási céllal. Ez utóbbi adatot a koronavírus járvány miatt bevezetett digitális oktatás egyértelműen felülírta és országosan elsősorban igazolta, hogy a diákok ma már könnyebben elfogadják az online oktatási formákat. A felmérést 2018-ban végeztem, az adatok az akkori értékekhez képest vélhetően már valamelyest eltolódtak a járvány hatásának és az oktatás erősödő digitalizációjának köszönhetően. Annyi azonban bizonyos, hogy a közösségi platformok, az oktatási játékok kínálta lehetőségek bevonása a fizikatanításba célszerűnek tűnik.



22. ábra

A diákok online térben töltött ideje (naponta)

A legtöbb tanuló több, mint 4 órát tölt naponta online térben.

23. ábra

Online felhasználási területek megoszlása a diákok körében

### 3.5.5 A kutatásban részt vevő tanulók

A kutatásban összesen 60 fő vett részt, az 1. csoport (kontroll) 29 főből állt (13 lány, 16 fiú), míg a kísérleti csoport osztálylétszáma 31 fő (ebből 14 lány, 17 fiú) volt. Mindkét csoport általános tantervű volt, a fizikát heti 2 órában tanulta. A fizikaórákon csoportbontás nem volt, illetve a néhány fizika fakultációt választó diák az osztályból

kiemelve, külön csoportban tanulta a fizikát. A tanulók fizika iránt tanúsított attitűdje a két osztályban megközelítőleg azonosnak tekinthető, korábbi szaktárgyi előmenetelükben sem mutatkozik különbség.

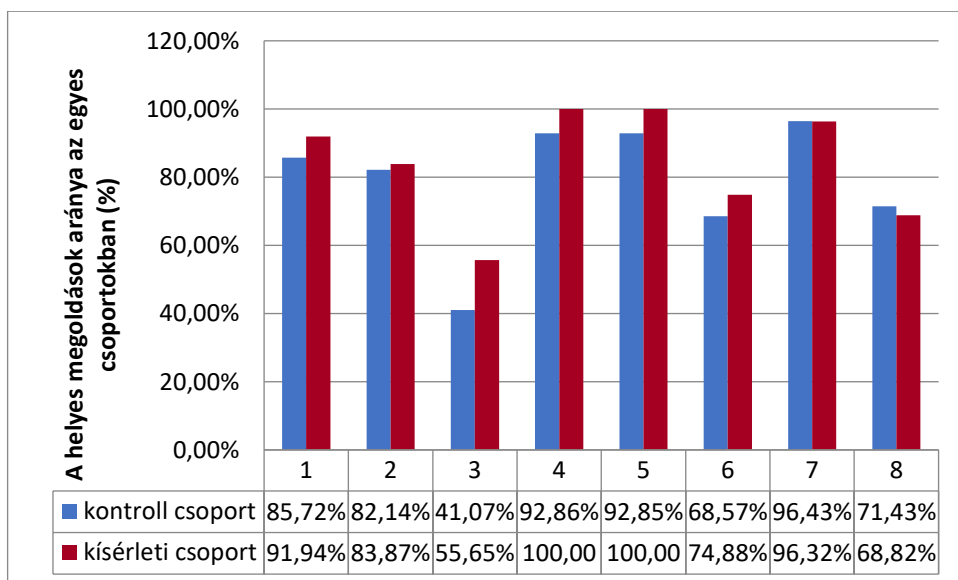
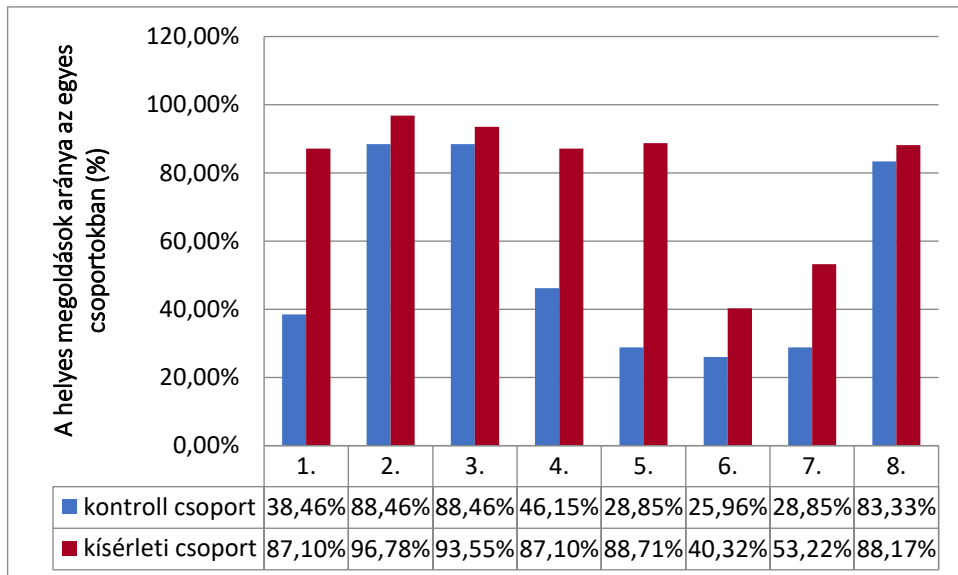
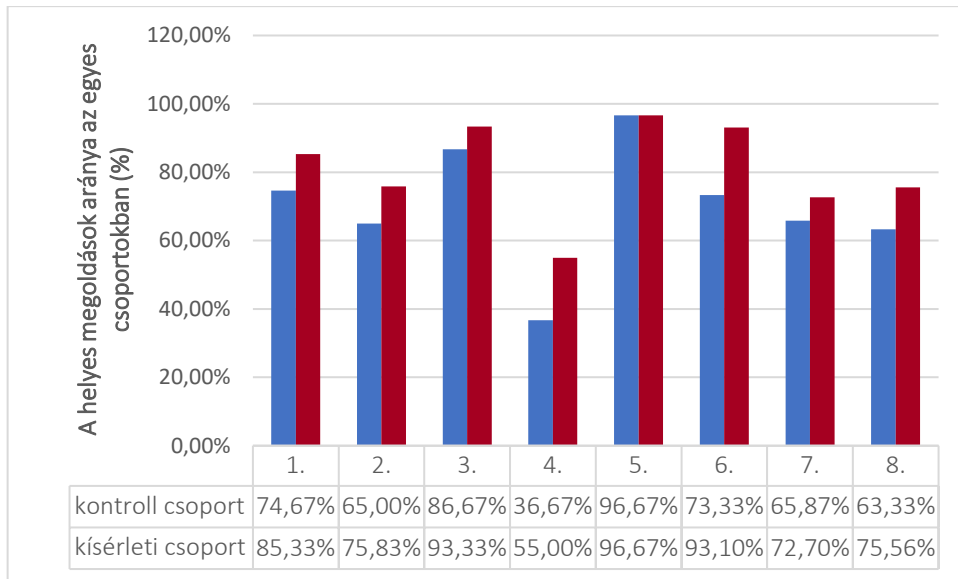
	szaktárgyi átlag	szórás
1.csoport (kontroll)	4,07	0,58
2.csoport (kísérleti)	4,10	0,64

Az első csoportban hagyományos módszereket, munkaformákat alkalmaztam, míg a kísérleti csoportban a web 2.0-s alkalmazások széles körét és modern pedagógiai módszereket (fordított osztályterem, kutatás alapú tanulás, gamifikáció), kollaboratív munkaformákat használtunk. Három témakörben (*Elektromos mező, Mágneses mező és mágneses indukció, Rezgések és hullámok*) szummatív tesztsorral hasonlítottam össze az ismeretek elsajátításának eredményességét a két csoportban. Ezek a tesztsorok a középszintű érettségi követelményeihez igazodtak és többszörös feleletválasztós, egyszerű számítást igénylő vagy igaz/hamis állítást és annak indoklását célzó feladatokat tartalmaztak. A kísérleti csoport számára létrehoztam egy virtuális tantermet (Google Classroom), illetve egy Teams csoportot, amelyhez minden tanulónak hozzáférést biztosítottam. A jelenléti oktatásban ezek a felületek az elkészített anyagok, a feladatokhoz kapcsolódó linkek megosztására, a tanórán kívüli kommunikációra szolgáltak. Az egyes platformok vagy applikációk első használata előtt a diákokat röviden megismertettem az új eszközök működésével. Amikor otthoni feladatként egy mérést kellett elvégezniük (pl. elektromos mezővel kapcsolatban), akkor egy 1-2 perces videóban magyaráztam el az applikáció működését. Ezt a videót és az elvégzendő feladat leírását feltöltöttem a csoport által már korábban is használt közösségi felületre.

### 3.5.6 Eredmények és értékelésük

A témakörökhöz tartozó kérdéssorok a Függelék részben található. Az értékeléskor alkalmazott százalékos adatok kerekített értékek, a 100 %-tól való minimális eltérés a kerekítésekből adódik.

Az alábbi diagramok (24.ábra) a tanulók helyes válaszainak megoszlását mutatják a két csoportban a vizsgált három témakörben. (*Elektrosztatika* (1), a *Mágneses mező, mágneses indukció* (2) és a *Rezgések, hullámok* (3))



24. ábra A tanulók helyes válaszainak megoszlása

Az összetett kérdések esetén (több alkérdést is tartalmazó vagy egyszerű számítást igénylő) a diagramok a csoportok összesített eredményét mutatják, melyeket témakörönként az alábbiakban részletezek.

### Elektrosztatika (1)

A táblázat a tanulók teljesítményének százalékos eloszlását mutatja osztályokba sorolva:

%	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-	átlag
kontroll csoport (30 fő)	0	0	2	4	6	10	8	0	69,6 %
kísérleti csoport (29 fő)	0	0	0	0	2	9	6	12	82,9 %

	kontroll csoport	kísérleti csoport
a legjobb eredmény	86,7 % (2 fő)	100 % (2 fő)
a leggyengébb eredmény	43,3 % (1 fő)	60 % (1 fő)

1. feladat - hiányos szöveg kiegészítése:

	kontroll csoport	kísérleti csoport
5 helyes megoldás	16,6 %	51,7 %
4 helyes megoldás	40,0 %	37,9 %
3 helyes megoldás	43,3 %	10,0 %
2 helyes megoldás	0,0 %	0,0 %
1 helyes megoldás	0,0 %	0,0 %
0 helyes megoldás	0,0 %	0,0 %

2. feladat - fogalmak meghatározása leírásuk alapján:

	kontroll csoport	kísérleti csoport
4 helyes megoldás	20,0 %	44,8 %
3 helyes megoldás	46,6 %	31,0 %
2 helyes megoldás	10,0 %	17,2 %
1 helyes megoldás	20,0 %	6,9 %
0 helyes megoldás	3,3 %	0,0 %

Tesztkérdések (3;4;5;6;7) - egyszerű feleletválasztós kérdések

A 3. feladat egyszerű számítást vagy arányossági összefüggések felfedezését is igényelte.

8. feladat - egyszerű számítást igénylő feladat a Coulomb-törvény alkalmazására

Az értékelési szempontok a következők voltak: a helyes összefüggés felírása, behelyettesítés, és számolás.



	kontroll csoport	kísérleti csoport
mindhárom jó	30,0 %	51,7 %
összefüggés és behelyettesítés jó, számolás nem	36,7 %	31,0 %
csak az összefüggés felírása jó	26,7 %	17,2 %
egyik sem jó	6,7 %	0,0 %

### Mágneses mező, mágneses indukció (2)

A táblázat a tanulók teljesítményének százalékos eloszlását mutatja osztályokba sorolva:

%	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-	átlag
kontroll csoport (26 fő)	4	5	3	8	3	3	0	0	49,0 %
kísérleti csoport (31 fő)	2	0	1	2	2	9	11	4	74,0 %

	kontroll csoport	kísérleti csoport
a legjobb eredmény	77,3 % (1 fő)	95,5 % (2 fő)
a leggyengébb eredmény	27,3 % (4 fő)	27,3 % (1 fő)

Tesztkérdések: 1,2,3 (korábbi középszintű érettségi tesztkérdésekből válogatva)

5. feladat - homogén mágneses mezőben áramjárta vezetőre, illetve a mágneses indukcióvektorra merőlegesen mozgó töltésre ható erő berajzolása a jobbkéz-szabály alapján

	kontroll csoport	kísérleti csoport
mindkét ábra jó	15,4 %	77,4 %
1 ábra jó	26,9 %	22,6 %
egyik sem jó	57,7 %	0,0 %

6. feladat - gyakorlati példa említése, fizikai magyarázat

	kontroll csoport	kísérleti csoport
példa tökéletes leírással	7,7 %	19,4 %
példa hiányos leírással	30,8 %	25,8 %
példa leírás nélkül	26,9 %	16,1 %
nincs példa, nincs leírás	34,6 %	38,7 %

7. feladat - hálózati feszültség jellemzése, fizikai magyarázat (frekvencia, maximális és effektív érték meghatározása, mozgási indukció említése és a periodikusság indoklása)  
 A jellemzést csak a három tulajdonság együttes megnevezésekor minősítettem helyesnek.  
 A magyarázat esetén, ha a két elvárt feltétel közül az egyik hiányzik, akkor a válasz hiányos.

	kontroll csoport	kísérleti csoport
jellemzés és magyarázat is helyes	0 %	29 %
jellemzés jó, de a magyarázat hiányos	26,9 %	32,3 %
jellemzés jó, magyarázat nincs vagy rossz	34,6 %	12,9 %
egyik sem jó	38,5 %	25,8 %

8.feladat - egyszerű számítást igénylő feladat a transzformátor működésével kapcsolatban  
 Az értékelési szempontok a következők voltak: a helyes összefüggés felírása, behelyettesítés, és számolás.

	kontroll csoport	kísérleti csoport
mindhárom jó	76,9 %	83,9 %
összefüggés és behelyettesítés jó, számolás nem	3,8 %	3,2 %
csak az összefüggés felírása jó	11,5 %	6,5 %
egyik sem jó	7,7 %	6,5 %

### Rezgések és hullámok (3)

A táblázat a tanulók teljesítményének százalékos eloszlását mutatja osztályokba sorolva:

%	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-	átlag
kontroll csoport (28 fő)	0	0	1	8	3	8	4	4	71,3 %
kísérleti csoport (31 fő)	0	0	0	3	4	11	10	3	75,5 %

	kontroll csoport	kísérleti csoport
a legjobb eredmény	100 % (2 fő)	96,3 % (2 fő)
a leggyengébb eredmény	44,4 % (1 fő)	51,8 % (1 fő)

Tesztkérdések (1;2;5) - egyszerű feleletválasztós kérdések

### 3. feladat - állóhullám mintázat rajz készítése, frekvencia meghatározása

A frekvencia arányossági következtetéssel is meghatározható, ebben az esetben nincs szükség a mértékegység átváltására. A kísérleti csoportban volt 2 fő, aki ezt a megoldási módszert választotta, a kontroll csoportban nem akadt ilyen diák.

	kontroll csoport	kísérleti csoport
ábra és a frekvencia is jó	28,6 %	16,1 %
ábra jó, összefüggés jó, mértékegység átváltása hiányzik	28,6 %	38,7 %
ábra jó, de frekvencia nincs	25,0 %	29,0 %
egyik sem jó	46,4 %	16,1 %

### 4. feladat – a rezonancia jelenségének leírása, magyarázata és alkalmazása, illetve megjelenése a hétköznapi életben

Mindössze 2 diák volt a kontroll csoportban, aki teljes mértékben tájékozatlannak mutatkozott a jelenséget illetően, a többiek mind a kontroll mind a kísérleti csoportban tökéletes választ adtak a kérdésre.

	kontroll csoport	kísérleti csoport
mindhárom helyes	92,9 %	100 %
egyik sem helyes	7,1 %	0 %

### 6. feladat - hiányos szöveg kiegészítése:

	kontroll csoport	kísérleti csoport
5 helyes megoldás	28,6 %	29,0 %
4 helyes megoldás	21,4 %	35,5 %
3 helyes megoldás	25,0 %	19,4 %
2 helyes megoldás	14,3 %	12,9 %
1 helyes megoldás	10,7 %	3,2 %
0 helyes megoldás	0,0 %	0,0 %

### 7. feladat - hullámjelenségek megnevezése:

	kontroll csoport	kísérleti csoport
mindkettő helyes	92,9 %	87,1 %
egy helyes	7,1 %	6,5 %
egyik sem jó	0,0 %	6,5 %

## 8.feladat - igaz/hamis állítások

	kontroll csoport	kísérleti csoport
6 helyes megoldás	21,4 %	12,9 %
5 helyes megoldás	25,0 %	25,8 %
4 helyes megoldás	32,1 %	32,3 %
3 helyes megoldás	3,6 %	19,4 %
2 helyes megoldás	17,9 %	9,7 %
1 helyes megoldás	0,0 %	0,0 %
0 helyes megoldás	0,0 %	0,0 %

Összegezve a tapasztalatokat:

A kísérleti csoport mindhárom témakörben, feladattípustól függetlenül, jobban teljesített a kontroll csoportnál. A tanulók elért százalékos eredményeit tartalmazó táblázatokból egyértelműen látható, hogy a kísérleti csoport eredményei a magasabb százalékok felé eltolódtak. Ugyanakkor az is szembetűnő, hogy a két csoport teljesítményében a különbség a nagyobb absztrakciót igénylő témakörökben jelentősebb. Véleményem szerint a *Rezgések, hullámok* témakörében a kísérleti csoport átlagosan kb. 5 % -kal jobb teljesítménye csupán annak volt köszönhető, hogy a közösségi felületen megosztott anyagok mindenki számára könnyen és időkorlát nélkül elérhetőek voltak, az alkalmazott applikációk több gyakorlási lehetőséget kínáltak számukra, ráadásul vonzó, játékos formában. A másik két témakörben már jóval nagyobb eltérés mutatkozik. Ez arra utal, hogy a különböző szimulációk, az applikációk segítségével végzett kísérletek, mérések segítik az elektromos és mágneses mezőről alkotott kép kialakítását, a fogalmak, törvények elmélyítését.

A tanév végén attitűd vizsgálatot is végeztem. Megkértem diákjaimat, hogy 1-től 5-ig terjedő skálán (1- a legrosszabb, 5- a legjobb) értékeljék, mennyire értenek egyet az alább megfogalmazott (1-9.) állításokkal. Tapasztalataim szerint a diákok pozitívan fogadták az új eszközök alkalmazását. Megítélésük alapján az applikációk segítették őket az egyéni tanulásban, az absztrakt fogalmak kialakításában, megértésében, az alapismeretek elsajátításában. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy bár a szimulációk egyre nagyobb teret hódítanak a fizikaoktatásban is, mégsem helyettesíthetik teljes egészében a valós kísérleteket (5. kérdés). Ezért nagyon fontos, hogy megtaláljuk alkalmazásuk között a helyes egyensúlyt. A közösségi felületek a tanulási folyamatban új dimenziókat nyitottak térben és időben a diákok számára. Az ide feltöltött anyagok extra gyakorlási lehetőséget biztosítottak nekik, segítették őket a számonkérésre való felkészülésben. A tanulók kiemelték a közösségi felületen keresztül történő személyre

szabott tanári visszajelzés és értékelés fontosságát. Az oktató játékoknál a versenyszellem még az egyébként kevésbé aktív tanulókat is lázba hozta.

A kérdőív állításai a következők voltak (a zárójelben az összesen 36 megkérdezett tanuló válaszáinak százalékos megoszlása látható, 1- a legrosszabb, 5- a legjobb értéket képviseli):

1. Szeretem a játékos feladatokat (okosdoboz, learning apps, quizizz stb.), mert könnyen, játékosan tudok velük ismereteket elsajátítani.  
(1: 5,6 % 2: 0 % 3: 27,8 % 4: 16,7 % 5: 50 %)
2. Az oktató játékoknál szeretem, hogy azonnal visszajelzést kapok.  
(1: 0 % 2: 5,6 % 3: 5,6 % 4: 27,8 % 5: 61,1 %)
3. Szeretem a társaimmal való versengést.  
(1: 0 % 2: 0 % 3: 5,6 % 4: 27,8 % 5: 66,7 %)
4. Ha elrontom a választ, fontosnak tartom, hogy megismerjem a helyes megoldást.  
(1: 5,6 % 2: 5,6 % 3: 5,6 % 4: 33,3 % 5: 50 %)
5. A szimulációk helyettesíthetik a valós kísérleteket.  
(1: 5,6 % 2: 22,2 % 3: 44,4 % 4: 11,1 % 5: 16,7 %)
6. Az applikációk segítik az alapismeretek begyakorlását.  
(1: 0 % 2: 5,6 % 3: 22,2 % 4: 55,6 % 5: 16,7 %)
7. Az applikációk alkalmasak az absztrakt ismeretek szemléltetésére (pl. elektromos mező, mágneses mező, elektromágneses hullámok)  
(1: 0 % 2: 0 % 3: 16,7 % 4: 27,8 % 5: 55,6 %)
8. A közösségi felületekre (pl. GC, Teams) feltöltött anyagok segítenek a dolgozatra való felkészülésben.  
(1: 0 % 2: 5,6 % 3: 5,6 % 4: 27,8 % 5: 61,1 %)
9. Egyszerű volt az általunk használt applikációval fizikai összefüggést, törvényt pontosan kimérni.  
(1: 0 % 2: 11,1 % 3: 16,7 % 4: 33,3 % 5: 38,9 %)

3.6 A fizikatanítás új dimenziói: a társadalmilag releváns problémák és a projektpedagógia összekapcsolása [S11]

*A társadalmilag releváns problémák fizika tananyagba történő integrálása (pl. globális felmelegedés és veszélyei, energiagazdálkodás, az energia jövőjének kérdése, nukleáris energia felhasználása és kockázati tényezői, a radioaktivitás biológiai vonatkozásai stb.) és összekapcsolása a projektpedagógiával a diákok motivációjának hatékony eszköze. A témafelvetés az érzékenyítés mellett támogatja a fenntarthatóságra nevelést, felhívja a figyelmet a környezeti értékekre és fejleszti a környezeti, fenntarthatósági kérdésekkel kapcsolatos cselekvési kompetenciát. A feldolgozásba bevont modern technikai eszközök és egyéb pedagógiai módszerek (pl. web 2.0-s alkalmazások, online közösségi hálók, videókonferenciák, PBL-projektpedagógia, IBL stb.) fokozzák az oktatás eredményességét és számos 21. századi kulcskompetenciát (digitális, kollaborációs, problémamegoldó, idegennyelvi, kultúrközi stb.) fejlesztenek.*

#### 3.6.1 Előzmények

Korábbi iskolámban, a Szabó Lőrinc Kéttannyelvű Általános Iskola és Gimnáziumban, 22 évig voltam a természettudományi munkaközösség vezetője. Ez idő alatt tevékenyen vettem részt az intézményi innovációban, szerveztem tanórán kívüli programokat (a fizika tanításához kapcsolódó üzem-és múzeumi látogatásokat, akadályversenyeket stb.), vezettem különböző iskolai és nemzetközi projekteket. (Pl. eTwinning projekteket. Az eTwinning olyan közösségi háló, amelyet a tanárok és tanulók európai szintű biztonságos együttműködésére hoztak létre.)

Hagyományt teremtettem iskolánkban a Föld napjához kapcsolódó természettudományos hét eseménysorozatának bevezetésével és lebonyolításával, melyen évről évre megújuló formában és tartalommal dolgoztunk fel környezetvédelmi és fenntarthatósági problémákat. A programok során többször kihasználtuk az iskola környezeti adottságait és a szabadban, a közeli erdőben egy kijelölt útvonalon haladva állítottunk fel állomásokat, ahol a tanulóknak különböző környezetvédelemmel, illetve fenntarthatósággal kapcsolatos feladatokat kellett megoldaniuk, egyszerű méréseket kellett végezniük, illetve kísérleteket végrehajtaniuk. A programok általános szervezési feladataim túl a fizikaoktatáshoz kapcsolódó szakmai részek kidolgozásáért is felelős voltam. Évről évre egyre több kolléga csatlakozott a kezdetben kis létszámú támogató csapathoz és a diákok egyre szélesebb körét tudtuk bevonni a programokba és projektekbe. A rendezvénysorozat pár év alatt iskolai szintűvé nőtte ki magát.

2016-ban indult útjának az országos szervezésű Fenntarthatósági Témahét, melyhez iskolánk az elsők között csatlakozott. A témaheteken minden alkalommal a központilag kijelölt tematika mentén haladtunk, de egyénileg összeállított tervek alapján dolgoztunk. A vezetéssel 2 nemzetközi eTwinning projektben is részt vettünk; az egyikben a megújuló energiaforrások témakörét dolgoztuk fel 9-11.évfolyamos diákokkal, míg a másik a vízenergia hasznosításával, a vízgazdálkodás és vízszennyezés kérdéseivel foglalkoztunk. Mindkét projekt hozzájárult ahhoz, hogy munkánk elismeréseként iskolánk elnyerte az “eTwinning iskola” címet.

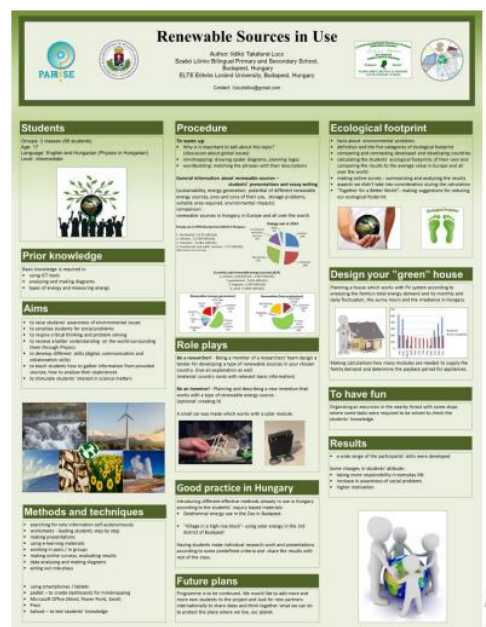


25.ábra  
eTwinning projektjeim

2017-ben lehetőséget kaptam arra, hogy poszterprezentáció formájában (26.ábra) az ELTE egyik projektjének keretében bemutassam tevékenységünket a PARRISE (Promoting Attainment of Responsible Research & Innovation in Science Education) dublini zárókonferenciáján.

[https://www.parrise.eu/teacher\\_pd/current-results-in-physics-and-new-methods-in-physics-education/](https://www.parrise.eu/teacher_pd/current-results-in-physics-and-new-methods-in-physics-education/)

Meghívást kaptam az Óbudai Egyetem által szervezett “Hazai és külföldi modellek a projektoktatásban” konferenciára, ahol rövid előadás formájában számolhattam be eredményeinkről. Ezek az iskolai projektek adták



26.ábra  
RSIU projekt a PARRISE  
zárókonferencián

az alap gondolatát a későbbi, nagyobb volumenű “Természeti kincsünk a víz” elnevezésű izlandi-magyar projektünknek.

### 3.6.2 Az izlandi projekt

Az izlandi Borgarholtsskóli középiskolával való együttműködés iskolánk Erasmus+ KA2-es (diákok és tanárok részvételét is támogató) projektjének keretében jött létre. A közös projekt témája a víz, a vízenergia és a Föld belső hőjének hasznosítása volt; közvetítő nyelve pedig a német és az angol.

#### **A projekt célja:**

A 18. század elejétől jelentkező ökológiai válság szoros kapcsolatban áll az emberiség társadalmi-gazdasági fejlődésével (népességgrobbanás, rohamosan fokozódó energiaszükséglet és ennek következtében kialakuló energiaválság, intenzív mezőgazdasági tevékenység stb.) Ezek jelentős része a természetes környezet átalakítását igényli, melyek környezeti problémák kialakulásához vezethetnek. Ebben az emberiségnek óriási felelőssége, a következmények mérséklésében pedig feladata van. (Patocskai, 2014)

A projekt elsődleges célja az érzékenyítés volt a természeti kincseink értékelése és megóvása érdekében. Az ehhez hasonló társadalmilag releváns problémák fizikaoktatásba történő bevonását kiemelten fontosnak tartom, hiszen mögöttük bonyolult ok-okozati kapcsolatok állnak fent, amelyek a megfelelő természettudományos ismeretek hiányában nehezen orvosolhatók. Ezért célunk volt továbbá az is, hogy a diákok megismerkedjenek a víz-és a geotermikus energia felhasználásának különböző módjaival, a két ország természeti kincseiben rejlő lehetőségekkel, természetes környezetükben tekinthessék meg a melegvízű forrásokat (hévíz) és a gejzíreket, vegyenek részt üzemlátogatásokon és szerezzenek gyakorlati tapasztalatot. Ezen túlmenően a diákok kultúrközi és idegennyelvi kommunikációs készségének, valamint számos 21. századi kulcskompetenciájának (kollaborációs készség, kreativitás, kritikus- és problémamegoldó gondolkodás) fejlesztését is célul tűztük ki.

**A projektben résztvevők:** 8 izlandi és 10 magyar diák (16-18 éves), 2 izlandi és 3 magyar tanár

A projekt vezetője a német szakos kolleganőm volt. Az informatika szakos kolleganő feladata a diákok multimédiás felkészítése, a projektben használt digitális platformok megismertetése, valamint a diákok honlapszerkesztő munkájának irányítása volt. A közös



munkában a szakmai programok összeállítását, megszervezését, lebonyolítását, a diákok szakirányú felkészítését végeztem.

A résztvevők közötti fő kommunikáció a közös webhelyen és annak tartalmának összehangolt feldolgozásán keresztül történt (videoklipek, fotók, vetélkedők, kérdőívek, prezentációk, blogbejegyzések és csevegések útján). A projekt megvalósítása során számos különböző pedagógiai módszer és modern technológia került alkalmazásra. A projekttevékenységek előkészítése, végrehajtása és értékelése közben fejlődött a tanulók környezettudatossága.

**Indikátora:** a projektben részvevő, majd a későbbiekben bevont tanulók létszáma; a közös munka során az elkészült produktumok

### 3.6.3 A projekt szakaszai

1. szakasza- Előkészítő fázis- a téma kijelölése, a célok körvonalazása, a kapcsolat kiépítése, a résztvevők kiválasztása

Az izlandi Borgarholtsskóli középiskolával megvalósult KA2 (a diákok és tanárok részvételét is támogató) projektünk az Erasmus+ keretében jöhetett létre. Az együttműködés más iskolákkal való korábbi tapasztalatokra, a projektben részt vevő tanárok közös külföldi tanártovábbképzésen kialakult kapcsolatára és a magyar tanárok izlandi iskolában tett job-shadowing látogatására épült. Ekkor fogalmaztuk meg közös céljainkat, terveztük meg a tevékenységek fő irányvonalát. A projekt sikerességének előfeltétele volt, hogy a diákok rendelkezzenek a közös munkához szükséges alapszintű fizika szaktárgyi, német, illetve angol nyelvi ismeretekkel. A diákoknak háromfordulós pályázati anyagot kellett benyújtaniuk. Motivációs levelet kellett írniuk, melyből kiderült a közös munka, illetve a téma iránti elkötelezettségük és nyelvi felkészültségükről is számot adtak.

2. szakasz- a résztvevők szaktárgyi felkészítése

A Google Classroomba (az iskola diákjai és tanárai által már korábban is gyakran használt közösségi felület) feltöltött segédanyagok (videók, feladatlapok, szimulációk) segítségével irányított kutatómunka során a diákok a tananyag jelentős részét önállóan sajátították el. Az online felületen folyamatosan nyomon követtem a diákok munkáját. A felkészülés során rendszeres konzultációkat tartottunk, ahol a diákok időről-időre beszámoltak addigi eredményeikről és választ kaphattak felmerült kérdéseikre. A felkészülési szakasz végére a diákok prezentációkat készítettek a víz- és geotermikus energia hasznosításáról, kiemelve a magyarországi vonatkozásokat, bemutattak hazai jó

gyakorlatokat és megvizsgálták Magyarország természeti adottságaiban rejlő lehetőségeket. A bemutatókat interaktív feladatokkal egészítették ki.

### 3. szakasz- az izlandi vendégek látogatása

A diákok szakmai túravezetésen vettek részt a Széchenyi Gyógyfürdőben. Az általuk előzetesen összeállított kérdések alapján riportot készítettek a Fürdő képviselőjével, melyben a Fővárosi Állatkert, a Széchenyi Gyógyfürdő és a FŐTÁV közös projektjére fókuszáltak. Látogatást tettünk az esztergomi Duna Múzeumba, ahol interaktív foglalkozás keretében megismerkedtünk a vízlábnyom fogalmával, majd megtekintettük a dunai hajózás történetét feldolgozó, a folyószabályozásról és a vízszennyezéssel kapcsolatos problémákról szóló kiállítást. Magyarország nagyon gazdag termálvizekben, ezért a termálvizeink hasznosítása sem maradhatott ki a programunkból. Szintén szakmai túravezetésen vettünk részt a Hévízi Gyógyfürdőben. A hét zárásaként a Szemlő-hegyi barlangba látogattunk el, melynek különlegessége, hogy az egyetlen olyan magyarországi barlang, amelyet a termálvíz formált. A külső helyszíneken zajló programok mellett az iskolai életünkkel is megismerkedtek az izlandi diákok. Fizika és kémia órákat látogattak, ahol vízzel kapcsolatos egyszerű kísérleteket végeztünk és elemeztünk közösen.

### 4. szakasz – a szerzett tapasztalatok megosztása- “peer teaching”

A projektben résztvevő magyar diákok tanórák keretein belül rövid beszámolókat tartottak társaiknak a szerzett ismereteikről. A szakmai látogatásokon, a közös tanórákon készült fotókból és szakanyagokból kiállítást rendeztünk, amelyet a tanév végéig az érdeklődők megtekinthettek. Az újonnan bevont osztályokban a tananyag elmélyítése a fizika órákon folytatódott, a tanulók egyre szélesebb körét bevonva.

### 5. szakasz- a magyar diákok felkészülése az izlandi látogatásra

A tanórák keretein belül a diákok megismerkedtek a gejzírek világával, a kialakulásukhoz szükséges geológiai feltételekkel, a gejzírek működésével és a geotermikus energia felhasználási lehetőségeivel. Magyarországi vonatkozásban a Föld hőjének hasznosítása szempontjából kiemelkedő szerep jut a melegvízű forrásoknak, a termál- és hévizeknek. A téma e részének feldolgozása, tanulmányozása már a projektcsapat feladata volt, melyről a természettudományos napon kiselőadás formájában számoltak be társaiknak.

## 6. szakasz- a magyar diákok izlandi látogatása

Az együttműködés tervezett időtartamának meghosszabbítása ellenére, az elhúzó járványügyi helyzetre és a korlátozásokra való tekintettel a projekt további része sajnos megghiúsult. A kapcsolatot egyéb kiegészítő (pl. az egyes országok kulturális életéhez kapcsolódó) feladatokkal is igyekeztünk fenntartani és ápolni.

### 3.6.4 Eredmények, hatások

A projekt legfontosabb eredménye, hogy globális problémákkal szemben érzékenyebbé tette a tanulókat, felelősségteljesebb gondolkodásra és cselekvésre készítette őket, felgyorsította és szélesebb körben kiterjesztette a diákok szemléletváltási folyamatát. Módszertani szempontból a projekt legjelentősebb hozadéka, hogy a diákok megtanultak nem csak saját társaikkal, hanem más kultúrából érkező tanulókkal is együtt gondolkodni, egy adott témával kapcsolatban kérdéseket felvetni és azokra autentikus forrásokból válaszokat keresni, globális problémákat megvitatni. A közös munka során alkalmazott modern technikáknak és módszereknek köszönhetően a diákok számos, a 21.században nélkülözhetetlen, kulcskompetenciája fejlődött. A kötetlenebb munkaforma, a sok közös élmény és tapasztalat szorosabb kapcsolatok, barátságok kialakulásához is vezetett.

A projekt hatékonyságának indikátora a benne résztvevő diákok számának alakulása, az elkészült anyagok mennyisége és minősége. Az Erasmus + KA2 program (amely a diákok külföldi tanulmányi útjait támogató nemzetközi program) 23 fő részvételét tette lehetővé. Ez volt a kiinduló létszám, amely iskolai szinten előbb 62 majd 116 főre bővült, míg végül más fenntarthatósági kérdésekkel kiegészülve, a témahét keretében minden évfolyamot érintő megmozdulássá nőtte ki magát. (A fizika órákon a biomassa felhasználásával foglalkoztunk.) Munkánk eredményeként a 2021. évi Fenntarthatósági Témahéten nyújtott teljesítményért iskolánk elnyerte a megye Legaktívabb Iskola Díját.

## Összefoglalás

Kutatási tevékenységem központi témája a villámok fizikájának, középiskolai tanításban is alkalmazható interpretációja volt. Leegyszerűsített modellek bevezetésével, elemi megközelítések alkalmazásával, törekedtem az összetett jelenségkör, nagyon absztrakt fizikai és matematikai háttérismeretek nélküli, a diákok számára vonzó tárgyalására, a gyakorlati vonatkozások hangsúlyozására. Célom a jelenségek mögött rejlő fizikai törvények felfedeztetése, mélyebb megértetése volt. Diákjaim számára készítettem egy jegyzetet, melynek kidolgozásakor a MER (Model of Educational Reconstruction– A Tanítás rekonstrukciós modellje) módszerét követtem. Az elmúlt négy év tanítási tapasztalatai és a diagnosztikus kérdőívek elemzése alapján a tananyagot többször átdolgoztam. (Módszertani javaslataimat a dolgozatom 3.1.4 fejezete, míg az elméleti háttérrel összefoglaló részeket az értekezésem *Függeléke* tartalmazza. A diákok számára készített jegyzet a dolgozat végén található linken érhető el.) Kiegészítő szakmai anyagot dolgoztam ki a felsőléggkörben zajló elektromos jelenségek tanításához. Megmutattam, hogy e jelenségek egy része elemi megközelítésben a középiskolákban is tárgyalható. Igazoltam, hogy e jelenségek a középiskolai szinten ugyan túlmutatnak, de csodálatos látványuk, titokzatosságuk figyelemfelkeltő és rendkívül motiváló hatású.

A diákok teszteredményei és visszajelzései igazolták, hogy a tananyagok eredményesen használhatók a középiskolai oktatásban.

A MER módszer támogatására korszerű technikákat (web 2.0 alkalmazásokat, tanárjelöltek által készített oktatási videókat) és oktatási módszereket (projekt módszer, fordított osztályterem, gamifikáció) vontam be. Vizsgáltam ezek fizikaórai alkalmazási lehetőségeit a diákok motivációjának és órai aktivitásának fokozására. Szummatív tesztek elemzése alapján igazoltam, hogy ezek az eszközök és módszerek gondos tervezés mellett a középiskolai fizikaoktatásban is eredményesen alkalmazhatók. Két témakörben végzett mérés alapján igazoltam, hogy az oktatási videók a tanárjelöltek természettudományos kommunikációjának és kísérletező kompetenciájának fejlesztése mellett, a középiskolai fizikaoktatásnak is hasznos eszközei, fokozzák a diákok tanórai aktivitását.

A *Természeti kincsünk a víz* elnevezésű projekt kapcsán igazoltam, hogy a társadalmilag releváns problémák fizika tananyagba történő integrálása, összekapcsolása a projektpedagógiával, és nemzetközi kontextusba való helyezése nem csupán a fenntarthatóságra nevelést támogatja, hanem a tanulási folyamat színterének és eszközrendszerének megváltoztatásával számos 21.századi kulcskompetenciát is fejleszt.

## Summary

The focal point of my research was the interpretation of the basic principles of lightning physics in high school teaching. By introducing simplified models and using elementary approaches, I tried to make this complex phenomenon attractive for students without using too abstract background knowledge in physics and mathematics. I was also going to emphasize the practical aspects of the phenomenon. I aimed to reveal the laws of physics behind the phenomena and to deepen their understanding.

I developed a booklet for my students using the MER (Model of Educational Reconstruction) conception. Based on my teaching experience over the last four years and on the analysis of diagnostic questionnaires, I have revised the teaching resources several times. (I shared my methodological recommendations in chapter 3.1.4 of my thesis and summarized the theoretical background in the Appendix. The booklet created for my students is available at the link at the end of my dissertation.) I have also developed supplementary material for teaching electrical phenomena in the upper atmosphere. I have proven that although they go far beyond high school levels, their mentioning is attention-grabbing and motivating due to their breathtaking appearance and mystery. I have shown how we can discuss them in an elementary approach in high schools. Based on the students' tests and feedback, I can state that they can be used effectively in high school physics education.

To support the MER method, I have integrated state-of-the-art techniques (web 2.0 applications, educational videos made by teacher candidates) and teaching methods (project method, flipped classroom, gamification). I investigated their potential applications in physics lessons to enhance students' motivation and classroom activity. Based on the analysis of summative tests, I have shown that these tools and methods, with careful preparation, can be effectively applied in high school physics education.

Making educational videos improves the teacher candidates' science communication and experimental competence. Based on students' responses to two topics, I have proved that these videos stimulate high school learners' curiosity to increase their science engagement and deepen their physics knowledge.

By introducing our "Water, our natural treasure" project, I have presented that integrating socio-scientific issues into the physics curriculum is fruitful because, such as in our case, it supports the education for sustainability. Moreover, using the project pedagogy and placing the project in an international context, it develops several key 21st-century competencies by changing the learning process and the tools used.

## Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, *Dr. Tasnádi Péternek*, azt a fáradhatatlan, odaadó munkát, amellyel az elmúlt öt évben irányította kutatómunkámat. Hálás vagyok a lelkesedéséért; a rengeteg, felejthetetlen szakmai és magán jellegű beszélgetésért, a kedves és bátorító szavakért, melyekből erőt meríthettem a nehezebb pillanatokban. Köszönöm a szakmai észrevételeit, javaslatait, a mindig precíz, részletes javításait, amellyel segítette publikációimat. Köszönöm a közös munkákat, amelyek mindig fantasztikus élményt jelentettek számomra.

Köszönöm *Prof Marina Milner-Bolotinnak* (University of British Columbia, Vancouver, Department of Curriculum & Pedagogy), hogy bevezetett az oktatási videók készítésének rejtelmeibe, megismerttetett azok hatékony alkalmazásával. Köszönöm, hogy gondolatébresztő ötleteivel segítette, hogy a TPACK módszert rendszeresen és egyre magabiztosabban alkalmazzam a tanítási gyakorlatomban. Köszönöm támogatását közös cikkünk létrejöttében.

Köszönöm *Dr. Tél Tamásnak* és *Dr. Nguyen Quang Chinhnek*, a Fizika Doktori Iskola vezetőinek, hogy lehetővé tették részvételemet az ELTE-MTA kutatócsoport munkájában, valamint hazai és külföldi konferenciákon, ezzel is hozzájárulva szakmai fejlődésemhez.

Köszönöm a *Fizika Tanítása Program* valamennyi előadójának a képzés során végzett elkötelezett munkáját.

Köszönöm *Dr. Szakmány Csabának* és *Dr. Jenei Péternek* az oktatási videók készítésében nyújtott segítségét.

Köszönöm az Érdi Vörösmarty Mihály Gimnázium és a Budapest II. Kerületi Szabó Lőrinc Kéttannyelvű Általános Iskola és Gimnázium *diákjainak* a szakmódszertani kutatásaimban való részvételt.

Köszönöm *barátaimnak* és *kollégáimnak* a rengeteg biztatást, a szakmai észrevételeket és az együttműködést.

Szeretnék köszönetet mondani *Takáts Tündének*, kisebbik lányomnak, a publikációimhoz és az értekezésemhez készített grafikákért.

Végül, de nem utolsó sorban hálával tartozom egész *családomnak*, hogy végtelen türelemmel és szeretettel támogató háttérrel biztosítottak számomra. Hittek bennem akkor is, amikor én épp elbizonytalanodtam.

## Az áttekintett természettudományos tankönyvek listája

1. Arday, I. Czifrusz, M. és Horváth, T. (2020). *Földrajz 9-10.* tankönyv I. kötet, Oktatási Hivatal, ISBN 978-615-6178-29-9
2. Arday, I. *Földrajz 9,* Újgenerációs tankönyv, Eszterházi Károly Egyetem – OFI, FI-506010901/1
3. Arday, I., Rózsa, E. és Ütőné Visi, J. *Földrajz I.,* Műszaki Könyvkiadó, MK2754-3-K
4. Bárány, Zs. B., Hotziné Pócsi, A., Marchis, V., Várallyainé Balázs, J. (2020) *Kémia 9.* tankönyv, Oktatási Hivatal, ISBN 978-615-6178-27-5
5. Csajági, S. és Fülöp F. (2013). *Fizika 9.* Emelt szintű képzéshez, Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó, NT-17135
6. Dégen, Cs., Elblinger, F. és Simon P. (2014). *Fizika 11.* a középiskolák számára Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó, ISBN: 2399973286749
7. Dégen, Cs., Póda, L. és Urbán, J. (2013). *Fizika 10.,* Fedezd fel a világot! OFI, ISBN 978-963-19-7639-7
8. Dégen, Cs., Póda, L. és Urbán, J. (2015). *Fizika 10.,* Fedezd fel a világot! Emelt szintű képzéshez, OFI, ISBN 978-963-19-7640-3
9. Dr. Ádám P., Dr. Egri S., Elblinger F., Horányi G. és Simon P. (2020). *Fizika 10,* Újgenerációs tankönyv, Eszterházi Károly Egyetem, ISBN 978-963-436-148-0
10. Dr. Farkas, Zs. és Dr. Molnár, M. (2009). *Fizika 10.* - Út a tudáshoz, Maxim Könyvkiadó, ISBN 9789632610122
11. Dr. Halász, T. (2019). *Fizika 9.* - Mozgások. Energiaváltozások tk. Mozaik Kiadó,
12. dr. Lénárd, G. (2017). *Biológia 12,* EKE OFI, NT-17408
13. Dr. Mező, T. és Dr. Nagy, A. *Fizika 9.* - Mozgástan, Erőtan, Energetika, Maxim Könyvkiadó
14. Dr. Siposné Dr. Kedves, É., Horváth, B., Péntek, L. (2019) *Kémia 9. Általános és szervetlen kémia* tankönyv, Mozaik Kiadó, MS-2616U
15. Dr. Jurisits, J. és Dr. Szűcs, J. (2012). *Fizika 10.* – Hőtan, elektromosság tan tk. Mozaik Kiadó, MS-2619T
16. Gulyás J., Honyek Gy., Markovits T., Rác M., Szalóki D., Varga A. és Tomcsányi P. (2000). *Elektromosság, mágnesesség,* Műszaki Kiadó, ISBN 963-162-2738
17. Gulyás, J. és Honyek, Gy. (1999). *Fizika - Optika, hőtan* Műszaki Könyvkiadó, ISBN: 963-16-2274-6
18. Gulyás, J. és Honyek, Gy. (2005). *Fizika 11.* A gimnáziumok 11. évfolyama számára MK2761-6, Műszaki Könyvkiadó,
19. Halász, T., Szűcs, J. és Jurisits, J. (2020). *Fizika 11.* - Rezgések és hullámok. Modern fiz. tk. Mozaik Kiadó, MS-2623, ISBN: 9789636974220
20. Holics, L. (2002). *Fizika III.,* Nemzeti Tankönyvkiadó, ISBN: 963-19-3046-7
21. Ifj. Zátanyi, S. *Fizika 11.* Nemzeti Tankönyvkiadó
22. Jónás, I., Kovács, L., Dr. Szöllősy, L. és Vízvári, A. *Földrajz 9,* Mozaik Kiadó, MS-2621U
23. Molnár, M., Nagy, A. és Mező, T. (2009). *Fizika 11.* - Út a tudáshoz, Maxim Könyvkiadó, ISBN: 9789632610948
24. Nagy L. (2021). *Földrajz 9-10,* Oktatási Hivatal, ISBN 9631950468

25. Nagy, B., Nemerkenyi, A., Sárfalvi, B. és Ütőné Visi, J. *Földrajz 9*, Eszterházi Károly Egyetem-OFI, NT/17133
26. Nagy, L. (2021). *Földrajz 9-10*, Oktatási Hivatal, ISBN 9631950468
27. Sáriné dr. Gál, E. *Földrajz 9*, Maxim Kiadó, MX-299
28. Simon, P., Elblinger, F. és Dégen, Cs. (2014). *Fizika 11.* a középiskolák számára Nemzeti Tankönyvkiadó, ISBN: 9789631962659
29. Vermes, M. (1990). *Fizika III.*, Tankönyvkiadó, ISBN: 2399994360008

## Saját publikációk[S]

1. Takátsné Lucz I, Web 2.0 applications as the tools of motivation in secondary physics education, *Journal of Physics: Conference Series GIREP-ICPE-EPEC-MPTL 2019*, doi:10.1088/1742-6596/1929/1/012041
2. I Takátsné Lucz, M Milner-Bolotin, Video making as a powerful tool in physics teacher education and in teaching and learning, *Journal of Physics: Conference Series, Volume 2297, GIREP Malta Webinar 2020 16/11/2020 - 18/11/2020 Online*, doi:10.1088/1742-6596/2297/1/012026  
Citation I T Lucz and M Milner-Bolotin 2022 *J. Phys.: Conf. Ser.* 2297 012026
3. I Takátsné Lucz and P. Tasnádi, How to teach lightning activities to spark students' curiosity? *Adv. Sci. Res.*, 19, 137–144, <https://doi.org/10.5194/asr-19-137-2022>, 2022.
4. Takátsné Lucz I. és Tasnádi P., Villámok az új Nemzeti Alaptanterv tükrében, *Fizikai Szemle*, 2021/3 pp 102-109, HU ISSN 0015-3257 (Nyomtatott), HU ISSN 1588-0540 (Online)
5. Takátsné Lucz I. és Tasnádi P., Ami túl mutat az elektrosztatikán: villámok az új Nemzeti alaptanterv tükrében, *Fizikai Szemle* 2022/5 pp 147-156. HU ISSN: 0015-3257(Nyomtatott), HUISSN: 1588-0540(Online)
6. Takátsné Lucz I. és Tasnádi P., A villámok biológiai hatásai - és amit a diákok tudnak róla in V. Orvosmeteorológiai konferencia jegyzőkönyve, Magyar Meteorológiai Társaság, pp 25-34, 2022, ISBN 978-963-8481-15-3
7. Tasnádi P., Lucz I., Molnár B., Nógrádi Zs. és Weidinger T., Meteorológia interdiszciplinárisan A NAT, a tanárképzés, és a szakmódszertani kutatások meteorológiai témái, *Légkör*, megjelenés alatt
8. Takátsné Lucz I., Web2.0 alkalmazások használata a középiskolai fizikaoktatásban In: Innováció az oktatásban Debrecen Oriold és Társai Kiadó és Szolgáltató Kft, 2019, p 383- 391. ISBN 978-615-5981-09-8

### szakmai anyag:

9. Takátsné Lucz I. Felsőlégi körű elektro-optikai jelenségek a középiskolában [http://fiztan.phd.elte.hu/kozkinacs/szakmhallg/anyagok/legkor\\_elekto-optika.pdf](http://fiztan.phd.elte.hu/kozkinacs/szakmhallg/anyagok/legkor_elekto-optika.pdf)
10. Finta Zsanett, Lucz Ildikó, Schramek Anikó HULLÁMTAN Kísérleti tankönyvi fejezet



[http://fiztan.phd.elte.hu/files/kiadvanyok/vazTK\\_Hullamtan.pdf](http://fiztan.phd.elte.hu/files/kiadvanyok/vazTK_Hullamtan.pdf)  
<https://www.kiserletitankonyv.hu/>

11. Az izlandi projekt oldala:

<https://2019wasser.wixsite.com/erasmusplus>

<https://2019wasser.wixsite.com/erasmusplus/wasser>

## Irodalomjegyzék

1. Almeida, G.L.S., & Visacro, S. (2023). Modeling the lightning-channel formation based on the bipolar leader theory by an electrostatic-by-step approach allowing representing non-regular ground surfaces for applications related to lightning protection. *Electric Power Systems Research*, *214*, 108876. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108876>
2. Bartholy, J., Mészáros, R., Geresdi, I., Matyasovszky, I., Pongrácz, R., Weidinger, T. (2013). *Meteorológiai alapismeretek, 11. fejezet*, ELTE.
3. Bessenyei, I. (2010). A digitális bennszülöttek új tudása és az iskola. *Oktatás-Informatikai Folyóirat*, (1–2), 24–31.
4. Bewley, L. V. (1931). Traveling waves on transmission systems. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, *50*(2), 532-550. <https://doi.org/10.1109/T-AIEE.1931.5055827>
5. Blumental, R. (2012). Secondary missile injury from lightning strike. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, *33*(1), 83- 85. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e31823a8c96>
6. Blumental, R., Jandrell, I.R., & West, N.J. (2012). Does a sixth mechanism exist to explain lightning injuries? Investigating a possible new injury mechanism to determine the cause of injuries related to close lightning flashes. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, *33*(3), 222-226. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e31822d319b>
7. Borucki, W.J., & Chameides, W.L. (1984). Lightning: Estimates of the rates of energy dissipation and nitrogen fixation. *Reviews of Geophysics*, *22*(4), 363-372. <https://doi.org/10.1029/RG022I004P00363>
8. Bór, J. (2010). Villámkisülésekhez társuló felsőlégköri elektro-optikai emissziók és Schumann-rezonancia tranziensek vizsgálata. (*Doctoral dissertation, Ph. D. disszertáció*, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron).
9. Bozóki, T. (2017). A Schumann-rezonancia mint kutatott jelenség és mint kutatási eszköz. *Ingenia Hungarica III. Kárpát-medencei Szakkollégiumi Konferencia*. <http://hdl.handle.net/10831/34846>
10. Chakraborty, R., Chakraborty, A., Basha, G., & Ratnam, M.V. (2021). Lightning occurrences and intensity over the Indian region: long-term trends and future projections. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *21*(14), 11161–11177. <https://doi.org/10.5194/acp-21-11161-2021>

11. Cooper, M.A., & Holle, R. L. (2019). Reducing lightning injuries worldwide. *Springer Natural Hazards*, Springer International Publishing AG, ISBN-13 978-3030084806. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77563-0>
  
12. Cooper, M. A., Andrews, C. J., Holle, R. L., Blumenthal, R., & Navarrete-Aldana, N. (2016). Lightning –related injuries and safety, *Auerbach's Wilderness Medicine. 7th ed. Philadelphia, Pennsylvania: Elsevier*,71–117, ISBN 9780323396097
  
13. Cooray, V. (2015). An Introduction to Lightning, *Springer (Vol. 201)*., ISBN 978-94-017-8937-0, ISBN 978-94-017-8938-7 (eBook)., <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8938-7>
  
14. Cooray, V., & Cooray,G. (2010). The electromagnetic fields of an accelerating charge: applications in lightning return-stroke models. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 52(4), 944-955. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2010.2063029>
  
15. Cooray, V., Cooray, C., & Andrews, C.J. (2007). Lightning injuries in humans, *Journal of Electrostatics*, 65(5-6), 386-394. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2006.09.016>
  
16. Cooray, V., & Cooray,G. (2019). A Novel Interpretation of the Electromagnetic Fields of Lightning Return Strokes. *Atmosphere*, 10(1), 22. <https://doi.org/10.3390/atmos10010022>
  
17. Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., & Dixon, D. (2011). Gamification. Using Game-Design Elements in Non-Gaming Contexts. In *CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2425-2428). ACM. <https://doi.org/10.1145/1979742.1979575>
  
18. Duit, R., Gropengießer, H.; Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – A Framework for Improving Teaching and Learning Science. In *Science Education Research and Practice in Europe* (pp. 13-37). Brill. [https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2)
  
19. Dwyer, J.R., & Uman, M.A. (2014). The physics of lightning. *Physics Reports*, 534(4), 147–241. <http://doi.org/10.1016/j.physrep.2013.09.004>
  
20. Feynman, R. (1986). Mai fizika 5. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest, 122–126. ISBN 963-10-6729-7

21. Finney, D.L., Doherty, R.M., Wild O., Stevenson D.S., MacKenzie I.A. & Blyth A.M. (2018). A projected decrease in lightning under climate change, *Nature Climate Change*, 8(3), 210-213. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0072-6>
22. Finta, Zs., Lucz, I., & Schramek, A. (2021). *HULLÁMTAN Kísérleti tankönyvi fejezet*  
[http://fiztan.phd.elte.hu/files/kiadvanyok/vazTK\\_Hullamtan.pdf](http://fiztan.phd.elte.hu/files/kiadvanyok/vazTK_Hullamtan.pdf)  
<https://www.kiserletitankonyv.hu/>
23. Fromann R., & Damsa A. (2016). A gamifikáció (játékosítás) motivációs eszköztára az oktatásban - A gamifikáció jelentése és jelentősége. *Új Pedagógiai Szemle*, 66(3-4), 76-81.
24. Goldberg, F. M., & McDermott, L. C. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24(8) 472-480. <https://doi.org/10.1119/1.2342096>
25. Gurevich, A. V., Garipov, G. K., Almenova, A. M., Antonova, V. P., Chubenko, A. P., Kalikulov, O. A., Karashtin, A. N., Kryakunova, O.N., Lutsenko, V.Yu., Mitko, G.G., Mukashev, K.M., Nam, R.A., Nikolaevsky, N.F., Osedlo, V.I., Panasyuk, M.I., Ptitsyn, M.O., Piscal, V.V., Ryabov, V.A., Saduev, N.O., Sadykov, T.Kh., Saleev, K.Yu., Salikhov, N.M., Shepetov, A.L., Shlyugaev, Yu.V., Svertilov, S.I., Vil'danova, L.I., Zastrozhnova, N.N., Zhantaev, Z.S., Zhilchenko, K.S., Zhukov, V.V., & Zybin, K. P. (2018). Simultaneous observation of lightning emission in different wave ranges of electromagnetic spectrum in Tien Shan mountains. *Atmospheric Research*, 211, 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.018>
26. Gurevich, A.V., & Zybin, K.P. (2005). Runaway Breakdown and the Mysteries of Lightning. *Physics Today*. 58(5), 37-43. <https://doi.org/10.1063/1.1995746>
27. Harrison, R. G. (2013). The carnegie curve. *Surveys in Geophysics*, 34(2), 209-232. <http://doi.org/10.1007/s10712-012-9210-2>
28. Hartyányi, M., Balassa, S., Babócsy, C., Téringér, A., Ekert, S., Coakley, D., Cronin, S., Villalba de Benito, M. T., Cebrián, G.C., Requejo, S.M., García, E.J., Manénová M. & Tauchmanova, V. (2018)., Módszertani megújulás a szakképzésben. Fordított osztályterem a gyakorlatban. *iTStudy Hungary Számítástechnikai Oktató- és Kutatóközpont Kft*, ISBN 978-615-81083-0-0
29. Arshad, S. N. M., Isnin, M. N. A. A. M., Halim, N. H., Abdullah, A. Z., Wooi, C. L., & Hussin, N. (2018). Modeling and Analysis of Direct Lightning Strike to the Human Body. In *2018 IEEE 7th International Conference on Power and Energy (PECon)* (pp. 184-189). IEEE. <http://doi.org/10.1109/PECON.2018.8684053>

30. McDermott, L. C. (1997). Bridging the gap between teaching and learning: The role of research. In *AIP Conference Proceedings* 399(1), 139-166. American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/1.53128>
31. Herzog C. (1997). Sprites and Elves in the Atmosphere, <https://www.psu.edu/news/research/story/sprites-and-elves-atmosphere/> (2020.05.18.)
32. Hill, E. L. (1957). Electromagnetic radiation from lightning strokes. *Journal of the Franklin Institute*, 263(2), 107-119. [https://doi.org/10.1016/0016-0032\(57\)90745-7](https://doi.org/10.1016/0016-0032(57)90745-7)
33. Hill, R. D.: Thunder. In "Lightning, Vol. I, *Physics of Lightning*" (R. H. Golde, ed.), pp. 385-408. Academic Press, New York, 1977c.7
34. Horváth, T. (1997). Villámvédelem. *Magyar Elektronikai Egyesület, Budapest*, ISBN 963-929-902-2
35. Hortobágyi K. (2002). Projekt kézikönyv. *Iskolafejlesztési Alapítvány, Budapest*, ISBN: 9638323299
36. Hutchings, M., & Quinney, A. (2015). The flipped classroom, disruptive pedagogies, enabling technologies and wicked problems: responding to 'the bomb in the Basement' *Electronic Journal of e-Learning*, 13(2), 106-119, ISSN 1479-4403, (utolsó letöltés 2022.08.30.)
37. Juhász, A., Tasnádi, P., Wiener, Cs., Gócz, É. (2021). A fizika tanítása a középiskolában II., *ELTE Fizika Doktori Iskola*, ISBN: 978-963-489-305-9
38. Kasemir, H. W. (1960). A contribution to the electrostatic theory of a lightning discharge. *Journal of Geophysical Research*, 65(7), 1873-1878. <https://doi.org/10.1029/JZ065i007p01873>
39. Kerettanterv a gimnáziumok 9–12. évfolyama számára; [https://www.oktatas.hu/koznevelas/kerettantervek/2020\\_nat/kerettanterv\\_gimn\\_9\\_12\\_e\\_vf](https://www.oktatas.hu/koznevelas/kerettantervek/2020_nat/kerettanterv_gimn_9_12_e_vf)
40. Koehler, M., & Mishra, P. (2009). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70. ISSN 1528-5804. <https://www.learntechlib.org/primary/p/29544/>
41. Koehler, M. J. & Mishra, P. (2015) Technological pedagogical content knowledge, in *The SAGE Encyclopedia of Educational Technology*, Spector, M.

J., Editor., SAGE Publications: Los Angeles. 782-785.  
<http://dx.doi.org/10.4135/9781483346397.n318>

42. Komár, Z. (2017). Generációelméletek, *Új Köznevelés*, 73.évf./8-9, <https://folyoiratok.oh.gov.hu/uj-kozneveles/generacioelmeletek>
43. Korom, E. (1997). Naiv elméletek és tévképzetek a természettudományos fogalmak tanulásakor, *Magyar Pedagógia*, 97(1), 19-40. ISSN:0025-026
44. Kovácsné Pusztai, K. (2018). Játékosítás (gamification) az oktatásban. *Szlávi Péter és Zsakó László (szerk.) InfoDidact*, 93-102.
45. Kuczmann, I. (2017). The Structure of Knowledge and Students' Misconceptions in Physics, in *AIP Conference Proceedings (Vol. 1916, No. 1, p. 050001)*, American Institute of Physics Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.5017454>
46. Lasry, N., Guillemette, J., Dugdale, M., Bhatnagar, S., Whittaker, C., Charles, E., & Mazur, E. (2014). You gain some, you lose some: A big data look at how students change conceptions. *Physics Review Special Topics - Physics Education Research*.
47. Mackerras, C.J. (2003). Electrical aspects of lightning strikes to humans, *The Lightning Flash*, V. Cooray (Ed.), *The Institute of Electrical Engineers, London, UK*.
48. Magyar Közlöny 2020. január 31. 17. száma, 382–391, <https://magyarkozlony.hu/dokumentumok/3288b6548a740b9c8daf918a399a0bed1985db0f/megtekintes>
49. Mazur, E. (2009). Farewell, Lecture? *Science*, 323(5910), 50-51. <https://doi.org/10.1126/science.1168927>
50. Mészáros, R. (2013). Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek, *Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest*. <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/11991>
51. Meteorological Education <https://www.meted.ucar.edu/index.php>
52. Milner-Bolotin, M. (2020). Deliberate Pedagogical Thinking with Technology in STEM Teacher Education. in *STEM Teachers and Teaching in the Era of Change: Professional expectations and advancement in 21st Century Schools*, Ben-David Kolikant Y, Martinovic D, and Milner Bolotin M, Editors., Springer: Cham, Switzerland. 201-219. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29396-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29396-3_11)

53. Milner-Bolotin, M. (2021). Science & Math Education Videos for All. *YouTube Channel of Online STEM resources*, 2021(January 25) [https://www.youtube.com/channel/UCHKp2Hd2k\\_dLjODXydn2-OA](https://www.youtube.com/channel/UCHKp2Hd2k_dLjODXydn2-OA)
54. Milner-Bolotin, M. & Milner, V. (2017). Family Mathematics and Science Day at UBC Faculty of Education. *Physics in Canada*, 73(3), 130-132.
55. Milner-Bolotin, M. (2012). Water pearls optics challenges for everybody. *The Physics Teacher*, 50(3), 144-145. <https://doi.org/10.1119/1.3685108>
56. M. Nádasi, M. (2003). Projektoktatás. *Gondolat Kiadói Kör-ELTE BTK Neveléstudományi Intézet*. ISBN: 963-9500-63-1
57. Nádori, G., & Prievara, T. (2018). 21. századi pedagógia, *Akadémiai Kiadó*, ISBN 978-963-454-102-8, DOI: 10.1556/9789634541028
58. Pelling, N. (2011). The (short) prehistory of Gamification. *Funding Startups (& other impossibilities)*, 9. <http://nanodome.wordpress.com/2011/08/09/the-short-prehistory-of-gamification/> (utoljára megtekintve: 2018. 10. 19.)
59. Oblinger, D. G. & Oblinger, J. L. (2005). Educating the Net Generation, *Educause*, [www.educause.edu/research-and-publications/books/educating-net-generation](http://www.educause.edu/research-and-publications/books/educating-net-generation)
60. Van der Velde, O. A., Montanyà, J., López, J. A. & Cummer, S. A. (2019). Gigantic jet discharges evolve stepwise through the middle atmosphere. *Nature communications*, 10(1), 4350. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12261-y>
61. O'Reilly, T. (2009). What is Web 2.0? *O'Reilly Media Inc.*
62. Phillips, T. (2019). Close Encounter with a Gigantic Jet <https://spaceweatherarchive.com/2019/10/25/close-encounter-with-a-gigantic-jet/> (2020.05.18)
63. Rakov, V.A. & Uman, M.A. (2003). Lightning: Physics and Effects, *Cambridge University Press. Cambridge, UK*, <https://doi.org/10.1017/CBO9781107340886>
64. Rodger, C. J. (1999). Red sprites, upward lightning, and VLF perturbations. *Reviews of Geophysics*, 37(3), 317–336. <https://doi.org/10.1029/1999RG900006>
65. Roms, D.M., Seeley, J.T., Vollaro, D. & Molinari J. (2014). Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science*, 346(6211), 851-854. <https://doi.org/10.1126/science.1259100>
66. Sători, G. (2009). A Schumann-rezonanciák, mint a globális változások jelzőrendszere. *Magyar Tudomány*, 9.

67. Sători, G. (2011). Schumann-rezonancia mint globális változások jelzőrendszere (*Doktori értekezés*) MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet
68. Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
69. Szőke-Milinte, E. (2020). A Z generáció kognitív sajátosságai. in *Személyközi és médiakommunikációs tudatosság az iskolában, Hungarovox Kiadó Budapest*, 23-41.
70. Takátsné Lucz, I. (2021). Web 2.0 applications as the tools of motivation in Secondary Physics Education, in: *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1929, No.1, p. 012041). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1929/1/012041>
71. Takátsné Lucz, I., & Tasnádi P. (2021). Villámok az új Nemzeti alaptanterv tükrében. *Fizikai Szemle*, 71(3), 102–109. <http://fiztan.phd.elte.hu/kozkincs/magypub/pub/kiserletek/villamok.pdf>
72. Tari, A. (2011). Z generáció. Klinikai pszichológiai jelenségek és társadalomlélektani szempontok az Információs Korban. *Tericum Kiadó*
73. Tasnádi, P. (2021). Léggöri elektromosság. in *A Fizika Tanítása II. (szerk. Juhász A., Tasnádi P., Gócz É.)*
74. Tasnádi, P., Illy J. (2018). Víz a légkörben és a talajban: Villámok, gejzírek, cseppkövek és más természeti csodák. *ELTE, Budapest*
75. Tembrevilla, G. & Milner-Bolotin, M. (2019). Engaging physics teacher-candidates in the production of science demonstration videos. *Physics Education*, 54(2), 025018.
76. Toynbee, H., & Mackenzie, T. (1886) Meteorological phenomena. *Nature*, 33(846), 245. <https://doi.org/10.1038/033245e0>
77. Uman, M. A. (1987). The Lightning Discharge, Dover Publications, INC. Mineola, New York, USA, ISBN 0486414639
78. Virág, I. (2013). Tanuláselméletek és tanítási-tanulási stratégiák, Korszerű információtechnológiai szakok magyarországi adaptációja TÁMOP-4.1.2-A/1-11/1-2011-0021. *Eszterházy Károly Főiskola, Eger*. <https://mek.oszk.hu/14900/14953/pdf/14953.pdf>
79. Walker, T. D. (2015). A 21st century investigation of the lightning spectrum. *Dissertation, The University of Alabama in Huntsville*.



80. Westermann, E.B. (2014). A Half-Flipped Classroom or an Alternative Approach? Primary Sources and Blended Learning. *Educational Research Quarterly*, 38(2), 43-57.
81. Williams, E.R. (2001). Sprites, Elves, and Glow Discharge Tubes. *Physics Today*, 54(11), 41–47. <https://doi.org/10.1063/1.1428435>

## Függelék

A villámok tanításához szükséges alapismeretek témakörönként rendszerezve

### *Elektrosztatika*

#### *A Föld elektromos tere*

A tapasztalat szerint a Föld negatív töltésű és mintegy 50 km magasságban ionokból álló, összességében pozitív töltésű réteg (ionoszféra) veszi körül. Derült időben, sima földfelszín esetén a térerősség függőleges irányú és átlagos értéke a felszín közelében 100 V/m. Normál körülmények között az ekvipotenciális felületek a felszínnel párhuzamosan haladnak, amelyeket a tereptárgyak azonban torzítanak. Mérési eredményekből ismert, hogy az elektromos tér a felszíntől felfelé haladva gyengül. A talaj és a légkör legfelső rétege közötti potenciálkülönbség kb. 3-400 000 V. (Feynman, 1986)

#### *Az elektromos térerősség napi menete*

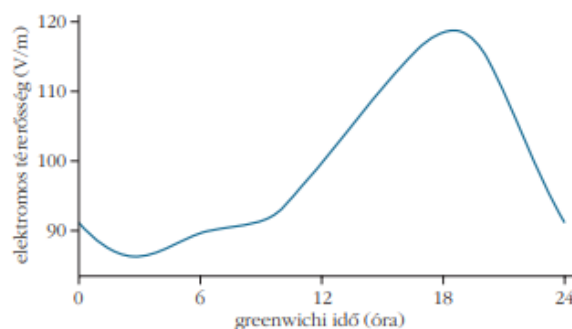
Derült időben, a Föld óceánjai felett végzett mérések alapján a kutatók megállapították, hogy a térerősség értéke, a helytől függetlenül jó közelítéssel állandó, napi menete az abszolút időtől függ (27. ábra).

(A mérési helyeket úgy választották ki, hogy a helyi szennyezések ne befolyásolják a mért adatokat. Az óceánok feletti többnyire tiszta levegő kiválóan alkalmas a mérések elvégzésére.)

A térerősség helytől való függetlenségét *Appleton*, az ionoszféra egyik felfedezője, az ionoszféra jelenlétének tulajdonította.

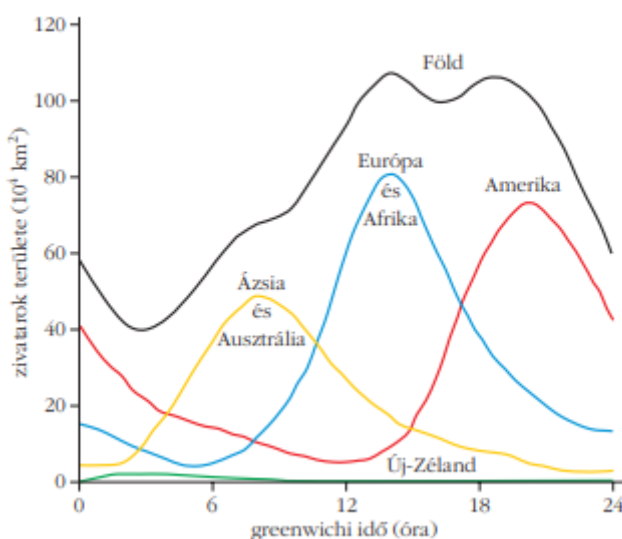
A 27. ábráról leolvasható, hogy a térerősség a maximumát a greenwichi idő szerint este hét órakor, minimumát pedig hajnali négy órakor veszi fel.

A mérések alapján a Föld összesített zivatar-tevékenységének menete is



27. ábra

A "szép idő zónában" a térerősség napi alakulása



28. ábra

A zivatar-tevékenység globális eloszlása az idő függvényében

(28. ábra) ennek megfelelően alakul. A 28.ábrán egyértelműen látható, hogy a Föld zivatar-tevékenységében meghatározó szerepe van Afrika és az amerikai kontinens egyenlítői területeinek. Amikor ezeken a területeken a legtöbb, illetve legkevesebb zivatar alakul ki, a Föld összesített zivatar-tevékenysége akkor éri el maximumát, illetve a minimumát. (Tasnádi, 2021; Harrison, 2013). A két esetben az adatok korrelációja igazolja, hogy amikor az ionoszféra és a földfelszín között az elektromos térerősség a legnagyobb, zivatar-tevékenység akkor a legintenzívebb.

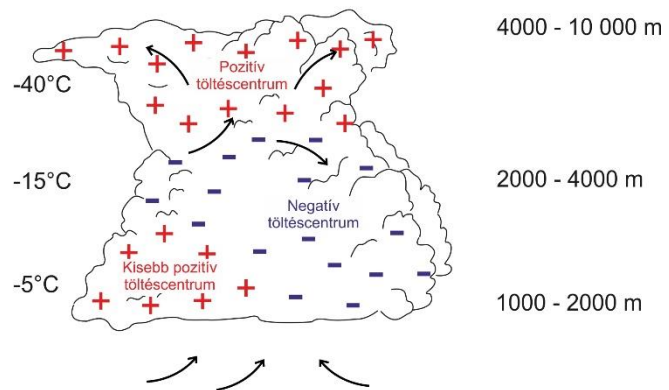
#### *A levegő vezetőképessége*

A légkör alsóbb rétegeiben a gázok semleges atomok, vagy molekulák formájában fordulnak elő, ezért ott a levegő szigetelőként viselkedik. A felszín közelében, a földkéregben található radioaktív anyagok sugárzásának köszönhetően, a levegőben előfordulnak ugyan csekély számban szabad elektronok (1 cm<sup>3</sup> levegőben 10 db szabad elektron), de ez önmagában még nem elegendő ahhoz, hogy a levegő vezetővé váljon. A levegő mindig tartalmaz „szennyeződések” (finom porszemekhez hasonló talajrészecskéket, vagy tengervíz-cseppekből visszamaradó NaCl kristályokat stb.), amelyek a levegőben lebegve feltöltődnek. Ezeknek a levegőben található, lassú mozgású nagy ionoknak a száma időben és térben nagyon eltérő lehet. Ők okozzák a levegő vezetőképességének változékonyságát (Cooray, 2015). A felszíntől távolodva a légköri vezetőképesség alakulását a naptevékenységből származó töltött részecskék, valamint a kozmikus sugárzás határozza meg. A kozmikus sugárzás hatására keletkező kicsiny ionok sokkal mozgékonyabbak, mint a „szennyező” magként megjelenő nagy ionok. A magassággal ugrásszerűen megnő a levegőben az ionok és a töltött részecskék száma, ami a vezetőképesség rohamos növekedéséhez vezet (Gurevich et al., 2005). Ennek egyik oka a kozmikus sugárzás okozta ionizáció fokozódása, másik pedig az, hogy a levegő sűrűségének csökkenése következtében megnő az ionok szabad úthossza. Kb. 50 km-es magasságban a légkör vezetővé válik.

#### *Töltésszétválás a zivatarfelhőben*

A zivatarfelhő (Cumulonimbus) feltűnő megjelenésű, könnyen felismerhető felhőtípus. Mind vízszintes, mind függőleges irányban nagy kiterjedésű, sötét színű felhő, amely kisebb zivatarcella esetén is kb. 20 millió tonna levegőt, 100–300 ezer tonna vízgőzt és nagyjából ugyanennyi folyadékvizet tartalmaz különböző formákban. Függőlegesen

10-12 km magas, oldalról toronyszerű, hegységre emlékeztető felépítésű, míg a felhőtető jellemzően ellaposodó, üllő alakban szétterülő. Kialakulását a Föld felszínének felmelegedése miatt létrejövő nagy intenzitású konvekció okozza, amely egyben meghatározza a felhő elektromos szerkezetét is. Létrejöttét heves záporok, mennydörgés és villámlás kíséri.



29. ábra  
Töltéseloszlás a zivatarfelhőben

Ez utóbbit a zivatarfelhő töltéseloszlása határozza meg, melynek egyszerűsített, de a lényegét kifejező változatát szemlélteti a 29. ábra. A kutatók a 20. század elején kezdték vizsgálni a felhők elektromos tulajdonságait, először megszületett a „felhő-dipól” elképzelés, amelyet később tripólus szerkezetté egészítették ki. Ma már ballonos mérések adatai alapján egyértelműen tudjuk, hogy valóságban a helyzet ennél sokkal bonyolultabb.

A felhőfizikai kutatások következő, zivatarfelhőkkel kapcsolatos nagy kérdése a töltések keletkezésének magyarázata volt. A folyamatra kielégítő választ még nem sikerült adni. A jelenleg leginkább elfogadott elmélet szerint a zivatarfelhő töltéseloszlását nem az elektromos térerősség, hanem a könnyű jégkristályok és a nagyobb graupelek (nagy jégzemcsék) ütközése, valamint a felhőben lévő túlhűlt víz mennyisége határozza meg. Kutatók laboratóriumi mérésekkel igazolták, hogy a felhőelemek ütközése után a részecskék töltésének előjele hőmérsékletfüggő. (Tasnádi, 2021; Bartholy et.al., 2013). Ütközés után a lefelé eső graupelek töltése  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérsékleten negatív, a kisebb jégkristályoké pedig pozitív lesz. A  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál magasabb hőmérséklet-tartományban a töltések éppen ellenkező módon alakulnak, a nagy graupelek töltése lesz pozitív és a kicsiny jégkristályoké negatív. Az elmélet ezzel magyarázatot ad a kritikus  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on létrejövő negatív töltésfelhalmozódásra, így a felhő negatív töltéscentrumának, valamint a fölötte elhelyezkedő pozitív tartomány kialakulására is (29. ábra). A felhőben zajló légáramlások miatt a zivatarfelhő töltéseloszlása a fenti egyszerűsített képnél azonban valójában sokkal összetettebb. Mindenesetre az megállapítható, hogy a zivatarfelhő töltéseinek jelentősebb része a felhő negatív hőmérsékletű tartományában található. Az alsó pozitív góc ehhez képest

elhanyagolhatóan kicsi, ezért a zivatarfelhő alatt bekövetkező eseményeket a negatív töltéscentrum határozza meg.

#### *A villámok keletkezése*

Ma már tudjuk, hogy a villámok rövid idejű, mégis bonyolult időbeli lefolyású elektromos kisülések, amelyek a felhőkben kialakuló ellentétes töltésű tartományok, illetve a felhő és a föld közötti átütések következményei. Normál körülmények között ( $10^5$  Pa és 293K) a levegő kiváló szigetelő, átütési szilárdsága a tengerszinten 3 MV/m. (A magasság növekedésével csökken az értéke.) Ez azt jelenti, hogy ha az elektromos térerősség meghaladja ezt az értéket, akkor a levegő vezetővé válik, különböző kisülési jelenségek jöhetnek létre benne. Ilyenek a villámok is. A tapasztalat szerint azonban a felhőkben ekkora térerősség sosem mérhető, ugyanakkor villámok ettől már jóval kisebb térerősség (200 kV/m) esetén is keletkezhetnek. A helyzet fizikailag teljesen érthetetlennek tűnik. A magyarázatra többféle elmélet született, míg végül a ma leginkább elfogadott nézet szerint a jelenség oka a kozmikus sugárzásban keresendő (Gurevich et al., 2005). A kozmikus záporban keletkező relativisztikus elektronok a levegő molekuláit ionizálják, ezzel megnövelik annak vezetőképességét. A nagyenergiájú elektronokból álló lavina nagy számban kelt lassú elektronokat is, ami tovább növeli a töltéshordozók számát. A két folyamat együttes hatása az átütési szilárdság jelentős mértékű csökkenéséhez vezet. Gurevich elméletét azzal támasztotta alá, hogy kísérletileg ellenőrizte a kiterjedt kozmikus záporok bekövetkezésének és a villámcsapások keletkezésének időbeli egyezését.

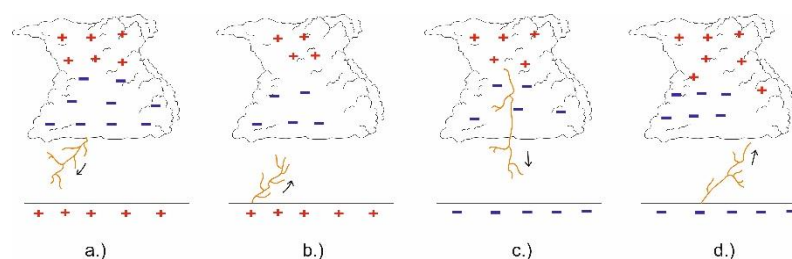
A villámok keletkezésének magyarázatára több elmélet is született (Bewley, 1951; Hill, 1957; Kasemír, 1960), ezek közül a jelenleg legelfogadottabb a Kasemír-féle elgondolás. Ő a tripólusú zivatarfelhő-modellből indult ki és a töltéseloszlás miatt létrejött potenciálfüggvényeket felírva, az elektrodinamika törvényeit különböző peremfeltételek mellett alkalmazva vizsgálta a villámcsatorna kialakulását felhőn belüli és negatív lecsapó (felhő föld) villámok esetén (Kasemír, 1960). Kasemír úgy gondolta, hogy a zivatarfelhő töltéscentrumai között kialakult elektromos mezőben, a potenciálkülönbség hatására kétirányú vezetési folyamat, ún. bipoláris vezető jön létre. Az ütközési ionizáció során keletkező, nagyon gyorsan mozgó szabad elektronok a pozitív töltéscentrum felé (felfelé), míg a pozitív töltésű ionok a felhő negatív töltéstartományának irányába (lefelé) vándorolnak. A bipoláris vezető a létrejöttét követően folyamatosan mindkét irányba terjed, mivel a vezető csúcsainál, a nagyon erős

helyi elektromos térerősségnek köszönhetően kisülések jönnek létre (Almeida and Visacro, 2023). A kisülések következtében a vezető felső részében a pozitív, míg az alsó felében a negatív töltések lesznek túlsúlyban. A lefelé (a föld felé) haladó alsó ágat ezért gyakran nevezik negatív vezetőnek. Ahogy a lefelé haladó negatív vezető közeledik a felszín felé, a benne mozgó töltések elektromos tere egyre nagyobb mértékben járul hozzá a zivatarfelhő által létrehozott elektromos mezőhöz, ezzel jelentősen megnöveli az elektromos térerősség lokális értékét. A felszínhez közeli régióban az elektromos mezőt még egy vastag, ún. koronaréteg is befolyásolja, amely a zivatarfelhő töltésmegosztó hatása miatt jön létre. Ahogy a negatív vezető közeledik a felszín felé, a lépcsős vezető egyre erősödő terének hatására fokozódik a terepi tárgyakon a csúcshatás. Amikor az elektromos mező térerőssége meghalad egy kritikus értéket, akkor pozitív csatoló vezető indul a lefelé mozgó lépcsős vezető felé. (A lépcsős vezetővel szemben itt egyirányú a folyamat.) A két vezető összekapcsolódásakor jön létre a visszacsapás, amely pozitív töltést szállít a föld felszínéről a felhőbe (Almeida and Visacro, 2023).

#### *A villámok csoportosítása*

Villámok keletkezhetnek felhő és a környező levegő között, felhőkön belül, két felhő között, illetve felhő és a Föld felszíne között is. Ennek megfelelően a négy csoport: CA felhő-levegő, IC-felhőn belüli, CC felhő-felhő, és CG felhő-föld villám. Ezek közül a leggyakoribbak a CC villámok (a mérsékelt égövben az esetek kb. 70 %-ában fordulnak elő), és mindössze az összes villám kb. 30 %-át adják a CG kisülések. (Horváth, 1997) Ezek az adatok természetesen a földrajzi hellyel változnak.

A felhő-föld villámokat tovább csoportosíthatjuk a villám kiindulási helyének és a benne szállított töltés előjelének megfelelően. Ezeket a típusokat szemlélteti az alábbi ábra:



30.ábra

A lecsapó villámok csoportosítása

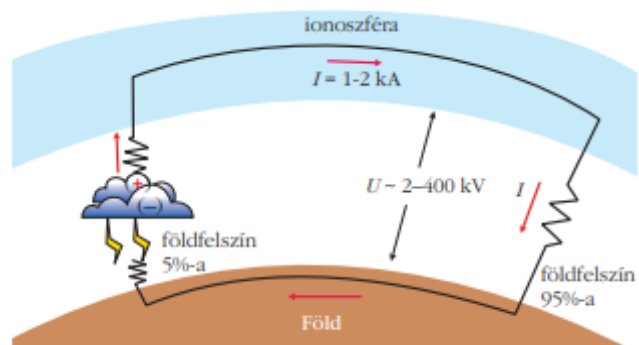
- a. *negatív felhő-föld villám*    b. *pozitív föld-felhő villám*  
 c. *pozitív felhő-föld villám*    d. *negatív föld-felhő villám*

A pozitív villámok jóval ritkábban fordulnak elő, mint a negatív villámok. Sík terepen az előbbiek előfordulási gyakorisága 30%, míg az utóbbiaké 70 % (vagyis minden 10 villámkisülés közül 3 pozitív és 7 negatív töltést szállít). A megfigyelési hely geometriai jellemzői ezeket az értékeket természetesen módosíthatják. A villámadatokból az is megállapítható, hogy a pozitív villámok leggyakrabban egyetlen főkisülésből, míg a negatív kisülések több részvillámból állnak. (Horváth,1997) A különböző polaritású villámok jelentősen eltérnek fizikai tulajdonságaikban is.

*Az elektromos áram*

*A nagy légköri elektromos áramkör*

A tapasztalat szerint a Föld negatív töltésű és mintegy 50 km magasságban ionokból álló réteg, (ionoszféra) veszi körül, amelynek eredő töltése pozitív. Mind a földfelszín, mind az ionoszféra jó vezetőnek tekinthető, így a két réteg hatalmas gömbkondenzátort alkot, amelynek feszültsége jó



31.ábra

A nagy légköri elektromos áramkör

közelítéssel 2-400 kV. Ezt a kondenzátort levegő tölti ki, amely ilyen nagy feszültség mellett rossz szigetelő. Bár az ionoszférától a felszín felé folyó áramsűrűség átlagos értéke rendkívül kicsi, mégis a teljes földfelszínre számítva  $1 - 2 \cdot 10^3 \text{ A}$  erősségű, nagyjából állandó nagyságú áram adódik. A felszín felé áramló pozitív töltések a Föld negatív töltését kb. fél óra alatt semlegesítenék. A probléma megoldását *C.T.R. Wilson*, a Nobel-díjas skót fizikus és meteorológus találta meg Wilson egyszerű áramkört képzelt el a talaj és az ionoszféra között (31. ábra). Alapgondolata szerint a Föld és az ionoszféra által alkotott hatalmas kondenzátor lemezeit a zivatarok villámai folyamatosan újratöltik. A zivatarokban zajló állandó töltésszétválás miatt pozitív töltések áramlanak a felhőtetőtől az ionoszféra felé, a felhő föld villámok az esetek többségében pedig negatív töltéseket szállítanak a földre. Ez a folyamat tartja fenn a nagy légköri áramkör nagyjából állandó áramát. Az 31. ábra áramköre a felhőmentes „szépidő zónákat” egyetlen ellenállással, a zivataros területeket pedig egyetlen generátorral helyettesíti. A „szépidő zónák”, kiterjedése bármely időpillanatban sokkal nagyobb, mint a zivatarosaké. (A zivataros területek nagysága a teljes földfelszín nagyjából 4-5 %-a, míg a „szépidő zónáké 95-96%). (Tasnádi, 2021; Cooray, 2015)

### A villámok tulajdonságai

A szakirodalomban a villámok számos jellemzője közül az alábbi négynek különös fontosságot tulajdonítanak a kutatók:

- a *villámáram csúcsértéke* a becsapási pontban,
- a becsapási ponton *kiegyenlítő töltésmennyiség*,
- az áramhullám kezdeti felfutó szakaszán fellépő úgynevezett *árammeredekség*, amely azt mutatja meg, hogy az áramerősség 1 mikroszekundum alatt hány kiloamperrel változik (ez a mágneses tér változásán keresztül az indukált elektromos teret szabja meg),
- a *fajlagos energia*, ez az energia a villámáram hatására az 1  $\Omega$  ellenálláson felszabaduló energiát jelenti, így a villámok több káros hatása szempontjából is kiemelkedő jelentőségű (Horváth, 1997)

Ezek határozzák meg döntően a villámkárok típusait és súlyosságát.

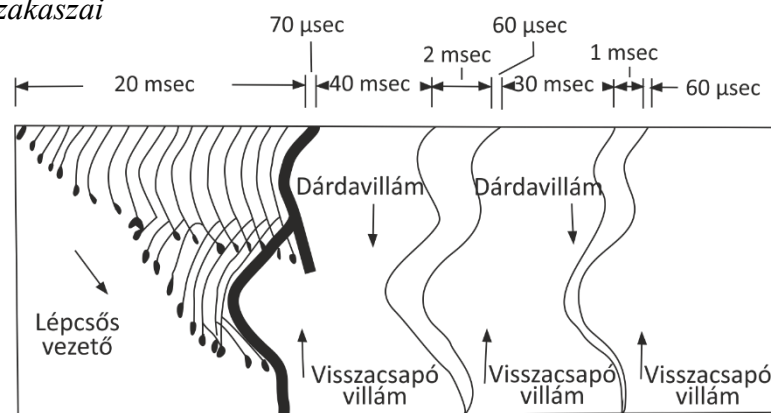
A jellemző érték	A villám polaritása és a kisülés, amire vonatkozik	50 % medián	10 %	5 %	1 %
			gyakorisággal nagyobb, mint		
A villámáram csúcsértéke (kA)	-első részvillám	33,3	72,3	90,0	135,9
	-ismételt részvillám	12,0	25,0	30,8	45,4
	+összes részvillám	35,0	166,0	258,0	590,0
Kiegyenlítő töltés (C)	-áramlöké	5,2	17,3	24,3	46,0
	-teljes villám	7,5	27,6	40,0	80,0
	+áramlöké	16,0	82,7	131,6	315,9
	+teljes villám	80,0	252,5	350,0	644,7
Meredekség (kA/ $\mu$ )  maximum átlagos érték	-első részvillám	13,2	26,2	31,8	45,9
	-ismételt részvillám	40,0	118,4	161,0	286,7
	+összes villám	2,4	18,1	30,4	93,6
	-ismételt részvillám	20,0	69,1	98,3	190,0
Fajlagos energia (MJ/ $\Omega$ )	-teljes villám	0,055	0,32	0,53	1,30
	+teljes villám	0,650	7,90	16,00	60,00

9.táblázat A villámcsapás jellemzői (Horváth, 1997)



Az egyes villámok adatai még azonos polaritás esetén is nagyon eltérőek lehetnek, akár nagyságrendekkel is különbözhetnek, ezért a szakirodalomban az egyes tulajdonságokhoz olyan mediánértéket rendelnek, melynek előfordulási gyakorisága 50% (9.táblázat). (Ugyanakkor a ritkábban tapasztalható értékeket is feltüntetik, hiszen pl. a villámok káros hatása szempontjából a nagy villámáramok a meghatározóak.) Egy átlagos negatív felhő föld villám esetén a vezető csatorna létrejöttéhez kb. 250 kV/m, a terjedéséhez 100 kV/m térerősség szükséges, a fővillámban  $I_{\max} = 30 \text{ kA}$ , a villámcsapás nagyjából 130–300 ms alatt zajlik le és a visszacsapásban a földre jutó negatív töltés kb.  $Q = 5C$ .

#### A villámlás szakaszai



32.ábra

A villám időbeli lefutásának sematikus rajza

Uman [76] nyomán

A villámok időbeli lefutásának megismerését a Boys által, a 19.század végén feltalált gyorsfényképező kamera tette lehetővé. (Tom A. Warner villámkutató felvételei alapján <https://ztresearch.blog/> ma már bővebb információhoz juthatunk egy átlagos villám időbeli lefutásával kapcsolatban.) A felvételek megmutatják a villámok időbeli lefutásának jól elkülönülő szakaszait.

Ezek általában a következők:

1. Elővillám (átütés a felhőalap ellentétes előjelű tartományai között) és a felhőn belüli, két irányban terjedő vezetőcsatorna kialakulása,
2. lépcsős vezetés létrejötte a felhőn belül,  
(az elnevezés eredete, hogy a vezető csatorna nagyon rövid ideig tartó lépcsőfokokhoz hasonló felvillanásokban terjed, a felvillanások között 10–100 µs idő telik el),

3. a lépcsős vezetés megindul a föld felé, ugyanakkor vele egyidejűleg a vezetési csatorna másik része pozitív töltést szállít a felhő negatív töltésközpontja felé,
4. a lefelé gyorsan mozgó töltések ionizálják, így vezetővé teszik a levegőt, és kialakul a villámcsatorna,
5. a lefelé haladó vezetési csatorna megosztó hatásának és a földön található hegyes objektumok körüli csúcs hatásnak köszönhetően a földről ún. csatoló vezető indul a felhő felé,
6. amikor a felhőből lefelé és a földről felfelé tartó vezetési front összekapcsolódik, létrejön az első "visszacsapás". Ekkor a villámcsatorna felfénylik, a vezetési csatorna hirtelen felmelegszik, kitágul, lökéshullámot generál a környező levegőben. Ez az oka a mennydörgésnek.
7. A visszacsapó front eléri a felhőt, a villámlás egy pillanatra megszűnik, de megmarad az ionokkal teli villámcsatorna,
8. megindul az első dárda (gerely) villám a föld felé (A dárдавillám a felhőn belül ott keletkezik, ahol a vezetési csatorna megszakadt, de a visszacsapó villám a lépcsős vezetés során kialakult, még forró csatornát helyreállítja. A dárдавillám ebben a csatornában halad megszakítások és újabb ágak létrehozása nélkül.) A dárдавillám nevét az egyenes terjedésről kapta.
9. Megindul a második visszacsapás,
10. a dárдавillám-visszacsapó villám kialakulási folyamata többször ismétlődik (Cooray, 2015).

*Mágneses mező, elektromágneses indukció*

*A villámok elektromágneses tere*

A villámok elektromágneses tere általában sztatikus, sebességi és sugárzási mezőből tevődik össze.

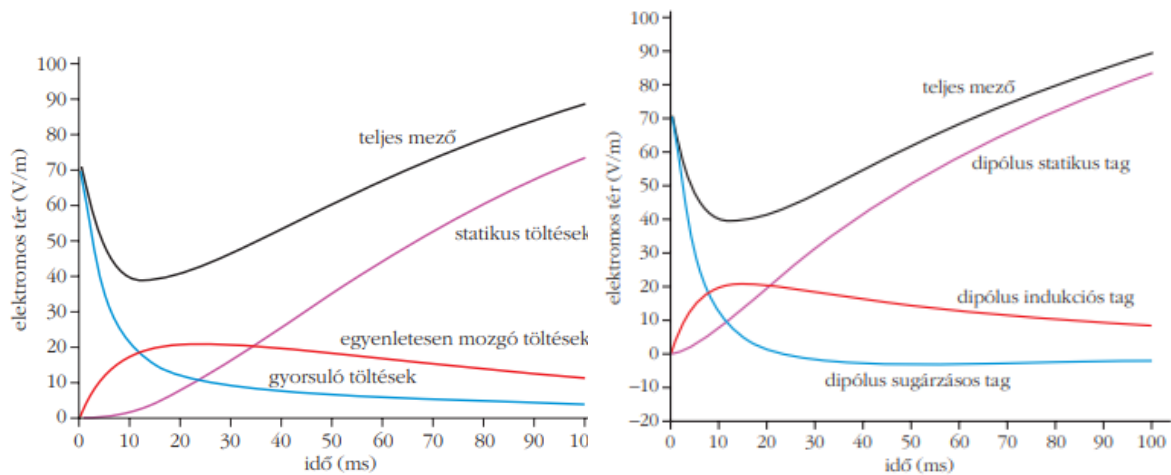
A *sztatikus tér* leírására a Coulomb –féle mezőt használjuk. A hozzánk képest nyugvó pontszerű töltés esetén ez a jól ismert  $\mathbf{E} = k \frac{Q}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$  (ahol  $E$  az elektromos térerősség,  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ ,  $Q$  a pontszerű töltés nagysága,  $r$  a töltéstől mért távolság) alakot ölti, a tér szerkezete gömbszimmetrikus. A sztatikus töltések mágneses mezőt nem keltenek maguk körül. Ha a pontszerű töltés állandó sebességgel mozog, akkor Coulomb mezője ennek megfelelően változik, a tér szerkezetének gömbszimmetriája pedig torzul. A kétféle Coulomb-mező megkülönböztetésére az utóbbit *sebességmezőnek* vagy *indukált*

*Coulomb-mezőnek* nevezzük. *Mágneses mező* csak akkor jön létre, ha a töltés állandó sebességgel mozog, vagy gyorsuló mozgást végez, ezért a mágneses mező ún. sebességmezőre és sugárzási mezőre bontható. Az elektromágneses mezőt alkotó sztatikus térnek  $1/r^2$  és  $1/r^3$  szerint változó komponense is van, míg a sebességi mező  $1/r^2$ -tel változik, ahol  $r$  a villámcsatornától való távolság. A *sugárzási mezőt* a gyorsuló töltések hozzák létre. A sugárzási mező egy  $1/r$  és egy  $1/r^2$ -es tagból áll. Ennek érdekessége, hogy mindkét tag tud energiát szállítani egyik helyről a másikra. A különbség mindössze annyi, hogy míg az  $1/r$ -es tag a távoli sugárzási mezőt írja le, addig az  $1/r^2$ -es tag a villámcsatorna közelében levőt (Cooray, V. and Cooray, G. 2019).

A villámok elektromágneses terének *mérésére* a kutatók kétféle módszert alkalmaznak: az egyik esetben nagy időfelbontásban mérik az elektromágneses mezőt (az  $\mathbf{E}(t)$  függőleges és vízszintes komponensét, valamint az indukált mágneses mezőnek az időbeli lefolyását  $\mathbf{B}(t)$ ), majd Fourier transzformációt alkalmaznak a spektrum meghatározásra. Ekkor a méréseket egyetlen villámesemény során végzik. A másik módszer alkalmával különböző frekvenciákra hangolt rádióvevőkkel az adott frekvenciákon mérik a villámlás spektrális amplitúdóját. Ez utóbbi eljárás hátránya azonban, hogy az így mért adatok az egész villámkisülést (lépcsős vezető, visszacsapások stb.) jellemzik, az egyes villámesemények nem választhatók szét. A mérést követően ugyanúgy Fourier sorfejtést alkalmaznak, mint az első esetben (Cooray, V. and Cooray, G. 2019).

A villámok elektromágneses terének egzakt leírására a szakirodalomban többféle *elméleti modell* ismert. Ezekben kísérleti adatokhoz illesztett áram-idő függvényekre alapozva az elektrodinamika alaptörvényei alapján (Maxwell-egyenletek) meghatározzák az elektromágneses mezőt jellemző  $\mathbf{E}(t)$ ,  $\mathbf{B}(t)$  függvényeket. A modellek többsége a visszacsapó villámhoz illeszkedik, mert döntően az határozza meg a villám terét. A leggyakrabban alkalmazott modellek a gyorsuló töltéssel történő leírást vagy az antennák elméletében használatos rövid dipólokkal való közelítést használják (Cooray, V. and Cooray, G. 2019). Az utóbbi esetben a villámcsatornát felosztják kis áramelemekre, melyek terét rövid dipólokkal írják le. A teljes villámcsatorna elektromágneses mezőjének meghatározásakor az egyes áramelemek elektromágneses mezőit jellemző mennyiségeket összegzik a teljes csatorna hosszában. Mindkét modell típussal jól leírható a villám elektromágneses mezője, de az összetevő komponensek fizikai interpretációja csak a gyorsuló töltéses modell esetén illeszkedik a villámban lezajló folyamathoz. A gyorsuló töltésre, illetve a rövid dipóltra felírt mezőegyenletek ekvivalenciája az

egyenletek megoldásának pusztán matematikai átalakításával igazolható, amely azt bizonyítja, hogy a dipóltechnika valóban alkalmazható a villámok elektromágneses terének leírására. Ezt az



33.ábra

Az elektromos mező időfüggése a két különböző módszer alapján

(a baloldali ábra: gyorsuló töltés mezőjét vizsgálva, a jobb oldali ábra: a dipóltechnika alapján)

(Cooray, 2019 nyomán [16])

ekvivalenciát az alábbi grafikon is kiválóan szemlélteti, melyen a villám által keltett elektromágneses mező egyes komponensei és a teljes mezőt jellemző függvények láthatók a gyorsuló töltés módszerének, illetve a dipóltechnikának az alkalmazásakor.

(A grafikon az elektromágneses mező egyes komponenseit a villámcsatornától 5 km távolságban, 12 kA -es villámáram esetén szemlélteti, ha a visszacsapó áram sebessége  $1,5 \cdot 10^8$  m/s) Az ábra tükrözi a korábban említetteket, hogy bár az egyes tagok eltérnek a különböző módszerek esetében a teljes mezőt jellemző függvények megegyeznek. Mindkét leírás matematikailag messze meghaladja a középiskolai szintet. Ráadásul a dipól közelítésből adódó tagok, bár összegük megadja a mért teret, fizikai jelentése nem egyértelmű.

#### Elektromágneses sugárzás

A villámcsatorna nagyon széles frekvenciasávban, a néhány hertzes frekvenciáktól, a rádióhullámok, az optikai tartományon keresztül a lágy gamma sugárzásig ( $10^{19}$  hertzes frekvenciáig) bocsát ki elektromágneses sugárzást. A sugárzás hullámtartományait eltérő mechanizmussal magyarázhatjuk (Walker,2015).

A villámspektrumnak a nagyon alacsony frekvenciás összetevői, az ELF (Extreme Low Frequency, 3 Hz – 3000 Hz) tartományba esők, kis csillapodással nagy távolságra jutnak el. E hullámok a jól vezető ionoszféra és a tökéletes vezetőnek tekinthető földfelszín közötti térrészben a Föld kerülete mentén haladnak körbe, önmagukkal interferálva olyan állóhullámokat (más néven elektromágneses rezonanciákat) hoznak létre, melyekhez tartozó hullámhossz a Föld kerületének osztója (7. ábra). E rezonanciákhoz a Maxwell-egyenletekből a peremfeltételek figyelembevételével meghatározható frekvenciák tartoznak (kb. 8, 14, 20, 26 Hz stb.). Ezeket nevezzük Schumann-rezonancia (SR) frekvenciáknak. a Föld különböző helyein másodpercenként 40-100 villámlás zajlik. Ezek jelentik a SR-ek gerjesztő forrásait. Adott időpillanatban mindegyikük létrehoz egy SR-mezőt, így az összetett mező szerkezete valójában nagyon bonyolult. Mivel az egyes villámeseményekhez tartozó frekvenciák minden villámlás esetén ugyanazok, a frekvenciákra hangolt vevőkkel ezek a frekvenciák különválaszthatók, így lehetőség nyílik a villámtevékenység feltérképezésére. A SR-tranziensek vizsgálatával a zivatarfelhők felett lejátszódó felsőlégköri, igen rövid időtartamú, elektro-optikai emissziók (például vörös lidércek, gyűrűlidércek, óriás nyalábok) rejtelseinek megfejtéséhez is közelebb juthatunk (Sátori, 2009; Sátori,2011; Bór, 2010; Bozóki,2017)

*A rádióhullámok* a villám hatalmas antennaként történő működésével közelíthetők. (Az antenna modellre és a sugárzás rádióhullámú tartományára dolgozatom 3.1.4 fejezetében már kitértem.) Ha ennek segítségével megbecsüljük a villámcsatorna által kibocsátott sugárzás frekvenciáját, akkor valóban olyan értékeket kapunk, amelyek megjelennek a villámok elektromágneses sugárzásában. Az igazsághoz azonban az is hozzátartozik, hogy a villámcsatorna antenna-közelítése nem teljesen helytálló, mivel az antennában, mint elektromágneses rezgőkörben lejátszódó jelenségek periodikusak, míg a villámcsatornában létrejövő kisülések nem.

*Az optikai tartomány* (a látható fény) azzal magyarázható, hogy a felforrósodott villámcsatorna környezetében a levegő ionizálódik. Az ionizáció során a levegő atomjai, molekulái gerjesztődnek, ennek megszűnésével pedig rájuk jellemző, karakterisztikus sugárzást (fényt) bocsátanak ki. A villámok látható színét a gerjesztett atomok, molekulák anyagi minősége határozza meg, de számos légköri tényező befolyásolja: például a levegő nedvességtartalma, a levegőben található szennyező részecskék, illetve a villámcsatorna és a megfigyelő közötti távolság. Ha nagy mennyiség vízgőz található a levegőben, akkor a villámlás színe vörösesbe hajlik. A kékes színű villám nagy mennyiségű jégesőre utal,

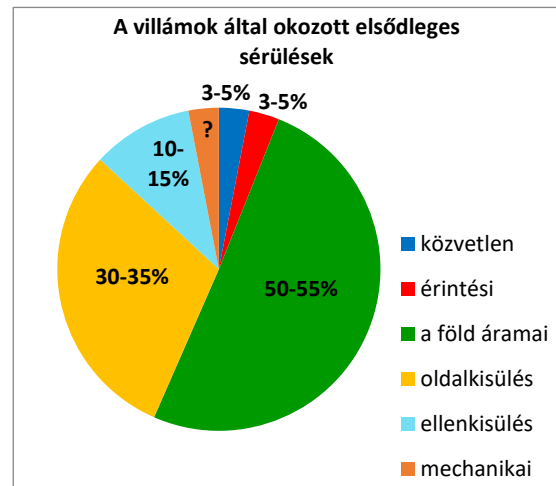
a villámok lila vagy lilás árnyalatú színeit is a magas légköri páratartalom okozza. A meglehetősen ritkán előforduló sárga színt a levegőben lévő magas porkoncentráció okozza. A színek vizsgálata nemcsak a levegő összetételének tanulmányozására ad lehetőséget, hanem segítségével a villámcsatorna hőmérséklete is megállapítható.

A földi gamma felvillanások, vagy a tudományos világban elterjedtebb elnevezésük szerint a TGF-k (*terrestrial gamma-ray flashes*), a villámok által keltett legnagyobb energiájú elektromágneses jelek. A kutatók szerint ezek akkor jönnek létre, amikor a zivatarok hatására generált erős elektromos térben a töltött részecskék felgyorsulnak és relativisztikus sebességgel mozgó gyors, ún. "szökő" elektronokat hoznak létre. Alekszandr Gurevich orosz fizikus már a múlt század kilencvenes éveiben a villámok keletkezését is a kozmikus záporok gamma sugárzása által keltett gyors elektronokkal értelmezte. Az azonban nem volt ismert, hogy maga a villámlás is kelt gammasugárzást, bár ezt *C. T. R. Wilson* már 1924-ben megjósolta. Wilson rájött arra, hogy a "szökő" elektronok a levegő atomjaival, molekuláival való ütközések során veszítenek energiájukból és további ionokat keltenek. Az ionizáció során gyors és lassú elektronok, valamint pozitronok is keletkeznek. Az elektronok és pozitronok reakciója gamma-sugárzást is kiválthat. A gammasugárzás mellett az elektronok hirtelen lefékeződése miatt *röntgensugárzás* is keletkezik. A folyamat részleteiben még a mai napig sem teljesen ismert, de annyi egészen bizonyos, hogy a keletkezett röntgen- és gammasugárzásért a szökőelektronok a felelősek. Ezeket a sugárzásokat először 1994-ben sikerült detektálni, a Föld körül keringő Compton Gamma Ray Observatory-n. Mivel a keletkezett röntgen- és gamma-sugárzás földfelszín felé haladó részét a légkör elnyeli, a sugárzás tanulmányozásában jelentős előrelépést jelentett, amikor 2018 áprilisában pályára állították az ASIM (Atmosphere-Space Interactions Monitor) nevű űrállomást, amely mérőműszereinek segítségével lehetőség nyílt TGF-ek széleskörű vizsgálatára.

## A villámok hatásai

### Az elsődleges hatások

Cooper és kutatótársai több száz villámok által okozott balesetet vizsgált meg. (Cooper and Holle, 2019; Cooper et al. 2016) Az esettanulmányokból készített diagram (34.ábra) alapján leolvasható az elsődleges hatások előfordulásának százalékos eloszlása.



34. ábra  
Az elsődleges hatások százalékos megoszlása

### A közvetlen villámcsapás

Közvetlen villámcsapásról akkor beszélünk, ha a villám az áldozatba csap. Ilyenkor a villámáram általában az ember fején vagy felső testén keresztül jut be a testbe és a lábán keresztül hagyja azt el. Az emberi test ekkor fizikai szempontból elektromos vezetőnek tekinthető, amelynek elektromos ellenállása miatt a fej és a láb között potenciálkülönbség alakul ki. Villámcsapáskor az ember testén átfutó áram a visszacsapó áramhoz hasonlóan viselkedik. (Visszacsapásról akkor beszélünk, amikor a felhőből lefelé és a földről felfelé tartó vezetési front összekapcsolódik. A folyamat során fellépő áram a visszacsapó áram.) Az áramerősség alacsony értékről hirtelen emelkedik, eléri csúcsertékét, majd gyorsan lecseng. A villámáram növekedésével az emberi test pontjai közötti feszültség is növekszik. Amikor test pontjai között a feszültség eléri egy kritikus értéket, akkor kisülés jön létre. Ez a kisülés a test külső felszínén, általában a bőrön figyelhető meg, mert ilyenkor a villámáram legnagyobb része már itt folyik és csak kis hányada a testen belül. (A folyamat a villám hőhatásánál részletezésre kerül.) Ennek köszönhetően alakulnak ki a jellegzetes ún. villámábrák is (35.ábra). Így amikor a visszacsapás létrejön a testen belül folyó kisebb áram már nem jelent akkora veszélyt az áldozatra nézve. Ha több visszacsapás is történik, akkor ez a folyamat többször ismétlődik. Ha nem alakul ki felszíni kisülés, akkor a teljes (kb.30 kA) villámáram átfolyik az ember testén, ami sokkal súlyosabb



35. ábra  
Jellegzetes villámábrák egy túlélő testén  
(a kép forrása: Wikipedia)

sérüléseket okoz. Ha nedves és sós az ember bőre, akkor csökken a felszíni kisülésekhez szükséges feszültség.

Az érintési feszültség

Érintési feszültségről akkor beszélünk, ha a földön állva olyan tárgyat érintünk meg, amelybe belesapott a villám (pl. egy fa, vagy vízvezeték). Ilyenkor a kéz, illetve a láb talajjal érintkező pontjai között potenciálkülönbség léphet fel, amely az ember testén keresztül kiegyenlítődik. Ez figyelhető meg a vízvezetékek, elektromos készülékek és vezetékes telefonok okozta balesetek hátterében is. Ezért nem szabad villámláskor még zárt épületen belül sem fürdeni, zuhanyozni, illetve a vezetékes telefont használni. A zárt épületben való tartózkodás hamis biztonságérzetet ad. Érintési feszültséggel kell számolnunk pl. hegymászás közben is, mivel a villámcsapás földáramai a talaj különböző magasságban lévő pontjai között potenciálkülönbséget idézhetnek elő.

A lépésfeszültség

Az újsághírek időnként beszámolnak arról, hogy állatokat pusztított el a “mennykő”(32. ábra). Az ilyen esetek előtt nagyon sokáig értetlenül álltak az emberek, hiszen az elpusztult állatokat megvizsgálva nem találtak rajtuk villámcsapás okozta sérüléseket. Ma már azonban ismerjük az állatok pusztulásához vezető okot. A magyarázat a közelben becsapó villám földárama következtében létrejött lépésfeszültségben keresendő. Amikor a villám a talajba csap, akkor a villámáram a lecsapási helytől kiindulva, izotróp és egyenletes talajt feltételezve, sugárszerűen terjed kifelé félgömbfelületek mentén. Ekkor ezeken a felületeken a villámáram eloszlása egyenletes. A lecsapási helytől  $r$  távolságban levő félgömbfelületen:

az áramsűrűség:  $J(t) = \frac{I(t)}{2\pi r^2}$ , ahol  $I(t)$  a

lecsapáskor a földbe jutott villámáram, e felületek bármely pontjában az elektromos térerősség  $E(t) = \frac{I(t)}{2\pi\sigma r^2}$ , ahol  $\sigma$  a talaj vezetőképessége. A lecsapási hely környezetében



36. ábra  
Villám sújtott le 32 tehénre Texasban  
(a kép forrása: Wikipedia)



37. ábra  
A villámáram nyomai egy golfpályán  
(a kép forrása: Wikipedia)



a talaj potenciálja pontról pontra változik. A legnagyobb értéket a lecsapási pontban veszi fel, attól távolodva pedig a távolság függvényében csökken a potenciál értéke, így a talaj két pontja között fellépő feszültség nő. Felhasználva, hogy  $U(r) = -\int_r^{r+s} E(t)dr$ , a feszültségre két egymástól  $s$  távolságban levő pont esetén  $U(r) = \frac{I(t)}{2\pi\sigma} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r+s} \right)$  adódik, mely maximális értékét akkor veszi fel, ha  $I(t) = I_{max}$  (Cooray,2015).

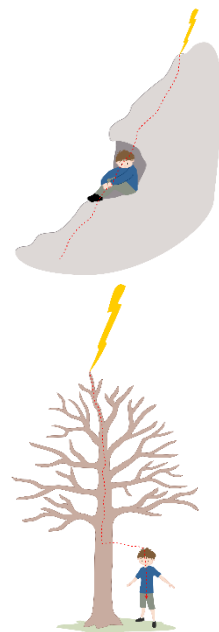
(Ha a két vizsgált pont az ember lépéshosszának távolságában van, akkor az így kialakult feszültséget *lépésfeszültségnek* nevezzük.) Ha a villámáram átlagos csúcsertékét 30 kA-nek, a lépéshosszt pedig 50 cm-nek tekintjük, akkor a lecsapási helytől 10 m távolságban a lépésfeszültség 22,7kV-nak adódik.

( $I_{max} = 30$  kA ;  $r = 10$  m ;  $s = 0,5$  m és  $\sigma = 0,001$  S/m , akkor  $U_{max} = 22,7$  kV.)

Ha két különböző potenciálon levő pontot vezetővel kötünk össze (pl., ha az ember vagy az állat két lába két ilyen különböző potenciálú helyen helyezkedik el), akkor a vezetőkön keresztül a potenciál kiegyenlítődik. Ez áramütést okozhat, ami akár az élőlények halálához is vezethet, attól függően, hogy az áram útvonala érint-e létfontosságú szerveket pl. szívet. Az ember esetében azonban ez ritkán jelent életveszélyt, inkább csak izomgörcsöt és égő érzést idéz elő. Sokkal veszélyesebb a helyzet nagy testű állatoknál, ahol az első és hátsó lábak közötti jóval nagyobb távolságnak köszönhetően a feszültség az emberi lépésfeszültségnek a többszöröse lehet

Az átívelés és az oldalkisülés

A talajban előforduló inhomogenitások felszíni kisülések kiindulópontjai lehetnek. Ha a terep jellegzetesen szabálytalan, mint pl. egy hegyoldal, akkor a felszínbe csapó villám hatására a talajban folyó kóboráram mentén ívkisülések jöhetnek létre (38.ábra). Ezek a kisülések szűk barlangban vagy kis szikla alatt menedéket keresve különös veszélyt jelentenek az ott tartózkodó ember számára. (6. kérdés).



38. ábra  
fent: átívelés  
lent: oldalkisülés

Az átívelés másik jellegzetes megjelenési formája, pl. magas fába csapó villám esetén észlelhető. A villámcsapáskor a fa közelében tartózkodó ember és a lombkorona között fellépő feszültség miatt a villámáram „átugorhat” az emberre és rajta keresztül juthat a földbe (38. ábra). Az így kialakult feszültség függ az ember magasságától, a villámcsatornától való távolságától, a csatorna sugarától és a villámáram időbeli változásától. (Cooray, 2015). A fa és az ember által alkotott áramkörben villámáram erős változó mágneses fluxusa feszültséget indukál. Az így létrejött indukált feszültség hozzáadódik az előbb már említett feszültséghez, ezzel növelve az „átugrás” valószínűségét. Ilyen kisülések zárt épületen belül is tapasztalhatók, ha az épület nem rendelkezik megfelelő villámvédelmi rendszerrel.

Az ellenkisülések

Villámláskor a lefelé haladó lépcsős vezető erős elektromos terének megosztó hatása miatt a földfelszín különböző pontjaiból felfelé tartó ellenkisülések jönnek létre (39. ábra). Ezek közül csak egy kapcsolódhat össze a lépcsős vezetővel és eredményezhet lecsapó villámot. (A csatoló vezető a levegő megnövekedett vezetőképességű tartományánál keletkezik). A lépcsős vezető közelében tartózkodó ember is lehet ilyen ellenkisülés forrása. A jelenség akkor léphet fel, ha a vezetési csatornától a lecsapási távolságnál nagyobb távolságra tartózkodik az egyén, ugyanis ellenkező esetben közvetlen villámcsapás éri őt. (Cooray, 2015)



39. ábra  
Ellenkisülés

Ellenkisüléskor az ember testén átfolyó áram erőssége akár a több száz amper, időtartama pedig a több tíz mikroszekundumot is elérheti. (Cooray, 2007) (39. ábra).

Bár ezek az értékek jóval kisebbek, mint ami közvetlen villámcsapáskor érheti az embert, hatását mégsem szabad alábecsülni, hiszen koordinációs problémákat és a végtagok átmeneti bénulását okozhatják.

*A másodlagos hatások*

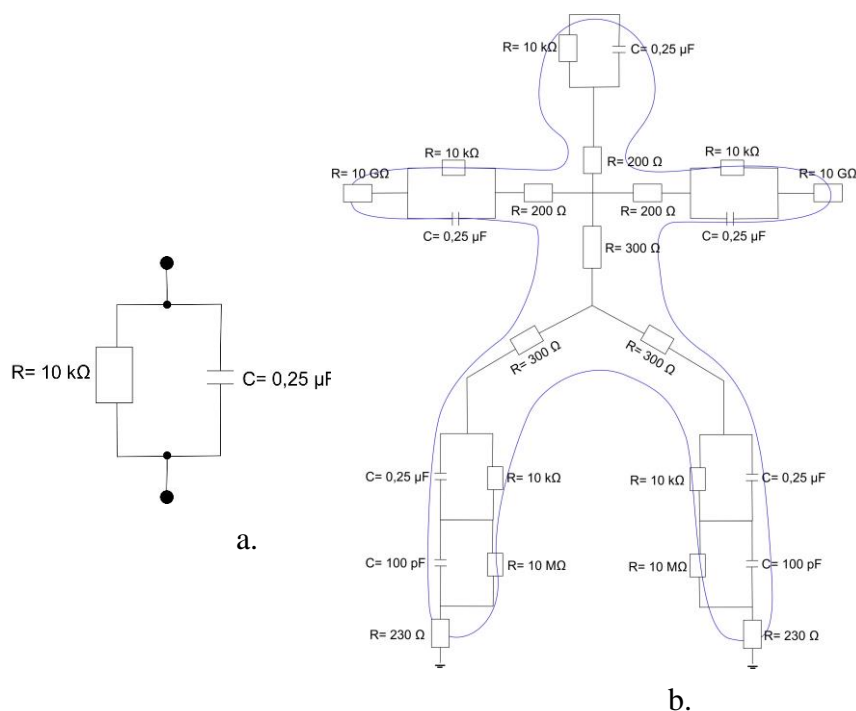
A villámok hatása a keringési-, a légző- és az idegrendszerre

A szokásos szemlélet a közvetlen villámcsapást tartja a legveszélyesebbnek, ami azonban a villámbaleseteknek mindössze 3-5 %-áért felelős. Ettől jóval jelentősebb a villámok elektromos hatása, amely elsősorban az emberi idegrendszert és a szervezet elektromos működését károsítja és a leggyakrabban vezet hirtelen szívmegálláshoz, emlékezetkieséshez, bénuláshoz. A gerjesztett sejtek, mint pl. a neuronok vagy az izomsejtek, polarizáltak. (Minden sejt belső része a külsőhöz képest negatív.) Ennek oka az ionok egyenlőtlen eloszlása a sejtmembrán két oldalán. Az ionoknak a sejtmembránon

keresztül történő mozgása okozza az akcióspotenciált. Az idegrendszerünk az akcióspotenciálon keresztül kommunikál a testünk többi részével. A legtöbb neuron axonnal (hosszú, vékony rosttal) rendelkezik, amely az elektromos impulzusokat közvetíti. Az axon más neuronokhoz, izomsejtekhez vagy mirigyekhez kapcsolódik, ahol választ vált ki. A villám a sejteket depolarizálva fejt ki hatását és változtatja meg az emberi idegrendszert és a szervezet elektromos működését irányító belső elektromos jeleket (Cooray, 2007)

A villám hőhatása

A villámok hőhatása miatt bekövetkezett sérülések jelentősen eltérnek azoktól, amelyeket nagyfeszültségű hálózatok áramütései esetében tapasztalhatunk. Annak ellenére, hogy a villámok sokkal nagyobb feszültség hatására jönnek létre, mint a hálózati nagyfeszültség, és a villámáram maximális értéke is jóval magasabb a nagyfeszültségű hálózatokban mérhetőnél, a villámáram hőhatása mégis kevésbé veszélyes az emberi szervezetre, mint a nagyfeszültségű áramkör áramai. Ennek egyik oka, hogy a villámáram rendkívül gyorsan halad át az ember testén, így a belső szöveteken való hőfejlődés igen csekély. Ezért villámcsapáskor a súlyos és mély égési sérülések ritkán fordulnak elő, inkább csak felszíni sérülésekről beszélhetünk (Cooper, 2016) A másik ok pedig, hogy közvetlen villámcsapáskor a villámáram jelentős része a test felszínén folyik és csak kis hányada azon belül. Ennek szemléltetésére és a folyamat tanulmányozására a kutatók különböző testmodelleket (testalkatot és egyéb speciális körülményt figyelembe vevő pl. járógép) állítottak fel. Egy-egy ilyen modellben a testrészeket vezetőképeségüknek megfelelően áramköri elemekkel helyettesítik.



40.ábra

Az emberi test leegyszerűsített elektromos modellje [80]  
 (a. a bőr modellje, b. az emberi test modellje)

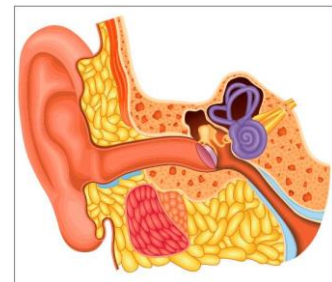
A bőr ellenállása tisztán ohmos ellenállással ( $10\text{ k}\Omega$ ) és vele párhuzamosan kapcsolt kondenzátorral ( $0,25\text{ }\mu\text{F}$  kapacitású) modellezhető. A bőr ellenállása nagyobb, mint az emberi test belső részeinek belső ellenállása. A modell alapján az is látható, hogy a test belső része nem tartalmaz kondenzátort, hiszen az jó vezető. A fej, a test belső részei (pl. has), mindkét kéz és mindkét láb, valamint a bőr eredő ellenállása adja test ellenállását. A modell helyességét Andrews és társai juhokon végzett kísérletek mérési adatait felhasználva igazolták (Arshad et al., 2018, Cooper, 2016).

A villámáram általában a fejen át jut be a testbe. A testen áthaladó áram növekedésével a test különböző pontjai között potenciálkülönbség lép fel, amelyet a test különböző részeinek ellenállása és kapacitása határoz meg. A villámáram növekedésével ez a feszültség is nő. A villámáram nagyon rövid ideig folyik a testen belül, ezalatt feltölti a bőrt, illetve annak „kondenzátorát”. (A bőr átütési feszültsége  $5\text{ kV}$ . Ahogy a feszültség eléri az  $5\text{ kV}$ -ot a bőr vezetővé válik.) Ha a feszültség eléri a levegő átütési feszültségét ( $4000\text{ V/cm}$ ), akkor a levegő a test bőrfelszíne mentén vezetővé válik és létrejön a kisülés. (Cooper, 2016) Ekkor a kisülési csatorna a test külső felületét követve halad. Mivel az így kialakult csatorna ellenállása jóval kisebb, mint az emberi testé, ezért a villámáram legnagyobb része itt fog folyni és nem a testen belül. (C.J. Mackerras, 2003) Ennek illusztrálására nézzünk egy konkrét példát!

Az ember magassága legyen 180 cm. Ekkora távolság esetén a levegő átütési feszültségének értéke körülbelül 900 kV. (Cooray, 2007) A kisülés létrehozásához szükséges feszültség valójában azonban kisebb ennél az értéknél, többek között az izzadság miatt a bőrön található sótartalom miatt. Az átütési feszültséget 450 kV-nak, az emberi test ellenállását pedig 1000 ohmnak feltételezve amikor a testen átfolyó villámáram eléri a 450 A-t, akkor létrejön az átütés. Így a felületi kisülés jóval azelőtt jön létre, mint ahogy a villámáram eléri a 30 000 A-s csúcserőértéket. Az ívcatorna ellenállása a levegőben körülbelül 1 Ohm/m. (Cooray, 2007) Így az ember testmagasságának megfelelő hosszúságú felületi kisülési csatorna ellenállása körülbelül 2 Ohm. Így a villámáram megoszlik az emberi test 1000 ohmos és a külső villámcsatorna 2 ohmos ellenállása között. 30.000 amperes csúcsáram esetén csak 60 A erősségű áram folyik át a testen és a többi kívül fog áramlani. Ha feltételezzük, hogy a visszatérő löket impulzusáramának időtartama körülbelül 100 ms, akkor a test egészében elnyelt teljes elektromos energia körülbelül 120 J lesz. Így a 60 kg-os ember esetén a fajlagos energia körülbelül 2 J/kg. Annak ellenére, hogy a testen átfolyó áram hőhatása nem jelentős, a szövetek melegítésével, elektrolízissel és a szövetek depolarizációjával (elektromos állapotának megváltoztatásával) mégis okozhat kisebb-nagyobb sérüléseket. Ennek mértékét elsősorban az áram testen belüli eloszlása határozza meg (Cooray, 2007).

A vezetési csatorna lökéshullámai

Mivel a villámlás néhány mikroszekundumos ideje alatt a vezetési csatornában a hőmérséklet a 25-30000 Kelvint is eléri, ezért a csatornában a nyomás hirtelen megnövekszik, a levegő gyors tágulása lökéshullámot generál. A lökéshullám következtében a nyomás a távolság függvényében gyorsan csökken, így csak a villámcsapás közelében elhelyezkedőkre jelent veszélyt. A lökéshullámok leggyakoribb következménye a levegővel telt üreges szervek (tüdő, gyomor-bélrendszer, középfül) sérülései, a dobhártya



41. ábra  
A fül belső szerkezete  
(a kép forrása: NKP  
okostankönyv, Fizika 7.)

beszakadása. Ez általában akkor fordul elő, ha a közvetlen villámcsapás az ember felső testét éri. Ilyenkor az ember füle (41.ábra) a villámcsatornától mindössze pár centiméter távolságban van és a túlnyomás kb. 10-20 atm (Hill, 1977). Ez a túlnyomás kb. 200 dB hangintenzitásnak felel meg. (Az emberi hallás esetén a fájdalomküszöb 120 dB.) Előfordul, hogy a dobhártya épségben marad ugyan, de a szőrsejtek az áthaladó villámáram vagy a lökéshullám miatt sérülnek, ami maradandó halláskárosodást

eredményez (pl. fülzúgás). Intenzív lökéshullám következtében akár a hallócsontocskák is károsodhatnak, ami különösen a magas frekvenciákon sükettséghez vezethet (Blumental, R., Jandrell, I.R. and West, N.J., 2012).

A Shrapnel hatás

A lökéshullám következtében a környezetből apró szilánkok, töredékek kerülhetnek a testüregekbe. A szakirodalomban ez a hatás Shrapnel hatás (42. ábra) néven vált ismertté. Ezek a szilánkok elszakíthatják a nagyereket, amennyiben a nyakat, fejet érik gyakran halálosak lehetnek vagy maradandó sérüléseket okozhatnak. A szilánkok okozta sérülések súlyosságát a szilánkok mozgási energiája, alakja, sűrűsége, a szilánk forgása, a sérülés helye, valamint a testfelületet



42. ábra  
Shrapnel hatás [12]

borító ruházat határozza meg. A lökéshullám közvetlen következménye a mennydörgés, a villám nagyerejű hanghatása, ami ugyancsak károsíthatja az emberi szervezetet (Blumental, 2012, Cooper 2016).

A villámok mágneses hatása

A villámáram nagyon rövid ideig tartó, lökészerű áram, az általa keltett mágneses tér időben nagyon gyorsan változik. A villám mágneses terének becslésekor feltételezzük, hogy a villámcsatorna egyenes és a villámcsatornától a lecsapási távolságnál ( $d_s$ -nél) nagyobb távolságban vagyunk. A  $d_s$  távolságon belül a közvetlen villámcsapással és annak a korábban már említett elektromos hatásaival kell számolnunk, ennél nagyobb távolság esetén pedig a villámáram mágneses hatása érvényesülhet. A lecsapási távolságot a  $d_s = 10 \cdot I^{0,65}$  empirikus összefüggés alapján határozhatjuk meg, ahol  $I$  a villámáram csúcserőértékének nagysága kA-ben.

Pl. 30 kA-es villámáram esetén ez a távolság 91,2 m. A mágneses indukcióvektor nagysága ebben távolságban:  $B_{max} = \frac{\mu_0 \cdot I_{max}}{2\pi d_s} \approx 105 \mu T$  ( $1 \mu T = 10^{-6} T$ )

Összehasonlításképpen a Föld mágneses mezőjét jellemző mágneses indukcióvektor nagysága  $1 \mu T$ , a nagyfeszültségű elektromos vezetékek közelében pedig ez az érték 1 – 100  $\mu T$ . MRI vizsgálatok során ettől jóval erősebb, 1-3 tesla erősségű mágneses teret alkalmaznak. Természetesen a villámáram mágneses hatásának leírásakor nem hagyható figyelmen kívül az sem, hogy a villámáram mágneses mezője időben nagyon gyorsan változik. Ezért Andrews és kutatócsoportja (Cooper, 2016) egy szívmodellt helyezett el a villámáramhoz hasonló gyorsan változó mágneses mezőben és megvizsgálta a modellen

átfolyó áramerősséget. Tapasztalataik alapján az így létrejött áram az emberi szervezetre teljesen ártalmatlan. Mindezek alapján arra a következtetésre jutottak, hogy normál élethelyzetben a villámáram élettanilag káros mágneses hatásával nem kell számolnunk.

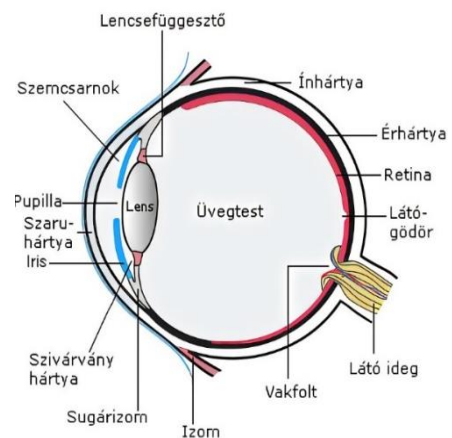
A villámlás által kibocsátott elektromágneses sugárzás

A felhő-föld villámok a kisülés során nagyon széles frekvenciasávban bocsátanak ki elektromágneses sugárzást. A villámcsatorna sugárzása látászavarokat okozhat, valamint a szem gyulladásos betegségeit (kötő-, szaru- és szivárványhártya-gyulladást) eredményezheti (43.ábra). Mivel ezek a problémák nem azonnal, hanem elhúzódóan alakulnak ki, ezért a villámcsapást túlélők

hosszútávú megfigyelése szükséges. A legújabb esettanulmányok alapján a kutatóknak sikerült közvetlen kapcsolatot kimutatni a villámok elektromágneses sugárzása és a szürkehályog kialakulása között (Cooper, 2016). A szürkehályog a szemlencse elhomályosodásával befolyásolja a látást. A lencse leginkább vízből és proteinekből áll. Ha a fehérjék adott területen felhalmozódnak, akkor elhomályosítják a lencsét és emiatt kevesebb fény jut a retinára (Hill,1977). A szürkehályog kialakulását azzal magyarázzák, hogy a villámlás erős optikai és UV sugárzása felmelegíti a szemlencse folyadékját. A retina központi része a makula, mely rengeteg fotoreceptort tartalmaz. A makula felelős az éles látásért, továbbá az apró részletek látásáért (44.ábra). A makula villámlás miatti sérülése akut homályos és torz látást eredményezhet. A makula ilyenfajta törését nevezik makula lyuknak. A villámcsapás hatására a retina elmozdulhat eredeti helyzetéből, ez a retina leválás. Továbbá a villámlás a retina felgyűrődését is okozhatja (retina ráncok). Ezeket retina redőknek nevezik, és gyenge vakságot okoznak. Az üvegtest tiszta zselészerű anyag, amely a szemben a lencse és a retina között található. Az üvegtest hol gyengébben hol erősebben kapcsolódik a retinához. Villámlás hatására az üvegtest leválhat, sőt vérzés is keletkezhet benne (Cooray, 2007). Az említetteken kívül a sérültek számos más látászavar kialakulásáról is beszámoltak, mint pl. az olvasási képesség



43. ábra  
A szem gyulladásos betegségei  
(kötőhártya-gyulladás)  
(A kép forrása: Wikipédia)



44. ábra  
Az emberi szem felépítése -  
Bing képek

makula lyuknak. A villámcsapás hatására a retina elmozdulhat eredeti helyzetéből, ez a retina leválás. Továbbá a villámlás a retina felgyűrődését is okozhatja (retina ráncok). Ezeket retina redőknek nevezik, és gyenge vakságot okoznak. Az üvegtest tiszta zselészerű anyag, amely a szemben a lencse és a retina között található. Az üvegtest hol gyengébben hol erősebben kapcsolódik a retinához. Villámlás hatására az üvegtest leválhat, sőt vérzés is keletkezhet benne (Cooray, 2007). Az említetteken kívül a sérültek számos más látászavar kialakulásáról is beszámoltak, mint pl. az olvasási képesség

elvesztése, bizonyos ideig a külvilág képének fordított látása, jel követése esetén a két szem külön történő mozgása stb. Ha szemet nagy energiájú sugárzás (pl. UV, gamma-sugárzás) éri, akkor elsősorban a szaruhártya (könnyű átlátszó szövet, amely lefedi az íriszt) károsodik, amely látászavarokat okoz, súlyosabb esetben vaksághoz vezethet. A kettőslátás oka a szemmozgató izmoknak, illetve idegrendszeri szabályozásuknak sérülése. Előfordulhat az is, hogy az egyén elveszíti az olvasás és a járás képességét, vagy a szemei nem tudnak összehangoltan működni (Cooper,2016).



A web 2.0-ás applikációk fizikaórai alkalmazásának eredményességi méréséhez használt szummatív feladatlapok

*Elektrosztatika*

I. Egészítsd ki!

- A megdörzsölt ebonitrúd a kis papírdarabkákat magához vonzza. Később a papírdarabok többsége leröpül a rúdról. A jelenség oka:  
.....  
.....
- A töltések közötti vonzó- vagy taszítóerő .....fordítottan/egyenesen.....arányos a köztük lévő távolság négyzetével.
- A nagyobb töltés ..... nagyobb /kisebb/ugyanakkora ..... erőt fejt ki a kisebb töltésre, mint fordítva.
- A gumi elektromosan .....vezető/félvezető/szigetelő.....anyag.
- A villámhárító csúcsának közelében az elektromos tér.....homogén/inhomogén.....

II. Határozd meg az alábbi fogalmakat!

A kezdetben semleges vezetőben elektromos mező hatására létrejövő töltésszétválás jelenségét..... nevezzük.

.....nagysága a próbatöltésre ható erő és a próbatöltés nagyságának hányadosa. Iránya a .....próbatöltésre ható erő irányával egyezik meg.

Az elektromos mező által a mező két pontja között végzett munka és a két pont között mozgó töltés hányadosával értelmezett fizikai mennyiség a.....

III. A  $Q_1$  és  $Q_2$  pontszerű töltés távolsága  $r$ . A közöttük ható erő nagysága  $0,008\text{ N}$ .

Mekkora erő hat közöttük, ha  $Q_1$  nagyságát a háromszorosára növeljük, miközben  $Q_2$  nagyságát változatlanul hagyjuk, és távolságukat pedig a harmadára csökkentjük?

- a)  $0,008\text{ N}$
- b)  $0,216\text{ N}$
- c)  $0,072\text{ N}$
- d)  $0,144\text{ N}$

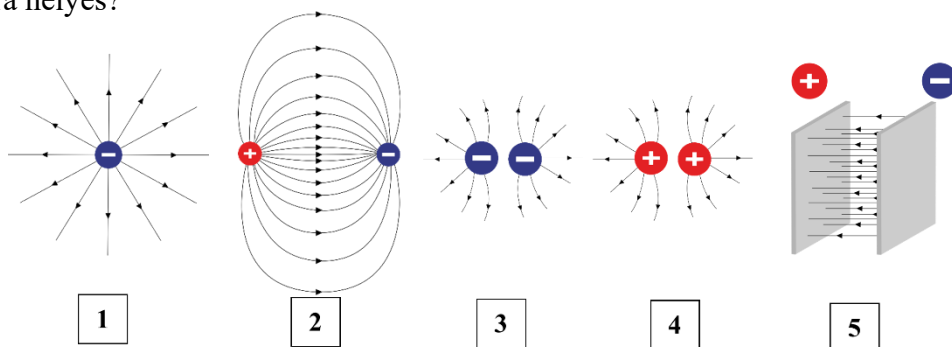
IV. Válaszd ki a helyes megoldást!

Belövünk egy elektromosan töltött részecskét homogén elektromos térbe, a térerősség  $\mathbf{E}$  vektorára merőlegesen. Melyik állítás igaz? (fizika középszintű érettségi, 2008. okt. / 17.)

- a) A részecske sebességének nagysága is, iránya is megváltozik.
- b) A részecske sebességének nagysága nem, de az iránya megváltozik.
- c) A részecske sebességének sem nagysága, sem pedig iránya nem változik meg.

V. Melyik ábra helyes?

- a) 2. és 4.
- b) 1.3.és 5.
- c) 2.3.és 5.
- d) 1.4. és 5.



VI. Pozitív töltésű fémtestet fémhuzallal leföldelünk. Mi fog történni?

(fizika középszintű érettségi, 2007.máj./10.)

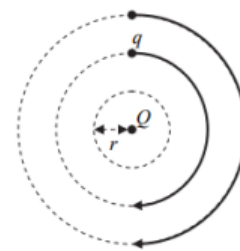
- a) A testről pozitív töltésű részecskék áramlanak a földbe, és a test semleges lesz.
- b) A földből elektronok áramlanak a testre, és a test semleges lesz.
- c) A test töltése nem változik.

VII. Pontszerű  $Q$  töltés körül az ábra szerint először  $2r$ , azután pedig  $3r$  távolságban mozgatunk egyenletesen egy szintén pontszerű  $q$  töltést.

Melyik esetben kell nagyobb munkát végeznünk?

(fizika középszintű érettségi, 2014.máj./14.)

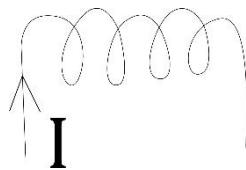
- a) Amikor  $2r$  távolságban mozgatjuk a  $q$  töltést.
- b) Amikor  $3r$  távolságban mozgatjuk a  $q$  töltést.
- c) Mindkét esetben ugyanannyi a munkavégzés.



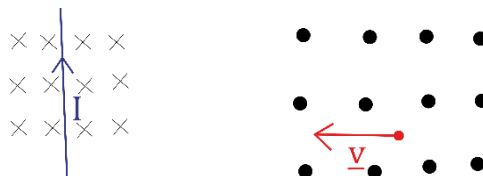
VIII. Két egyenlő nagyságú, egymástól 10 cm távolságban levő töltés 4 N erővel taszítja egymást. Mekkora a töltések?

Mágneses mező, mágneses indukció

1. Melyik állítás nem helyes?
  - a. A mágneses pólusokat nem lehet szétválasztani, minden mágnes kétpólusú.
  - b. Az ellentétes pólusok vonzzák, az azonosak taszítják egymást.
  - c. Mágnessel össze lehet szedni acél gombostűket és réz csavarokat.
  - d. A vas tárgyak tartósan felmágneseződhetnek, ha hosszabb ideig vannak mágneses térben.
2. Egy elektront olyan térbe lövünk be, amelyben homogén elektromos és mágneses mezők vannak jelen. Az elektromos erővonalak párhuzamosak a mágneses indukcióval és az elektron sebességével. Milyen irányú erőhatás éri az elektront?
  - a. Csak az erővonalakkal párhuzamos erőhatás.
  - b. Csak az erővonalakra merőleges erőhatás.
  - c. Az erővonalakkal párhuzamos és az erővonalakra merőleges erőhatás is éri az elektront.
3. Válaszd ki az alábbi – az elektromágneses hullámokra vonatkozó – állítások közül az igazat!
  - a. Frekvenciájuk változik, ha másik közegbe lépnek át.
  - b. Légüres térben a terjedési sebességük kb. 300 000 km/s.
  - c. Annál nagyobb az energiájuk, minél nagyobb a hullámhosszuk.
4. Határozd meg a tekercs  $\vec{E}$  pólusát!



5. Rajzold be homogén mágneses térben az áramvezetőre, illetve a pontszerű töltésre ható erőt!



6. Ismertess egy konkrét példát (rövid leírással!) az örvényáramok gyakorlati alkalmazására!

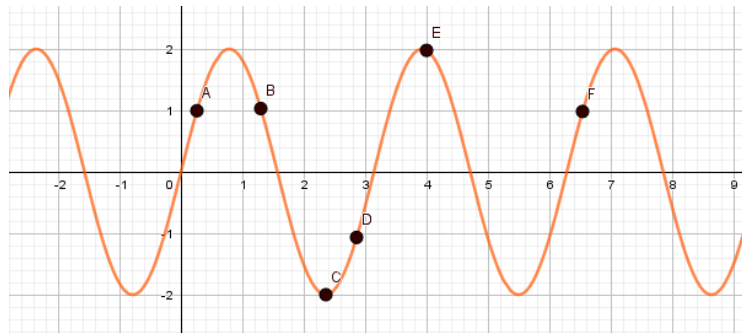
7. Jellemezd a hálózati feszültséget!

Milyen fizikai jelenséggel magyarázható a váltakozó áram előállítása?

8. Transzformátor primer tekercsének menetszáma 1000, szekunder tekercsének menetszáma 500. A primer feszültség 220 V. Mekkora a szekunder feszültség?

*Rezgések és hullámok*

1. Az ábrán látható hullám esetén melyek az azonos fázisban levő pontok?



- a) A, B, F
- b) C, E
- c) B, F
- d) A, F

2. Egy rugalmas kötélen haladó hullám terjedési sebessége 30 m/s, a hullámhossza 1,5 m. Mekkora a rezgőmozgást végző pontok rezgésének periódusideje?

- a) 20 s
- b) 0,5 s
- c) 0,05 s

3. Készíts rajzot a gitárhúron kialakult állóhullám mintázatról alaphang esetén! A gitár húrja 80 cm hosszan van kifeszítve, így 200 Hz-es hangot ad. A gitáros a húr felénél, 40 cm-nél lefogja azt. Hogyan változik a megszólaltatott hang frekvenciája? (csökken/nem változik/nő, ha változik akkor hányszorosára/hányad részére?)

4. Mi a rezonancia jelenség?

Mi a jelenség magyarázata?

Írj egy példát a jelenség alkalmazására!

5. Egy ingaóra kissé késik. Az óra ingája egy hosszú, vékony pálcán lévő kicsiny, nehéz súly. A súly állítócsavar segítségével lefelé is és fölfelé is elmozdítható. Merre mozdítsuk a súlyt, hogy pontosan járjon az óra?

- A) Lefelé mozdítsuk el.
- B) Fölfelé mozdítsuk el.
- C) Csak az óra szerkezetének ismeretében dönthető el.

6. Egészítsd ki az alábbi mondatokat, úgy, hogy az állítás igaz legyen!

A határfelületre  $40^\circ$ -os szögben érkező hullám onnét visszaverődik. A beeső és a visszavert hullámok terjedési irányai által bezárt szög.....

Ha a rés mérete a hullámhossz nagyságrendjébe esik, akkor a hullám behatol az akadály mögötti árnyéktérbe. Ezt a jelenséget .....nevezzük.

A hangmagasság a keltett rezgés .....függ.

A 20 kHz-nél nagyobb frekvenciájú hangot .....nevezzük.

A felnőtt, nem károsodott emberi fül a .....Hz és 20 .....közötti hangokat hallja.

7. Melyik hullámjelenséghez kapcsolódik?

- a) a CD-n színes gyűrűket látunk:.....
- b) szivárvány:.....

8. Igaz vagy hamis?

- a) Közeghatárról történő visszaverődés után a hullám hullámhossza megváltozik.
- b) A hang esetén interferencia jelensége nem észlelhető.
- c) Transzverzális hullám esetén a részecskék rezgésének iránya merőleges a hullámterjedés irányára.
- d) A longitudinális hullám nem polarizálható.
- e) Csak a transzverzális hullám képes interferenciára.
- f) Longitudinális hullám mindhárom halmazállapotú anyagban terjedhet

---

<sup>i</sup> <https://drive.google.com/drive/folders/14kul9PeZQExxM2uyvh-5CiFDGMwrTJzj?usp=sharing>