

Mesterséges intelligencia az alginitkutatás szolgálatában – Egy elfeledett magyar nyersanyag újraértelmezése a klímaadaptáció és a vízmegtartás tükrében

Artificial intelligence in alginite research – Reinterpreting a forgotten Hungarian mineral resource for climate adaptation and water retention

BOROS ÁKOS

geológus, földtudományi mérnök

Mhyner Geoconsulting Kft., Kecskemét

E-mail: a.boros@mhyner.com



A klímaváltozás, a fokozódó vízhiány és a fenntartható mezőgazdasági megoldások iránti növekvő igény világszerte újra előtérbe helyezi a természetes talajjavító anyagok kutatását. Az alginit hazai lelőhelyei az 1970-es és 1990-es évek között intenzív kutatások tárgyát képezték, azonban a vizsgálatok eredményei nagyrészt papíralapú dokumentumokban maradtak fenn, amelyek feldolgozása és szintetizálása napjainkban jelentős kihívást jelent.

A jelen tanulmány bemutatja, hogyan alkalmazható egy mesterséges intelligenciával támogatott, retrieval-augmented generation (RAG) alapú tudásbázis az alginittel kapcsolatos történeti szakirodalom digitalizálására, rendszerezésére és gyors újra értelmezésére. A vizsgálat során mintegy 120 magyar, német, szlovák és angol nyelvű dokumentum került feldolgozásra és egységes kereshető tudásbázisba rendezésre.

Az AI-alapú elemzés lehetővé tette a különböző kutatási eredmények gyors szintézisét, az ismétlődő következtetések azonosítását, valamint olyan új kutatási és hasznosítási lehetőségek feltárását, amelyek a jelenlegi klímaadaptációs és vízmegtartási célok szempontjából kiemelt jelentőségűek lehetnek. A tanulmány rámutat arra, hogy a mesterséges intelligencia nem helyettesíti a szakértői értékelést, ugyanakkor hatékony eszközt biztosít nagy mennyiségű történeti földtani szakirodalom feldolgozásához és a kutatási döntések támogatásához.

Kulcsszavak: alginit, mesterséges intelligencia, tudásbázis, RAG, digitális szakirodalom, klímaadaptáció, vízmegtartás, talajjavítás, földtani kutatás

Climate change, increasing water scarcity, and the growing demand for sustainable agricultural solutions have renewed interest in natural soil amendment materials worldwide. Hungarian alginite deposits were extensively investigated between the 1970s and 1990s; however, most research results remain archived in hard-copy reports, making their comprehensive evaluation difficult.

This paper presents the application of an artificial intelligence-supported Retrieval-Augmented Generation (RAG) knowledge base for the digitization, organization, and reinterpretation of archived alginite literature. Approximately 120 Hungarian, German, Slovak, and English documents were processed and integrated into a unique searchable knowledge base.

The AI-assisted analysis enabled rapid synthesis of decades of research, identification of recurring scientific findings, and recognition of promising research and industrial opportunities relevant to present-day climate adaptation and agricultural water retention. The study demonstrates that while artificial intelligence cannot replace expert geological interpretation, it can significantly accelerate literature review, support scientific synthesis, and facilitate the identification of new research directions based on historical geological knowledge.

Keywords: alginite, artificial intelligence, knowledge base, Retrieval-Augmented Generation (RAG), digital geological literature, climate adaptation, water retention, soil amendment, geological research

1. Bevezetés

Az elmúlt években a klímaváltozás hatásai Magyarországon is egyre markánsabban jelentkeznek. A gyakoribb és hosszabb aszályos időszakok, a talajok csökkenő vízkészlete, valamint a felszíni vizek alacsony vízállása egyaránt ráirányították a figyelmet a vízmegtartás jelentőségére. A mezőgazdaság alkalmazkodóképességének növelése érdekében egyre nagyobb hangsúlyt kapnak azok a természetes talajjavító anyagok és technológiák, amelyek képesek javítani a talaj szerkezetét, vízháztartását és tápanyag-szolgáltató képességét.

A hazai alginitlelőhelyek intenzív kutatása a 20. század második felében, különösen az 1970–1990-es években zajlott, amelynek során jelentős mennyiségű földtani, ásványtani, kémiai és egyéb alkalmazhatósági vizsgálat született. A kutatások ugyan számos ígéretes eredményt hoztak, azonban ezek többsége nyomtatott jelentésekben, kutatási beszámolókból és nehezen hozzáférhető archív dokumentumokban maradt fenn. A rendelkezésre álló információk rendszerezése és átfogó értékelése ezért napjainkban is jelentős kihívást jelent.

A mesterséges intelligencián alapuló nagy nyelvi modellek (*Large Language Models* – LLM) és a *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) technológia új lehetőséget kínálnak nagyméretű, heterogén szakirodalmi gyűjtemények feldolgozására. Segítségükkel nemcsak a dokumentumok gyors keresése és összefoglalása válik lehetővé, hanem a különböző forrásokban megjelenő összefüggések, ismétlődő megállapítások és kutatási hiányosságok feltárása is.

A jelen tanulmány célja, hogy bemutassuk egy saját fejlesztésű, RAG-alapú digitális tudásbázis létrehozását és alkalmazását az alginít kutatásában. A dokumentum alapú rendszer több mint 120 magyar, német, szlovák és angol nyelvű szakmai anyag egységes feldolgozására és mesterséges intelligenciával támogatott elemzésére épül. A bemutatott módszertan azt szemlélteti, hogy az archivált földtani szakirodalom miként tehető újra kutathatóvá, illetve hogyan értelmezhető újra annak eredményei a jelenlegi klímaadaptációs és vízmegtartási kihívások tükrében.

2. Anyagok és módszerek

A kutatás célja egy olyan digitális szakirodalmi tudásbázis létrehozása volt, amely lehetővé teszi a magyarországi alginít kutatás több évtized alatt felhalmozott eredményeinek egységes feldolgozását, kereshetőségét és mesterséges intelligenciával támogatott elemzését.

A munka során elsődleges célként a történeti szakirodalom digitalizálása és rendszerezése, valamint egy olyan módszertan kialakítása szerepelt, amely jelentősen felgyorsítja a szakirodalmi áttekintéseket, az összefüggések feltárását és az új kutatási irányok azonosítását. A feldolgozás során különös figyelmet fordítottunk arra, hogy az AI-alapú elemzés minden esetben az eredeti dokumentumokra épüljön, és azok szakmai tartalmát a lehető legteljesebb mértékben megőrizze.

A módszertan négy egymásra épülő lépésből állt:

- ❑ a történeti szakirodalom összegyűjtése és digitalizálása,
- ❑ kereshető digitális tudásbázis létrehozása,
- ❑ mesterséges intelligenciával támogatott szakirodalmi elemzés,
- ❑ szakértői validálás és az eredmények értelmezése.

2.1. A szakirodalmi dokumentumgyűjtemény összeállítása

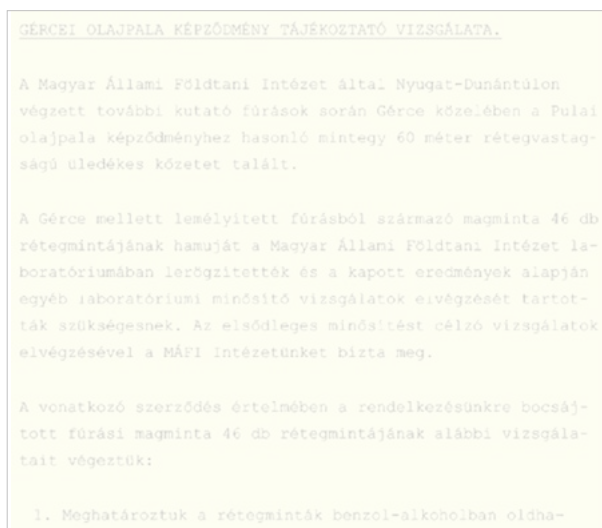
A kutatás alapját egy több mint 500 tételből válogatott 120 dokumentumból álló szakirodalmi gyűjtemény képezte, amely a magyarországi és régiós alginít kutatás elmúlt évtizedeinek jelentős részét lefedi.

Az adatgyűjteményt jelenleg a Miskolci Egyetem kezeli, a dokumentumok különböző forrásokból kerültek összegyűjtésre, és elsősorban az 1960-as évektől kezdődően készített kutatási jelentéseket, laboratóriumi vizsgálatokat, geológiai dokumentációkat, diplomamunkákat, szakmai publikációkat és egyéb műszaki anyagokat tartalmaznak. A gyűjtemény magyar, német, szlovák és angol nyelvű dokumentumokat egyaránt magában foglal, így lehetővé vált a különböző országokban végzett kutatások összehasonlító elemzése is.

A feldolgozott dokumentumok tematikája kiterjed többek között:

- ❑ az alginít földtani és genetikai viszonyaira,
- ❑ ásványtani, geokémiai és fizikai tulajdonságaira,
- ❑ mezőgazdasági alkalmazásaira,
- ❑ talajjavító és vízmegtartó hatására,
- ❑ ipari, energetikai és vegyipari hasznosítására,
- ❑ környezetvédelmi alkalmazási lehetőségeire,
- ❑ valamint a különböző laboratóriumi és félüzemi kísérletek eredményeire.

A dokumentumállomány jelentős része korábban kizárólag papíralapú formában, rossz minőségű másolatokként volt hozzáférhető, ezért a kutatás első lé-



1. ábra. Dokumentumrészlet

péseként azok digitalizálása és egységes feldolgozása vált szükségessé. Egy ilyen dokumentum részlete látható az 1. ábrán.

2.2. Digitalizálás és optikai karakterfelismerés (OCR)

A nyomtatott, illetve korábbi digitális archiválásból származó, de nem kereshető PDF dokumentumok hagyományos szövegkereső módszerekkel nem voltak feldolgozhatók. Első lépésként azok digitalizálása és géppel olvasható szöveges állománnyá alakítása vált szükségessé. Az archivált dokumentumok szkennelésének és OCR-alapú digitalizálásának jelentős részét a Miskolci Egyetem és az Egyetemi Könyvtár végezte, amelynek eredményeként a korábban csak papíralapon vagy képfarmátumú digitális állományként hozzáférhető szakirodalom bevonhatóvá vált az AI-alapú feldolgozásba.

A feldolgozás során valamennyi dokumentum optikai karakterfelismerésen (*Optical Character Recognition* – OCR) esett át, amelynek célja a dokumentumok géppel olvasható szövegének előállítás volt. A folyamat során különös figyelmet fordítottunk arra, hogy a szöveg szerkezete, a táblázatok, ábracímek, mértékegységek és a műszaki terminológia a lehető legnagyobb pontossággal kerüljön megőrzésre.

Mivel a gyűjtemény több évtized alatt, különböző intézményekben készült dokumentumokat tartalmaz, a forrásanyag minősége jelentősen eltért. Az eredeti dokumentumok között megtalálhatók voltak gépelt jelentések, sokszorosított kutatási beszámolók, fénymásolatok, valamint különböző minőségű szkennelt állományok is. Ennek megfelelően az OCR eredményei dokumentumonként eltérő pontosságot mutattak.

A digitalizálást követően minden dokumentum manuális minőség ellenőrzésen esett át. A szakmai-

lag kritikus részeket – különösen a földtani megnevezések, ásványnevek, mértékegységek, táblázatok és számszerű adatok – szükség szerint javítottuk.

A folyamat eredményeként egységes, kereshető, digitális dokumentumállomány jött létre.

2.3. A RAG-alapú tudásbázis kialakítása

A digitalizált dokumentumállomány feldolgozására saját, felhőalapú környezetben működő, *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) [1] elven felépített tudásbázist hoztunk létre. A rendszer dokumentumkezelési és lekérdezési környezetét az AnythingLLM [2] biztosította, míg a dokumentumok szemantikus kereséséhez szükséges vektoros reprezentációk tárolása PostgreSQL-alapú pgvector adatbázisban [3] történt.

A dokumentumok szöveges tartalma kisebb, szemantikailag kezelhető egységekre került felosztásra. Az egyes szövegrészletekből API-kapcsolaton keresztül OpenAI embedding modell segítségével vektorreprezentációk készültek, amelyek a *pgvector* adatbázisban kerültek tárolásra. Ez lehetővé tette, hogy a rendszer a felhasználói kérdésekhez ne kizárólag kulcsszavas egyezést alapján, hanem a szövegek tartalmi hasonlósága alapján keresse vissza a releváns dokumentumrészleteket.

A lekérdezések során a RAG-rendszer első lépésben azonosította a kérdéshez szemantikailag leginkább kapcsolódó dokumentumrészleteket, majd ezeket kontextusként továbbította a nagy nyelvi modell számára. A generált válasz így elsősorban a saját tudásbázisban szereplő szakirodalmi forrásokra támaszkodott, miközben az eredeti dokumentumok visszakereshetősége is megmaradt.

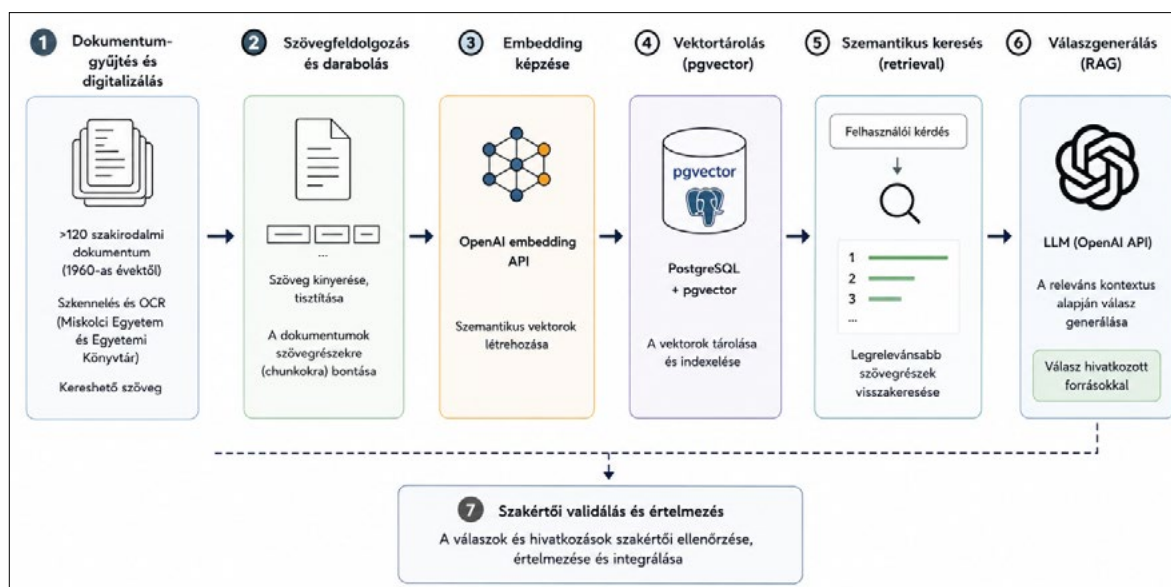
A megközelítés lényeges sajátossága, hogy a nagy nyelvi modellt nem került külön betanításra vagy finomhangolásra, a szakterületi tudást a külső dokumentumállomány és annak szemantikus visszakeresése biztosította. Ez lehetővé teszi a tudásbázis folyamatos bővítését új dokumentumokkal anélkül, hogy ehhez a nyelvi modell újra tanítására lenne szükség.

A tudásbázis kialakításának folyamatát a 2. ábrán mutatjuk be.

2.4. AI-alapú szakirodalmi elemzés és tudásszintézis

A létrehozott digitális tudásbázis segítségével a nagy nyelvi modellre épülő rendszer nem egyszerűen dokumentumokat keresett vissza, hanem a releváns források alapján szakirodalmi szintézist készített.

Az elemzések során különböző típusú lekérdezések készültek, amelyek célja nem egyetlen dokumentum tartalmának összefoglalása, hanem a teljes szakirodalom közös értelmezése volt. A kérdések többek között az alábbi témakörökre irányultak:



2. ábra. A dokumentumalapú RAG rendszer és működési folyamata

- ❑ az alginit földtani és ásványtani sajátosságai,
- ❑ a különböző lelőhelyek összehasonlítása,
- ❑ mezőgazdasági és környezetvédelmi alkalmazások,
- ❑ ipari és energetikai hasznosítási lehetőségek,
- ❑ a korábbi kutatásokban ismétlődően megjelenő következtetések,
- ❑ a különböző szerzők közötti egyetértések és eltérések,
- ❑ valamint a jelenlegi technológiai és gazdasági környezetben potenciálisan újra relevánssá váló kutatási irányok.

A lekérdezések megfogalmazásánál kiemelt szempont volt, hogy a különböző dokumentumok közötti kapcsolatok feltárására, az ismétlődő eredmények azonosítására és a szakirodalomban rejlő kutatási lehetőségek értékelésére törekedjen. Ennek megfelelően a válaszok review jellegű szakmai összefoglalásokként készültek el.

A mesterséges intelligencia alkalmazása jelentősen csökkentette a nagyméretű dokumentumállomány feldolgozásához szükséges időt. Olyan összetett kérdések megválaszolása, amelyek hagyományos szakirodalmi feldolgozás esetén több napos vagy akár több hetes munkát igényeltek volna, néhány perc alatt elvégezhetővé váltak, miközben minden válasz közvetlenül a feltöltött dokumentumállományra támaszkodott.

A rendszer alkalmazása során ugyanakkor egyértelművé vált, hogy a mesterséges intelligencia nem helyettesíti az emberi beavatkozást, azaz a földtani szakértőt. Az AI elsődleges szerepe a releváns információk gyors feltárása, rendszerezése és szintézise, míg a tudományos következtetések levonása, az eredmények értelmezése és azok gyakorlati alkalmazhatóságának megítélése továbbra is szakértői feladat marad.

A kapott válaszok minőségét jelentős mértékben befolyásolta a lekérdezések (promptok) szakmai megfogalmazása. A tapasztalatok alapján a megfelelően strukturált kutatási kérdések legalább akkora hatással

1. táblázat. Az AI-rendszerrel végzett tipikus lekérdezések

Lekérdezés típusa	Példa a kutatási kérdésre	Az elemzés célja/eredménye
Összefoglalás	Az alginit főbb tulajdonságai	A földtani, ásványtani, geokémiai és fizikai tulajdonságok szintézise
Összehasonlítás	Milyen különbségek azonosíthatók a Pula–Gérce–Várpalota lelőhelyek között?	A lelőhelyek tulajdonságainak és lehetséges alkalmazásainak összevetése
Tematikus áttekintés	Mit mutatnak a korábbi kutatások az alginit mezőgazdasági alkalmazásairól?	Több évtized mezőgazdasági kísérleteinek és eredményeinek összegzése
Kritikai elemzés	Mely korábbi kutatási irányok nem vezettek gyakorlati hasznosításhoz?	Gazdasági, technológiai vagy környezeti korlátok miatt háttérbe szorult irányok azonosítása
Újra értelmezés	Mely korábbi eredmények lehetnek napjainkban ismét relevánsak?	Történeti eredmények értékelése a mai klímadaptációs és fenntarthatósági célok alapján
Stratégiai elemzés	Mely alkalmazási területek indokolhatnak további kutatást napjainkban?	Potenciális új kutatási és hasznosítási irányok azonosítása

voltak az eredmények minőségére, mint maga a használt nyelvi modell.

2.5. Az AI-alapú elemzés korlátjai és szakértői validálása

A nagy nyelvi modellek alkalmazása a földtudományi kutatásban számos előnyt kínál, ugyanakkor használatuk korlátjainak ismerete elengedhetetlen. A rendszer által generált válaszok nem tekinthetők önálló tudományos eredménynek, hanem a feltöltött szakirodalom mesterséges intelligenciával támogatott szintézisének.

A *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) alkalmazása jelentősen csökkenti annak valószínűségét, hogy a modell a rendelkezésre álló dokumentumoktól független, nem megalapozott állításokat fogalmazzon meg. Ennek ellenére előfordulhatnak pontatlanságok, túlzott általánosítások vagy olyan következtetések, amelyek részben már a modell saját értelmezését tükrözik.

A kutatás során ezért minden lényeges megállapítás szakértői ellenőrzésen esett át. Az AI által készített összefoglalók és elemzések összevetésre kerültek az eredeti dokumentumokkal, különös figyelmet fordítva a földtani, ásványtani, geokémiai és alkalmazástechnikai következtetésekre.

A validálási folyamat során az AI elsődleges szerepe nem a szakértői döntések kiváltása, hanem azok támogatása volt. A végső szakmai értékelést és a kutatási következtetések levonását azonban minden esetben földtudományi szakértők végezték.

3. Eredmények

Az AI-alapú szakirodalmi szintézis alapján kirajzóldtak az alginít kutatás több évtizeden keresztül vizsztatérő tématerületei, valamint az egyes alkalmazási irányok időbeli változásai. Az előzetes leválogatást tükrözve, különösen jól elkülöníthetővé váltak a korábbi energetikai és ipari célú vizsgálatok, illetve a mezőgazdasági, talajjavítási és környezetvédelmi felhasználásokkal kapcsolatos kutatások.

Az elemzés egyik legfontosabb eredménye annak felismerése volt, hogy több korábbi kutatási eredmény a megváltozott technológiai, környezeti és gazdasági feltételek között új jelentőséget kaphat. A történeti szakirodalomban dokumentált talajjavító, vízmegtartó és adszorpciós tulajdonságok különösen a jelenlegi klímaadaptációs, fenntartható mezőgazdasági és környezetvédelmi kihívások szempontjából bizonyultak újraértékelésre érdemesnek.

3.1. A RAG-alapú tudásbázis és az általános célú LLM-alapú elemzés összehasonlítása

Egy általános célú nagy nyelvi modell az alginittel kapcsolatos kérdések megválaszolásakor elsősorban a

betanítása során megszerzett általános ismeretekre támaszkodik. Egy vagy néhány dokumentum közvetlen rendelkezésre bocsátása ezt kiegészítheti az adott források tartalmával, azonban az elemzés ebben az esetben szükségszerűen a rendelkezésre bocsátott dokumentumokra korlátozódik. Nagy méretű történeti dokumentumállomány esetén ezért külön problémát jelent a releváns forrásrészek azonosítása és több, egymástól független dokumentumban található információ együttes értelmezése.

A jelen kutatásban kialakított RAG-rendszer ezzel szemben a felhasználói kérdés alapján először szemantikus keresést végez a teljes dokumentumkorpusz vektoros reprezentációjában. A rendszer az így azonosított releváns dokumentumrészleteket biztosítja kontextusként a nagy nyelvi modell számára, amely ezek alapján készíti el a választ. A megközelítés célja ezáltal nem egy eltérő vagy speciálisan alginít kutatásra betanított nyelvi modell létrehozása, hanem az általános célú LLM összekapcsolása egy ellenőrzött, szakterületi tudásbázissal.

A két megközelítés közötti különbség szemléltetésére azonos alginít-specifikus kutatási kérdések használhatók általános LLM-környezetben, egyedi dokumentumalapú elemzés során, valamint a teljes RAG-alapú tudásbázis lekérdezésével. Az összehasonlítás során elsősorban a válaszok szakmai specifikussága, forráshűsége, a felhasznált források visszakereshetősége, több dokumentum eredményeinek együttes kezelése, valamint az egyező és eltérő szakirodalmi megállapítások felismerése értékelhető.

Példaként alkalmazható az alábbi kutatási kérdés:

„Milyen bizonyítékok találhatók az alginít talaj-vízmegtartásra gyakorolt hatására, és milyen korlátjai vannak a rendelkezésre álló eredményeknek?”

Egy ilyen kérdés megválaszolása nem kizárólag egyetlen szakirodalmi adat visszakeresését igényli, hanem különböző időszakokban, eltérő vizsgálati módszerekkel készült kutatások eredményeinek együttes értelmezését. Ezért alkalmas lehet annak vizsgálatára, hogy a dokumentumalapú RAG-megközelítés milyen hozzáadott értéket jelent az általános célú LLM-alapú elemzéshez képest.

Az összehasonlítás célja nem annak meghatározása, hogy melyik nyelvi modell tekinthető általánosságban „jobbna”, hanem annak vizsgálata, hogy egy ellenőrzött, szakterületi dokumentumkorpusz és a hozzá kapcsolódó szemantikus visszakeresési rendszer milyen mértékben javíthatja a történeti földtudományi szakirodalom kutatási célú feldolgozhatóságát.

3.2. Az alginít alkalmazási lehetőségeinek szakirodalmi szintézise

A teljes dokumentumállományon végzett tematikus lekérdezések alapján az alginít kutatásában több, egy-

„Milyen bizonyítékok találhatók az alginít talaj-vízmeztartásra gyakorolt hatására, és milyen korlátjai vannak a rendelkezésre álló eredményeknek?”	
Általános LLM (pl. Chatgtp, Claude, Gemini...)	Saját RAG
Az alginít finom agyagásvány- (pl. montmorillonit) és humusztartalmának köszönhetően saját tömegének többszörösét képes vízből felvenni. A tudományos és gyakorlati tapasztalatok alapján a leglátványosabb vízmeztartó hatást laza homoktalajokon éri el, ahol csökkenti az elszívargást és megnöveli a növények számára elérhető vízkészletet. A rendelkezésre álló eredmények egyik fő korlátja, hogy amúgy is kötött, agyagos talajokon rontja a levegőzöttséget és tovább tömörítheti a szerkezetet. Szántóföldi léptékű alkalmazását nehezíti, hogy a látható hatáshoz szükséges nagy mennyiség miatt a szállítási és kijuttatási költségei igen magasak. Emellett önmagában nem helyettesíti a talajtakarást, így a felszíni párolgást és a kiszáradást nem képes önállóan megakadályozni.	A dokumentumok alapján például a pulai alginitet homoktalajokon alkalmazva laboratóriumi kísérletekben a vízmeztartó képesség 20–40%-kal nőtt a kontrollhoz képest, amit Farkas (1986) és Solti (2013) is megerősített. Szántóföldi kísérletekben a kezelt területen a kukorica terméshozama aszályos évben akár 30%-kal is meghaladta a kezeletlen kontrollét, aminek oka a jobb vízellátottság volt (Magyar Mezőgazdaság, 1986). Gércei alginít felhasználásával végzett vizsgálatok szerint a talajnedveség 15–25%-kal magasabb maradt a tenyésztési időszak végén, mint a kezeletlen mintákban. Ugyanakkor az egyes helyszíneken (pl. kötöttebb, agyagosabb talajokon) az alginít vízmeztartó hatása kisebbnek bizonyult, és túlzott adagolás esetén a talaj szerkezete tömörödhetett, romlott a levegőzöttség. Hiányoznak továbbá a hosszú távú, többéves és nagyüzemi tapasztalatok, így a jelenlegi bizonyítékok főként rövid távú, kisméretű kísérletekből származnak.

mástól részben eltérő alkalmazási irány különíthető el. A szakirodalmi szintézis azt mutatta, hogy az egyes felhasználási lehetőségek jelentősége az elmúlt évtizedek során változott: míg a korábbi kutatásokban az energetikai és egyes ipari alkalmazások is hangsúlyosan megjelentek, a mezőgazdasági, talajjavítási és környezetvédelmi felhasználások több időszakban és különböző forrásokban is visszatérő kutatási témát jelentettek.

A feldolgozott dokumentumok alapján az egyik legkövetkezetesebben megjelenő alkalmazási terület a mezőgazdasági talajjavítás. Az alginít szervesanyag-, agyagásvány-, valamint makro- és mikroelem-tartalmához kapcsolódóan számos vizsgálat foglalkozott a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira gyakorolt hatásával. A korábbi kutatásokban többek között a talajszerkezet javítása, a tápanyagok megkötése és fokozatos hozzáférhetősége, valamint a növénytermesztésben történő alkalmazhatóság jelent meg visszatérő vizsgálati irányként.

A mezőgazdasági alkalmazásokon belül különösen jelentős témakörként azonosítható a talaj vízháztartására gyakorolt hatás. A különböző időszakokban készült dokumentumokban ismétlődően megjelennek az alginít finomszemcsés szerkezetével, agyagásvány- és szervesanyag-tartalmával, valamint vízmegekötő tulajdonságaival kapcsolatos megfigyelések. Ezek együttes értelmezése alapján a vízmeztartás nem önálló, újonnan felmerült alkalmazási lehetőség, hanem olyan korábban is vizsgált tulajdonság, amely a jelenlegi klímaadaptációs kihívások következtében új jelentőséget kaphat.

A szakirodalmi szintézis másik elkülöníthető területét a környezetvédelmi alkalmazások jelentették. Az alginít adszorpció és ioncserélő tulajdonságai alap-

ján a korábbi kutatásokban felmerült természetes adszorbenként, szűrőanyagként, illetve különböző környezetvédelmi technológiák komponenseként történő alkalmazása. A dokumentumok együttes elemzése alapján ezek az eredmények indokolhatják az alginít vízkezelési, talajvédelmi és rekultivációs célú felhasználásának korszerű módszerekkel történő további vizsgálatát.

Az ipari alkalmazások ennél heterogénebb képet mutattak. A történeti dokumentumok többek között energetikai, vegyipari és egyéb ásványi nyersanyagként történő hasznosítási lehetőségeket is vizsgáltak. Egyes korábbi kutatási irányok a technológiai vagy gazdasági feltételek miatt nem vezettek széles körű gyakorlati alkalmazáshoz. Ezek jelenlegi megítélése ezért nem kizárólag a korábbi műszaki eredmények alapján végezhető el, hanem figyelembe kell venni a technológiai fejlődést, a megváltozott nyersanyagpiaci viszonyokat és a környezeti szempontok növekvő jelentőségét is.

A szakirodalom AI-alapú szintézisének fontos eredménye, hogy a korábban elkülönülten vizsgált tulajdonságok és felhasználási lehetőségek egységes értelmezési keretbe kerültek.

A korábbi eredmények jelenlegi relevanciájának megítéléséhez ugyanakkor további szakértői értékelés, valamint egyes alkalmazások esetében korszerű laboratóriumi, terepi és gazdaságossági vizsgálatok szükségesek. A 3. ábrát az RAG által támogatott AI-áttekintések alapján állítottuk össze.

4. Összefoglalás

A kutatás során létrehozott RAG-alapú tudásbázis alkalmazásával a korábban nehezen áttekinthető archi-



3. ábra. Az alginít alkalmazási lehetőségei a szakirodalom szintézise alapján

vált dokumentumállomány kereshető és szemantikus elemezhető tudásforrássá vált.

A RAG-alapú megközelítésnek az általános célú nagy nyelvi modellekhez képest a legfontosabb sajátossága, hogy a válaszgenerálást egy ellenőrzött dokumentumkorpusz szemantikus visszakeresésével kapcsolja össze, miközben lehetőséget biztosít az eredeti forrásokhoz történő visszatérésre és a szakértői validálásra.

A történeti eredmények újra értékelése ma különösen a jelenlegi klímadaptációs kihívások szempontjából lehet jelentős. Az alginít vízmegkötő, talajjavító és adszorpciós tulajdonságaival kapcsolatos korábbi kutatások olyan tudásanyagot képviselnek, amely korszerű laboratóriumi és terepi vizsgálatokkal kiegészítve új kutatási és alkalmazási irányok kiindulópontját jelentheti.

A vizsgálat egyben rámutatott arra is, hogy az AI-alapú szakirodalmi szintézissel olyan összefüggések és kutatási kérdések váltak azonosíthatóvá, amelyek egyetlen dokumentumban sem jelentek meg önálló következtetesként, ugyanakkor több, egymástól független kutatás eredményeinek együttes értelmezéséből levezethetők voltak. Az ilyen következtetések tudományos értékelése és validálása azonban továbbra is szakértői feladat.

Az alginít tudásbázis ma csak egy példa a rendszer hasznosságára. Hasonló RAG-alapú tudásbázisok kialakítása különösen értékes lehet olyan földtudományi területeken, ahol több évtizedes, heterogén és részben nehezen hozzáférhető dokumentáció áll rendelkezés-

re, de korszerű összegzésük nem történt meg. Ilyen lehet például a kritikus ásványi nyersanyagok széles területe, amelynek keretében az SZTFH által 2025-ben kidolgozott Nemzeti Feltérési Program [4] 12 kutatási terület ismereteinek összegzését tűzi ki célként.

A módszer további fejlesztési irányát jelentheti a dokumentumalapú tudásbázis strukturált földtani, geokémiai, laboratóriumi és térbeli adatbázisokkal történő összekapcsolása, amely lehetővé teszi a szakirodalmi és mérési adatok együttes AI-alapú elemzését.

Köszönetnyilvánítás

Dr. Solti Gábor geológus, az alginít kutatás egyik alapítója őrizte meg, és végül adományozta az egyetemnek az alginít dokumentum-gyűjteményt. A dokumentumok jó minőségű digitalizálását a Miskolci Egyetem Könyvtár és Adattár szakértői végezték. A Miskolci Egyetem TEKH Szakkollégium Alginít munkacsoportjával való közös munka keretében kaptuk meg a dokumentumokat további feldolgozásra.

Irodalom

- [1] Klesel M., Wittmann H. F.: Retrieval-Augmented Generation (RAG). Bus. Inf. Syst. Eng. 67, 551–561. (2025). <https://doi.org/10.1007/s12599-025-00945-3>
- [2] AnythingLLM – <https://anythingllm.com/>
- [3] PostgreSQL – <https://www.postgresql.org/>
- [4] Nemzeti Feltérési Program – https://hugeo.hu/sites/default/files/2026-07/CRM_HU_Nemzeti%20Felt%C3%A1r%C3%A1si%20Program_v2.pdf