



**SOPRONI
EGYETEM**

ERDŐMÉRNÖKI
KAR

KÖRNYEZET- ÉS TERMÉSZETVÉDELMI INTÉZET

SZAKDOLGOZAT

Nagy aktivitású radioaktív hulladéktárolók létesítésének környezeti szempontú összehasonlító elemzése

*Environmental compare analysis of the establishment of high-activity
radioactive waste storage facilities*

Készítette: Németh Annamária

Sopron

2024



SOPRONI
EGYETEM

ERDŐMÉRNÖKI
KAR
Környezet-és Természetvédelmi Intézet

9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.
emk.uni-sopron.hu

SZAKDOLGOZAT FELADAT

Cím: Nagy aktivitású radioaktív hulladéktárolók létesítésének környezeti szempontú összehasonlító elemzése
(*Environmental comparative analysis of the establishment of high-activity radioactive waste storage facilities*)

Készítő: NÉMETH ANNAMÁRIA, JQ9UUU, környezetmérnök BSc szak

Kiíró intézet: Környezet- és Természetvédelmi Intézet

Intézeti konzulens: Elekné dr. Fodor Veronika, egyetemi adjunktus
Dr. Vágvölgyi Andrea, egyetemi adjunktus

Részletes feladat

- Indokolja meg témaválasztását, vázolja célkitűzéseit.
- Tárja fel a téma szakirodalmi és jogszabályi hátterét.
- Mutassa be a tervezett létesítmény technikai, technológiai paramétereit, ismertesse a telepítési alternatívák környezeti adottságait.
- Dolgozzon ki egy olyan értékelési szempontrendszert, mely alapján a telepítési alternatívák várható környezeti hatásai összehasonlíthatóvá válnak.
- Vizsgálatai eredményei alapján vonjon le következtetéseket illetve indokolja meg, melyik telepítési alternatíva lenne környezeti szempontból a legmegfelelőbb.

A dolgozat terjedelme nem korlátozott. A szakdolgozatot az ilyen jellegű munkákkal szemben támasztott formai kívánalmaknak megfelelően készítse el, adja be 1 példányban, és tölts fel az egyetemi repozitóriumba a bekötött példánnyal mindenben megegyező pdf formátumú dolgozatot a 2024/2025. tanév tanulmányi rendjében meghatározott időre.

A gyűjtött adatok intézeti konzulenseknek való bemutatási határideje a végleges összeállítást megelőzően: 2024. október 09.

Sopron, 2024. június 26.

Jóváhagyom:

.....
Dr. habil. Pólgár András
szakfelelős

.....
Dr. habil. Rétfalvi Tamás
intézetigazgató

.....
Dr. habil. Heil Bálint
dékán



Szerzői nyilatkozat

Alulírott Németh Annamária (neptun kód: JQ9UUU) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a Nagy aktivitású radioaktív hulladéktárolók létesítésének környezeti szempontú összehasonlító elemzése című:

szakdolgozat

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a *szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv.* szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-magyarországi Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat**.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Kijelentem, hogy a dolgozatot más szakon – más felsőoktatási intézményre vonatkozóan is – nem nyújtottam be.

Sopron, év. hónap nap.



Németh Annamária

¹ **1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1)** A mű részletét - az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven - a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára - a cél által indokolt terjedelemben - szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást - a szerző nevével együtt - fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Kivonat

Nagy aktivitású radioaktív hulladéktárolók létesítésének környezeti szempontú összehasonlító elemzése

Az 1950-es évektől kezdve folyamatosan növekszik a nukleáris hőenergia energetikai hasznosítása, amivel együtt nő a kibocsátott radioaktív hulladék mennyisége is. Ezek közül a nagy aktivitáskoncentrációjú hulladékok elhelyezése napjainkig jelentős problémát okoz. Szakdolgozatomban a Paksi Atomerőmű 4, későbbiekben 6 reaktorblokkja által termelt kiegészített üzemanyag kazetták magyarországi elhelyezésének lehetőségeit vizsgálom Boda, Batida és Tihany térségében. A vizsgált területek elemzését egy környezeti szempontokon alapuló elemzési rendszer segítségével végzem, amely segítségével az egyes telepítési alternatívák összehasonlításával meghatározható, hogy melyik terület a legalkalmasabb a mélygeológiai tároló létesítésére.

Abstract

Environmental compare analysis of the establishment of high-activity radioactive waste storage facilities

Since the 1950s, the use of nuclear heat energy has been constantly increasing, which also increases the amount of emitted radioactive waste. Of these, the disposal of waste with high activity-concentration causes significant problem until today. In my thesis, I examine the possibilities of the disposal of the spent fuel rods produced by the 4, later 6 reactor blocks of Paks Nuclear Power Plant in the area of Boda, Batida and Tihany. The analysis of the examined areas is carried out with using a selective system of criteria, which can examine the suitability of the areas for the establishment of deep geological isolation.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	11
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	12
2.1. JOGI HÁTTÉR	12
2.2. ENERGIAPOLITIKA	15
2.2.1. <i>Az Európai Unió energiamixe (2022-2023)</i>	<i>15</i>
2.2.2. <i>Az Európai Unió atomenergiapolitikája.....</i>	<i>16</i>
2.2.3. <i>Magyarország atom- és energiapolitikája.....</i>	<i>18</i>
2.3. A RADIOAKTIVITÁS ÉS A RADIOAKTÍV SUGÁRZÁSOK CSOPORTOSÍTÁSA	19
2.3.1. <i>Eredet szerinti csoportosítás</i>	<i>20</i>
2.3.2. <i>Bomlás során kibocsátott anyag vagy energia szerinti csoportosítás</i>	<i>20</i>
2.4. A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK	21
2.4.1. <i>A radioaktív hulladékok keletkezése</i>	<i>21</i>
2.4.2. <i>A radioaktív hulladékok csoportosítása</i>	<i>22</i>
2.5. A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KEZELÉSI LEHETŐSÉGEI.....	26
2.5.1. <i>Térfogatcsökkentés</i>	<i>26</i>
2.5.2. <i>Kondicionálás.....</i>	<i>26</i>
2.5.3. <i>Transzmutáció</i>	<i>27</i>
2.6. IZOLÁCIÓ	27
2.6.1. <i>Felszínhez közeli tárolók</i>	<i>27</i>
2.6.2. <i>Kiegészítő üzemanyagok átmeneti tárolása.....</i>	<i>28</i>
2.6.3. <i>Mélységi- és mélygeológiai tárolók.....</i>	<i>28</i>
2.7. ATOMERŐMŰBEN KÉPZŐDŐ HULLADÉKOK.....	29
2.7.1. <i>Üzemszerű működés során keletkező hulladékok</i>	<i>30</i>
2.7.2. <i>Kiegészítő üzemanyag.....</i>	<i>30</i>
2.8. RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KELETKEZÉSE ÉS KEZELÉSE HAZÁNKBAN.....	31
2.8.1. <i>A Paksi Atomerőmű</i>	<i>32</i>
2.8.2. <i>Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolója</i>	<i>33</i>
2.8.3. <i>Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló.....</i>	<i>35</i>
2.8.4. <i>Nemzeti Radioaktív Hulladék Tároló</i>	<i>36</i>
2.9. AZ ONKALO.....	37
2.9.1. <i>ONKALO létesítését megelőző vizsgálatok.....</i>	<i>38</i>
2.9.2. <i>ONKALO mérnöki gátjai.....</i>	<i>39</i>

3. A LÉTESÍTENDŐ MÉLYGEOLÓGIAI TÁROZÓ	40
3.1. A Z MKMIT ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA	40
3.2. AZ MKMIT MŰSZAKI TULAJDONSÁGAI.....	41
4. ANYAG- ÉS MÓDSZERTAN.....	42
5. ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉS.....	44
5.1. GEOLÓGIAI SZEMPONTOK	44
5.2. HIDROGEOLÓGIAI SZEMPONTOK	48
5.3. HIDROLÓGIAI SZEMPONTOK.....	50
5.4. KÖRNYEZETI- ÉS KÖRNYEZETBIZTONSÁGI SZEMPONTOK	51
5.4.1. Környezeti szempontok.....	51
5.4.2. Környezetbiztonsági szempontok.....	53
5.5. TERMÉSZETVÉDELMI SZEMPONTOK	57
5.6. GAZDASÁGI SZEMPONTOK	60
5.7. PONTSZÁM CSÖKKENTŐ SZEMPONTOK.....	62
6. VIZSGÁLT TERÜLETEK BEMUTATÁSA	64
7. VIZSGÁLT TERÜLETEK ELEMZÉSE A SZEMPONTRENDSZER SEGÍTSÉGÉVEL	65
7.1. GEOLÓGIAI SZEMPONTOK	65
7.2. HIDROGEOLÓGIAI SZEMPONTOK	68
7.3. HIDROLÓGIAI SZEMPONTOK.....	69
7.4. KÖRNYEZETI- ÉS KÖRNYEZETBIZTONSÁGI SZEMPONTOK	71
7.4.1. Környezeti szempontok.....	71
7.4.2. Környezetbiztonsági szempontok.....	73
7.5. TERMÉSZETVÉDELMI SZEMPONTOK	77
7.6. GAZDASÁGI SZEMPONTOK	79
7.7. PONTSZÁM CSÖKKENTŐ SZEMPONTOK.....	80
7.8. SZEMPONTRENDSZER EREDMÉNYE.....	82
8. KÖVETKEZTETÉSEK.....	83
9. ÖSSZEGZÉS.....	84
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	85
11. IRODALMI HIVATKOZÁSOK	86
MELLÉKLETEK.....	95

Ábrajegyzék

1. ábra: Az Európai Unió energiamixe 2023-ban (forrás: European Electricity Review, 2024).....	16
2. ábra: Előállított nukleáris hőenergia 1990 és 2022 közt (forrás: Eurostat).....	17
3. ábra: Az energiatermelés hazai megoszlása 2023-ban (forrás: International Energy Agency)	18
4. ábra: Aktivitás és felezési idő szerinti felosztás az IAEA Biztonsági Előírása szerint (forrás: Environments).....	24
5. ábra: Az 50 MWd/KGU kiegészű UO ₂ üzemanyag jellemző összetétele (forrás: Nukleáris Üzemanyagciklus Radioaktív Hulladécai- Egyetemi jegyzet (2013))	30
6. ábra: A Paksi Atomerőmű és a radioaktív hulladékait kezelő létesítmények elhelyezkedése hazánkban (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés)	31
7. ábra: A Paksi Atomerőmű (A) és a Kiegészű Kazetták Átmeneti Tárolójának (B) elhelyezkedése Paks településéhez képest (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés).....	32
8. ábra: A Paksi Atomerőmű (forrás: energiainfo.hu).....	33
9. ábra: A Paksi Atomerőmű területén elhelyezkedő főbb létesítmények (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés)	34
10. ábra: A Kiegészű Kazetták Átmeneti Tárolója (forrás: rhk.hu)	35
11. ábra: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, Püspökszilágy (forrás: Izotóp Tájékoztató Ellenőrző Társulás).....	35
12. ábra: Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló, Bataapáti (forrás: rhk.hu).....	36
13. ábra: Az ONKALO mélygeológiai tároló tervek szerinti kialakítása (forrás: Posiva Oy)	38
14. ábra: KBS-3 mérnöki gátrendszer felépítése (forrás: Nukleáris Üzemanyagciklus Radioaktív Hulladécai- Egyetemi jegyzet (2013)).....	39
15. ábra: Az MKMIT oldalnézeti tervezete (Készítette: Som Alexandra).....	40

16. ábra: A létesítéshez vizsgált területek elhelyezkedése Magyarországon (forrás: Open Street Map térképen végzett saját szerkesztés).....	64
17. ábra: Az 1. terület vizsgálata során létesítésre alkalmas elhelyezési zóna mélysége (forrás: Tungli Gy., Molnár P., A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása)	66
18. ábra: Víztestek távolságának mérése a 3. a területről (forrás:Open Street Map térképen saját szerkesztés).....	70
19. ábra: Létesítéshez vizsgált területek távolsága légvonalban az „A” jelű Paksi.....	73
20. ábra: A 3. terület településeinek területi mérése (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés).....	75
21. ábra: OKIR Természetvédelmi Információs Rendszer Térképei (forrás: web.okir.hu)	77
22. ábra: 3. terület által érintett 17/E erdőrészlet (forrás: erdoterkep.nebih.gov.hu).....	78
23. ábra: A 2. terület védőzónájában elhelyezkedő ex-lege védett objektumok (forrás: web.okir.hu).....	78

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Hazai Csoportosítás aktivitáskoncentráció szerint (forrás: Nikodém E. 2013)	23
2. táblázat: A kőzetek geológiai szempontú osztályozása (forrás: saját szerkesztés)	47
3. táblázat: Hidrogeológiai szempontok pontozása (saját szerkesztés)	49
4. táblázat: Hidrológiai szempontok pontrendszerének összesítő táblázata (forrás: saját szerkesztés)	51
5. táblázat: Környezeti szempontok pontszámait összesítő táblázata (forrás: saját szerkesztés)	53
6. táblázat: Műszaki szempontokban elérhető pontszámokat összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	55
7. táblázat: Biztonsági- és társadalmi szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	57
8. táblázat: Természetvédelmi szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	60
9. táblázat: Gazdasági szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	62
10. táblázat: Pontszám csökkentő szempontok által levonható pontokat bemutató táblázat (forrás: saját szerkesztés)	63
11. táblázat: Geológiai szempontokra adott pontszámokat összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	67
12. táblázat: Hidrogeológiai szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	69
13. táblázat. Hidrológiai szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	71
14. táblázat: Környezeti szempontok pontjait összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	72
15. táblázat: Műszaki szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)	74

16. táblázat: A biztonsági- és társadalmi szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés).....	76
17. táblázat: Természetvédelmi szempontok pontozását összesít táblázat (forrás: saját szerkesztés).....	79
18. táblázat: A gazdasági szempontok pontozását összegző táblázat (forrás: saját szerkesztés).....	80
19. táblázat: A pontszám csökkentő szempontok által levonható pontokat összegző táblázat (forrás: saját szerkesztés).....	81
20. táblázat: Szempontrendszerben elért pontokat összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés).....	82

1. Bevezetés

Jelen korunk egyik legkiemelkedőbb kérdése, hogy a dinamikusan fejlődő gazdasági- és az ehhez kötődő növekvő lakossági energiafogyasztást hogyan lehetne úgy kielégíteni, hogy az Európai Unió klímacéljai is teljesüljenek. A klímacélok teljesítésére törekedve az Unió területén nagy hangsúlyt kapnak a megújuló források, így például a napenergiát hasznosító fotovoltaiikus- és a különböző szélenergiát hasznosító rendszerek.

2021-ben az Európai Unióban megtermelt villamos energia legnagyobb részt megújuló forrásból származott (41%), amelyet azonban szorosan követett a nukleáris forrásból származó energia (31%). (URL1)

A nukleáris energia ugyan a nem megújuló energiák közé tartozik, viszont a legtöbb hagyományos módszerrel ellentétben a nukleáris energiatermelés zéró szén-dioxid kibocsátással jár, a termelés stabilitása pedig nem függ külső tényezőtől, így könnyebben kiszolgálja a 21. század növekvő energiaigényeit, mint a megújuló energiaforrások.

Az atomenergetikában a fissziós erőművek bevezetésével létrejött egy olyan energiatermelési módszer, amely bár hosszútávon képes alacsony szennyezőanyag kibocsátással stabilan nagy mennyiségű energiát előállítani, az általuk kibocsátott hulladékok jelentős környezetterheléssel járnak. Ezek ártalmatlanítására vagy kezelésére jelen pillanatban nincs olyan technológiai vagy kémiai megoldás, amely a hulladékot veszélytelenné tehetné. Végleges megoldásként a keletkező hulladékokat lokalizáljuk, majd pedig elzárjuk úgy, hogy az nagyobb időtávlatban se jelentsen problémát az elzárás helyének környezetére és az emberre.

Szakedolgozatom célja, hogy környezeti szempontú összehasonlító elemzés segítségével alátámasszam az 1993 és 2000 közt zajló hazai vizsgálatokat, amelyek Magyarország területén a nagy aktivitású radioaktív hulladékok mélygeológiai elhelyezésére a Bodai Agyagkő Formációt találták a legmegfelelőbbnek.

A dolgozatomban szereplő mélygeológiai izoláció- és a radioaktív hulladékok kezelésének lehetőségei, a sugárvédelem és az atomenergia hosszú ideje foglalkoztatnak és határozzák meg a környezetvédelmen belüli érdeklődésem fókuszát.

2. Szakirodalmi áttekintés

A téma feldolgozásához elengedhetetlen áttekinteni a kapcsolódó szakirodalmi hátteret, ide értve a hozzá fűződő nemzetközi és hazai szabályozást, az Európai Unió és hazai energiapolitikai állásfoglalást, a radioaktív hulladékok keletkezését, illetve ezek kezelési lehetőségeit, valamint a hazai kezelő létesítményeket.

2.1. Jogi háttér

Az Európai Atomenergia Közösség és az EURATOM Szerződés

Az Európai Unió területén az International Atomic Energy Agency (IAEA) szervezetén kívül a Európai Atomenergia Közösség, továbbiakban EURATOM, támogatja az atomenergia békés felhasználását, így elősegítve nem csak a klímacélok teljesítését, hanem az atomenergia minél nagyobb volumenű használatát, illetve annak szabályozását és biztonságos használatát.

Az Európai Atomenergia Közösséget létrehozó Római szerződést 1957 tavaszában írták alá, majd 1958 január 1-ével a szerződés hatályba lépett. (URL2)

Az EURATOM létrehozásának legfőbb oka az volt, hogy egy erős atomenergiái piacot hozzanak létre úgy, hogy közben biztosítják a hasadóanyagok békés polgári felhasználását. (Treaty establishing The European Atomic Energy Community. 1957)

Az EURATOM Szerződése tartalmazza a Közösség feladatait, amely a tagállamok életszínvonalának emelése, miközben együttműködésben áll a többi állammal a nukleáris ipar gyors kiépítéséhez és fejlesztéséhez az ehhez szükséges feltételek biztosításával úgy, hogy:

- Támogatja a nukleáris területen végzett kutatásokat és biztosítja az eredmények, a technikai információk és a technológiai fejlesztések terjesztését.
- Megfogalmazza azokat a szabványokat és irányelveket, amelyek a foglalkoztatásban állók és a társadalom egészségének, valamint a környezet épségének megőrzését szolgálja, illetve felügyeli ezek betartását.

- Ösztönzi a beruházásokat és biztosítja az atomenergia fejlesztéséhez szükséges alapvető létesítmények (épületek és infrastruktúra) kiépítését Közösségen belüli vállalkozások támogatásával.
- Biztosítja az atomerőművek működéséhez szükséges ércek és az üzemanyag megfelelő mennyiségű és minőségű utánpótlását.
- Megfelelő módon és gyakorisággal ellenőrzi az üzemanyagok és a hasadóanyagokat tartalmazó hulladékok megfelelő használatát és elhelyezését, hogy annak a Szerződés által nem támogatott felhasználása ne történjen meg (katonai és illegális felhasználás elkerülése).
- Speciális hasadóanyagok esetében gyakorolja a ráruházott tulajdonjogot.
- Biztosítja a széleskörű kereskedelmi értékesítés lehetőségét és az elérhető legjobb technológiához való hozzáférést a speciális anyagok és berendezések közös piacának létrehozásával az atomenergia területén végzett beruházásokhoz szükséges tőke szabad mozgásával és a szakemberek munkavállalásának szabadságával a Közösségen belül. (Treaty establishing The European Atomic Energy Community. 1957)

Nemzetközi szabályozás

A Közösség szabályozó feladatkörben irányelveket adott ki a nukleáris biztonság-, a radioaktív hulladék és fűtőelem kezelés-, a sugárvédelmi alapelvek- és a nukleáris anyagok szállítása terén, illetve rendeleteket fogalmazott meg biztosítéki rendelkezések gyanánt.

Az Európai Atomenergia Közösséget megalapító szerződés értelmében a Közösségnek meg kellett fogalmazni olyan biztonsági szabványokat és irányelveket, amelyek biztosítják mind a munkavállalók-, mind a lakosság egészségét és biztonságát. A biztonsági szabványokon kívül a tagállamoknak kötelessége a munkavállalók és a lakosság megfelelő tájékoztatása, amely tájékoztatásnak mindenki számára korlátozás nélkül elérhetőnek kell lennie.

A radioaktív hulladékok csoportosításáról, kezeléséről, szállításáról, valamint végleges elhelyezéséről szóló jogszabályokat az 1. melléklet tartalmazza.

Hazai szabályozás

A hazai szabályozásban azokat a kapcsolódó jogszabályokat és rendeleteket fogom bemutatni, amelyek kapcsolódnak az általam későbbiekben vizsgált nagy aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezésére szolgáló mély geológiai hulladéktároló létesítményekre.

A továbbiakban az *1996 évi CXVI. törvény az atomenergiáról* törvény célját, tárgyát és hatályát mutatom be, a további kapcsolódó hazajogszabályok pedig a 2. mellékletben olvashatók.

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról

Hazánkban az atomenergiával kapcsolatban az *1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról* rendelkezik, valamint a további atomenergiával kapcsolatos jogszabályok mintegy alapjául szolgál.

A törvény -összhangban az EURATOM szerződésében foglaltakkal- alapelveként megfogalmazza azt, hogy kerülni kell a hasadóanyagok katonai felhasználását, a nukleáris energiatermelésben a biztonság minden más szempontnál nagyobb figyelmet kell hogy élvezzen, így biztosítani kell, hogy az atomenergia energetikai célú hasznosítása során ne jöhessen létre olyan nukleáris láncreakció, amely nem áll ellenőrzés és szabályzás alatt. Alapelveként szerepel továbbá, hogy a Magyarországon keletkezett kiegészített fűtőelem és radioaktív hulladék végleges elhelyezését a keletkezési országban, tehát hazánkban kell elhelyezni, kivéve abban az esetben ha a szállítás előtt született olyan megállapodás, amely az EURATOM irányelveknek megfelelő módon az itthon létrejött kiegészített fűtőelem és radioaktív hulladék végleges elhelyezését biztosítja

A törvény értelmében a kiegészített fűtőelemek és a radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezése abban az esetben áll fenn, ha a lakosság és a környezet védelme az elhelyezés helyén biztosított a működés időtartama alatt, valamint ha a lakosságra és a környezetre gyakorolt hatás Magyarország határain túl sem haladja meg a itthon elfogadottakat.

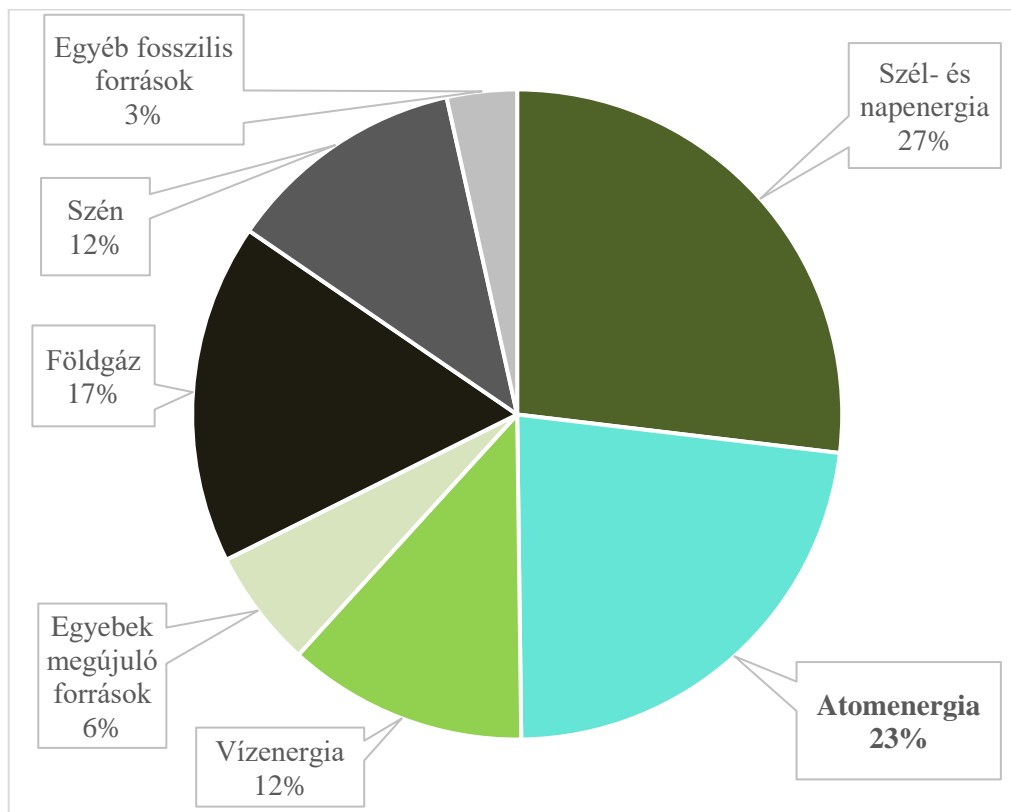
2.2. Energiapolitika

2.2.1. Az Európai Unió energiamixe (2022-2023)

Ahhoz, hogy megérthessük az atomenergia fontosságát ebben a témában, érdemes általánosságban áttekinteni az elmúlt évben történt változásokat az Európai Unió energiamixében. Viszonyításként a 2022-es év adatait használom, mivel az ezt megelőző periódusokhoz képest a 2022 és 2023 közt bekövetkezett változások voltak véleményem szerint a legmeghatározóbbak, illetve a lehető legfrissebb elérhető adatok felhasználásával szeretnék pontos képet adni az Európai Unió jelenlegi energiapolitikai helyzetéről. (Brown et al. 2024)

2023-ban a megelőző évhez képest a fosszilis tüzelőanyagok felhasználás és a szén-dioxid kibocsátás mintegy 19%-kal csökkent, amely nagyjából 157 millió tonna szén-dioxiddal egyenértékű szennyezőanyagnak felel meg. A fosszilis tüzelőanyagok iránti kereslet mintegy 3,4%-kal csökkent, ami nagyjából 94 TWh csökkenést jelentett az energiatermelésben. Mindezekkel ellentétben a megújuló forrásokból származó energiatermelés először haladta meg a 44%-ot, amelyek közül a jelentős fejlesztéseken átesett szélenergiát hasznosító és fotovoltaiikus rendszerek mintegy 27%-ot tettek ki. A 2023-as évben a szél által termelt energia a maga 13%-os növekedésével elérte a mintegy 475 TWh mértéket, amely több, mint Franciaország teljes energiaigénye (452 TWh). (Brown et al. 2024)

Az Európai Unió energiamixe a 2023-as évben a megelőző évekhez képest nagymértékben megváltozott, mivel a megelőző időszakoktól eltérően megtermelt energiájának kétharmada tiszta forrásokból származott, ahogy az az 1. ábrán is látható.



1. ábra: Az Európai Unió energiamixe 2023-ban (forrás: *European Electricity Review*, 2024)

2.2.2. Az Európai Unió atomenergiapolitikája

Jelenleg több mint 400 atomerőmű üzemel a világ 32 országában, amelyek a világ energiaszükségletének mintegy 10%-át, valamint az alacsony szén-dioxid emissziójú energiatermelési módok nagyjából egyharmadát szolgáltatják. A jelenleg üzemelő erőművek nagyjából egyharmada az Európai Unió területén helyezkedik el. (Brown et al. 2024)

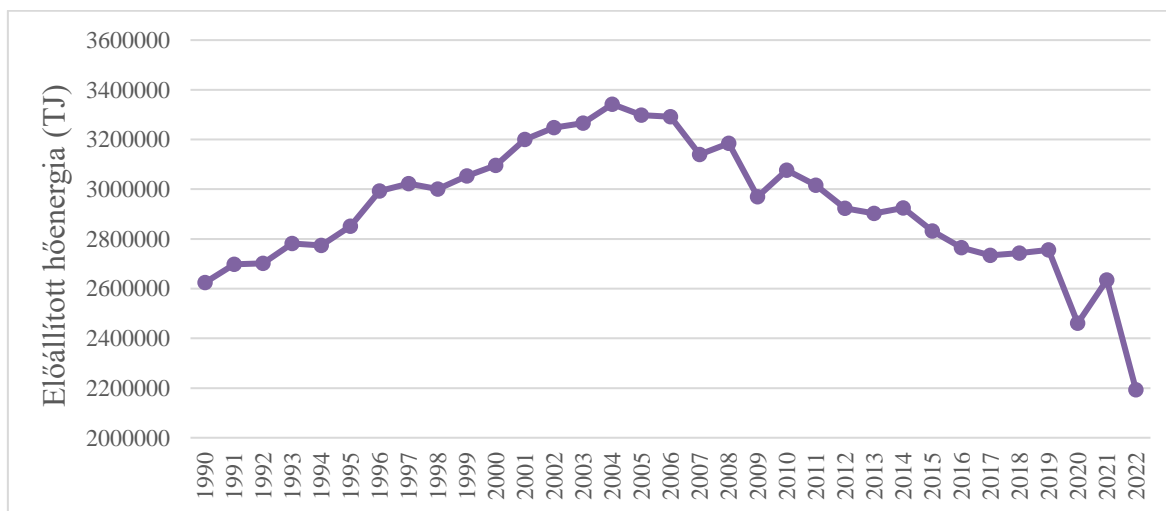
Az Európai Unió teljes termelésének 23%-át tette ki az atomenergia, ami energiatermelés szempontjából nagyjából 619 TWh megtermelt energiát jelent. (Brown et al. 2024)

Az Európai Unió klímasemlegesség-, valamint szén-dioxid semlegesség iránti céljainak megvalósításában a nukleáris energiatermelés fejlesztése és alkalmazása egy kiemelt fontosságú lépés, mivel az atomerőműveknek az energiatermeléshez kapcsolódóan nincs szén-dioxid kibocsátása. A nullához közeli szennyezőanyag emisszió miatt, a 2024 március 21.-én megrendezett Brüsszeli Atomcsúcson (*Brussels Nuclear Summit*) a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) által kiadott nyilatkozatban olvashatjuk, hogy a tervek

szerint a nukleáris energiatermelés fejlesztésével, tehát további erőművek és reaktorblokkok kiépítésével kívánják csökkenteni az ipari és lakossági áramellátáshoz köthető üvegházgáz kibocsátást, így biztosítva az energetikai biztonságot és a hosszú távú fenntarthatóságot. Az új reaktorblokkok létesítésén kívül tervben van, hogy a jelenleg üzemben lévő blokkok további működtetését is támogatnák azokon a helyeken, ahol az élettartam meghosszabbításával nem jár biztonsági kockázat. (Declaration on Nuclear Energy. 2024)

Bár az IAEA és az Európai Unió egyaránt az atomenergia egyre nagyobb mértékű használatát szorgalmazza, 2023 első felében Németország az Unió területén tomboló energiaválság ellenére április közepén kivonta az energiatermelésből az utolsó három üzemelő reaktorblokkját. (Brown et al. 2024)

2004 óta a nukleáris hőenergia termelés folyamatosan csökkent egészen 2022-ig, amikor elérte 30 éves mélypontját, ahogy azt a 2. ábra is mutatja. Ezt a mélypontot 2023-ban Németország kivonulásának ellenére elhagyta, így a nukleáris hőenergia termelés újra növekvő tendenciát mutat. (Brown et al. 2024)



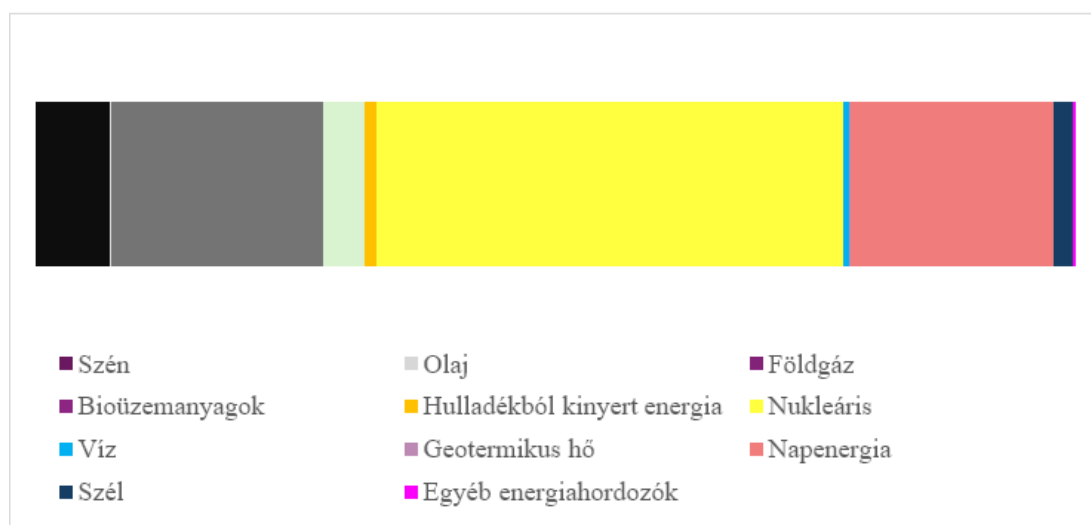
2. ábra: Előállított nukleáris hőenergia 1990 és 2022 közt (forrás: Eurostat)

2.2.3. Magyarország atom- és energiapolitikája

Magyarország 2020-ban azon országok közt szerepelt, amelyek 2050-ig vállalták a karbonsemlegesség elérését. Ennek az első lépéseként hazánk a szén energetikai célú felhasználását 2030-ig fokozatosan kivezeti, a kiesett megtermelt elektromosságot pedig a napelemparkok és a Paksi Atomerőmű bővítésével pótolja. A hazai energiapolitika fő célja a fosszilis energiahordozók használatának visszaszorítása mellett az energiabiztonság elérése, valamint a más országoktól való energetikai függőség csökkentése. (URL3)

2022-ben hazánk a világ energetikai célú szén-dioxid kibocsátásának 0,1%-át adta a maga 42.54 Mt szén-dioxid egyenértékű kibocsátásával. Ennek a kibocsátásnak a 46%-a olaj felhasználásából, míg további 43%-a földgáz felhasználásából származott. A teljes szén-dioxid kibocsátás mintegy 35%-a közlekedéshez, míg 22% energia- és hőtermeléshez köthető. (URL3)

A tavalyi, 2023-as évben, a hazai villamosenergia termelés mintegy 35,5 TWh volt, amely elsődleges forrásainak megoszlását a 3. ábra mutatja be. Az ábrán látható, hogy a megtermelt energia nagyjából 45%-a (15 TWh) származott nukleáris forrásból, míg a fotovoltaikus energiatermelés a megújuló energiaforrások használatát célzó pályázatoknak köszönhetően folyamatosan fejlődik. A tavalyi év során a fotovoltaikus rendszerekkel termelt villamosenergia elérte a 6,9 TWh mértéket. (URL3)



3. ábra: Az energiatermelés hazai megoszlása 2023-ban (forrás: International Energy Agency)

Hazánk területén Pakson helyezkedik el az egyetlen energiatermelésben résztvevő atomerőművünk, amely jelenleg négy blokkal üzemel, valamint további két blokk kivitelezés alatt áll. A 2011-ben kiadott 2030-ig érvényes Nemzeti Energiastratégia nem csak az új blokkok létesítését, hanem az Európai Unió céljakkal egyöntetűen a már meglévő blokkok üzem idejének meghosszabbítását szorgalmazza, amennyiben ez a munkavállalók és a lakosság egészségét nem veszélyezteti, tehát biztonságosan kivitelezhető. (Nemzeti Energiastratégia 2030. 2011)

A reaktorok tervezett élettartama 30 év, így a termelésben résztvevő négy blokk üzem idejének végét 2012 és 2017 közt érte volna el, ám a felülvizsgálatok során kiderült, hogy az üzemidő további 20 évvel való növelése nem ütközik biztonsági akadályba. Az első blokk élettartamának növelése 2012-ben valósult meg, amelynek így 2032 decemberéig aktív részt vesz a termelésben. 2022 decemberében a Parlament elfogadta azon javaslatot, hogy a reaktorblokkok biztonsági felülvizsgálata után az 50 éves üzemidőt további 20 évvel hosszabbítsák meg. (URL4)

2.3. A radioaktivitás és a radioaktív sugárzások csoportosítása

Akkor radioaktív egy anyag, ha proton- és neutron aránya miatt szerkezete instabil, így spontán hasadáson keresztül nagy mennyiségű energiát ad le, hogy szerkezetét stabilizálja. Erre a radioaktív hasadásra, azaz spontán bekövetkező magátalakulásra, hajlamosak természetes elemek, mint például a radon, mesterséges elemek, mint például az Einsteinium, valamint az elemek radioaktív izotópjai, például a jód-131 vagy a cézium-137.

2.3.1. Eredet szerinti csoportosítás

A radioaktív anyagok származhatnak természetes vagy mesterséges forrásokból. A természetes forrásból érkező sugárzásnak a mindennapi életünk során állandóan ki vagyunk téve, ám ennek a háttérsugárzásnak a mértéke helyenként eltérhet.

A talajban jelenlévő radon és a világegyébről származó sugárzáson kozmikus sugárzás mértéke a földrajzi elhelyezkedéstől és egyéb tényezőktől függ, mint például a tengerszint feletti magasság. (URL5)

A mesterséges sugárzás kivétel nélkül orvosi-, ipari- vagy energetikai forráshoz köthető. Ezek közül a sugárterhelés túlnyomó többségét az orvosi diagnosztikai eljárások (röntgen, izotópdiaosztika) és a sugárterápiás kezelések adják. Ezzel szemben elhanyagolható sugárterhelést jelent a lakosságra és a munkavállalókra a legnegatívabb társadalmi megítéléssel rendelkező energetikai hasznosítás. (URL5)

2.3.2. Bomlás során kibocsátott anyag vagy energia szerinti csoportosítás

A spontán bekövetkezett radioaktív bomlás során a bomlás következtében részecskék vagy energia lép ki a rendszerből. Mindkét esetben a kilépő részecskék vagy hullámok energiájától függően képesek töltéssel rendelkező részecskéket leszakítani arról az anyagról amivel érintkeznek, így közvetett vagy közvetlen ionizáló hatással rendelkeznek.

Részecske sugárzás

A radioaktív bomlásoknak vannak olyan fajtái, amelyek során valamilyen részecske lép ki, ezért nevezzük ezeket részecske sugárzásoknak. Ebbe a csoportba tartozik az α -sugárzás, β -sugárzás és a neutronsugárzás.

Az α -sugárzás esetében a bomláskor egy nagyméretű, így lassú, elektronokkal nem rendelkező hélium atom lép ki, amelyet két proton és két neutron alkot. Mérete és sebessége miatt levegőben néhány centiméter után elnyelődik, viszont egy papírlap vagy az emberi hámréteg is képes megállítani. (URL6)

A β -sugárzás esetén a bomláskor az atomból egy negatív töltésű elektron vagy egy pozitív töltésű pozitron szabadul fel. A kilépő β -részecske töltése alapján megkülönböztetünk

pozitív és negatív β -bomlást. A kilépő részecske áthatolóképessége az α -részecskéhez képest jóval nagyobb, mivel mérete kisebb, sebessége pedig nagyobb, ám levegőben néhány centimétertől kezdve maximum 15 méterig-, az emberi testszövetbe lépve maximum néhány centiméteren belül elnyelődik. (URL6)

Az atommagok hasadásakor keletkezik két hasadvány elem, valamint mellettük neutronok lépnek ki, mozgása lassabb, mint a β -részecskéké, ám áthaladóképességük szignifikánsan magasabb. Ezeknek a szabad neutronoknak a legnagyobb az áthatolóképessége a részecskesugárzások közül, így védekezni is nehéz ellene.(URL7)

Energia sugárzás

A részecskesugárzásokkal ellentétben az energia sugárzások során a bomlásnál a rendszerből nagy energia szabadul fel, ide tartozik a γ -sugárzás.

A γ -sugárzás során az előzőekben említett α - és β -sugárzással ellentétben, nagy energiával rendelkező elektromágneses sugárzás, nem pedig részecske lép ki. Ez a kilépő elektromágneses sugárzás nagy frekvenciával és energiával rendelkezik. (URL6)

A γ -sugárzás hatótávolsága a többivel ellentétben jóval nagyobb, mint ahogy áthatolóképessége is, mivel nem részecske lép ki, hanem energia. Szervezetbe jutva égési sérüléseket, genetikai mutáció útján pedig daganatos megbetegedéseket okoz. (URL6)

2.4. A radioaktív hulladékok

A radioaktív hulladékok olyan anyagok, amelyek radionuklidokat tartalmaznak, vagy radionuklidokkal szennyezettek, ám további felhasználásuk nem gazdaságos, esetleg további felhasználásra nem alkalmasak, illetve birtokosuknak nincs szándékában további felhasználásuk, újrahasznosításuk.

2.4.1. A radioaktív hulladékok keletkezése

A radioaktív hulladékok forrásukat tekintve változatosak. Származhatnak a nukleáris energiatermelésből, illetve a hozzá köthető nukleáris üzemanyagciklus különböző szakaszaiból, gyógyszerészeti- és orvostechikai eljárásokból, valamint különböző kutatásokból és ipari felhasználásból. Általánosságban elmondható azonban, hogy

elsődleges forrásuk az energetikai felhasználás és a hozzá köthető nukleáris üzemanyagciklus. (Hosan. 2017)

2.4.2. A radioaktív hulladékok csoportosítása

Halmazállapot szerinti csoportosítás

A gáz halmazállapotú radioaktív hulladékok habár nem tartoznak a hulladékkezelés fő célpontjába, mégis jelentős környezetre és lakosságra gyakorolt hatásuk lehet. Kibocsátásuk az energetikai használat során áll fent. Legmeghatározóbb formájuk a levegő, amelyben radionuklidok vannak füstök, gőzök vagy gázok, illetve por formájában. (IAEA-TECDOC-1744)

A folyékony halmazállapotú radioaktív hulladékok a gáz halmazállapotú hulladékokhoz hasonlóan a radioaktivitás energetikai felhasználása során, illetve a nukleáris üzemanyagciklus mentén keletkeznek. Ezeknek a kezelése a gázokéval ellentétben jóval összetettebb, mivel figyelembe kell venni a folyékony hulladék fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait is. A folyékony radioaktív hulladékok többféle radioaktív anyagot tartalmazhatnak nagyobb koncentrációban, így található bennük rövid és hosszú felezési idejű elem, valamint β - és γ -sugárzó elem is. (Rahman et al. 2011)

A gáz- és folyékony halmazállapotú hulladékokhoz hasonlóan a szilárd radioaktív hulladékok legnagyobb arányban az energetikai felhasználásban képződnek. Kisebb részben orvosdiagnosztikai eljárásokhoz és egyéb gyógyászati felhasználáshoz kötődnek. (Sant'ana & Corderio. 2016)

A szilárd hulladékok halmazállapotuk miatt könnyebben gyűjthetőek, ám a folyékony hulladékokhoz hasonlóan radionuklidok széles tartományát tartalmazza, kezdve a rövid felezési idejű elemektől a hosszú felezési idejű elemekig. Ezek a tartalmazott elemek többségében β -sugárzó anyagok, amennyiben a radionukliddal szennyezett hulladék atomerőművi eredetű.

Aktivitás szerinti csoportosítás

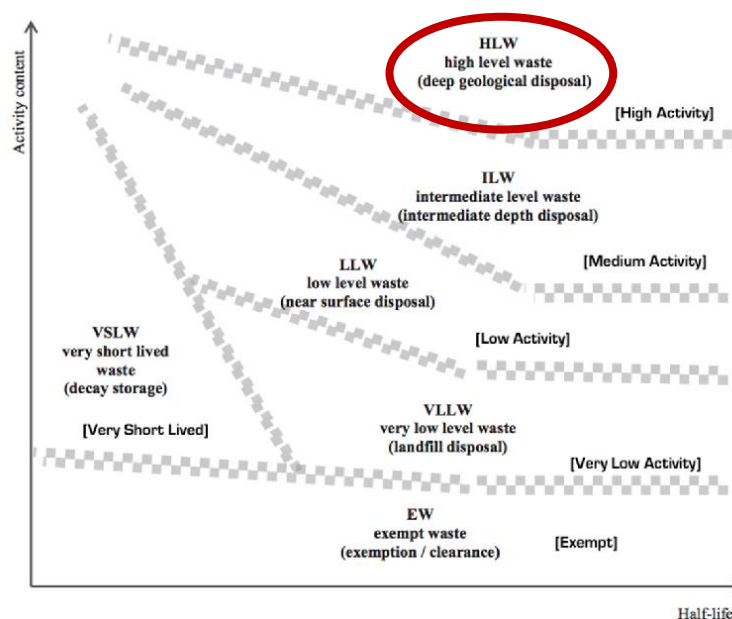
Az IAEA osztályozási rendszere alapján 6 csoportba lehet sorolni a radioaktív hulladékokat, ahogy az a 4. ábrán látható. A hulladék besorolását a felezési idő és az aktivitás mértéke befolyásolja.

A hazai besorolás háromféle aktivitású hulladékot különít el, amelynek aktivitáskoncentrációs szintjeit az 1. táblázat mutatja be. A továbbiakban az IAEA besorolása segítségével négy kategóriát különítünk el az alapján, hogy a radioaktív hulladékok kezelése hogyan oldható meg. Ez alapján elkülöníttem speciális kezelést nem igénylő-, speciális kezelést kis mértékben vagy rövid ideig igénylő-, izolációt igénylő, alacsony hőfelszabadulással járó-, izolációt igénylő, nagy hőfelszabadulással járó radioaktív hulladék csoportokat.

1. táblázat: Hazai Csoportosítás aktivitáskoncentráció szerint (forrás: Nikodém E. 2013)

Aktiváskoncentrációs szint megnevezése	Határérték (kBq/kg)
Kis aktivitású hulladékok	$<5 \cdot 10^5$
Közepes aktivitású hulladékok	$5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^8$
Nagy aktivitású hulladékok	$5 \cdot 10^8 <$

A 4. ábrán vörössel bekarikázva látható a nagy aktivitású hulladék, azaz HLW, amelynek mélygeológiai izolációjának hazai lehetőségeit vizsgálni fogom.



4. ábra: Aktivitás és felezési idő szerinti felosztás az IAEA Biztonsági Előírása szerint (forrás: *Environments*)

A mentességi szint alatti radioaktív hulladékok (Exempt waste, továbbiakban EW) azok a radionuklidokat tartalmazó radioaktív hulladékok, amelyeknek a radioaktivitása annyira alacsony, hogy nem éri el az IAEA által kiadott General Safety Guide (No. GSG-1) által meghatározott minimum értéket.

A következő szint a nagyon rövid élettartamú radioaktív hulladékok (Very short level waste, továbbiakban VSLW) szintje, amelyek rövid felezési idejű radionuklidokat tartalmaznak, amelyek felezési ideje kevesebb, mint 100 nap. (IAEA General Safety Guide) A VSLW csoportba tartozó radioaktív hulladékok a mentességi szintet átlépik, így ezeket már radioaktív hulladékként, az általuk tartalmazott radionuklidok felezési idejének megfelelően.

A Nagyon alacsony szintű radioaktív hulladékok (Very low level waste, továbbiakban VLLW), a VSLW-hez képest hosszabb felezési idővel rendelkeznek, valamint a mentességi szintet is meghaladják. (IAEA General Safety Guide) Ezek az anyagok általában természetes eredetű radionuklidokat tartalmaznak, forrásuk pedig a radioaktív ércek bányászatához és feldolgozásához köthető.

Az alacsony szintű radioaktív hulladékok (Low level waste, továbbiakban: LLW) aktivitása a mentességi szintet meghaladja, valamint tartalmaz hosszú felezési idejű

radionuklidokat, amelyek tárolása és végleges elhelyezése már nagyobb figyelmet igényel, mint az előző két kategóriáé. (IAEA General Safety Guide) Az LLW típusba tartozó hulladékok elhelyezése gyakran felszínközeli tárolókba történik, amelyek néhány száz évig tárolják az anyagokat.

A közepes szintű radioaktív hulladékok (Intermediate level waste, továbbiakban: ILW) a mentességi szinthez képest jelentős mértékben tartalmaznak olyan radionuklidokat, amelyek hosszú felezési idővel rendelkeznek. A bennük található radioaktív anyagoknak köszönhetően az ILW hulladékok esetében az aktivitáson kívül a hőképződésre is figyelmet kell fordítani. (IAEA General Safety Guide) Az ILW hulladékok környezettől és lakosságtól való izolációja fontos, így ezeknek a tárolása és végső elhelyezése felszínhez közeli tárolókban történik.

Az LLW és ILW típusú hulladékok jelentős mennyiséget tesznek ki a radioaktív hulladékok közt, kezelésük pedig együtt költségghatékonyabb.

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok (High level waste, továbbiakban: HLW) a mentességi szintet szignifikánsan meghaladják. Az általuk tartalmazott jelentős mennyiségű radionuklid túlnyomó többségében hosszú felezési idejű, valamint az ide tartozó hulladékok hőtermelése a tárolás és végső elhelyezés biztonságának szempontjából semmiképp sem elhanyagolható. A HLW csoportba tartozik az atomerőművek kiegészítő üzemanyaga is. A HLW típus környezettől és lakosságtól való izolációját a lehető legnagyobb gazdaságos mélységben kell megvalósítani többszintű biztonsági- és sugárzás kijutását gátló rendszerekkel úgy, hogy ezek a hulladék hosszú, több ezer évig terjedő tárolására alkalmasak legyenek. (IAEA General Safety Guide)

Radionuklid felezési ideje szerinti csoportosítás

A hulladékok által tartalmazott radionuklidok felezési idejének -azaz annak az időnek, amely alatt egységnyi mennyiségű radioaktív anyag mennyisége radioaktív bomlás útján annak felére csökken- kiemelt jelentősége van a VSLW, a VLLW, LLW és ILW kategóriák kezelése során, mivel a felezési idő függvényében egyes hulladékok aktivitásának mentességi szint alá történő csökkenésével a radioaktív hulladékok mennyisége szignifikánsan csökkenthető. (Zagyvai et al. 2013/A)

Rövid felezési idő esetén az adott radioaktív anyag tömegének fele néhány másodperctől maximum 30 évig elbomlik, míg aktivitáskoncentrációja α -sugárzó anyagokra vonatkoztatva gyűjtőcsomagolásban a 4000Bq/g, teljes hulladékmennyiségre nézve a 400 Bq/g mértéket. Ha a tartalmazott radionuklid a 30 éves felezési időt, vagy az említett α -sugárzó aktivitáskoncentrációt meghaladja, az anyag a hosszú felezési idejű kategóriába tartozik. (Zagyvai et al. 2013/A)

2.5. A radioaktív hulladékok kezelési lehetőségei

Az eddig elvégzett kutatási eredmények segítségével mára már a radioaktív hulladékoknak a biztonságos kezelésére többféle megoldással rendelkezünk, így nem minden hulladékot szükséges teljes mértékben lokalizálni. A radionuklidokat tartalmazó hulladékok csoportosítása javarészt determinálja.

A hulladékok kezelését mindig megelőzi egy előkészítési folyamat, amely olyan kémiai műveleteket foglal magában, amelyek a további kezelések sikeres alkalmazásának biztosítása érdekében optimalizálják a hulladék tulajdonságait. (Zagyvai et al. 2013/A)

2.5.1. Térfogatcsökkentés

A kezelési eljárásokat megelőzi egy térfogatcsökkentési eljárás, amely gazdaságosan képes csökkenteni a radioaktív hulladék térfogatát. Ez a folyamat általában hidraulikus vagy pneumatikus préssel történik, ám fokozott figyelmet kell fordítani a présbe került anyagokra, mivel bizonyos szerkezeti és beton elemek könnyen károsíthatják a berendezést. (MVM Paks II. Zrt. 2014)

A hulladékok térfogatának csökkentésére előszeretettel használnak préselet, hőkezelést égetéssel vagy hőbontással, folyékony hulladékok esetén bepárlást, amelyet szűrés és dekontaminálás követ. (Zagyvai et al. 2013/A)

2.5.2. Kondicionálás

A kondicionálás során már kémiailag kezelt hulladékban található radionuklidok immobilizálása történik azáltal, hogy egy stabil hulladékmátrixot hoznak létre kötőanyag bevonásával. Ezt úgy kell megvalósítani, hogy az a munkavállalókat érő dózis a lehető

legkisebb mértékű legyen, illetve, hogy a hulladék térfogata a lehetséges legkisebb legyen. (Fábián. 2015)

Az EW, VSLW és VLLW aktivitáskategóriába tartozó hulladékok beágyazást nem igényelnek, míg a LLW és ILW összetételtől függ a beágyazás, főként szerves alkotók esetén a beágyazás bitumenbe, egyéb esetben cementbe történik. HLW esetén üvegesítést vagy kerámiába foglalást alkalmaznak. (Fábián. 2015)

2.5.3. Transzmutáció

Transzmutáció során a radioaktív anyagot gyors neutronok segítségével többször egymás után bombázzák, amíg neutron abszorpció segítségével nem érik el a maghasadást, így hasítva a kiindulási elemet addig, amíg egy stabilabb, vagy alacsonyabb aktivitás jellemzőkkel nem rendelkező anyagot érnek el.

A transzmutációt főként nagy aktivitású és hosszú felezési idejű anyagok esetében alkalmazzák. (Gudowski, 2000)

2.6. Izoláció

2.6.1. Felszínhez közeli tárolók

A felszínhez közeli tárolók a talajfelszínhez közel helyezkednek el, maximális mélységük 30-40 méter, általánosságban a vízkivételre alkalmas vízzáró réteg felett vannak, így a lakossági ivóvízellátást nem befolyásolják. Mivel a felsőbb rétegekben nagyobb jelentősége van a víz jelenlétének, ezeket általában agyagban létesítik, mivel az agyag kiemelkedő vízszigetelő, így képes akadályozni a talajvíz áramlását. (Zagyvai et al. 2013/B)

A felszínközeli tárolókban túlnyomó többségében olyan hulladékokat tárolnak, amelyek felezési ideje maximum néhány száz év, ezalatt pedig a mentességi szint alá esik az aktivitáskoncentrációja. A felszínközeli tárolók a VSLW, VLLW, LLW és ILW csoportok végleges tárolója, valamint esetenként a HLW csoport ideiglenes tárolója). (Zagyvai et al. 2013/B)

2.6.2. Kiégett üzemanyagok átmeneti tárolása

Miután a reaktorokban alkalmazott üzemanyag kiégett, azaz az Urán 235-ös izotóp koncentrációja a maghasadások miatt annyira lecsökken, hogy annak további üzemanyagként nem gazdaságos, bekövetkezik az üzemanyag-átrakás, ahol a kiégett üzemanyagot kicserélik, a kiégett kazettákat pedig elszállítják. (Vinnay. 2014).

A kiégett üzemanyagokban bár nukleáris láncreakció következtében termelődő hő már nincs jelen, a radioaktív bomlások által eredményezett remanens hővel számolni kell, így ezeket 3-5 évig pihentető medencékben tárolják.

A pihentetés után a fűtőelemek több úton is eljuthatnak a végleges elhelyezésig. Ha zárt üzemanyagciklusról beszélünk, akkor annak végén a kiégett üzemanyagokat újrafeldolgozzák, a kinyert radionuklidokat (urán és plutónium) pedig újrahasznosítják, a hulladék „maradékának” lerakása pedig ezután következik. Nyílt üzemanyagciklusban az újrafeldolgozás és az újrahasznosítás kimarad, a radioaktív hulladékok egyenesen mélygeológiai tárolókba kerülnek a megfelelő előkészítés után. A harmadik eset az, amikor a pihentetés után a radioaktív hulladékot egy 50-100 évre átmeneti tárolóban helyezik el, így a feldolgozás, újrahasznosítás, lerakás és az egyéb felmerülő kérdésekről csak az átmeneti tárolás végeztével kell dönten. (Zagyvai et al. 2013/B)

2.6.3. Mélységi- és mélygeológiai tárolók

Bizonyos LLW és ILW aktivitáskoncentrájú hulladékok lerakása mélységi tárolókba történik. Ezek a mélységi tárolók egyfajta kísérleti tárolók, amelyek a mélygeológiai HLW tárolást segítik elő.

A mélygeológiai tárolók, amelyek létesítési lehetőségeit a későbbiekben én is vizsgálom, olyan létesítmények, amelyek kimondottan a nagy aktivitású hulladékok, főként a kiégett üzemanyagok végleges tárolására szolgál. Különlegességük a felszínközeli tárolókkal szemben, hogy többszörös természetes-, műszaki-, és mérnöki gáttal vannak ellátva, így lezárás után a felszínen lévő bioszférától teljes mértékben izolált.

Az izoláció a gátak megfelelő elhelyezésén kívül azáltal oldható meg, hogy a mélygeológia tározók talpmélysége jóval a vízkivételi mélység alatt van. . (Zagyvai et al. 2013/B)

2.7. Atomerőműben képződő hulladékok

Az atomerőművek létesítése, üzemeltetése és leszerelése során számos hulladéktípus keletkezik, amelyben jelentős mennyiséget képviselnek a radionuklidokkal szennyezett hulladékok.

Mivel szakdolgozatomban az üzemszerű működés közben képződő nagyaktivitású radioaktív hulladékok mélygeológiai elhelyezésének lehetőségeit vizsgálom, így a továbbiakban az üzemszerű működés következtében képződő hulladékokat veszem csak figyelembe, mivel a fém és beton szerkezeti anyagok felaktiválódásának az erőmű reaktorblokkjainak leszerelésénél van jelentősége. (Zagyvai et al. 2013/B)

2.7.1. Üzemszerű működés során keletkező hulladékok

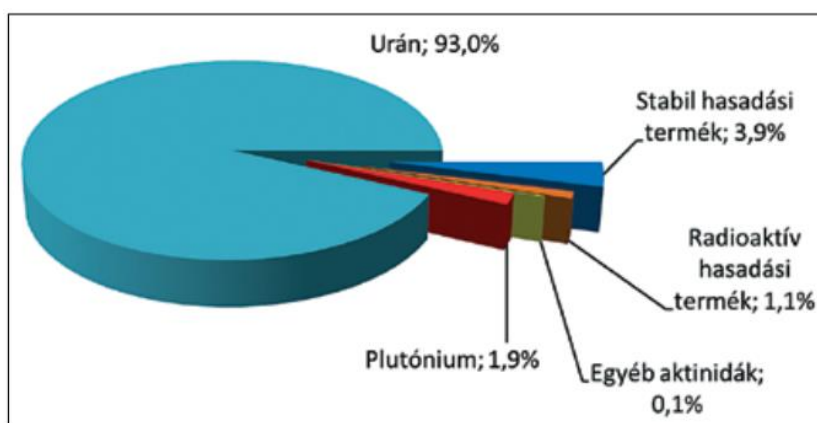
Az atomerőművekben képződő hulladékok nagy része, ha az atomerőművön kívül keletkezne, nem lenne radioaktív. Ezeket a hulladékokat az erőmű üzemelése közben keletkező radioaktív anyagok szennyezik, így ezeket keletkezésük alapján több csoportba sorolhatjuk.

A keletkező radioaktív hulladékok közül a leggyakoribbak a hasadási termékekkel szennyezett hulladékok. Ezek olyan anyagokat tartalmaznak, amelyek véletlenszerű hasadások során jöttek létre, de ők maguk továbbra is instabilak. A hasadványok bomlása során jönnek létre a hasadási termékeknek. (Zagyvai et al. 2013/B).

2.7.2. Kiegészítő üzemanyag

Az üzemanyagként szolgáló urán-dioxid pasztillák a fűtőelemkazettában foglalnak helyet. Ezek a pasztillák abban az esetben számítanak kimerültnek, ha a bennük lévő kezdetben 3-5% Urán 235 lecsökken 1% köré és használata már nem gazdaságos. Fontos megjegyezni, hogy a kiegészítő üzemanyag kazetták nem minősülnek hulladéknak.

Ahogy az a 5. ábrán is látható, a kimerült üzemanyag pasztillák nem csak a már energiatermelés szempontjából nem gazdaságos Urán 235-öt tartalmazzák, hanem a láncreakciók során keletkezett hasadványokat, azok hasadási termékeit és aktinoidákat. (MVM Paks II. Zrt, 2014).



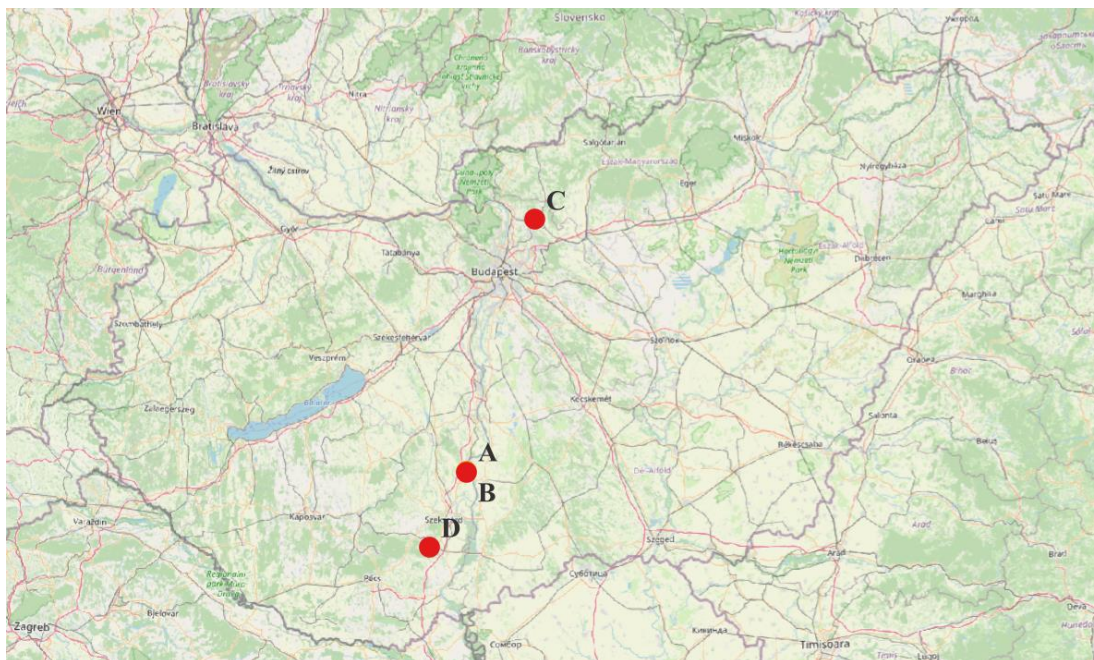
5. ábra: Az 50 MWd/KGU kiegészítő UO₂ üzemanyag jellemző összetétele (forrás: Nukleáris Üzemanyagciklus Radioaktív Hulladékai- Egyetemi jegyzet (2013))

2.8. Radioaktív hulladékok keletkezése és kezelése hazánkban

Hazánkban keletkezik olyan radioaktív hulladék is, amely nem köthető az energiatermeléshez. Ezek a hulladékok származhatnak orvosdiagnosztikai és gyógyszerészeti felhasználásból, kutatóreaktorokból valamint egyéb, mezőgazdasággal vagy iparral kapcsolatos felhasználásból és kutatásból.

A továbbiakban a hazánkban keletkezett, atomerőművi hulladékok keletkezésével, valamint annak elhelyezésével és kezelésével fogok foglalkozni, miközben bemutatom a hazai létesítményeket is.

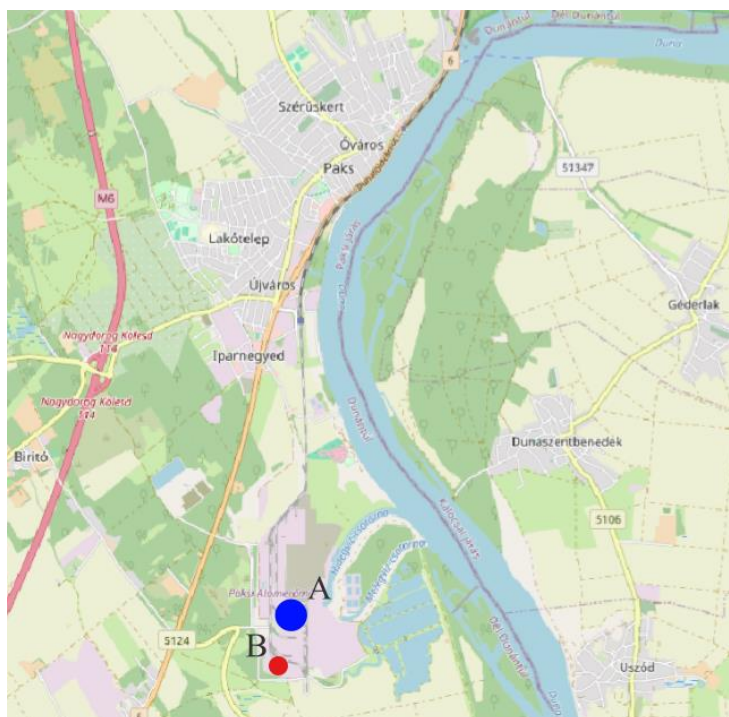
A 6. ábrán a hazai radioaktív hulladékot termelő és ezt kezelő létesítmények elhelyezkedése látható. Az „A” jelű pont a Paksi Atomerőmű, közvetlen mellette a Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolója „B” jelzéssel (a két pont átfedésben van, részletesen a 9. ábrán látható). A többi ponttól távol „C” jelzéssel látható a püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, míg a Bataapáti Nemzeti Radioaktív Hulladék Tároló a „D” jelzést kapta.



6. ábra: A Paksi Atomerőmű és a radioaktív hulladékait kezelő létesítmények elhelyezkedése hazánkban (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés)

2.8.1. A Paksi Atomerőmű

A dolgozatomban elejtett hazai nukleáris alapú energiatermelést a Paksi Atomerőmű szolgáltatja, amely fővárosunktól Budapesttől mintegy 100 km távolságra helyezkedik el a légvonalban. A Paksi Atomerőmű Paks településéhez viszonyított elhelyezkedését a 7. ábra mutatja be, ahol „A” jelöléssel a Paksi Atomerőmű üzemterülete került megjelölésre, míg a „B” jelölés a Paksi Atomerőmű területén létesített Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolója helyét jelöli.



7. ábra: A Paksi Atomerőmű (A) és a Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolójának (B) elhelyezkedése Paks településéhez képest (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés)

1976-ban létrejött a Paksi Atomerőmű Vállalat, majd 1982 és 1987 közt üzembe helyezték a jelenleg működő PWR típusú, VVER V-440 modellű blokkokat. (Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States, 2024) Ezek a blokkok a 30 éves üzemidőre lettek tervezve, ám a megfelelő biztonsági felülvizsgálatok elvégzésével leszerelésükkor nagyjából 70 éves üzemidővel fognak rendelkezni.

A Paksi Atomerőmű 4 üzemben lévő blokkja a 8. ábrán látható zöld épületekbe került elhelyezésre a hozzájuk tartozó 6 hűtőkörrel és az egyéb üzemszerű működést szolgáló berendezésekkel. (Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States, 2024)

A 2024.11.05. napi adatok szerint az 1. blokk 515 MW, a 2. blokk 505 MW, a 3. blokk 511 MW és a 4. blokk 508 MW villamos energiát termelt. (URL8)



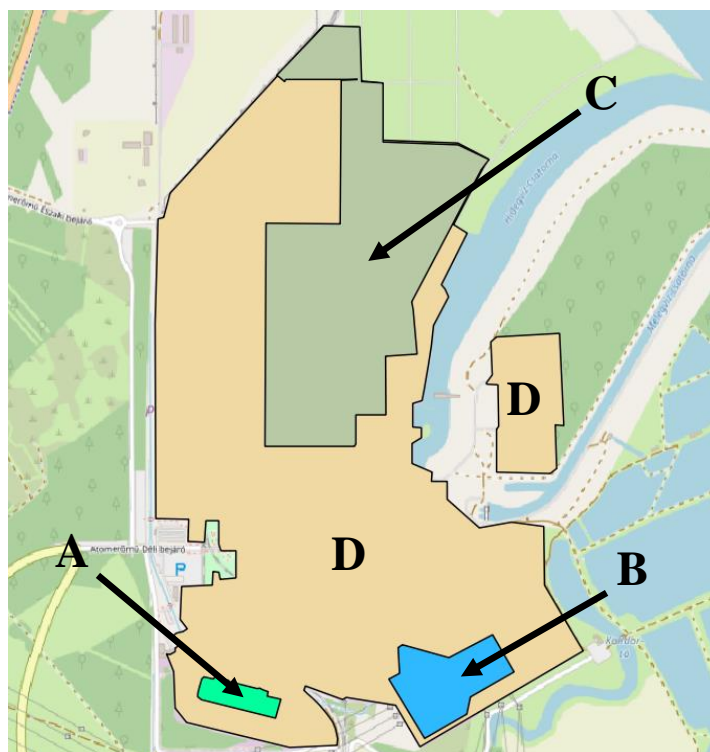
8. ábra: A Paksi Atomerőmű (forrás: energiainfo.hu)

2.8.2. Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolója

A 4 reaktorblokk üzemanyagának 30%-át havi szinten 12 alkalommal cserélik, a kiegészített kazettákat pedig átszállítják a Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolójába (KKÁT). (Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States. 2024)

Ahogy már korábban említettem, a kiegészített fűtőelemekben további nukleáris láncreakció nem játszódik le, ám a bennük végbemenő radioaktív bomlások továbbra is nagy hőfelszabadulással járnak. Ennek a hőnek az eltávolítására a kiegészített kazetták 3-5 évet töltenek pihentető medencében.

A 9. ábrán látható a Paksi Atomerőmű teljes területe, azon pedig jelölve vannak az energiaellátásban közvetlenül részt nem vevő létesítmények. „A” jelöléssel látható a KKÁT épülete, mellette jobbra „B” jelzéssel MAVIR Paksi állomása, „C” jelzéssel a Paks II projekt kijelölt építési területe látható, míg a „D” jelzést az Atomerőmű alapterülete kapta.



9. ábra: A Paksi Atomerőmű területén elhelyezkedő főbb létesítmények (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés)

Pihentetés során a keletkező hőt száraz léghűtéses vagy nedves vízhűtéses rendszerekkel kezelik. A Paks közelében létesített KKÁT „dry vault” zárt aknás tárolókamrás létesítmény, amely 450 kazetta tárolócső 50 éves biztonságos tárolására alkalmas. A „dry vault” kamrákban a kazetták által termelt felesleges hőt természetes huzathatás segítségével távolítják el, így nincs olyan berendezés, amely hibája miatt a hűtés megszűnhetne. (URL9) A „dry vault” rendszerek megfelelő működéséhez huzathatás szükséges. A huzat megteremtéséhez a 10. ábrán látható módon építették ki ezeket a tárolókat, így a felmelegedett levegő a tornyokon keresztül ki tud lépni a létesítményből. (MVM Paks II. Zrt, 2014)



10. ábra: A Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolója (forrás: rhk.hu)

2.8.3. Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló

A LLW és ILW aktivitáskoncentrációjú hulladékok elhelyezése és feldolgozása a püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tárolóban (továbbiakban: RHFT) történik, amely a Kismémedi és Püspökszilágy közti agyaglencsébe került kivitelezésre, mintegy 110 csőkúttal, amelyek a hulladékok tárolására alkalmasak.

Az RHFT egy olyan felszínközeli tároló, amely a nem-atomerőművi radioaktív hulladékok elhelyezésére szolgál. Maximális hulladékbefogadó képessége 5040 m^3 , átmenetileg pedig további 300 m^3 hulladék tárolására van lehetőség. (URL10)



11. ábra: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, Püspökszilágy (forrás: Izotóp Tájékoztató
Ellenőrző Társulás)

2.8.4. Nemzeti Radioaktív Hulladék Tároló

A Paksi Atomerőmű LLW és ILW aktivitású anyagait a Nemzeti Radioaktív Hulladék Tároló (továbbiakban NRHT) fogadja Bábaapátiban mintegy 200-250 méterrel a felszín alatt.

Az erőműből érkező radionuklidokkal szennyezett szilárd hulladék hőfejlesztésének maximális értéke nem haladhatja meg a $2\text{kW}/\text{m}^3$ -at, továbbá nem tartalmazhat toxikus és veszélyes anyagokat sem.

Az NRHT I-K1 kamra 2017-ben telt meg 537 konténerrel, amelyek összesen 4833 darab 200 literes hordót tartalmaznak. Jelenleg a tároló I-K2 kamrája a hulladékcsomagok befogadására készen áll, az I-K3 és I-K4 kamrák bányászata pedig megtörtént. Az N1 és N2 kamrák bányászati kialakítására a jövőben lehet számítani, ezekkel együtt pedig az NRHT teljes befogadóképessége eléri a $20\,000\text{ m}^3$ -at. (URL11)



12. ábra: Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló, Bábaapáti (forrás: rhk.hu)

2.9. Az ONKALO

Finnország nem csak a nukleáris energiatermelés hatékonyságában jár az élen, hanem a világon elsőként létesítettek HLW elhelyezésére alkalmas mélygeológiai tárolót, amely Helsinkitől nagyjából 300 kilométerre helyezkedik el Olkiluoto szigetén. Ez a nagyaktivitású radioaktív hulladék tároló hivatott befogadni Finnország két energiatermelésben részt vevő atomerőművében található összesen 5 reaktorblokk kiégett üzemanyagkazettáit. (URL12)

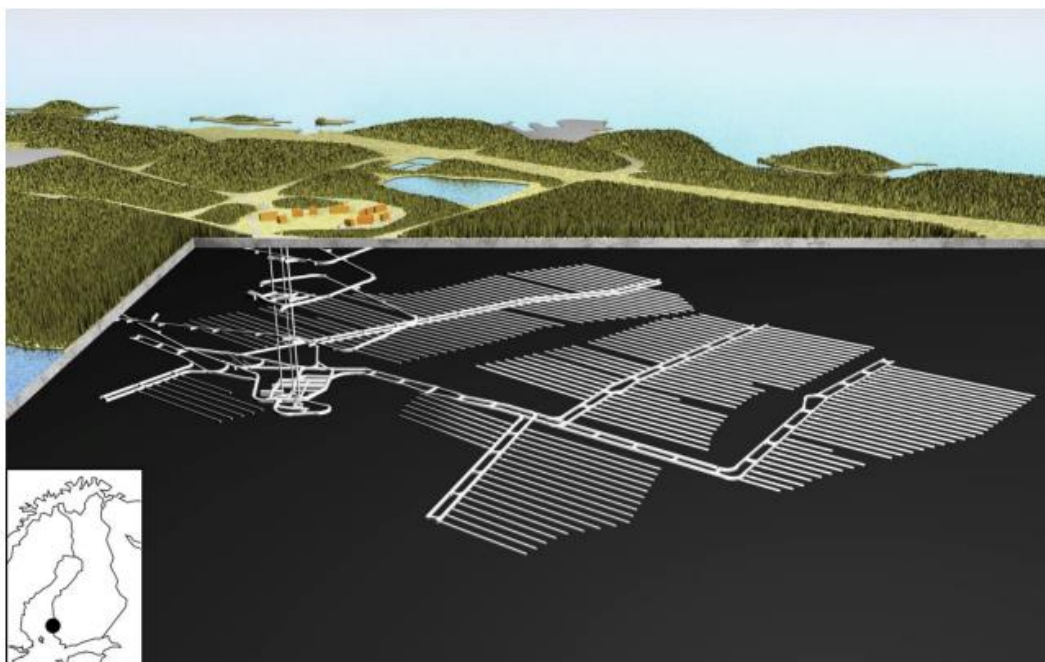
A Loviisa és Olkiluoto atomerőművek Finnország energiaellátásának 35%-át adják, a maguk 25,3 TWh energiatermelésével. A blokkok üzemidejének meghosszabbítása a Paksi Atomerőmű blokkjainak üzemidő növeléséhez hasonlóan folyamatban van, így a nagy aktivitású hulladék elhelyezésének kérdése kiemelt szerepet kapott. (URL12)

Az első vizsgálatok a HLW típusba tartozó hulladékok elhelyezésére 1978-ban kezdődtek. Nagy aktivitású radioaktív hulladék lerakására szolgáló mélygeológiai tározó létesítéséről a Finn Parlament végleges döntést 2001-ben hozott, majd 2004-ben jelölték ki az ONKALO mai helyét, ahol közel 10 évig felmérések zajlottak a terület felmérését szolgáló vizsgálatok és a tároló struktúrájának kialakítása. (Siren. 2017)

Az ONKALO kialakítása két szellőző- és egy személyi lejárást segítő akna talpmélységig való levezetésével kezdődött, majd ezt követték a technikai létesítmények, a bemutató- és vizsgálati alagutak és a radioaktív hulladékot tároló réztartályok elhelyezését szolgáló vágatok létesítése, amely jelentős időt vett igénybe a részletes geotechnikai és geológiai feltérképezés miatt. (Siren. 2017)

Az ONKALO talpmélysége 457 méterrel van a felszín alatt, a technikai létesítmények kialakítása -437 m, míg a bemutató és kísérleti alagutak létesítése -420 méteren történt a területen fekvő diatexit és gránit kőzetben, ahová 3 akna vezet le. Az aknák közül kettő 3,5 m átmérőjű szellőzést szolgál, egy 4,5 m átmérőjű pedig szociális célú. Az ONKALO kialakítása során úgy határozták meg, hogy bezárásakor a befogadott HLW eléri a 6500 tonnát. (Siren. 2017)

Az ONKALO 3D-s ábráját a 13. ábra szemlélteti, amely alapján megterveztem az általam létesíteni kívánt hazai mélygeológiai tároló kialakítását és méreteit.



13. ábra: Az ONKALO mélygeológiai tároló tervek szerinti kialakítása (forrás: Posiva Oy)

2.9.1. ONKALO létesítését megelőző vizsgálatok

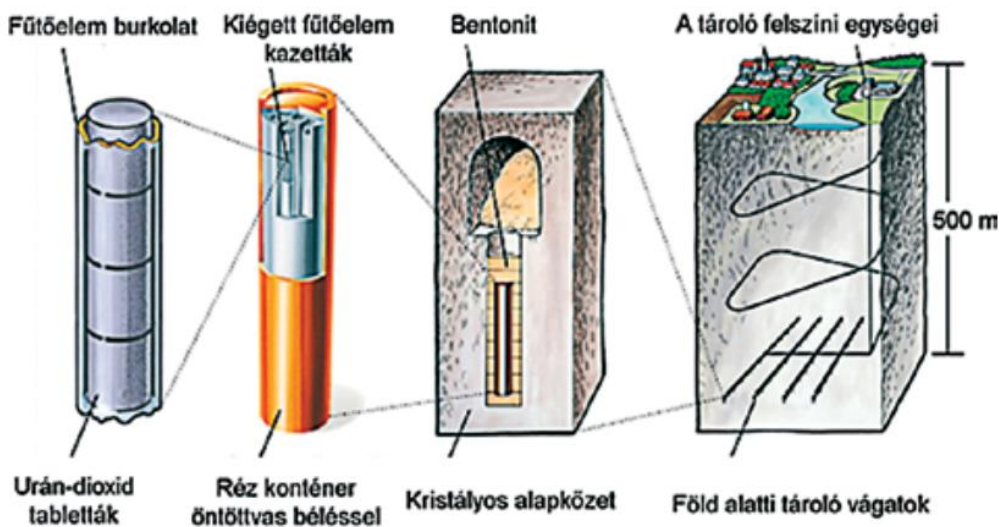
Az ONKALO létesítését több éves geológiai, hidrológiai, hidrogeokémiai, vizsgálatok előzték meg a különböző mechanikai, biztonsági és modell kísérletekkel egyetemben. A vizsgálatok közül a három fázisból álló in situ Posiva's Olkiluoto Spalling Experiments (POSE) volt, amely keretein belül felmérték a befogadó kőzet szilárdságát, pattogásra és repedezésre való hajlamát, valamint egyéb mechanikai tulajdonságait, mint például a termikus stresszre adott válaszreakcióit. (Siren. 2017)

A geológiai vizsgálatok mellett a POSE vizsgálatok kiterjedtek a kőzetek hidrológiai és hidrogeokémiai tulajdonságaira is. Az ONKALO, ahogy már korábban említettem, az Olkiluoto szigeten helyezkedik el, így a kőzetekbe beszivárgó tengervíz az alkalmazott mérnöki gátakig jutva károsíthatja azokat, így az izolált kiégett fűtőelemekben található radionuklidok a környezetbe kijuthatnak. (Siren. 2017)

2.9.2. ONKALO mérnöki gátjai

A HLW lerakásához szükség van olyan rendszerekre, amelyek képesek elszigetelni tőlünk ezeket a sugárzó anyagokat. Az ONKALO nem más, mint mérnöki gátak sora, amik célja az, hogy a radioaktivitás kijutását megakadályozzák.

Az első gát maga a mélység, amelyet egy több rétegű tartály rendszer követ. A tartályrendszeres elnevezése a KBS-3, amely 3 részből áll. Az első rész egy öntöttvas tok, amibe belekerülnek a kiégett kazetták. Ez az öntöttvas tok kerül bele egy 5 centiméter falvastagságú réz tartályba, amelyet egy ugyan ilyen réz fedéllel zárnak le hegesztéssel. Ez a tartály kerül bele a főtengely szögétől függően KBS-3V vertikális vagy KBS-3H horizontális aknába. Ezeket az aknákat egy további gáttal, betonit-agyag keverékkel töltik fel, majd az aknát egy betondugóval lezárják, ahogy az a 14. ábrán látható. (URL13)



14. ábra: KBS-3 mérnöki gátrendszer felépítése (forrás: Nukleáris Üzemanyagciklus Radioaktív Hulladécai- Egyetemi jegyzet (2013))

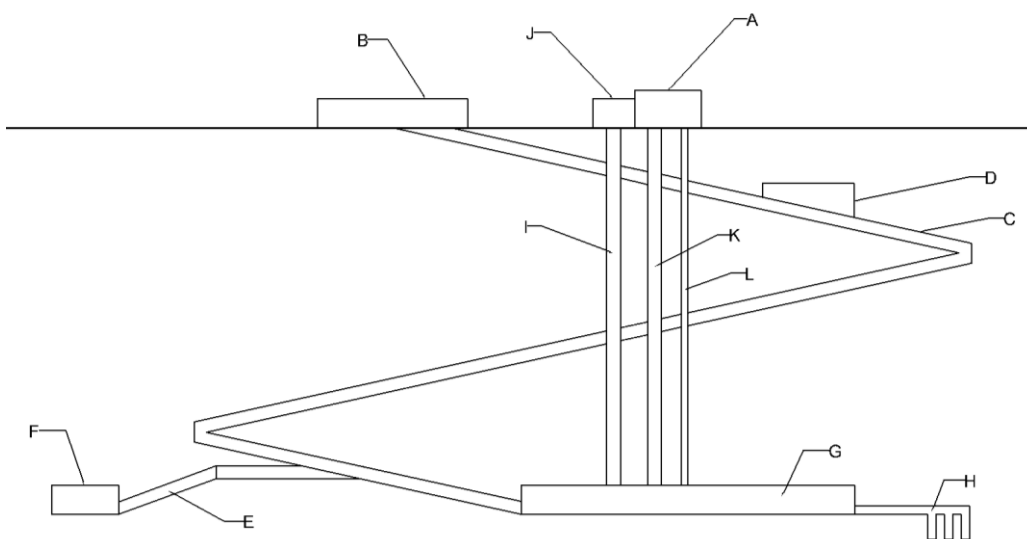
3. A létesítendő mélygeológiai tározó

Az általam vizsgált mélygeológiai tároló a Magyar Kísérleti Mélygeológiai Izolációs Tároló, röviden MKMIT nevet kapta.

3.1. A z MKMIT általános bemutatása

Az MKMIT szinte minden paramétere úgy került megtervezésre, hogy a létesítés helyétől függően sem az elrendezésen, sem pedig a hulladék elhelyezésének módján ne kelljen változtatni, így a többszintű mérnöki gátak segítségével radionuklidok a természetbe nem juthatnak ki üzemszerű működés esetén.

Az MKMIT, ahogy azt a 15. ábra is mutatja felépítését és alagútrendszerét tekintve jóval egyszerűbb, mint az ONKALO. Ennek oka egyrészt, hogy az ábra nem méretarányos, valamint, hogy a tervezés közben törekedtem a gazdasági teher minimumon tartására.



15. ábra: Az MKMIT oldalnézeti tervezete (Készítette: Som Alexandra)

A: Talajfelszín feletti szociális létesítmények, liftház; B: Nagygépes lejárát fedett csarnoka, C: levezető alagútrendszer; D: Hulladék előkészítő és ellenőrző terem; E: Technikai létesítmények, demonstráló alagutak; F: Földalatti kutató- és monitoring laboratórium; G: KBS-3V mérnöki gátas aknákhöz vezető fő alagút; H: KBS-3V lerakáshoz alkalmas aknarendszer; I: szellőzőrendszer aknáí; J: Kompresszorház a szűrőbetétekkel felszerelt ki- és beáramló csőkivezetéssel; K: Teherfelvonó; L: Személyi felvonó

3.2. Az MKMIT műszaki tulajdonságai

A levezető alagúrendszer 1 kilométer alatt halad lefelé 100 métert, így maximális lejtése 10. A közlekedő járművek maximális sebessége mérettől függ, személyi transzportra alkalmas gépek esetén 20km/h, nagygépek esetén maximum 5 km/h. Az alagutak átlagos szélessége 4 m, magassága 6 m, a kialakított termék minimum hasznos területe 200 m².

A liftaknák közelében levezetett szellőzőaknák egyenként 4 m átmérőjűek, mind a kifelé, mind a befelé vezető ágon enyhe nyomással történik az áramlás fenntartása. A kompresszorházban mind a bevezető, mind a kivezető oldalon megfelelő szűrőrendszer a csővégeken, amely a kivezető cső esetén egy paraffinon való átvezetést jelent. Talpmélységük -537 m.

A két liftaknában futó liftek több ponton megállíthatóak, maximális talpmélységük -545 méter. A teherlift akna átmérője 6 m, maximális teherbírása 10 tonna, míg a személyi felvonó átmérője 4,5 m, maximális teherbírása 11 ember vagy 1 tonna.

Maximális talpmélysége a felszín alatt 550 méterrel van, a KBS-3V lerakáshoz alkalmas alagutak mélysége -545 m, míg a földalatti kutató- és monitoring laboratórium mélysége -530 m. Az 550 méteres mélységet csak a kutatóalagutak érik el.

A tervezett hulladékbefogadási időintervallum a megnyitástól fogva 70 év, a hulladék izolációját pedig 100 000 évig fogja teljesíteni az ONKALO-hoz hasonló, KBS-3V aknáknban.

A vizsgált területek körül meghatároztam egy 2 kilométer sugarú alap védőzónát a víztestek-, természeti objektumok- és a környezet védelmére, ám az embert, emberi élet védelmét érintő kérdésekben a kiterjesztett védőzóna sugara 5 kilométer.

4. Anyag- és módszertan

Munkám során elsődleges célkitűzésem az volt, hogy kidolgozzak egy olyan értékelőrendszert, amely lehetővé teszi a mélygeológiai tárolók telepítési alternatíváinak összehasonlítását. Ám szempontrendszer megfogalmazása a területek kiválasztása előtt történt, fontosnak tartottam, hogy a kialakított rendszer segítségével megerősítsem a korábbi hazai kutatások eredményeit, amelyek szerint a Bodai Agyagkő Formáció (BAF) a legalkalmasabb, miközben két további kiválasztott terület esetében bemutatom, hogy az általam létrehozott szempontrendszer képes rámutatni a létesítésre környezeti szempontból kevésbé alkalmas területekre.

A szempontrendszer célja az is, hogy kizárjon bizonyos területeket egyes tulajdonságok alapján. Ezért meghatároztam azokat a szempontokat is, amelyek a létesítéshez vizsgált területek alkalmasságára negatív hatással vannak, így az eddig elért összes pontszámukat csökkenti.

A szempontrendszerhez az ONKALO vizsgálati dokumentációja és a létesítésből származó egyéb adatok a későbbiekben kiépítendő hasonló tárolók létesítéséhez elengedhetetlenek, ahogy az IAEA által kiadott mélygeológiai izolációt segítő dokumentumai is. Szempontrendszerem megfogalmazásához a POSE kísérletek eredményei, az IAEA dokumentációi és az egyéb, más szervezetek programjai voltak segítségemre, így sikerült a geológiai-, hidrológia-, természetvédelmi-, környezeti-, társadalmi- és gazdasági szempontokból álló elemzési rendszer kialakítása. Fontos megjegyezni, hogy jelen szempontrendszer vizsgálati pontjai a havária eseményekre nem terjednek ki. A szempontrendszer táblázatainak kitöltéséhez monitoringrendszerek és egyéb információs források adatait használok fel.

A szempontok esetén a pontozás táblázatos formában történik egy 0-tól 10-ig terjedő skála segítségével. A skálaosztások egy-egy tulajdonságot képviselnek, amelyek a létesítési szempontból kerülnek értékelésre. A 0 érték a legrosszabb, míg a 10-es érték pedig a legjobb értékelést jelöli. A szempontrendszerben a létesítéshez vizsgált területek összesen 236 pontot érhetnek el, míg bizonyos tulajdonságaik miatt ebből összesen 16,65 pont vonható le.

Az egyes szempontok a tulajdonságok pontozásán kívül rendelkeznek egy súlyszámmal (S_{sz}), amely az adott szempont létesítés szempontjából vizsgált fontosságát mutatja. Ezek a súlyszámok 0,1-től 1-ig terjednek: a legkevésbé fontos tényezők 0,1-es, míg a legfontosabbak 1-es szorzót kapnak. A végső pontszám kiszámítása a következő módon történik:

$$EP = \sum_{i=1}^n (S_i \cdot P_i) - \sum_{j=1}^n (S_{csj} \cdot P_{csj})$$

ahol:

EP: az elért pontszám

S_i : az i -edik szempont súlyszáma

P_i : az i -edik szempontnál jellemző tulajdonság pontszáma

S_{csj} : a j -edik pontszám csökkentő szempont súlyszáma

P_{csj} : a j -edik pontszám csökkentő szempont pontszáma

Az elemzési szempontrendszerhez tartozik egy elérhető maximális pontszám (P_{max}), amely az adott szempont maximális súlyszámának és a legjobb tulajdonság pontszámának szorzata. Ez a maximális pontszám minden szempont esetén összeadódik, így az egész rendszer maximális elérhető pontszáma kiszámítható. A normalizálás során a kapott pontszámunkat (EP_ö) a maximális pontszámhoz (P_{max}) viszonyítjuk, így lehetőség nyílik az egyes alternatívák megfelelőségének százalékos formában történő összehasonlítására:

$$N\% = \frac{EP_{\ddot{o}}}{P_{max}} \cdot 100$$

ahol:

N%: normalizált érték százalékban kifejezve

EP_ö: az aktuálisan elért pontszám

P_{max} : az elméleti maximum pontszám

5. Összehasonlító elemzés

Ebben a pontban ismertetem a szempontrendszer kategóriáit, bemutatom, hogy az adott szempont tulajdonságai közül melyik a legkedvezőbb lehetőség, valamint az egyes kategóriák pontozásának módját a szempontok pontszámait összesítő táblázat segítségével. A kategóriákat a létesítmény jellegéből adódó fontossági sorrendben tárgyalom.

5.1. Geológiai szempontok

Az ONKALO mélygeológiai tároló esetében a geológiai felmérések nagy hangsúlyt kaptak, mivel a létesítés kőzetben történik. A kőzet típusának meghatározását jelöltem ki a legelső lépésben, mivel a kőzet típusa meghatározza a vízvezető képességet, a repedezettségre való hajlamot, valamint az olyan tényezőket, mint a hosszútávú stabilitás. A szempontok értékelésének összegzését a 2. táblázat tartalmazza.

Kőzet típusa

Az általam vizsgált mélygeológiai tározó esetében az alagutakra nehezedő nyomás, a kőzetet érő stressz és a hőmérséklet figyelembevételével az elérhető legjobb kőzet a létesítéshez a gránit, így az 10-es súlyszámot kapott, ellentétben az üledékes kőzetek csak 1-es értéket. A gránit egy olyan vulkanikus kőzet, amely nagy mélységben képződik, miközben magas hőnek van kitéve, így lehülése lassú és a képződő kőzet stabil és rideg. (URL14) A gránit, kiváló mechanikai tulajdonságaitól eltekintve, természetesen tartalmaz radioaktív anyagokat, így jól szigeteli a sugárzó anyagokat is. Ezzel szemben az üledékes kőzetek rugalmasabbak, aránylag stabilak, ám a mésztartalmuk miatt vízhatásokra és a mállásra igen érzékenyek. A vulkanikus mélységi magmás kőzetekkel ellentétben az üledékes kőzetekben többnyire rétegzett felépítés figyelhető meg, amely kihatással van kőzetszövetük épségére is, gyakran repedésekkel és törésekkel tarkítottak.

A gránit és az üledékes kőzetek közti hatalmas különbség árnyalására kijelölésre kerültek további kőzetek (anyagkő, halit, kiömlési magmás-, tufás vulkanikus-, metamorf- és üledékes kőzet), amelyek rendelkeznek a tároló számára előnyös tulajdonságokkal, ám rendelkeznek előnytelen tulajdonságokkal is, amelyeket a következő pontokban mutatok be.

Terület szeizmikus aktivitása és a kőzetek stabilitása ennek függvényében

A kőzetek stabilitása a HLW hosszú távú tárolásánál kulcsfontosságú, ahogy az is, hogy a járatok, termek, szellőzők és a réz tartályok elhelyezésére szolgáló vágatok kialakítása során stressz alá helyezett kőzet szeizmikus aktivitás hatására ne omoljon be, így veszélyeztetve a radioaktív hulladékot tároló tartályok sérülését és az izolált radionuklidok kijutását. Ebből következik, hogy a vizsgált területek alacsony szeizmikus aktivitása az EURATOM szerződés- és az *1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról* elveivel párhuzamban biztosítsa az emberi élet- és a környezet megóvását.

A vulkanikus kőzetek a vulkanikus aktivitás hatására megolvadt kőzet olvadék megszilárdulása során keletkeznek, így bár szövethibát kis mértékben tartalmaznak és stabilitásuk igencsak nagy. Stabilitásuk ellenére egyáltalán nem rugalmasak, hanem ridegek, így a szeizmikus aktivitás hosszú távon a létesítmény kialakításához köthető tevékenységek során stressz alá helyezett kőzetre negatívan hat. Ezzel szemben az üledékes kőzetek szerkezetükből adódóan jóval rugalmasabbak, így a szeizmikus aktivitás hosszútávon nem jár annyira káros hatással, mint a vulkanikus kőzetek esetében. A létesítés szempontjából a lehető legjobb az, ha a kijelölt területen létesítési mélységben olyan kőzet található, amely az esetleges szeizmikus mozgásoknak ellenáll, stabilitása a szeizmikus mozgás lecsengésével sem romlik hosszú távon, míg a legrosszabb lehetőség az, ha a kőzet a szeizmikus mozgás levonulásával instabillá válik, így veszélyeztetve a tároló kitűzött élettartamát.

Közetszövet épsége

A kőzet típusa javarészt determinálja a kőzet szövetének épségét. A kőzet szövetének épsége alatt értendő, hogy a kőzet nem tartalmaz repedéseket és töréseket, amelyek annak stabilitását hosszú távon negatívan befolyásolhatná, továbbá szerkeze homogén, izotróp, így 10-es súlyszámot kapott a teljesen tömör, repedezettségmentes kőzet, mivel hosszú távon a szövethibák egyedül ebben az esetben nem befolyásolják a hosszútávú stabilitást. A laza, törésekkel rendelkező közetszövet ezzel ellentétben 1-es súlyszámmal rendelkezik, mivel ez nem csak a hosszútávú elhelyezést, hanem már a kialakítást is negatívan befolyásolná.

Stabil kőzetréteg mélysége

A stabil kőzetréteg mélysége több szempontból is befolyásolja a mélygeológiai tározók létesítését, mivel a litoszférában lefelé haladva a hőmérséklet folyamatosan növekszik, illetve egy ilyen projekt kivitelezésénél a mélységgel növekednek a kiadások is. Az általam ideálisnak jelölt mélység kevesebb, mint 300 méter, mivel ebben az esetben a kijelölt mélység felett van elegendő kőzet, amely havária esemény esetén is védelmet nyújt a radioaktív sugárzás kijutása ellen.

Kőzetek hőmérséklete létesítési mélységben és hővezetésük

Magyarország a környező- és más Európai Unió országához képest jóval magasabb geotermikus gradienssel rendelkezik. Ez azt jelenti, hogy a litoszférában a Föld magja felé haladva a kőzet hőmérséklete milyen mértékben melegszik. A geotermikus gradiens hazánkban nagyjából 4-6° 100 méterenként, amely a tároló 550 méteres talpmélységénél már számottevő melegedést jelent. (URL15) A kőzetek 550 méteres létesítési mélységben mérhető 22°C alatti hőmérséklete a legjobb lehetőség, mivel ebben az esetben kell a legkevesebb hőmérsékleti stresszhatást vizsgálni a második létesítési fázisban.

A MKMIT-ben elhelyezendő kiégett kazetták bár már nem tartanak fent nukleáris láncreakciót, bennük továbbra is radioaktív bomlások mennek végbe, amelyek nagy hőt adnak le. Az alkalmazott KBS-3V elhelyezés bár nagymértékben megakadályozza a fennmaradó bomláshő kőzetbe jutását, mégis figyelembe kell venni a kőzetek hővezetési képességét. A legjobb hővezetőképességgel a magmás kőzetek rendelkeznek, így a gránit alapkőzetbe történő létesítés továbbra is az egyik legjobb megoldás. Ezzel szemben az üledékes kőzetek hővezetése rossz, ám remek hőszigetelők.

Kőzet változás során beálló stabilitása

A földfelszín alatt folyamatos változások mennek végbe, amelyeknek egy részét az általuk felölelt időintervallum miatt még nem ismerjük. A tároló a kiégett fűtőelemeket 100 000 évig hivatott tárolni, így feltételeznünk kell, hogy ezen az időtávon be fog következni olyan változás akár minőségükben, akár stabilitásukban, amellyel számolnunk kell.

A beálló változások közül a tároló élettartama alatt a legmeghatározóbbak a kőzet stabilitásában beálló változások, amelyeket idejük alapján pontoztam. A legjobb eshetőség az, ha a befogadó kőzet stabil és hosszú távon sem mutat változásra utaló jeleket, míg a legrosszabb lehetőség az, ha már rövid időn belül is változik valamilyen tulajdonsága, ezáltal instabil.

2. táblázat: A kőzetek geológiai szempontú osztályozása (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	P_{max}
Kőzet típusa	1	Gránit	10	10
		Agyagkő	9	
		Halit (sódóm)	8	
		Kiömlési magmás kőzetek (pl: bazalt)	7	
		Tufás vulkanikus kőzetek	6	
		Metamorf kőzetek	4	
		Üledékes kőzetek	1	
Terület szeizmikus aktivitása	1	Szeizmikusan inaktív terület	10	10
		Szeizmikusan enyhén aktív terület	3	
		Szeizmikusan erősen aktív terület	1	
A kőzet szeizmikus aktivitással szembeni ellenállása	1	Nagy stabilitású, nincs hatással a szeizmikus aktivitás	10	10
		Stabil, enyhe hatással van a szeizmikus aktivitás	5	
		Többnyire stabil, de hatással van a szeizmikus aktivitás	2	
		Instabil, jelentős hatással van a szeizmikus aktivitás	1	
Kőzet szövetének épsége	1	Teljesen tömör, repedezettség mentes	10	10
		Tömör, kevés kis méretű repedéssel	7	
		Tömör, repedezésekkel	4	
		Laza, jelentős repedésekkel	2	
		Laza, törésekkel	1	

	Súlyszám	Tulajdonság	P	P_{max}
Stabil kőzetréteg mélysége	0,9	<300 m	10	9
		300-350 m	9	
		350-400 m	5	
		400-450 m	2	
		450< m	1	
Kőzet hőmérséklete létesítési mélységben	0,9	>22°C	10	9
		22-55°C	7	
		55°C<	1	
A kőzet hosszú idejű stabilitása	0,9	Stabil, hosszú távon sem változó	10	9
		Stabil, hosszú távon enyhén változó	9	
		Instabil, hosszú távon erősen változó	4	
		Instabil, már rövid távon változó	1	
A kőzet hővezetése	0,5	Jó hővezetésű	10	5
		Közepes hővezetésű	9	
		Rossz hővezetésű	2	
Összes elérhető pontszám				72

5.2. Hidrogeológiai szempontok

A hidrogeológiai szempontok közé azok a szempontok tartoznak, amelyek a geológiai és hidrológiai tulajdonságokat egymás függvényében tárgyalják. A kőzetekben a talajhoz hasonlóan vannak vízmozgások, amelyek a tároló mérnöki gátjainak épségére veszélyt jelenthetnek. Az ONKALO-val ellentétben itt a víz korrodáló hatása alacsonyabb, mivel a befogadóközetet nem sós víz veszi körbe, hanem édesvíz járja át, amely korrodáló hatása kevésbé számottevő. A talajvíz mélységére-, mozgására-, és a kőzet vízzáró képességére adható pontokat a 3. táblázat összegzi.

Talajvíz mélysége és mozgása

A talajvíz az első vízzáró réteg felett elhelyezkedő víz. Ahhoz, hogy a területen vizsgálhassuk a talajvíz mozgásának módját, sebességét és egyéb jellemzőit, ahhoz tudnunk kell, hogy a talajvíz milyen mélyen is helyezkedik el. A létesítéshez legmegfelelőbb, ha a területen nincs talajvíz, vagy a talajvíztükör nyugalmi vízszintje meghaladja a legalább 8 méteres mélységet. Ennek oka az, hogy ha nincs talajvíz, akkor nem kell számolni annak mozgásával, ha pedig ez mélyebben van mint 8 méter, akkor pedig mennyisége nem jelentős, így mozgása is elhanyagolható.

Kőzet vízzáró képessége

A kőzet típusa, a kőzet szövetének épsége és a kőzet mélysége hatással van a kőzet vízzáró hatására. Bizonyos kőzettípusok, mint például a márga is, víz hatására könnyen mállanak, így nem jó vízzárók, míg a stabil, szövethiba mentes gránit remek vízzáró ezzel szemben.

A létesítéshez legalkalmasabb a víz számára átjárhatatlan kőzet, mint például a gránit, mivel ebben az esetben az alkalmazott korróziógátló biztonsági megoldások alkalmazása mellett a víz tározóba való bejutásának itt a legkisebb a valószínűsége. Ezzel ellentétben a víz számára könnyen átjárható kőzetek az alkalmazott biztonsági megoldások ellenére is gyakorolhatnak negatív hatást az elhelyezett tartályokra. Víz számára könnyen átjárhatóak például a magas mésztartalmú üledékes kőzetek, mivel ezek nemcsak könnyen mállanak víz hatására, hanem hajlamosak karsztfolyamatok végbemenetelére is.

3. táblázat: Hidrogeológiai szempontok pontozása (saját szerkesztés)

	Súlyszám	Tulajdonság	Pontszám	Elérhető maximum
Talajvíz mélysége	1	A területen nincs talajvíz	10	10
		>8 m	8	
		8-6 m	6	
		6-4 m	4	
		4-2 m	2	
		2 > m	1	
Talajvízmozgás mértéke	0,9	Nincs talajvízmozgás	10	9
		Enyhe talajvízmozgás	8	
		Közepes talajvízmozgás	3	
		Nagy talajvízmozgás	1	
Kőzet vízáltali átjárhatósága	0,9	Átjárhatatlan	10	9
		Többnyire átjárhatatlan	8	
		Nehezen átjárható	6	
		Átjárható	2	
		Könnyen átjárható	1	
Összes elérhető pontszám				28

5.3. Hidrológiai szempontok

A geológiai szempontok során azt vizsgáltam, hogy az egyes tényezőknek milyen hatása van a befogadó kőzetre, míg a hidrológiai szempontok során a felszíni és felszín alatti vízbáziskora gyakorolt hatásokat fogom vizsgálni, majd a hidrológiai szempontok pontozási rendszerét a 4. táblázatban szemléltetem.

Víztestek távolsága

A létesítésre kiválasztott területek felszíni vizektől való távolsága a víztestek miatt mélyebb kőzetrétegeket terhelő hidrosztatikai nyomás növekedés miatt lényeges. A hidrosztatikai nyomás növekedésével a kőzetben áramló talajvíz mennyisége megnő, ami a tároló mérnöki gátjainak korrodálódásához vezethet. A víztestektől való távolság esetén a legjobb lehetőség, ha a víztest minél messzebb van, ám az is megfelelő, ha távolsága légvonalban mérve legalább 2 kilométer, így a befogadóközet hidrosztatikai nyomását nem emeli.

Rétegvízből származó ivóvízbázis és artézi vízkinyerés

Magyarország gazdag a két vízzáró réteg közt elhelyezkedő nyomás alatti artézi vizekben, valamint a nem nyomás alatti rétegvizekben. Ezek a rétegvizek számos település ivóvízellátásáról gondoskodnak, így a társadalmi megítélés és a tároló mérnöki gátjainak korrózió elleni védelme érdekében a legjobb eshetőség az, ha minél messzebb található, ám az is kielégítő, ha 5 kilométeres körzetben nincs ivóvízbázis vagy artézi vízkinyerés.

Legközelebbi vízgyűjtő területtől való távolság

A vízbázisoktól és artézi kutaktól való távolságot után érdemes kitérni a vízgyűjtő területektől való távolságra is. A vízgyűjtő területek olya területek, ahonnan a felszíni víztestek vizüket gyűjtik, mivel a területekről a víz a víztest irányába áramlik. Ezek a vízgyűjtő területek akár több négyzetkilométeres távolságot is felölelhetnek, ám a legjobb eset az, ha a létesítéshez vizsgált területek nem tartoznak vízgyűjtő területbe, a vízgyűjtő terület távolsága pedig a védőzónán kívül esik.

4. táblázat: Hidrológiai szempontok pontrendszerének összesítő táblázata (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	P_{max}
Víztestek távolsága	0,9	>5 km	10	9
		5-4 km	8	
		4-3 km	6	
		3-2 km	4	
		2-1 km	2	
		<1 km	1	
Rétegvízből származó ivóvízbázis távolsága szerinti pontozás	0,9	>5 km	10	9
		5-4 km	8	
		4-3 km	6	
		3-2 km	4	
		2-1 km	2	
		<1 km	1	
Legközelebbi vízgyűjtőtől való távolság	0,8	Nem része vízgyűjtő területnek, a legközelebbi vízgyűjtő terület a védőzónán kívül helyezkedik el	10	8
		Nem része vízgyűjtő területnek, a vízgyűjtő 2-1 km messze helyezkedik el	5	
		Nem része vízgyűjtő területnek, a vízgyűjtő terület kevesebb mint 1 km-re helyezkedik el	2	
Összes elérhető pontszám				26

5.4. Környezeti- és környezetbiztonsági szempontok

5.4.1. Környezeti szempontok

Levegő

A szempontrendszerben a levegő, mint környezeti elem nincs hatással az MKMIT létesítéséhez vizsgált területekre, ahogy üzemszerű működés esetén a tárolónak sincs hatása a levegőre a szellőzőcső végén alkalmazott paraffinon való átvezetésnek és szűrőrétegeknek köszönhetően.

Talaj

A talaj, mint környezeti elem a létesítésre vizsgált területeken a kőzetekhez hasonlóan lényeges, ám kevésbé jelentős, ugyanis a létesítési mélység jóval a talajszint alatt található. A vizsgált területek talajtípusa annak vízháztartási jellemzői, ásványtartalma, tápanyagtartalma és ritkasága miatt fontos. Kerülni kell azokat a talajtípusokat, amelyek vízháztartási jellemzői rosszak, így például az erubáz, a pangóvízes, mocsári és ártéri, valamint szikes talajokat. (URL17) A talajok ásványtartalma sokat elárul az alattuk elhelyezkedő kőzetről is, így kerülni kell a lúgos kémhatású és nagy mésztartalmú talajokat, mivel ezek mészkő jelenlétére utalnak, amely a létesítés szempontjából rendkívül előnytelen. Tápanyagtartalom szerint kerülni kell azokat a talajtípusokat, amelyek humuszban igen gazdagok, mivel ezek mezőgazdasági felhasználásra jóval alkalmasabbak, így az ország talajkincsében okozott kár minimalizálható. Ez alapján kerülni kell a csernozjom talajokon történő létesítést.

Az értékelésnél nem a konkrét talajtípus szerint, hanem annak tulajdonságai alapján értékelem a létesítéshez vizsgált területen található talajt. Ez alapján a legjobb a kedvező vízháztartású, alacsony tápanyagtartalmú, savanyú; gyakori előfordulású, míg a legkevésbé a kedvezőtlen vízháztartási jellemzőkkel bíró, közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalmú, semleges vagy bázikus, ritka talaj.

Klíma

A létesítéshez vizsgált területek klímája mindhárom esetben megegyezik és feltételezhetően ez hosszú távon is állandó marad, mivel az ország területén nincs olyan hatás vagy tényező, amely ezt megváltoztatná, így éghajlat szerinti pontozás ebben a szempontrendszerben nem történik.

Az éghajlati tényezők közül viszont a területek évi átlagos csapadék mennyisége fontos, mivel intenzív csapadékesemény esetén a tárolóba a csapadékvíz beszivároghat. A legalkalmasabb, ha a terület évi csapadékmennyisége 550 mm alatti.

5. táblázat: Környezeti szempontok pontszámait összesítő táblázata (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	P _{max}
Talajok tulajdonsága	1	Kedvező vízháztartási jellemzők; alacsony tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	10	10
		Kedvező vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	8	
		Kedvezőtlen vízháztartás; alacsony tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	7	
		Kedvező vízháztartási jellemzők; közepes vagy magasabb tápanyagtartalom; savanyú; ritka	6	
		Kedvezőtlen vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	5	
		Kedvezőtlen vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	4	
		Kedvező vízháztartási jellemzők; alacsony tápanyagtartalom; semleges vagy bázikus; gyakori	3	
		Kedvezőtlen vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; semleges vagy bázikus; gyakori	2	
		Kedvezőtlen vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; semleges vagy bázikus; ritka	1	
Évi átlagsapadék mennyisége	0,5	<550 mm	10	5
		550-650 mm	8	
		650-750 mm	4	
		750 mm<	1	
Összes elérhető pontszám				15

5.4.2. Környezetbiztonsági szempontok

A környezetbiztonsági szempontokban tárgyalom a létesítéshez vizsgált műszaki és biztonsági szempontokat, amelyek a tároló létesítése során lényegesek lehetnek. A környezetbiztonsági szempontok összeválogatásánál figyelmet fordítottam a műszaki tulajdonságokra, amelyekkel feltárhatom a fűtőelem kazetták szállításának lehetőségeit és a vizsgált területek infrastrukturális adottságait. A műszaki szempontok után a biztonsági szempontokat tárgyalom, amely az emberi élet maximális védelmére összpontosít. A műszaki szempontok pontjainak összesítését a 6. táblázat, a biztonsági szempontokét a 7. táblázat összesíti.

Műszaki szempontok

A műszaki szempontok ebben az esetben nem összetévesztendőek a tároló műszaki adataival, ugyanis ebben a pontban azokat a tényezőket vizsgálom, amelyek a tároló infrastrukturális és egyéb igényeinek kielégítéséhez elengedhetetlenek

Légvonalban mért távolság a Paksi Atomerőműtől

Az általam létesítési vizsgálathoz kiválasztott területek az ország három pontján, egymástól elszórtan találhatóak meg, így emiatt fontos vizsgálni a kiégett üzemanyagkazettákat tároló KKÁT-tól vonatkoztatott távolságot, amelyet légvonalban végzek. A légvonalban mért távolságot a KKÁT „dry vault” tárolójából a kiégett kazettáknak meg kell tenniük ahhoz, hogy elérjék az üzemanyagciklusuk lezáró pontját, a mélygeológiai izoláció helyét az MKMIT KBS-3V elhelyezésre alkalmas aknáiba.

Szállítási módok

Mivel a radioaktív hulladékok szállításukkor nagy odafigyelést igényelnek, ezért a szállítás módját is körültekintően kell megválasztani. A szóba jöhető szállítási módok közül nincs olyan, amely a kazetták biztonságos megérkezését teljes mértékben tudná garantálni, ám a vasúti közlekedés ideális esetben biztonságosabb a közúti közlekedésnél. A kiégett kazetták szállításánál véleményem szerint a legjobb eshetőség az, hogy a kazetták szállítása a keletkezés és pihentetés helyétől egészen a tárolóig vasúttal szállítható. Ez alapján szempontként a vasúti és közúti szállítás egymáshoz viszonyított megoszlását valamint a legközelebbi vasúti megálló távolságát is belevettem az értékelés folyamatába.

Megközelíthetőség

Mivel az MKMIT létesítése már alapból egy hatalmas projekt, a létesítéshez kijelölt területeknél előnyt jelent, ha szilárd burkolatú úton elérhetőek, nem pedig további szilárd burkolatú területre bevezető út létesítését igénylik.

Energiaellátás a területen

A létesítéshez vizsgált területeknél fontos, hogy az energiaellátás a területen megoldott legyen, mivel az MKMIT külszíni területén kívül, a belső terek megvilágítása, a

mérőműszerek használata, valamint a folyamatos monitoring elengedhetetlen a tároló biztonságos üzemeltetése céljából. A távolságon kívül fontos, hogy ez az elektromos hálózat ne csak elbírja az MKMIT üzemelése során keletkező terhelést, hanem azt hosszútávon és biztonságosa, lehetőleg áramkimaradások mentesen ki is szolgálja azt.

A szilárd burkolatú úthoz hasonlóan a távolság itt is lényeges, a legjobb lehetőség, ha a villamos energiahálózat közvetlenül a területre van bevezetve.

6. táblázat: Műszaki szempontokban elérhető pontszámokat összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	Pmax
Területek Pakstól mért távolságban légvonalban	1	> 100 km	10	10
		100-300 km	4	
		300 km <	1	
Vasúti- és közúti szállítás egymáshoz viszonyított megoszlása	0,9	100-90% vasúti, 0-10% közúti	10	9
		90-70% vasúti 10-30% közúti	8	
		70-50% vasúti, 30-50% közúti	5	
		50-30% vasúti, 50-70% közúti	4	
		30-10% vasúti, 70-90% közúti	2	
		10-0% vasúti, 90-100% közúti	1	
Területhez legközelebbi vasúti megálló	0,9	>0,5 km	10	9
		0,5-1,5 km	8	
		1,5-5 km	3	
		5 km <	2	
Terület szilárd útburkolattal rendelkező úton való megközelíthetősége	0,8	Közvetlen a létesítéshez vizsgált helyre vezet be az út	10	8
		<300 m	6	
		300-500 m	4	
		500m <	1	
Villamos hálózathoz való becsatlakozási lehetőség légvonalban mért távolsága	0,8	Közvetlen a létesítéshez vizsgált helyre vezet be elektromos vezeték	10	8
		<300 m	6	
		300-500 m	4	
		500m <	1	
Összes elérhető pontszám				44

Biztonsági és társadalmi szempontok

A biztonsági szempontokban a létesítéshez vizsgált területek demográfiai jellemzőit vizsgálom, mivel havária esemény a lakosság ezen része lesz kitéve a hatásnak. A demográfiai jellemzők vizsgálatához az abiotikus- és természetvédelmi tényezők esetén meghatározott 2 kilométeres védőzóna kibővítésre kerül, mivel az emberi élet védelme ebben az esetben is előnyt kell hogy élvezzen minden mással szemben. A 8. táblázat tartalmazza a biztonsági- és társadalmi szempontokat.

Érintett lakosság és települések száma

A lakosság védelméhez elengedhetetlen, hogy ha bár csak megközelítőleg, de tisztában legyünk a kiterjesztett védőzóna területén belül élők számával, amely esetében a legjobb eshetőség az, ha a védőzóna területén élő lakosok száma kisebb, mint 1000 fő.

A lakosság számán kívül fontos az is, hogy tisztában legyünk a kiterjesztett, 5 kilométer sugarú védőzónában elhelyezkedő települések számával is, hogy pontosabb képet kapjunk a terület demográfiai eloszlásáról, illetve az érintett művi létesítményekről is.

Településektől való távolság

Érdemes figyelembe venni a legközelebbi lakott terület légvonalban mért távolságát, mivel a legjobb opció az, ha legalább 2 kilométerre van a legközelebbi település, így a társadalmi és gazdasági negatív hatások nagyban csökkenthetőek.

Települések megoszlása a kiterjesztett védőzónához képest

Érdemes kitérni arra is, hogy a létesítéshez vizsgált területek kiterjesztett védőzónájának területéhez vonatkozóan hogyan oszlik meg a települések által kitett terület. A szempont olvasatában a legjobb lehetőség az, ha a települések által kitett terület aránya a teljes kiterjesztett védőzónán belül 5% alatt van.

7. táblázat: Biztonsági- és társadalmi szempontok pontozását összesítő táblázat
(forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	P_{max}
A kiterjesztett védőzónán belüli lakosság	1	> 1000 fő	10	10
		1000-2000 fő	8	
		2000-3000 fő	6	
		3000-4000 fő	4	
		4000-5000 fő	2	
		5000 fő <	1	
Védőzónán belüli települések száma	0,8	< 10 lakott település	10	8
		10-20 lakott település	8	
		20-30 lakott település	6	
		30-40 lakott település	3	
		40 < lakott település	1	
Legközelebbi település légvonalban mért távolsága	0,7	> 2 km	10	7
		2-1 km	5	
		1 > km	1	
Települések területi aránya a védőzóna területéhez képest	0,6	<5%	10	6
		5-10%	8	
		10-15%	6	
		15-20%	4	
		20-25%	2	
		25-30%	1	
Összes elérhető pontszám				31

5.5. Természetvédelmi szempontok

Ebben a pontban azokat a szempontokat fogom kifejtetni, amelyek természetvédelmi szempontból hatással lehetnek a létesítés tervezett helyének alkalmasságára. A mélygeológiai tárolók létesítésénél a legfontosabbak a geológiai, hidrogeológiai és hidrológiai szempontok, ugyanis a létesítésre kijelölhető területek leginkább ezek a szempontok tudják kiválasztani vagy kizárni. A szempontrendszer ezen skálái a természetvédelmi célokkal nagyban összehangoltak, így céljuk a kulturális vagy tudományos jelentőségű természetvédelmi értékek jelenlegi állapotának fenntartása, amelyek pontozását az 8. táblázat mutatja be.

A természetvédelmi értékek vizsgálatánál a legfontosabb, hogy tájékozódjunk a létesítéshez vizsgált területek természeti jelentőségéről. Ebben a pontban az általuk képviselt természeti értéket vizsgálom, így ennek keretén belül tárgyalom azokat a szempontokat, amelyek a terület használatára és a természetvédelmi besorolására vonatkoznak.

Természetvédelmi besorolás

A szempontrendszer első pontja a természetvédelmi besorolás szerinti elemzés, mivel ez egyes területek esetén korlátozó lehet a létesítésre. Az elemzési rendszerben a pontozáshoz két tulajdonság került meghatározásra, ezáltal természetvédelmi oltalom fennáll, vagy nem.

Területhasználat

A területek védelmi besorolása mellett fontos a terület jelenlegi használati módja is. Véleményem szerint fontos, hogy a területkiválasztás során elkerüljük az erdő- és mezőgazdasági területeken való létesítést, viszont előtérbe helyezzük azokat a területeket, amelyek valamilyen tulajdonságuk vagy megelőző felhasználási módjuk miatt mezőgazdasági vagy erdészeti tevékenységre nem alkalmasak. A honvédségi területeket a katonai aktivitás miatt kell kerülni, ugyanis ezek a területeken történhetnek próba robbantások, amelyek a kőzetre ható stresszt növelhetik a robbanás során kibocsátott rezgésekkel. Ez alapján a legjobb lehetőség, ha a terület ipari felhasználás alatt állt, ám mára már felhagytak.

A védőzóna területén található természetvédelmi területek aránya

A létesítéshez vizsgált terület oltalmán kívül fontos az is, hogy az azt körülölelő 2 kilométer sugarú védőzóna a lehető legkevesebb természetvédelmi oltalom alatt álló területet foglaljon magába. Hazán bővelkedik olyan területekben, amelyeken természetvédelmi szempontból kiemelkedőek vagy olyan érték található területükön, amely helyi- vagy országos jelentőséggel bírnak. Ezek nagy száma miatt a szempontrendszerben főként azokat a természeti értékeket és területeket vizsgálom, amelyek:

1. egyezmény erejénél fogva kerültek védelem alá, mint például a Ramsari egyezmény erejénél fogva védett vizes élőhelyek
2. UNESCO bioszféra-rezervátumhoz tartozó területek
3. Natura 2000 területek
4. 1996. évi LIII törvény a természet védelméről 23. § (2) pontja értelmében ex-lege védett területek, tehát források, lápok, barlangok, víznyelők, szikes tavak, kunhalom, földvárak.

A fent említett kategóriák közül az egyezmények által védett területek, az UNESCO bioszféra-rezervátumok és Natura 2000 területek kiterjedése alapján végzek pontozást, a védelem alatt álló területek 2 kilométer sugarú védőzóna területéhez viszonyított százalékos megoszlásának segítségével. (URL16)

Ex-lege védett objektumok a terület védőzónájában

Az 1996. évi LIII törvény a természet védelméről 23. § (2) pontja értelmében ex-lege védett értékek számát a létesítéshez vizsgált területeken, tehát források, lápok, barlangok, víznyelők, szikes tavak, kunhalom, földvárak számát, amelyek esetében a legjobb eshetőség az, ha a területen nincs olyan objektum, amely a törvény erejénél fogva védett. Fontos megjegyezni, hogy ha egy terület védőzónáján belül háromnál több ex-lege védett objektum van, akkor a pontszám csökkentő szempontoknál fogok visszatérni erre.

8. táblázat: Természetvédelmi szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	Pmax
Természetvédelmi besorolás	1	Nem áll oltalom alatt	10	10
		Oltalom alatt áll	1	
Terület jelenlegi használati módja	1	Felhagyott ipari terület	10	10
		Mezőgazdasági terület	3	
		Erdőterület	2	
		Honvédségi területek	1	
Védőzónájában található természetvédelmi területek aránya a teljes területhez képest	0,9	0-30%	10	9
		30-40%	7	
		40-50%	3	
		50-80%	2	
		50-100%	1	
Ex-lege védett objektumok száma a területen	0,8	A terület védőzónájában nincs ex-lege védett objektum	10	8
		A terület védőzónájában 1 ex-lege védett objektum van	3	
		A terület védőzónájában 2 ex-lege védett objektum van	2	
		A terület védőzónájában 3 ex-lege védett objektum van	1	
Összes elérhető pontszám				37

5.6. Gazdasági szempontok

Bár dolgozatom vizsgálatához közvetlenül nem kapcsolódik, a gazdasági folyamatoknak közvetett hatása van a környezetre, így a szempontrendszerben ezt is vizsgálom. A létesítéshez kijelölt területek vizsgálata során ki kell térni a gazdasági és társadalmi hatásokra is, mivel ez a területek védőzónájában elhelyezkedő települések életében nagy változást okozhatnak, egyes esetekben akár települések elnéptelenedését is. Ezen gazdasági szempontok szerinti pontozást a 9. táblázat mutatja be.

Gazdasági hatás

Az MKMIT létesítésének vizsgált területek településeire komoly gazdasági hatást gyakorolhat. Ez egyrészt érthető úgy is, hogy a területeken bizonyos infrastruktúrákat fejleszteni szükséges, valamint úgy is, hogy a területek védőzónájában egyes tevékenységek megszűnhetnek. Az MKMIT létesítése jelenthet pozitív hatást a gazdaságra azáltal, hogy számos új munkalehetőséget teremt, valamint a munkavállalók kereslete az ingatlanok iránt megnő. A gazdasági hatás legjobb lehetősége, hogy az MKMIT létesítése jelentős pozitív gazdasági hatással van a terület gazdaságára. Amennyiben ez a hatás negatív, a pontszám csökkentő szempontoknál erre visszatérek.

Turisztikai érték változása

A gazdasági hatás jelentheti a területek turizmusában bekövetkezett változásokat is. Hazánk a nemzetközi- és országhatáron belüli turizmus szempontjából is jelentős, ezáltal számos település- és a lakosság nagy részének mindennapi megélhetését a turizmus biztosítja. A védőzónán belül elhelyezkedő turisztikai értékkel bíró települések szerinti osztályozást a belföldi turisztikai jelentőség alapján történik.

Mivel a radioaktivitás és a radioaktív hulladékok kezelése a csernobili baleset miatt erős negatív választ vált ki a lakosságban, így számolni kell az érintett terület turisztikai jelentőségének csökkenésére. A pontozás során a legjobb eshetőség az, ha az MKMIT létesítése a belföldi turisztikai értékre nincs hatással, ám ha a területen van nemzetközi turisztikai jelentőséggel bíró terület, akkor a pontszám csökkentő szempontok során erre visszatérek.

Helyi ingatlanárak

A turisztikai értéken kívül a helyi ingatlanárakra is hatással lesz a csernobili baleset kapcsán említett negatív hatás. Véleményem szerint, a társadalom negatív véleménye miatt a védőzónán belüli településeket sok lakos elhagyná egy olyan projekt esetén, mint amilyen az MKMIT is, így az ingatlanárak várhatóan csökkenni fognak. Ezzel ellentétben a legjobb opció az, ha az ingatlanárak növekednek, mivel az azt jelenti, hogy a lakosság nem hagyja el az érintett területeket, hanem tovább bővül a betelepülők számának növekedésével.

9. táblázat: Gazdasági szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	P_{max}
Gazdaságra gyakorolt hatás	0,8	Jelentős pozitív hatással van	10	8
		Enyhe pozitív hatással jár	8	
		Semleges hatással jár	6	
		Negatív hatással jár	1	
Turisztikai értékre való befolyás	0,5	A turisztikai értékre nincs hatása	10	10
		A turisztikai értékre enyhe hatással van	5	
		A turisztikai értékre jelentős hatással van	1	
Ingatlanárak változása a területen	0,4	Az ingatlanárak az érintett területen növekednek	10	4
		Az ingatlanárak az érintett területen stagnálnak	8	
		Az ingatlanárak a területen csökkennek	2	
Összes elérhető pontszám				22

5.7. Pontszám csökkentő szempontok

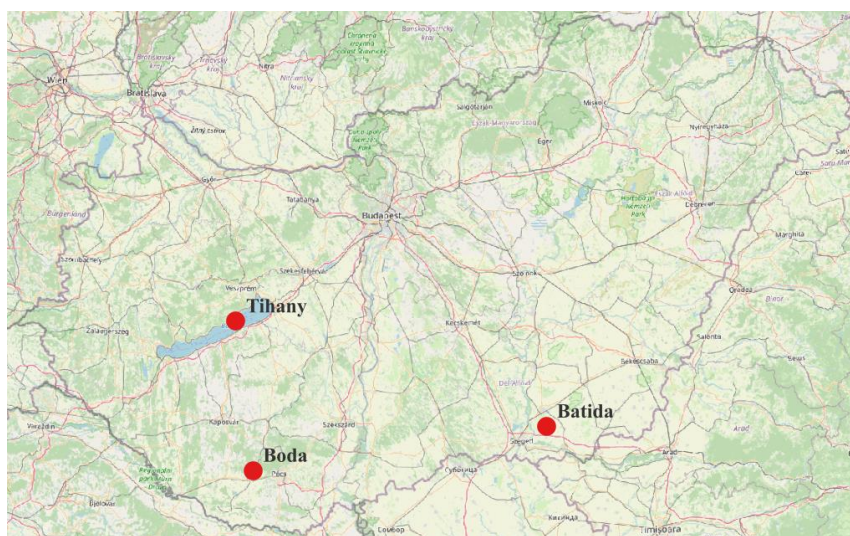
Az Anyag és módszertan fejezetben bemutatott képlet negatív részét képviselik a pontszám csökkentő szempontok. Amennyiben a terület valamely víztest vízgyűjtő területéhez tartozik, a terület megközelítéséhez 1 kilométer szilárd burkolatú út létesítése szükséges, természetvédelmi oltalom alatt áll, védőövezetében háromnál több ex-lege védett objektum található, a létesítés negatív gazdasági hatással jár és/vagy nemzetközi turizmusra is hatással van a létesítés, úgy a már ismertetett szempontok mellett, a pontszám csökkentő szempontokat is alkalmazni kell. Ebben az esetben már nincs „legjobb” kategória, ezt a 10. táblázat mutatja be.

10. táblázat: Pontszám csökkentő szempontok által levonható pontokat bemutató táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S_{cs}	Tulajdonság	P_{cs}	Levonható maximum
Víztest típusa, amely vízgyűjtőjébe tartozik a terület	0,4	Ér	1	2,4
		Csermely	2	
		Patak	3	
		Folyó	4	
		Folyam	5	
		Állóvíz	6	
Természetvédelmi besorolás	0,5	Natura 2000 terület	3	2,5
		Nemzetközi egyezmény erejénél fogva védett	5	
		Ex-lege védett terület (bioszféra rezervátum)	5	
		Országos jelentőségű, egyedi jogszabállyal védett terület	5	
		Helyi jelentőségű védett terület	2	
3 ex-lege védett objektum feletti pontozás	0,4	3-nál több ex-lege védett objektum	10	4
Területhez vezető szilárd burkolatú létesítésének szükséges hossza (1 km felett)	0,4	5 km felett	10	4
		5-4 km	8	
		4-3 km	6	
		3-2 km	4	
		2-1 km	3	
		1-0,5 km	2	
Gazdaságra gyakorolt negatív hatás mértéke	0,4	Enyhe negatív hatással jár	1	2
		Jelentős negatív hatással jár	5	
Nemzetközi turisztikai értékre való hatás	0,3	A turisztikai értékre enyhe hatással van	3	1,75
		A turisztikai értékre jelentős hatással van	7	
Összes levonható pontszám				16,65

6. Vizsgált területek bemutatása

Az MKMIT létesítéséhez 3 hazai területet jelöltem ki. Az első, Boda települése mellett helyezkedik el, ahol már 1993 és 2000 közt zajlottak felmérések a terület mélygeológiai radioaktív hulladék elhelyezésére való alkalmasságát illetően, amelyek megállapították, hogy az ország területén a Bodai Agyagkő Formáció (BAF) a mélygeológiai tároló létesítéséhez. A szempontrendszer egyik fő célja, hogy ezt alátámassza, miközben 2 további terület alkalmasságát is elemzi, ezzel bizonyítva a szempontrendszer összehasonlító elemzésre való alkalmasságát. Ennek bizonyítására a balatoni Tihanyi-félszigeten és Csongrád Vármegyei Batida települése mellett jelöltem ki területeket.



16. ábra: A létesítéshez vizsgált területek elhelyezkedése Magyarországon (forrás: Open Street Map térképen végzett saját szerkesztés)

Mivel mindhárom vizsgált terület Magyarországon helyezkedik el, így tulajdonságaik jó része -ide értve a területek éghajlatát, átlaghőmérsékletét és a hasonló tényezőket- megegyezik, ezért általánosan nem mutatom be ezeket a területek, az eltéréseket pedig a szempontrendszer segítségével fogom ismertetni.

A továbbiakban a területekre a következő jelrendszert fogom alkalmazni:

- Boda: 1.
- Batida: 2.
- Tihany: 3.

7. Vizsgált területek elemzése a szempontrendszer segítségével

A vizsgált területek tulajdonságait a szempontrendszer kategóriái szerint veszem végig. A táblázatos szempontokban a „S” betűvel a súlyszámot, „P” betűvel a pontszámot, „EM” betűkkel az elérhető maximumot jelölöm, a későbbiekben pedig „LM” jelzéssel a levonható maximumot. Az összefoglaló táblázatokban az egyes alternatívák oszlopába adtam meg az értékelési rendszer segítségével kiszámolt pontértékeket.

7.1. Geológiai szempontok

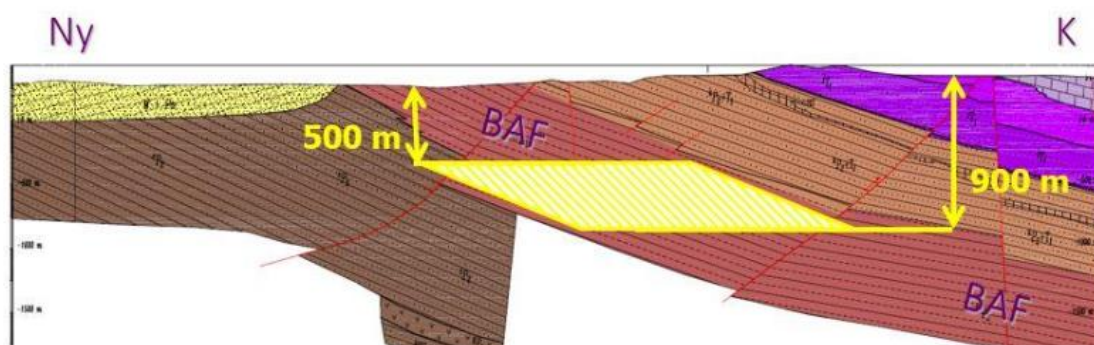
A kőzetek típusa az egyik legfontosabb tulajdonság, amelyek pontozását a 11. táblázat mutat be. A 1. területen a létesítési mélységben agyagkő található. A 2. jelölésű Batida mellett található terület a Marosszög kistájon található, amelyre az üledékes kőzetek jelenléte jellemző. Ezzel ellentétben a létesítéshez vizsgált Tihanyi-félszigeten lévő terület kiömléses magmás kőzeten -bazalton- található (Dövényi, 2010), ám a létesítési mélységben már meszes üledékes kőzetek fordulnak elő. (Baraczi et al. 1997)

A 3. melléklet alapján a narancssárgával jelölt területeken a legnagyobb az 50 évre vonatkoztatott rezgés gyorsulási érték, míg a sötétkék területeken a legalacsonyabb. Ezzel párhuzamban a narancssárgával jelölt területek szeizmikus aktivitása jóval nagyobb, mint a sötétkék területeké. Ezek alapján kijelenthető, hogy a három terület közül egyik sem szeizmikusan inaktív terület, viszont a 1. és 2. területek szeizmikus aktivitása alacsonyabb mint a 3. területé. Mivel van enyhe szeizmikus aktivitás, ezért vizsgálni kell a szeizmikus mozgással szembeni ellenállást. Mindhárom terület alapközete üledékes, amelyek szeizmikus aktivitással szemben ellenállóak, stabilitásuk.

A kőzettípusból már több dologra is következtettem, így a szeizmikus aktivitással szembeni ellenállásra is, ám ugyan így a valamilyen időtávlatban beálló stabilitásban bekövetkezett változásokra is lehet következtetni. A 1. és 2. területén elhelyezkedő agyagkő hosszútávon stabil, amely a többi üledékes kőzetre is igaz, ám a 3. területén elhelyezkedő meszes alapközet barlangképződésre hajlamos, így stabilitása hosszútávon erősen változhat.

A kőzetek szövetépsége szintén következtethető a kőzetek típusából. Általánosságban kijelenthető, hogy az üledékes kőzetek, rétegesen épülnek fel, így hajlamosak a repedezettségre, rétegzettségük miatt esetenként nagyobb töréseket is tartalmazhatnak. A 1. területen található agyagkő a vizsgálatok alapján csak kevés kis méretű repedést tartalmaz a többi üledékes kőzettel szemben.

A stabil kőzetréteg mélysége a létesítés szempontjából meghatározó. A 1. terület korábbi felméréséről szóló dokumentációban, azon belül is a Tungli Gyula és Molnár Péter által készített 2013-2018 közti felmérések eredményeiről szóló A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása című kutatási anyagban szerepel, hogy a létesítésre vizsgált területen az agyagkő a földfelszíntől mérve 300 méternél magasabban kezdődik, ahogy azt a 17. ábra is mutatja. Viszont a 2. és 3. területeken a stabil kőzetréteg magasságáról nincs adat a hazai monitoring- és egyéb rendszerekben, így az összesítés során ezt a pontot figyelmen kívül kell hagyni.



17. ábra: Az 1. terület vizsgálati során létesítésre alkalmas elhelyezési zóna mélysége (forrás: Tungli Gy., Molnár P., A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása)

A területek létesítési mélységben várható közethőmérséklet a 4. melléklet alapján került meghatározásra. A mellékelt térkép alapján a 1. területen az 550 méteres létesítési mélységben a kőzet $27,5^{\circ}\text{C}$, ahogy a 2. és 3. területek is. A földtani közeg hővezetését sok más tulajdonsággal egyetemben a terület kőzetének típusa határozza meg. Az üledékes kőzetek hővezetése a jó hővezető képességű mélységi magmás kőzetekéhez képest közepes.

11. táblázat: Geológiai szempontokra adott pontszámokat összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
Kőzet típusa	1	Gránit	10	10			
		Agyagkő	9		9		
		Halit (sódóm)	8				
		Kiömlési magmás kőzetek (pl: bazalt)	7				
		Tufás vulkanikus kőzetek	6				
		Metamorf kőzetek	4				
		Üledékes kőzetek	1			1	1
Terület szeizmikus aktivitása	1	Szeizmikusan inaktív terület	10	10			
		Szeizmikusan enyhén aktív terület	3		3	3	3
		Szeizmikusan erősen aktív terület	1				
A kőzet szeizmikus aktivitással szembeni ellenállása	1	Nagy stabilitású, nincs hatással a szeizmikus aktivitás	10	10	10	10	10
		Stabil, enyhe hatással van a szeizmikus aktivitás	5				
		Többnyire stabil, de hatással van a szeizmikus aktivitás	2				
		Instabil, jelentős hatással van a szeizmikus aktivitás	1				
Kőzet szövetének épsége	1	Teljesen tömör, repedezettség mentes	10	10			
		Tömör, kevés kis méretű repedéssel	7		7		
		Tömör, repedezésekkel	4			4	4
		Laza, jelentős repedésekkel	2				
		Laza, törésekkel	1				
Kőzet hőmérséklete létesítési mélységben	0,9	>22°C	10	9			
		22-55°C	7		6,3	6,3	6,3
		55°C<	1				

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
A kőzet hosszú idejű stabilitása	0,9	Stabil, hosszú távon sem változó	10	9			
		Stabil, hosszú távon enyhén változó	9		8,1	8,1	
		Instabil, hosszú távon erősen változó	4				3,6
		Instabil, már rövid távon változó	1				
A kőzet hővezetése	0,5	Jó hővezetésű	10	5			
		Közepes hővezetésű	9		4,5	4,5	4,5
		Rossz hővezetésű	2				
Elért pontszámok				63	47,9	36,9	32,4
Maximum pontszámhoz viszonyított elért pontszám százaléka (%)				100	76,03	58,57	51,42

7.2. Hidrogeológiai szempontok

A 1. régió talajvízben természetesen szegény, mivel hegyvidéken helyezkedik el, így a terület esetén nem beszélhetünk talajvíztükörről. (Dövényi, 2010) A 2. területen bár a talajvíz mennyisége alacsony, annak nyugalmi vízszintje 2-4 méter közt van, akár csak a Tihanyi-félszigeten elhelyezkedő területé. (Dövényi, 2010) Ezeket és az egyéb hidrogeológiai szempontok összesítését a 12. táblázat tartalmazza.

Ahogy eddig más sok mindenre, úgy a talajvízmozgás fokára is lehet következtetni a kőzet típusa alapján. A 1. területen lévő agyagkővet magassága miatt nem érintik talajvízmozgások, míg ezzel ellentétben a 2. terület talajvízmozgása enyhe, mivel a terület nagyjából sík, így nincsenek a talajvíz áramlását segítő tényezők. A 3. terület, ahogy a Balatoni-Riviéra kistájra jellemző, hajlamos a karsztosodási folyamatokra, ezáltal a területen intenzív talajvízmozgás lehet jelen.

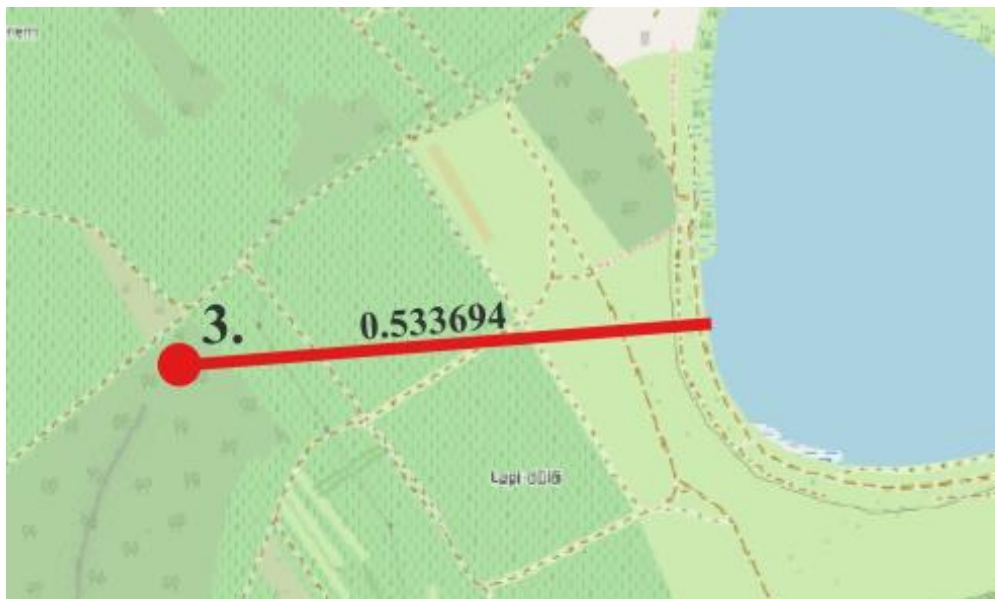
A kőzet vízzáróképességének tárgyalása során továbbra is a kőzet típusára hagyatkozok. Az üledékes kőzetek általában érzékenyek a vízre, ám az agyagkő a felépítő szemcsét finomsága miatt a víz ezt jóval nehezebben járja át, mint a másik két terület üledékes kőzetét. A 3. területe a karsztosodási hajlama miatt a víz számára átjárható.

12. táblázat: Hidrogeológiai szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
Talajvíztükör nyugalmi vízszintje	1	A területen nincs talajvíz	10	10	10		
		>8 m	8				
		8-6 m	6				
		6-4 m	4				
		4-2 m	2			2	2
		2 > m	1				
Talajvízmozgás mértéke	0,9	Nincs talajvízmozgás	10	9	8,1		
		Enyhe talajvízmozgás	8			7,2	
		Közepes talajvízmozgás	3				
		Nagy talajvízmozgás	1				0,9
Kőzet vízzáró képessége	0,9	Átjárhatatlan	10	9			
		Többnyire átjárhatatlan	8		7,2		
		Nehezen átjárható	6			5,4	
		Átjárható	2				1,8
		Könnyen átjárható	1				
Elért pontszámok				28	25,3	14,6	4,7
Maximum pontszámhoz viszonyított elért pontszám százaléka (%)				100	90,357	52,14	16,79

7.3. Hidrológiai szempontok

A hidrológiai szempontok pontozását a 12. táblázat mutatja be, amelyhez a víztestek távolságát légvonalban vizsgálom a QGIS 3.34.12 verziójának és az Open Street Map alaptérkép segítségével, amit a 18. ábra mutatja be. Ahogy a bevágott térképrészekben is látható, a 1. területtől a legközelebbi víztest 2,29 kilométerre méterre, a 2. területtől 1,69 kilométerre, és a 3. területtől 0,53 kilométerre van a legközelebbi víztest, így mindegyik vízgyűjtő területéhez tartozik.



18. ábra: Víztestek távolságának mérése a 3. a területről (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés)

Az ivóvízbázisok és artézi vízkivétel távolságát az 5. melléklet térképe alapján becsültem meg. Az ábra alapján a 1. területe nagyjából 2 kilométerre, a 2. területen nagyjából 5 kilométerre, míg a 3. területen nagyjából 1 kilométeren belül történik vízkivétel, bár az utóbbi esetében karsztvíz kivétel történik főként. A három terület közös jellemzője, hogy a közelben az artézi vízkinyerés alacsony.

Az előző pontokból látható, hogy a víztestek a létesítéshez vizsgált területekhez közel helyezkednek el, így mindegyik terület vízgyűjtő területen helyezkedik el, így a pontszám csökkentő szempontoknál ezt tovább vizsgálom. Fontos megjegyezni, hogy a felszíni vizekre az MKMIT havária esemény kivételével nincs hatással.

13. táblázat. Hidrológiai szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
Víztestek távolsága	0,9	>5 km	10	9			
		5-4 km	8				
		4-3 km	6				
		3-2 km	4		3,6		
		2-1 km	2			1,8	
		<1 km	1				0,9
Rétegvízből származó ivóvízbázis távolsága szerinti pontozás	0,9	>5 km	10	9			
		5-4 km	8			7,2	
		4-3 km	6				
		3-2 km	4				
		2-1 km	2		1,8		
		<1 km	1				0,9
Elért pontszámok				18	5,4	9	1,8
Maximum pontszámhoz viszonyított elért pontszám százaléka (%)				100	30	50	10

7.4. Környezeti- és környezetbiztonsági szempontok

7.4.1. Környezeti szempontok

Talaj

A területek genetikai talajféleségének meghatározásához a 2014-ben készült MTA ATK TAKI térképét fogom használni, amely a 6. mellékletben található. A leolvasottak alapján 1. területen Ramann-féle barna erdőtalaj, a 2. területen réti talaj és a 3. területen agyagbemosódásos barna erdőtalaj található.

A Ramann-féle barna erdőtalajok vízháztartása kedvező, tápanyagtartalmuk közepes, kémhatásuk enyhén bázikus és gyakori előfordulásúak. (URL18) Ezzel ellentétben a 2. terület réti talajának vízháztartása kedvezőtlen, tápanyagtartalma közepes, kémhatása enyhén bázikus, gyakori előfordulású. (URL19) A 3. területen található agyagbemosódásos barna erdőtalajok vízháztartása kedvező, tápanyagtartalmuk közepes, kémhatásuk enyhén savanyú, előfordulásuk gyakori. (URL18)

Klíma

Magyarország éghajlatát a kontinentális, a mediterrán és a óceáni éghajlatok befolyásolják, így a 1., 2. és 3. területeket is. Magyarországon az évi csapadék mennyisége 400-800 mm közt van, a területek éves csapadék mértékének meghatározására az Országos Meteorológia Szolgálat térképét használtam fel, amely a 7. mellékletben található. A leolvasás során megállapítottam, hogy a 1. terület évi csapadékösszege 750-800 mm közé esik, míg a 2. terület 600-550 mm és a 3. 650-700 mm közé esik.

14. táblázat: Környezeti szempontok pontjait összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

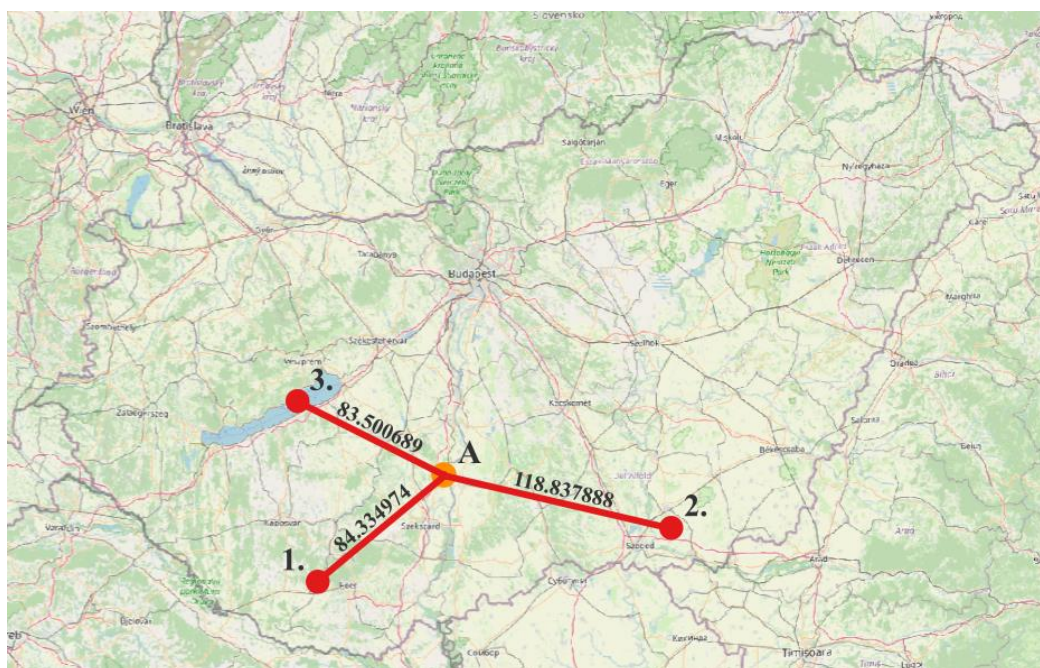
	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
Talajok tulajdonsága	1	Kedvező vízháztartási jellemzők; alacsony tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	10	10			
		Kedvező vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	8				8
		Kedvezőtlen vízháztartás; alacsony tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	7				
		Kedvező vízháztartási jellemzők; közepes vagy magasabb tápanyagtartalom; savanyú; ritka	6		6		
		Kedvezőtlen vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	5			5	
		Kedvezőtlen vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; savanyú; gyakori	4				
		Kedvező vízháztartási jellemzők; alacsony tápanyagtartalom; semleges vagy bázikus; gyakori	3				
		Kedvezőtlen vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; semleges vagy bázikus; gyakori	2				
		Kedvezőtlen vízháztartási jellemzők; közepes- vagy annál magasabb tápanyagtartalom; semleges vagy bázikus; ritka	1				

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
Évi átlagcsapadék mennyisége	0,5	<550 mm	10	5			
		550-650 mm	8			4	
		650-750 mm	4				2
		750 mm<	1		0,5		
Elért pontszámok				15	6,5	9	10
Maximum pontszámhoz viszonyított elért pontszám százaléka (%)				100	43,33	60	66,67

7.4.2. Környezetbiztonsági szempontok

Műszaki szempontok

A létesítéshez vizsgált területek fontos tulajdonsága a KKÁT-tól és a Paksi Atomerőműtől való távolságuk. A mérés módját a 19. ábra fogja bemutatni, a lemerített távolság alapján és a többi műszaki szempont alapján pedig a 16. táblázatban történik a pontozás.



19. ábra: Létesítéshez vizsgált területek távolsága légvonalban az „A” jelű Paksi

A kiégett fűtőelemek biztonságos szállításának legjobb módja a vasúti szállítás, ám a vasútvonalak épsége és a vasúti teherszállítás miatt a területekre való szállítás költséghatékonyabb közúton, így mindhárom terület esetén a legalacsonyabb pontot számolom. Mivel a vasúti szállításnál kedvezőbb és kézenfekvőbb a közúti szállítás, így a légvonalban legközelebb elhelyezkedő vasútállomás távolsága szerinti pontozást ebben az értékelési rendszerben nem veszem figyelembe. A területek megközelíthetőségének vizsgálatához a Google Earth térképét használom, amely alkalmas pontos távolságok mérésére. A 1. terület esetében a legközelebbi szilárd burkolatú út kicsivel több mint 2 kilométerre van, a 2. terület esetében ez nagyjából 0,4 kilométer, míg a 3. területnél 0,8 kilométer. A területek megfelelő villamosenergia ellátásáról gondoskodni a hálózatba való bekötéssel lehetséges. A bekötés lehetőségéről egyik terület esetében sem találtam olyan pontot, amely az MKMIT ellátásához kielégítő volna, így ezt a pontot is átugrom.

15. táblázat: Műszaki szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.			
Területek Pakstól mért távolságban légvonalban	1	< 100 km	10	10	10		10			
		100-300 km	4			4				
		300 km <	1							
Vasúti- és közúti szállítás egymáshoz viszonyított megoszlása	0,9	100-90% vasúti, 0-10% közúti	10	9						
		90-70% vasúti 10-30% közúti	8							
		70-50% vasúti, 30-50% közúti	5							
		50-30% vasúti, 50-70% közúti	4							
		30-10% vasúti, 70-90% közúti	2							
		10-0% vasúti, 90-100% közúti	1		0,9	0,9	0,9			
		Terület szilárd útburkolattal rendelkező úton való megközelíthetősége	0,8		Közvetlen a létesítéshez vizsgált helyre vezet be az út	10	8			
					<300 m	6				
					300-500 m	4			3,2	
					500m <	1		0,8		0,8
Elért pontszámok				27	11,7	8,1	11,7			
Maximum pontszámhoz viszonyított elért pontszám százaléka (%)				100	43,33	30	43,33			

Biztonsági és társadalmi szempontok

A területek lakosságának felmérése a Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján történtek többnyire. A 1. terület kiterjesztett, 5 kilométeres sugarú védőövezetében 2498 ember él, Megyefa-Bükkösd településen 1037 (URL20), Helesfa településen 474 (URL21), Cserdi településen 404 (URL22), Boda településen 454 (URL23) és Bakonya település érintett részén 129 (URL24) ember él. Ezzel szemben a 2. terület egyetlen településén, Batidán, összesen 173 és a 3. területen összesen 6660 fő él a KSH adatai szerint.

A lakott területek számát a QGIS 3.34.12 verziójában szerkesztett védőzónák alapján számolással tudtam meghatározni. A számolás során azokat a településeket is beleszámoltam, amelyek belelőgnak a védőzónába. Ezalapján a 1. területen 5 település (Megyefa, Helesfa, Cserdi, Boda, Bakonya), a 2. területen 1 település (Batida) és a 3. területen 12 település (Kopaszhegy, Szántód, Zamárdi, Tihany, Óvár, Gödrös, Diós, Sajkod, Aszófő, Balatonfüred, Örvényes, Balatonudvardi) helyezkedik el, amelyet a 23. ábra mutat be. A QGIS programmal szerkesztett kiterjesztett védőövezet teljes területe 78,539 km², amelyből a 1. terület településeinek belterülete összesen 1,926 km² (2,45%), a 2. terület településének belterülete 0,298 km² (0,53%), a 3. terület településeinek belterülete összesen 3,861 km² (4,92%).



20. ábra: A 3. terület településeinek területi mérése (forrás: Open Street Map térképen saját szerkesztés)

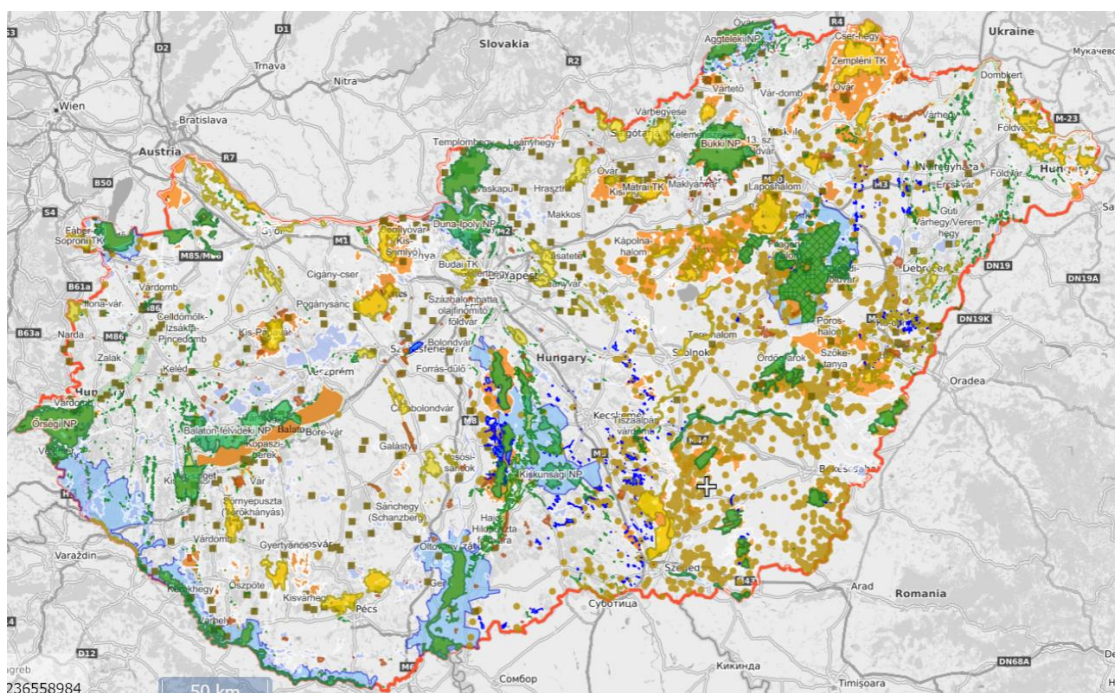
A legközelebbi település meghatározásához szintén a QGIS programot használtam, amely alapján a 1. terület Bodától 2,15 kilométerre fekszik, a 2. terület Batidától 2,37 kilométerre és a 3. terület Tihanytól 1,48 kilométerre fekszik.

16. táblázat: A biztonsági- és társadalmi szempontok pontozását összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
A kiterjesztett védőzónán belüli lakosság	1	> 1000 fő	10	10		10	
		1000-2000 fő	8				
		2000-3000 fő	6		6		
		3000-4000 fő	4				
		4000-5000 fő	2				
		5000 fő <	1				1
Védőzónán belüli települések száma	0,8	< 10 lakott település	10	8	8	8	
		10-20 lakott település	8				6,4
		20-30 lakott település	6				
		30-40 lakott település	3				
		40 < lakott település	1				
Legközelebbi település légvonalban mért távolsága	0,7	> 2 km	10	7	7	7	
		2-1 km	5				3,5
		1 > km	1				
Települések területi aránya a védőzóna területéhez képest	0,6	<5%	10	6	6	6	6
		5-10%	8				
		10-15%	6				
		15-20%	4				
		20-25%	2				
		25-30%	1				
Elért pontszámok				31	27	31	16,9
Maximum pontszámhoz viszonyított elért pontszám százaléka (%)				100	87,097	100	54,52

7.5. Természetvédelmi szempontok

A természetvédelmi szempontok feltárására az OKIR térképét használtam főként, így a 21. ábrán látható térkép különböző rétegeit fogom használni különböző nagyításban, a leolvasott és egyéb eredményeket pedig a 17. táblázatban rögzítettem.



21. ábra: OKIR Természetvédelmi Információs Rendszer Térképei (forrás: web.okir.hu)

Az OKIR térképe alapján a 1. terület nincs védettség alatt, ám a 2. terület Natura 2000-, a 3. terület országos jelentőségű, egyedi jogszabállyal védett területe. A 2. és 3. területek esetében ennél a szempontnál a szempontokat kell alkalmazni.

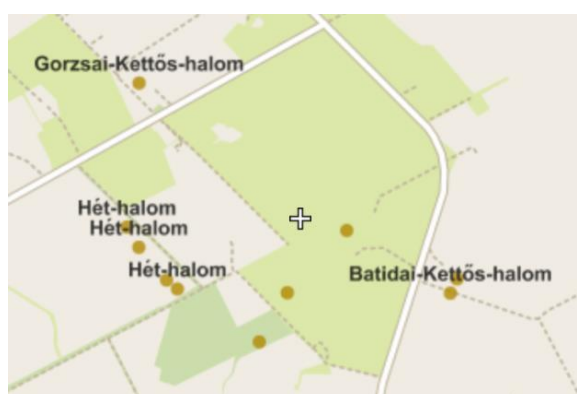
A Jelenlegi használat módjának feltérképezésére a NÉBIH Erdőtérképét használtam, amely alapján a 1. és 2. területek mezőgazdasági felhasználás alatt állnak, míg a 3. terület a 17/E erdőrezszen belül helyezkedik el, ahogy azt a 22. ábra is mutatja.



22. ábra: 3. terület által érintett 17/E erdőrezslet (forrás: erdoterkep.nebih.gov.hu)

A területek 2 kilométeres védőzónájában lévő természetvédelmi oltalom alá eső területek százalékos arányának felmérése az OKIR térképének használatával és becsléssel történik. Ez alapján a 1. terület 2 kilométeres körzetében nincsen oltalom alatt álló terület, a 2. terület körüli védőzóna 55%-a Natura 2000 terület, a 3. terület védőzónája 100%-a pedig országos jelentőségű, egyedi jogszabállyal védett terület.

A 1. és 3. területek védőzónájában nincs ex-lege védettség alatt álló objektum, míg a 2. terület védőzónájában 10 ex-lege védett kunhalom található, amelyet a 23. ábra mutat be. A 2. terület esetében a továbbiakban a pontszámcsökkentő javaslatok megfelelő táblázatát kell figyelembe venni.



23. ábra: A 2. terület védőzónájában elhelyezkedő ex-lege védett objektumok (forrás: web.okir.hu)

17. táblázat: Természetvédelmi szempontok pontozását összesít táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
Természetvédelmi besorolás	1	Nem áll oltalom alatt	10	10	10		
		Oltalom alatt áll	1			1	1
Terület jelenlegi használati módja	1	Felhagyott ipari terület	10	10			
		Mezőgazdasági terület	3		3	3	
		Erdőterület	2				2
		Honvédségi terület	0				
Védőzónájában található természetvédelmi területek aránya a teljes területhez képest	0,9	0-30%	10	9	9		
		30-40%	7				
		40-50%	3				
		50-80%	2			1,8	
		50-100%	1				0,9
Ex-lege védett objektumok száma a területen	0,8	A terület védőzónájában nincs ex-lege védett objektum	10	8	8		8
		A terület védőzónájában 1 ex-lege védett objektum van	3				
		A terület védőzónájában 2 ex-lege védett objektum van	2			-	
		A terület védőzónájában 3 ex-lege védett objektum van	1				
Elért pontszámok				37	30	5,8	11,9
Maximum pontszámhoz viszonyított elért pontszám százaléka (%)				100	81,08	15,67	32,16

7.6. Gazdasági szempontok

A gazdaságra gyakorolt hatásokat becsülni lehet, a jelenlegi kiépítettség, terjedelem, népesség és hasonló tényezők alapján, ezeket a 18. táblázat mutatja be. Ebből kiindulva kijelenthető, hogy a 1. terület gazdaságára enyhe pozitív hatással lesz, a 2. területre pedig jelentős pozitív hatással. Ezekkel ellentétben a 3. terület jelenlegi gazdaságára negatív hatással lesz, így ebben az esetben a pontszám csökkentő szempontok megfelelő pontját kell figyelembe venni.

A belföldi turizmusra a 1. és 2. területeken az MKMIT létesítése nem lesz negatív hatással, míg a 3. esetében nemcsak a belföldi, hanem a nemzetközi turizmusra is negatív hatást fog gyakorolni, erre a pontszám csökkentő szempontoknál fogok visszatérni.

A 1. és 2. területek gazdasága feltételezhetően növekedni fog, így tartósan növekedni fog a környező települések lakossága, az ingatlanárakkal egyetemben. Ezzel ellentétben a 3. területen tartós ingatlanár csökkenés lesz megfigyelhető.

18. táblázat: A gazdasági szempontok pontozását összegző táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	EM	1.	2.	3.
Gazdaságra gyakorolt hatás	0,8	Jelentős pozitív hatással van	10	8		8	
		Enyhe pozitív hatással jár	8		6,6		
		Semleges hatással jár	6				
		Negatív hatással jár	1				0,8
Turisztikai értékre való befolyás	0,5	A turisztikai értékre nincs hatása	10	5	5	5	
		A turisztikai értékre enyhe hatással van	5				
		A turisztikai értékre jelentős hatással van	1				0,5
Ingatlanárak változása a területen	0,4	Az ingatlanárak az érintett területen növekednek	10	4	4	4	
		Az ingatlanárak az érintett területen stagnálnak	8				
		Az ingatlanárak a területen csökkennek	2				0,8
Elért pontszámok				17	15,6	17	2,1
Maximum pontszámhoz viszonyított elért pontszám százaléka (%)				100	91,76	100	12,35

7.7. Pontszám csökkentő szempontok

Az előzőekben tárgyalt szempontrendszer bizonyos pontjainál megfogalmazásra kerültek pontszám csökkentő szempontok, amelyeket a következőkben fogok vizsgálni, a levonandó pontokat pedig a 19. táblázat szemlélteti.

A korábban megállapítottam, hogy mindegyik terület vízgyűjtő területbe tartozik, 2. és 3. területek továbbá természetvédelmi oltalom alatt állnak, mivel a 2. terület Natura 2000

terület 12 ex-lege védett kunhalommal, míg a 3. terület országos jelentőségű, egyedi jogszabállyal védett terület.

A 1. területhez létesítés esetén szükséges 1 kilométernél hosszabb, szilárd burkolattal rendelkező út létesítése, amely miatt ezen a területen alkalmazni kell a pontszám csökkentő szempontok megfelelő pontját.

A három terület közül kettő, a 1. és 2. területek, esetén az MKMIT létesítése a turisztikai értékén nem rontana, mivel ezen területek nem turisztikai célpontok, ellentétben a 3. területtel, amely nemzetközi turisztikai célpont, amely miatt a létesítés ezen a területen jelentős negatív gazdasági folyamatokat vonna maga után. A 19. táblázat tartalmazza a szempontoknál levont pontokat.

19. táblázat: A pontszám csökkentő szempontok által levonható pontokat összegző táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	S	Tulajdonság	P	LM	1.	2.	3.
Víztest típusa, amely vízgyűjtőjébe tartozik a terület	0,4	Ér	1	2,4			
		Csermely	2				
		Patak	3			1,2	
		Folyó	4				
		Folyam	5				
		Állóvíz	6		2,4		2,4
Természetvédelmi besorolás	0,5	Natura 2000 terület	3	2,5	-	1,5	
		Nemzetközi egyezmény erejénél fogva védett	5				
		Ex-lege védett terület (bioszféra rezervátum)	5				
		Országos jelentőségű, egyedi jogszabállyal védett terület	5				2,5
		Helyi jelentőségű védett terület	2				
3 ex-lege védett objektum feletti pontozás	0,4	3-nál több ex-lege védett objektum	10	4		4	-
Területhez vezető szilárd burkolatú létesítésének	0,4	5 km felett	10	4			
		5-4 km	8			-	-
		4-3 km	6				

	S	Tulajdonság	P	LM	1.	2.	3.
szükséges hossza (1 km felett)		3-2 km	4		1,6		
		2-1 km	3				
		1-0,5 km	2				
Gazdaságra gyakorolt negatív hatás mértéke	0,4	Enyhe negatív hatással jár	1	2			
		Jelentős negatív hatással jár	5			2	
Nemzetközi turisztikai értékre való hatás	0,3	A turisztikai értékre enyhe hatással van	3	1,75	-	-	
		A turisztikai értékre jelentős hatással van	7				1,75
Összes levonható pont				16,65	4	6,7	8,65

7.8. Szempontrendszer eredménye

A szempontrendszerben összesen 275 pont megszerzése volt lehetőség. Ebben a 275 pontban voltak olyan szempontok is, amely végül kihagyásra került, így az elérhető maximum 236 pont volt. Az elérhető maximum pontok mellett további 16,65 pont volt levonható, amelyek alapján a területek által elért összpontszám a 20. táblázatban látható módon alakult.

20. táblázat: Szempontrendszerben elért pontokat összesítő táblázat (forrás: saját szerkesztés)

	EM	1.	2.	3.
Geológia szempontok	63	47,9	36,9	32,4
Hidrogeológia szempontok	28	25,3	14,6	4,7
Hidrológia szempontok	18	5,4	9	1,8
Környezeti- és környezetbiztonsági szempontok	73	45,2	48,1	38,6
Természetvédelmi szempontok	37	31	5,8	11,9
Gazdasági szempontok	17	15,6	17	2,1
Pontszám csökkentő szempontok	16,65	4	6,7	8,65
Elért pontszám	219,35	166,4	124,7	82,85
Elért pontszám összpontszámhoz vonatkoztatott százaléka	100%	75,86%	56,71%	37,77%

8. Következtetések

A szempontrendszer egyik célja az volt, hogy bizonyítsa a Bodai Agyagkő Formáció 1993 és 2000 közt végzett kutatások azon kijelentését, hogy ez a terület az országban a legalkalmasabb mélygeológiai tároló kialakítására. A szempontrendszer másik célja az volt, hogy ennek alkalmasságát úgy bizonyítsa, hogy az eredmények számszerűsíthetők, ezáltal könnyebben értelmezhetőek legyenek, illetve lehetővé tegye, hogy más területek környezeti szempontú értékelése és összehasonlítása is megvalósítható legyen.

A Bodai Agyagkő Formáció, az általa elért 166,4 ponttal a létesítésre valóban alkalmasabb, mint a 124,7 pontot elért Batida melletti 2. terület és a 82,85 pontot elért Tihany melletti 3. terület. Az elért pontszám önmagában nem szolgál sok információval, úgy értelmezhető, ha normalizáljuk, összevetjük az elérhető maximális pontértékkal. Az értékelés során összesen 236 pont volt elérhető, amely a pontszám csökkentő szempontok figyelembevételével 219,35 pontra módosult. Ehhez viszonyítva a Bodai Agyagkő Formáció 75,86%-ot ért el, míg a Batida melletti 2. terület 56,71%-ot, a Tihany melletti 3. terület pedig 37,77%-ot kapott. Ebből is látszik, hogy az 1. terület lényegesen jobban teljesített.

Ez az összehasonlító értékelési rendszer alkalmas az egymáshoz viszonyított megfeleléség meghatározására, azonban ez nem jelenti azt, hogy a legoptimálisabb telepítési alternatíva egyértelműen megvalósítható.

9. Összegzés

Szakdolgozatomban feltártam a mélygeológia tározók létesítéséhez szükséges szakirodalmi háttérrel, ide értve a szükséges jogi háttérrel, a radioaktív hulladékok csoportosítási- és keletkezési lehetőségeit, valamint a hazai radioaktív hulladékkezelési intézményeket.

Az ONKALO finn mélygeológiai tároló bemutatásával ismerttettem a jelenleg alkalmazásban lévő műszaki és biztonsági megoldásokat, amit az általam vizsgált MKMIT-hez alapul vettem, kiegészítve az IAEA biztonsági ajánlásaival.

A műszaki megoldások után az ONKALO létesítését megelőző vizsgálatok és az IAEA kiadványai alapján kialakítottam az elemzési szempontrendszer. A befogadó kőzet mélygeológiai tárolásra való alkalmasságát geológiai-, a talajvíz tulajdonságainak meghatározására hidrogeológiai-, a felszíni és felszín alatti víztestek védelme érdekében hidrológiai szempontokat fogalmaztam meg. A tároló környezeti nézőpontú elemzéséhez környezeti- és környezetbiztonsági-, természetvédelmi elemzéséhez pedig természetvédelmi szempontokat állítottam össze. Megfogalmaztam továbbá gazdasági szempontokat, amelyek bár közvetve és hosszú távon, de hatással vannak a környezetre.

Az Anyag és módszertan fejezetben ismertetett számolás alapján a szempontok és azon belül a tulajdonságok súlyszámait összeszorozva kaptam egy pontszámot, amelyet szükség esetén korrigáltam az értékcsökkentő tényezők pontértékeivel. Az így elért pontszám lehetővé tette a három vizsgált telepítési alternatíva összehasonlítását. Az eredmények alátámasztották a kezdeti feltételezésem, miszerint a vizsgált területek közül a Bodai Agyagkő Formáció a legalkalmasabb a mélygeológiai tároló megvalósításához.

A vártakkal ellentétben a szempontrendszer nem tud konkrétan rámutatni a megfelelő területekre, hanem azokat egymáshoz hasonlítva ki tudja választani az alternatívák közül a környezeti vonatkozásban leginkább alkalmas területet.

10. Köszönetnyilvánítás

Elsőként szeretném megköszönni konzulenseimnek, Elekné Dr. Fodor Veronikának és Dr. Vágvölgyi Andreának, hogy a szakdolgozatom elkészülését végtelen türelemmel és tanácsokkal segítették még az utolsó pillanatokban is.

Hálával tartozom családomnak, különösen Édesanyámnak, aki egyetemi éveim alatt erején felül támogatott, akármiről is volt szó és mellettem állt még akkor is, amikor nem minden alakult a tervek szerint.

Végül szeretnék köszönetet mondani barátaimnak, akik építő jellegű kritikákkal és tanácsokkal láttak el még akkor is, ha nem értették miért szeretnék ezzel a témával foglalkozni.

11. Irodalmi hivatkozások

Felhasznált irodalom

Balázs L. Kőzetfizika egyetemi jegyzet Geofizikus M.Sc. hallgatók számára (Eötvös Lóránd Tudományegyetem)

[https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/D9403D1237BCB56EC1257BEA0045D0C7/\\$FILE/CBF_NJ_final_hun_signed.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/D9403D1237BCB56EC1257BEA0045D0C7/$FILE/CBF_NJ_final_hun_signed.pdf) Megtekintés dátuma: 2024.11.14.

Baraczi A., Gyimóthy G., (1997) A Balatoni_Riviéra kistáj és a Tihanyi félsziget talajképződése Földrajzi Értesítő XLVI. évf, 3-4 füzet, pp. 249-262 https://hungarian-geography.hu/konyvtar/kiadv/FE1997/FE19973-4_249-262.pdf Megtekintés dátuma 2024.11.17.

Domonkos E., (2012) A kiégett nukleáris fűzőanyagok és nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú hulladékok kezelése és elhelyezésük hazai vonatkozásai Környezetmérnök Tudástár 19. kötet pp. 476-497 Az anyag a TAMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0021 téma keretében készült a Pannon Egyetemen. https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/19-Hulladeggzaldalkodas_II-v2.pdf Megtekintés dátuma: 2024.11.17.

Dövényi Z. (2010), Magyarország Kistájainak Katasztere (második, átdolgozott kiadás) MTA Földrajztudományi Kutatóintézet ISBN 978-963-9545-29-8 Megtekintés dátuma: 2024.11.15.

Fábián M. (2015) Atomerőművi Hulladékok Kezelése – 2. rész https://stuff.uzsolt.hu/edu/phys/art/atom/1509_FabianM_2.pdf Megtekintés dátuma: 2024.11.16.

Gudowski (2000): Transmutation of Nuclear Waste Nuclear Physics 169c-182c <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375947499005850> Megtekintés dátuma: 2024.10.27.

Hámos G., Sámson M. (2018) Bodai Agyagkő Formáció kutatás ISBN 978-963-82221-73-5 https://docplayer.hu/143714027-Bodai-agyagko-formacio-kutatas.html#google_vignette Megtekintés dátuma: 2024.11.19.

Hózer Z. (2013): Az atomerőműben kiégett üzemanyag nyílt és zárt üzemanyagciklusokban Nukleáris Üzemanyagciklus Radioaktív Hulladékaik- Egyetemi jegyzet pp. 51-68 ISBN 978-963-7351-20-4 Letöltés dátuma: 2024.05.12.

Hózer Z., Hordósy G., Slonszki E., Vini A., Tóth Á., (2011) A nagy aktivitású leszerelési és üzemviteli hulladékok végleges elhelyezése Nukleon IV. évf. 89 pp. 18-22 https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/nukleon_4_2_2011_majus.pdf Megtekintés dátuma: 2024.10.29.

International Atomic Energy Agency (2024), Declaration on Nuclear Energy https://fdn01.fed.be/84ac04269691863995994892f272c38d/NES_Declaration_on_Nuclear_Energy.pdf Megtekintés dátuma: 2024.10.22.

International Atomic Energy Agency TECDOC Series (2014): Treatment of Radioactive Gaseous Waste (IAEA-TECDOC-1744) https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1744_web.pdf Megtekintés dátuma: 2024.10.25.

International Atomic Energy Agency (2021), International Status And Prospect For Nuclear Power 2021 <https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc65-inf6.pdf> Megtekintés dátuma: 2024.10.25.

International Atomic Energy Agency (2023): Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States pp.592-605.o https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/OPEX_2024_web.pdf Megtekintés dátuma: 2024.10.24.

International Atomic Energy Agency Safety Standards (2009): Classification of Radioactive Waste,, General Safety Guide No. GSG-1 https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1419_web.pdf Megtekintés dátuma: 2024.11.03.

International Atomic Energy Agency Safety Standards Series No. WS-R-4 (2006) Geological Disposal of Radioactive Waste https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1231_web.pdf Megtekintés dátuma: 2024.11.01.

International Atomic Energy Agency TECDOC Series (2014) Planning and Design Considerations for Geological Repository Programmes of Radioactive Waste https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1755_web.pdf Megtekintés dátuma: 2024.11.10.

International Atomic Energy Agency Technical Reports Series No. 413 (2003) Scientific and Technical Basis for The Geological Disposal of Radioactive Wastes https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS413_web.pdf Megtekintés dátuma: 2024.11.01.

Iqbal H. (2017): Radioactive Waste Classification, Management and Environment Engineering International, Volume 5. No 2 (2017) https://www.researchgate.net/profile/Md-Hosan/publication/325070124_Radioactive_Waste_Classification_Management_and_Environment/links/5efdf6d3299bf18816fa7319/Radioactive-Waste-Classification-Management-and-Environment.pdf Megtekintés dátuma: 2024.10.23.

J. Valli, M. Hakala, T. Wanne, P. Kantia, T. Siren (2014) ONKALO POSE Experiment-Phase 3: Execution and Monitoring <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/45/107/45107614.pdf?r=1> Megtekintés dátuma: 2024.10.25.

L. P. Sant'ana, T. C. Cordeiro (2016): Management of Radioactive Waste: A Review Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences 6(2): 38-43 [http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2016-6\(2\)/management-of-radioactive-waste.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2016-6(2)/management-of-radioactive-waste.pdf) Megtekintés dátuma: 2024.11.01.

Magyarország Kormánya: Nemzeti Energiastratégia 2030 (2011) <https://2010-2014.kormany.hu/download/e/19/40000/Energiastrategia.pdf> Megtekintés dátuma: 2024.10.24.

MVM Paks II. Zrt (2014) Radioaktív hulladékok és kiégett kazetták kezelése és elhelyezése https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/kernenergie/verfahren/ungarn/uvp_paksii/uve/03_paks2_npp_eia_report_hu/paksii_kht_19_radiohull_hu.pdf Megtekintés dátuma: 2024.11.15

Nikodém E. (2013), Radioaktív hulladékok kezelése, tárolása és környezetbiztonsági aspektusai <https://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/464-radioaktiv-hulladekok-kezelese-tarolasa-es-kornyezetbiztonsagi-aspektusai.pdf> Megtekintés dátuma: 2024.11.14.

O. Kaisko, J. Mattila, J. Valli, M. Hakala (2023) Stress-Geology Interaction Simulation of the Olkiluoto Site Letöltés dátuma: 2024.11.10.

Országos Atomenergia Hivatal: Nemzeti Jelentés a Paksi Atomerőmű Célzott Biztonsági Felülvizsgálatáról

[https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/D9403D1237BCB56EC1257BEA0045D0C7/\\$FILE/CBF_NJ_final_hun_signed.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/D9403D1237BCB56EC1257BEA0045D0C7/$FILE/CBF_NJ_final_hun_signed.pdf) Megtekintés dátuma: 2024.11.18.

R. O. Abdel Rahman, H. A. Ibrahim, Yung-Tse Hung (2011) Liquid Radioactive Waste Treatment: A Review Water (2011), 3(2), 551-565 <https://www.mdpi.com/2073-4441/3/2/551> Megtekintés dátuma: 2024.10.26.

R. P. Young, M.H.B. Nasser, M. Sehzadeh (2020) Mechanical and seismic anisotropy of rocks from the ONKALO underground rock characterization facility <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160919302527> Megtekintés dátuma: 2024.11.10.

S. Brown, D. Jones (2024), European Electricity Review <https://ember-energy.org/app/uploads/2024/10/European-Electricity-Review-2024.pdf> Megtekintés dátuma: 2024.10.22.

Sebestyén Zs. Ekler B., Kapitány S., Petőfi G., Stangl P., (2016): Radioaktív Hulladékok Osztályozás Hazai Szabályozásának Korszerűsítése Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13036/10510> Megtekintés dátuma: 2024.10.27.

Szűcs I.(2012) A nukleáris létesítményekhez kapcsolódó radioaktív hulladékok geológiai elhelyezkedésének alapjai Környezetmérnöki Tudástár 19. kötet pp. 430-475 https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/19-Hulladeggazdalkodas_II-v2.pdf Az anyag a TAMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0021 téma keretében készült a Pannon Egyetemen. Megtekintés dátuma: 2024.11.17.

T. Siren (2017): Overview of Finnish Spent Nuclear Fuel Disposal Programme:
<https://cdn.apub.kr/journalsite/sites/ksmer/2017-054-04/N0330540406/N0330540406.pdf>

Megtekintés dátuma: 2024.11.01.

Zagyvai et al. 2013/A: Zagyvai P., Kókai Zs., Fábíán M., (2013) Radioaktív hulladékok
kezelése Nukleáris Üzemanyagciklus Radioaktív Hulladécai- Egyetemi jegyzet pp. 77-98
ISBN 978-963-7351-20-4 Letöltés dátuma: 2024.05.12.

Zagyvai et al. 2013/B: Zagyvai P., Kókai Zs., Breitner D., Hózer Z. (2013) A kiégett
üzemanyag és a radioaktív hulladékok átmeneti tárolása és végleges elhelyezése Nukleáris
Üzemanyagciklus Radioaktív Hulladécai- Egyetemi jegyzet pp. 99-114 ISBN 978-963-
7351-20-4 Letöltés dátuma: 2024.05.12.

Webes hivatkozások

URL1: Eurostat: Shedding light on energy in the EU- 2023 edition
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy-2023> Megtekintés
dátuma: 2024.10.22.

URL2: Európai Parlament: Euratom- Szerződés <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/hu/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty> Megtekintés
dátuma: 2024.10.22.

URL3: International Energy Agency: Hungary 2022, Executive summary
<https://www.iea.org/reports/hungary-2022/executive-summary> Megtekintés dátuma:
2024.10.24.

URL4: World Nuclear Association: Nuclear Power in Hungary (2024) <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/hungary> Megtekintés
dátuma: 2024.10.23.

URL5: NUPEX: Radioaktivitás
<http://nupex.eu/index.php?lang=hu&g=textcontent/radioactivity/radioactivity> Megtekintés
dátuma: 2024.10.23.

URL6: Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ: A radioaktivitásról
dióhéjban <https://www.nnk.gov.hu/index.php/nemzeti-radon-cselekvesi-terv-2/a-radioaktivitasrol-diohejban.html> Megtekintés dátuma: 2024.10.23.

URL7: nuclear-power.com: Characteristics of neutron radiation <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/fundamental-particles/neutron/characteristics-of-neutron-radiation/> Megtekintés dátuma: 2024.10.23.

URL8: Országos Atomenergia Hivatal: A Paksi Atomerőmű aktuális üzemi adatai <https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?OpenAgent&article=paksnpp> Megtekintés dátuma: 2024.11.05.

URL9: Radioaktív Hulladékokat kezelő Kft: Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolója <https://rhk.hu/timeline/a-kiegett-kazettak-atmeneti-taroloja-kkat> Megtekintés dátuma: 2024.11.05.

URL10: Radioaktív Hulladékokat kezelő Kft: Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló <https://rhk.hu/timeline/radioaktiv-hulladek-feldolgozo-es-tarolo> Megtekintés dátuma: 2024.11.05.

URL11: Radioaktív Hulladékokat kezelő Kft: Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló <https://rhk.hu/timeline/nemzeti-radioaktivhulladek-tarolo> Megtekintés dátuma: 2024.11.05.

URL12: World Nuclear Association: Nuclear Power in Finland <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland> Megtekintés dátuma: 2024.11.02.

URL13: SKB: Our method of final disposal <https://skb.com/future-projects/the-spent-fuel-repository/our-methodology/> Megtekintés dátuma: 2024.11.16

URL14: Gránit Sírkö Diszkont: Gránit <https://www.granitsirkodiszkont.hu/granit> Megtekintés dátuma: 2024.11.09.

URL15: mgte.hu: Geotermikus energia Magyarországon <https://mgte.hu/geotermikus-energia-magyarorszagon/> Megtekintés dátuma: 2024.11.17.

URL16: Dr. Temesi Géza: Természetvédelmi jogi és igazgatási ismeretek, Védett területek <https://mek.oszk.hu/22400/22440/html/termeszeter.eoldal.hu/cikkek/vedett-teruletek/index.html> Megtekintés dátuma: 2024.11.16.

URL17: mek.oszk.hu: Fő talajfajtáink és területi elhelyezkedésük <https://mek.oszk.hu/02100/02185/html/120.html> Megtekintés dátuma: 2024.11.18.

URL18: Deák T. (talajtar.hu): Barna erdőtalajok <https://talajtar.hu/barna-erdotalajok/> Megtekintés dátuma: 2024.11.19.

URL19: Deák T. (talajtar.hu): Réti talajok <https://talajtar.hu/reti-talajok/> Megtekintés dátuma: 2024.19.

URL20: Bükkösd Község Önkormányzata: Bükkösd Község bemutatása <https://bukkossd.hu/index.php/hu/latogatoknak/bukkossd-kozseg-bemutatasa> Megtekintés dátuma: 2024.11.19.

URL21: stat.dbhir.com: Statisztikák állandó bejelentett lakosok (Helesfa) <https://stat.dbhir.com/telepules/Helesfa> Megtekintés dátuma: 2024.11.19.

URL22: stat.dbhir.com: Statisztikák állandó bejelentett lakosok (Cserdi) <https://stat.dbhir.com/telepules/Cserdi> Megtekintés dátuma: 2024.11.19.

URL23: stat.dbhir.com: Statisztikák állandó bejelentett lakosok (Boda) <https://stat.dbhir.com/telepules/Boda> Megtekintés dátuma: 2024.11.19.

URL24: stat.dbhir.com: Statisztikák állandó bejelentett lakosok (Bakonya) <https://stat.dbhir.com/telepules/Bakonya> Megtekintés dátuma: 2024.11.19.

Egyéb források

1996. évi LIII. törvény a természet védelméről <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600053.tv> Megtekintés dátuma: 2024.11.17.

EUR-Lex: Treaty establishing the European Atomic Energy Community (EURATOM) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM:xy0024> Megnyitás dátuma: 2024.10.23.

Európai Parlament: Euratom-Szerződés <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/hu/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty> Megnyitás dátuma: 2024.10.23.

Eurostat: Production of Electricity and derived heat by type of fuel https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_peh_custom_13463378/default/table?lang=en Megtekintés dátuma: 2024.10.22.

Eurostat: Simplified energy balances <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy-2023> Megtekintés dátuma: 2024.10.23.

GBTIMES: Inside Finland's Onkalo nuclear waste repository (2015) https://www.youtube.com/watch?v=zqv_J5EnA0s Megtekintés dátuma: 2024.10.20.

Geographics: Onkalo: Finland's 100,000 Year Nuclear Tomb (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=gIWUm4hRCPE> Megtekintés dátuma: 2024.10.20.

International Energy Agency: Hungary- Countries & Regions
<https://www.iea.org/countries/hungary/electricity>

International Energy Agency: Hungary- Countries & Regions
<https://www.iea.org/countries/hungary/emissions>

International Energy Agency: Hungary- Countries & Regions
<https://www.iea.org/countries/hungary/energy-mix>

LibreTexts Chemistry: 17.3: Types of Radioactivity- Alpha, Beta, and Gamma Decay
https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Introductory_Chemistry/17%3A_Radioactivity_and_Nuclear_Chemistry/17.03%3A_Types_of_Radioactivity-_Alpha_Beta_and_Gamma_Decay

LibreTexts Chemistry: 24.3: Nuclear Reactions
https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Book%3A_General_Chemistry%3A_Principles_Patterns_and_Applications_%28Averill%29/24%3A_Nuclear_Chemistry/24.03%3A_Nuclear_Reactions

MVM Paksi Atomerőmű: Nukleáris fogalomtár <https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Nuklearis-fogalomtar.pdf>

Nuclear-power.com: Characteristics of Neutron Radiation <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/fundamental-particles/neutron/characteristics-of-neutron-radiation/>

OKIR térkép: <https://web.okir.hu/map/?config=TIR&lang=hu>

Országos Atomenergia Hivatal: Európai Unió Jogsabályok
https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=04&submenu=4_1_0

Radioaktív Hulladékokat kezelő (RHK) Kft: Nyugat-mecseki kutatás
<https://rhk.hu/timeline/nyugat-mecseki-kutatas>

Science Magazine: Watch how Finland plans to store uranium waste for 100,000 years (2022) https://www.youtube.com/watch?v=nU94go_hKfY Megtekintés dátuma: 2024.10.20.

The B1M: Finland Might Have Solved Nuclear Power's Biggest Problem (2021)
https://www.youtube.com/watch?v=kYpiK3W-g_0 Megtekintés dátuma: 2024.10.20.

Tom Scott: These tunnels are designed for 100,000 years (2019)
https://www.youtube.com/watch?v=kYpiK3W-g_0 Megtekintés dátuma: 2024.10.20.

World Nuclear Association: Emerging Nuclear Energy Countries <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/emerging-nuclear-energy-countries>
Megtekintés dátuma: 2024.10.23.

World Nuclear Association: Nuclear Power in Hungary <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/hungary> Megtekintés dátuma: 2024.10.23.

World Nuclear Association: Nuclear Power in the European Union <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union> Megtekintés dátuma: 2024.10.23.

World Nuclear Association: Plans For New Reactors Worldwide <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide> Megtekintés dátuma: 2024.11.04.

MELLÉKLETEK

1. melléklet- Nemzetközi jogszabályok listája

A Tanács 2009/71/EURATOM irányelve a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági közösségi keretrendszerének létrehozásáról

A Tanács 2011/70/EURATOM irányelve a kiegészítő fűtőelemek és a radioaktív hulladékok felelősségteljes és biztonságos kezelését szolgáló közösségi keret létrehozásáról

A Tanács 2013/51/EURATOM irányelve a lakosság egészségének az emberi fogyasztásra szánt vízben található radioaktív anyagokkal szembeni védelmére vonatkozó követelmények meghatározásáról

A Tanács 2006/117/EURATOM irányelve a radioaktív hulladékok és a kiegészítő fűtőelemek szállításának felügyeletéről és ellenőrzéséről

A Bizottság 2008/956/EURATOM ajánlása a radioaktív hulladékok és a kiegészítő fűtőelemek harmadik országokba való kivitelére alkalmazandó kritériumokról

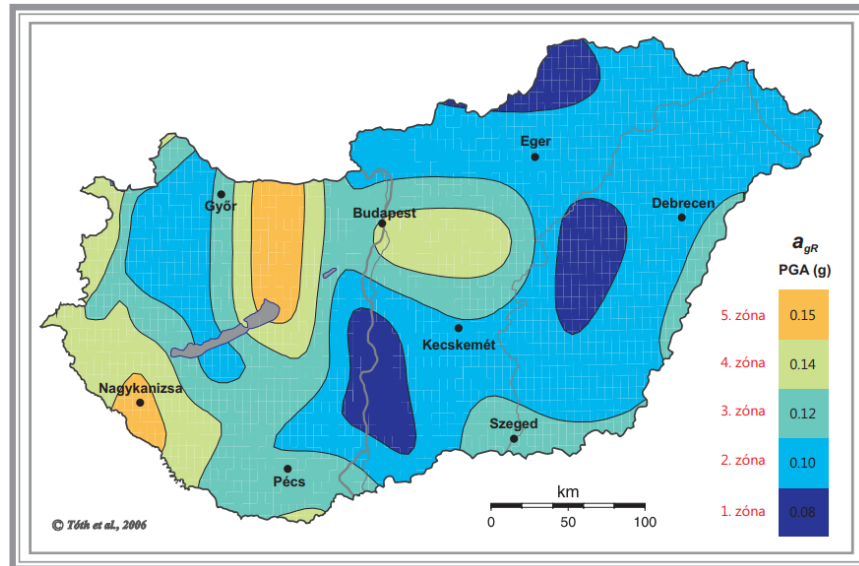
2. melléklet- Hazai jogszabályok listája

- 190/2011. (IX. 19.) Korm. rendelet az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről
- 47/2003. (VIII. 8.) ESzCsM rendelet A radioaktív hulladékok átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének egyes kérdéseiről, valamint az ipari tevékenységek során bedúsuló, a természetben előforduló radioaktív anyagok sugár-egészségügyi kérdéseiről
- 9/2022. (XII. 29.) OAH rendelet A radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről
- 246/2011. (XI. 24.) Korm. rendelet A nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladék-tároló biztonsági övezetéről
- 215/2013. (VI. 21.) Korm. rendelet A radioaktív hulladékokkal és a kiégett üzemanyaggal kapcsolatos egyes feladatokat ellátó szerv kijelöléséről, tevékenységéről és annak pénzügyi forrásáról
- 112/2011. (VII. 4.) Korm. rendelet Az Országos Atomenergia Hivatal nukleáris energiával kapcsolatos európai uniós, valamint nemzetközi kötelezettségekkel összefüggő feladatköréről, az Országos Atomenergia Hivatal hatósági eljárásaiban közreműködő szakhatóságok kijelöléséről, a kiszabható bírság mértékéről, valamint az Országos Atomenergia Hivatal munkáját segítő tudományos tanácsról
- 385/2016. (XII. 2.) Korm. rendelet A fővárosi és megyei kormányhivatal, valamint a járási (fővárosi kerületi) hivatal népegészségügyi feladatai ellátásáról, továbbá az egészségügyi államigazgatási szerv kijelöléséről
- 47/2012. (X. 4.) BM rendelet Az atomenergia alkalmazásával összefüggő rendőrségi feladatokról
- 489/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet A lakosság természetes és mesterséges eredetű sugárterhelését meghatározó környezeti sugárzási helyzet ellenőrzési rendjéről és a kötelezően mérendő mennyiségek köréről

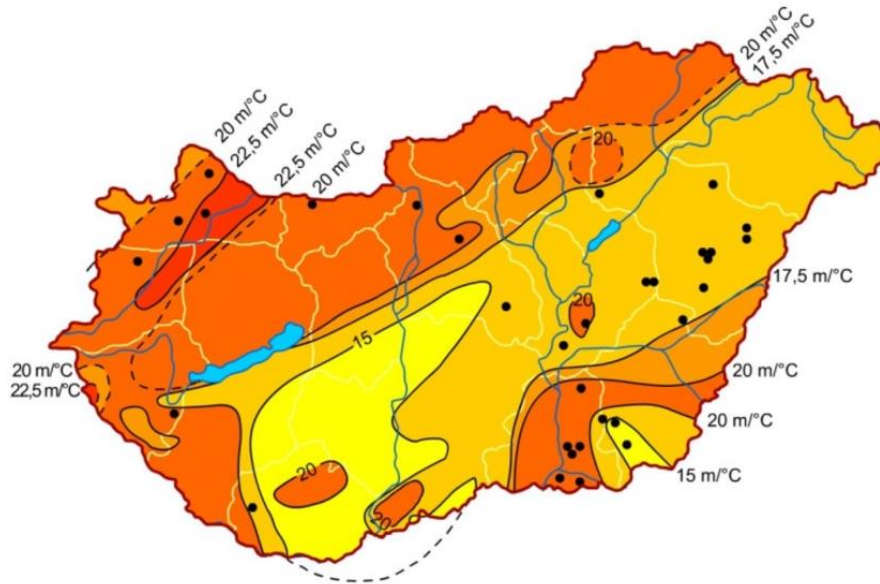
51/2013. (IX. 6.) NFM rendelet A radioaktív anyagok szállításáról, fuvarozásáról és csomagolásáról

15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet Az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről

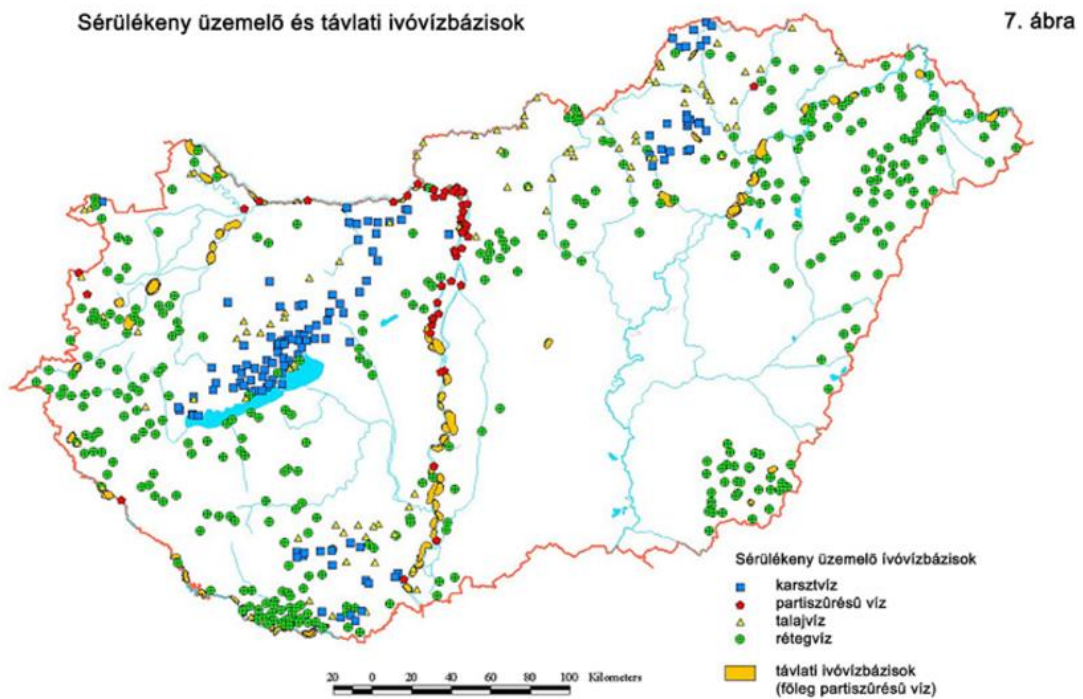
3. melléklet: Szeizmikus zónatérkép (forrás: Tóth L., Győri E., Mónus P., Zsíros T., (2006) Seismic Hazard in the Pannonian Region)



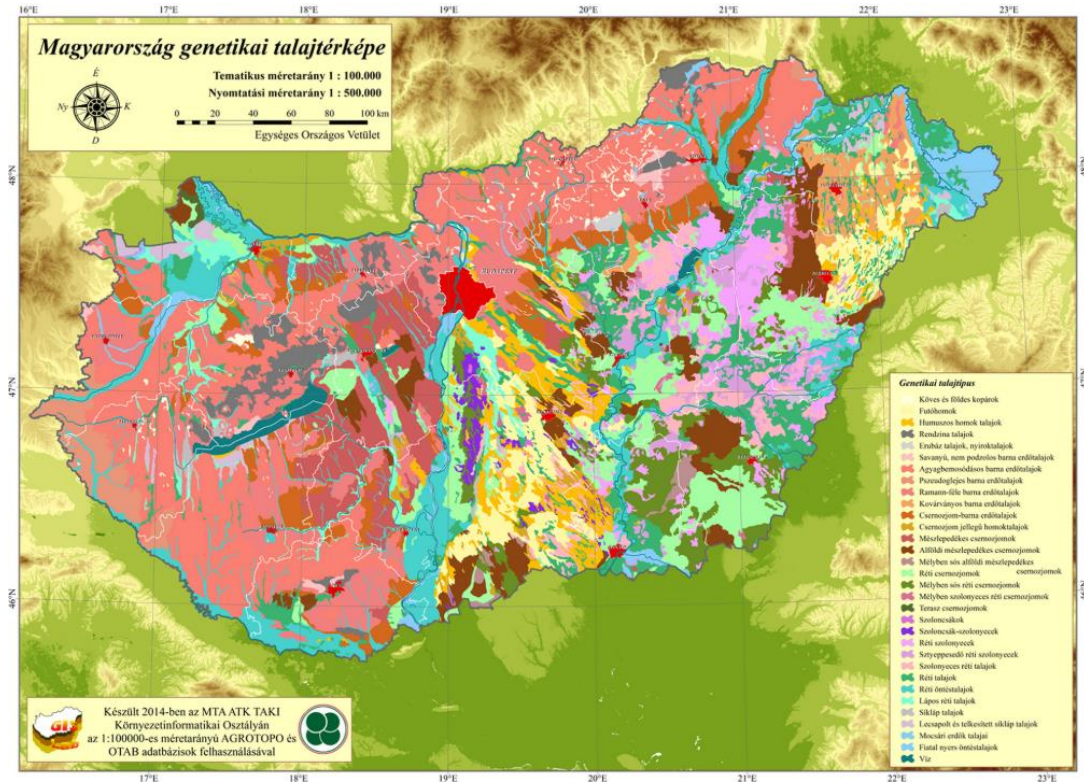
4. melléklet: Hazánk talajfelszín alatti melegedésének térképe (forrás: komlomedia.hu)



5. melléklet: Sérülékeny üzemelő és távlati ivóvízbázisok (forrás: enfo.hu)



6. melléklet: Magyarország genetikai talajtérképe (forrás: agrobio.hu)



7. melléklet: Éves csapadékösszeg (mm) (1991-2020) (forrás:met.hu)

