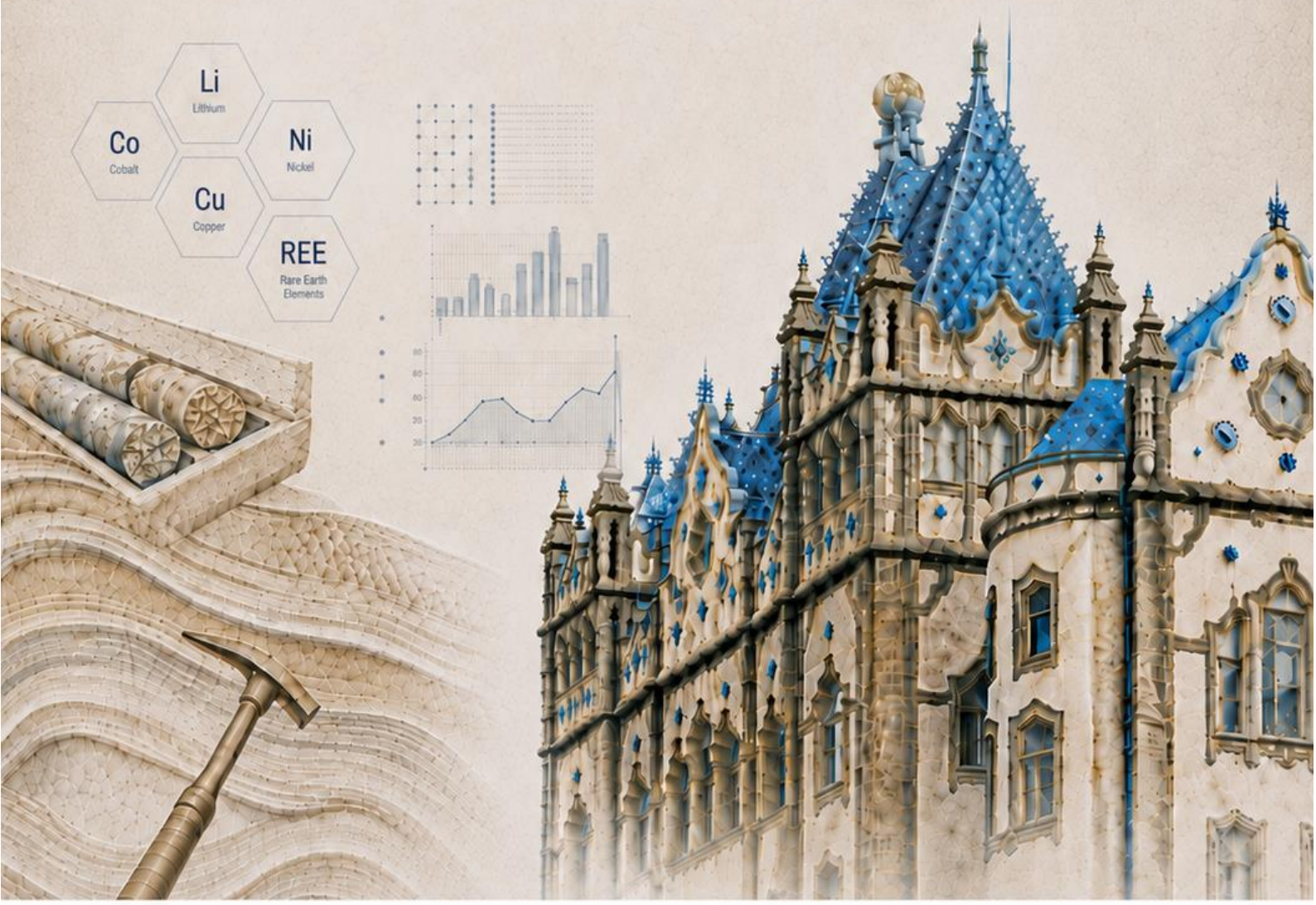
NEMZETI FELTÁRÁSI PROGRAM

KRITIKUS NYERSANYAGOK MAGYARORSZÁGON



SZTFH Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága

Tartalomjegyzék

1. Célkitűzés, jövőkép 5
2. Kutatási projekt javaslatok 11
2.1. A recski érckomplexum réz és egyéb kritikus nyersanyag potenciáljának kutatása 11
2.1.1. Célterület és projekt bemutatása 11
2.1.2. Kutatási feladatok ismertetése 12
2.2. Magyarországi bauxitok és a vörösiszap kritikuselem potenciálja 16
2.2.1. Célterület és projekt bemutatása 16
2.2.2. Kutatási feladatok ismertetése 17
2.2.3. Vörösiszap 19
2.3. Magyarországi mangánércek kritikuselem tartalma 21
2.3.1. Célterület és projekt bemutatása 21
2.3.2. Kutatási feladatok ismertetése 22
2.3.3. Mangániszap 23
2.4. A Rudabányai-hegység kritikus nyersanyag potenciálja 25
2.4.1. Célterület és projekt bemutatása 25
2.4.2. Kutatási feladatok ismertetése 26
2.5. Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés nyersanyag potenciálja 29
2.5.1. Célterület és projekt bemutatása 29
2.5.2. Kutatási feladatok ismertetése 30
2.6. Foszforit és foszfátokhoz köthető ritkaföldfém előfordulások kutatása 33
2.6.1. Célterület és projekt bemutatása 33
2.6.2. Kutatási feladatok ismertetése 35
2.7. Torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatása Magyarországon 37
2.7.1. Célterület és projekt bemutatása 37
2.7.2. Kutatási feladatok ismertetése 38
2.8. A Dél-Dunántúl pre-mezozoos aljzatának kritikus nyersanyag potenciálja (titán, kobalt, nikkel, nemesfémek) 40
2.8.1. Célterület és projekt bemutatása 40
2.8.2. Kutatási feladatok ismertetése 42
2.9. A magyarországi neogén vulkáni területek lítium dúsulásainak felderítő kutatása 45
2.9.1. Célterület és projekt bemutatása 45
2.9.2. Kutatási feladatok ismertetése 46
2.10. Magyarországi cinkércek kritikus nyersanyag potenciálja 49
2.10.1. Célterület és projekt bemutatása 49

2.10.2. Kutatási feladatok ismertetése 50
2.11. A geotermikus és olajkísérő fluidumokhoz kapcsolódó lítium potenciálja 52
2.11.1. Célterület és projekt bemutatása 52
2.11.2. Kutatási feladatok ismertetése 52
2.12. Magyarország hélium potenciálja 55
2.12.1. Célterület és projekt bemutatása 55
2.12.2. Kutatási feladatok ismertetése 56
3. Az egyes projektek várható eredményei 58
3.1. A recski érckomplexum réz és egyéb kritikus nyersanyag potenciáljának kutatása 58
3.2. Magyarországi bauxitok és a vörösiszap kritikuselem potenciálja 59
3.3. Magyarországi mangánércek kritikus nyersanyag tartalma 59
3.4. A Rudabányai-hegység kritikus nyersanyag potenciálja 60
3.5. Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés kritikus nyersanyag potenciálja 61
3.6. Foszforit és foszfátokhoz köthető ritkaföldfém előfordulások kutatása 61
3.7. Torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatása Magyarországon 62
3.8. A Dél-Dunántúl pre-mezozoos aljzatának kritikus nyersanyag potenciálja (titán, kobalt, nikkel, nemesfémek) 63
3.9. A magyarországi neogén vulkáni területek lítium dúsulásainak felderítő kutatása 64
3.10. Magyarországi cinkércek kritikus nyersanyag potenciálja 65
3.11. A geotermikus és olajkísérő fluidumokhoz kapcsolódó lítium potenciálja 65
3.12. Magyarország hélium potenciálja 66
3.13. Általános, nem projektspecifikus eredmények és hatások: 66
4. Rendelkezésre álló adatok 69
4.1. A recski érckomplexum réz és egyéb kritikus nyersanyag potenciáljának kutatása 69
4.2. Magyarországi bauxitok és a vörösiszap kritikuselem potenciálja 69
4.3. Magyarországi mangánércek kritikuselem tartalma 70
4.4. A Rudabányai-hegység kritikus nyersanyag potenciálja 70
4.5. Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés kritikus nyersanyag potenciálja 71
4.6. Foszforit és foszfátokhoz köthető ritkaföldfém előfordulások kutatása 71
4.7. Torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatása Magyarországon 72
4.8. A Dél-Dunántúl pre-mezozoos aljzatának kritikus nyersanyag potenciálja (titán, kobalt, nikkel, nemesfémek) 72
4.9. A magyarországi neogén vulkáni területek lítium dúsulásainak felderítő kutatása 73
4.10. Magyarországi cinkércek kritikus nyersanyag potenciálja 73

4.11. A geotermikus és olajkísérő fluidumokhoz kapcsolódó lítium potenciálja 74
4.12. Magyarország hélium potenciálja 74
5. A kutatási projektek kivitelezése során keletkező adatok 75
6. Adatok feldolgozása, értelmezése, a különböző területek perspektívájának meghatározása 77
6.1 Adatbázis szerkezet, tartalom, elérhetőség 77
6.1.1 Adatmodellek 78
6.1.2. Adatbázisok 79
6.1.3. Adatmegosztás 80
7. A Nemzeti Feltárási Program ipari, akadémiai és társadalmi kapcsolódásai 81
8. A Nemzeti Feltárási Programmal kapcsolatos monitoring, értékelési és frissítési feladatok 83
9. A Nemzeti Feltárási Program erőforrásigényei 84

1. Célkitűzés, jövőkép

A COVID okozta ellátási lánc-zavarok, a háborús energiaválság és az USA-Kína szembenállás megmutatta: annak érdekében, hogy Magyarország gazdasági fejlődése, társadalmi jóléte szilárd legyen a következő évtizedekben, a hazai kritikus és stratégiai nyersanyagok kitermelésének újraindítása és megerősítése elengedhetetlen. Ez a feladat és szükséglet illeszkedik az EU-s nyersanyagpolitikát ma legerőteljesebben meghatározó szakpolitikai kerethez, az EU Kritikus Nyersanyag rendelethez (EU-CRMA). E munka csak erős és szakmailag megkérdőjelezhetetlen földtani, nyersanyagkutatási, és bányászati kompetenciák, tudatos és eredményes ásványvagyon-gazdálkodás megvalósítása révén érhető el.

Az EU versenyképességi hiányosságait elemző Draghi-jelentés ismét kihangsúlyozza a kritikus és stratégiai nyersanyagok fontosságát, valamint a gazdaság számára fontos unión belüli alap- és nyersanyagokkal való tudatos gazdálkodás szerepét, illetve kiemeli az EU, illetve a tagállamok lemaradását a világ többi gazdasági erőközpontjához képest.

Magyarország ásványi nyersanyag-potenciálja az ország kiterjedése és földrajzi elhelyezkedése ellenére is számos kitörési lehetőséget rejt a nemzetgazdaság számára az ellátásbiztonság, a hazai védelmi képességek fejlesztése és az újraiparosítás támogatása terén.

Ez több tényezővel magyarázható: egyrészt, vannak olyan ásványi nyersanyagok, melyek mennyisége alkalmas hazánk nemzetgazdasági szükségleteinek kielégítésére, másrészt a világban lezajlott műszaki fejlődés eredményeképpen felértékelődtek olyan ásványi nyersanyagok, melyek kis mennyiségben is komoly gazdasági értéket képviselnek, valamint új kutatási és bányászati technológiák feltárhatóvá tettek eddig el nem érhető, vagy gazdaságosan nem hasznosítható erőforrásokat. Mindezek mellett olyan új nyersanyagok iránti igények is megjelentek, melyek potenciális előfordulásai is valószínűsíthetők, de részleteiben még nem megkutatottak Magyarországon.

Ezek alapján kijelenthető tehát, hogy egyes hazai kritikus ásványi nyersanyagok esetében csökkenthető a külföldi behozatal, vagy optimális esetben akár a hazai termelés biztosítani tudja a nemzetgazdasági igények kielégítését (pl. réz, bauxit, gallium), illetve az újraiparosítás (jármű, akkumulátor, védelmi ipar) szempontjából jelent kitörési pontot. Mindez számottevően átértékeli az ország nyersanyag-potenciáljának megítélését.

A sikeres ásványvagyon-gazdálkodás egyik legfontosabb eleme a szisztematikus állami nyersanyag-kutatási feltáró munka. Ennek során olyan előfordulások kerülnek azonosításra és kijelölésre, amelyeket a földtani ismeretesség és a változó gazdasági feltételek alapján mindenképpen szükséges számontartani, esetleg hasznosítani annak ellenére, hogy még nem voltak kutatással érintettek, vagy újraértékelésük indokolttá vált. Ez a hazai nyersanyag-potenciál új szemléletű értékelését teszi szükségessé, amely során kiemelten fontos meghatározni, hogy melyek azok a már ismert nyersanyagok (illetve azok előfordulásai), amelyekből fejlesztések, vagy pótlólagos kutatások révén nagyobb hozzáadott értékű, illetve szélesebb körben felhasználható ipari és mezőgazdasági alapanyagok hozhatók létre.

A Nemzeti Feltárási Program tervezésekor egyrészt olyan projektek kerültek azonosításra, amelyek hozzájárulnak az ország biztonságosabb nyersanyag ellátásához (pl. a recski érckomplexum, bauxit), megalapozzák a hosszú távú kritikus ásványi nyersanyagellátást és lehetővé teszik az átfogó információbővítést.

Másrészt minden olyan lehetőséget is vizsgálnunk kell, amely viszonylag kevés ráfordítással, rövid távon is kézzelfogható gazdaságfejlesztési lehetőséggel kecsegtet (pl. torlatkutatás, vízben oldott CRM, hélium). Egyrészt ezen irányok közül felépíthetőek akár stratégiai projektek is, másrészt vannak olyan nyersanyag-előfordulások (elsődleges vagy másodlagos), amelyek esetében megfelelő keretek között, illetve gazdaságosság megléte esetén a termelés is elindítható. A javasolt projektek rövid áttekintését adja az 1. táblázat.

Különösen jelentős előrelépés, hogy a Nemzeti Feltárási Program révén a teljes földtudományi szakma egységes és egy irányba mutató, tervszerű ásványi nyersanyagkutatási munkája indulhat el. Ennek során az SZTFH Földtani Szolgálat iránymutatásával és koordinációja mentén egymást erősítve és koncentráltan történik az egyes egyetemi kutatóműhelyek és állami vállalatok ásványi nyersanyagkutatási tevékenysége, kiegészítve és támogatva a Földtani Szolgálat kutatási és feltárási munkáját. Az SZTFH Országos Bányakapitánysága a bányafelügyeleti nyilvántartásokkal és adattári dokumentumokkal, illetve szakértelemmel, továbbá a szükséges jogszabályi környezet felülvizsgálatával támogatja a munkát.

Az Európai Parlament és a Tanács kritikus fontosságú nyersanyagokkal való biztonságos és fenntartható ellátást biztosító keret létrehozásáról és a 168/2013/EU, az (EU) 2018/858, az (EU) 2018/1724 és az (EU) 2019/1020 rendelet módosításáról szóló 2024/1252 rendeletének (a továbbiakban: CRMA) végrehajtásához szükséges fejlesztés és kapacitásbővítés eredményeként hasznosulnak a korábbi évek szisztematikus állami nyersanyagkutatási célú rendszerező és feltáró munka gyümölcsei a hazai bányaipar megújítása érdekében. Különösen fontos, hogy mindez a program mögött álló szakmai közösség egységes eredményeként valósul meg, amelyre a rendszerváltás óta nem volt példa Magyarországon.

Hazánk területén lévő, egykori ércbányáink nagy része még az 1980-as években bezárt, az ország területén komolyabb nyersanyagkutatás az utóbbi évtizedekben nem zajlott. A bezárások oka többnyire a gazdaságtalan termelés és/vagy az akkoriban ismert érckészlet (a további kutatások hiányában bekövetkező) kimerülése volt. A legtöbb esetben a bányák környezetében nem történtek újabb földtani kutatások (brownfields exploration), és az érctestek esetleges további kiterjedésének, folytatásának a felderítése is elmaradt. Számos, a korábbi kutatások során azonosított reménykeltő ércindikáció sem került részletes megkutatásra. Kivételként csak a recski Lahócán, illetve a Zempléni-hegységben található Mád és Füzérradvány környékén folytatott aranyérc kutatások említhetők, melyek esetenként jelentősebb földtani készleteket is azonosítottak. Ércföldtani képzéssel rendelkező egyetemeinken zajló akadémiai kutatások szintén fontos információkat szolgáltatnak ezekről a területekről, azonban azok a vizsgálatok főként az ércesedések genetikájára irányultak, így készletbecslésre nem alkalmasak. Fontos megjegyezni, hogy a valamennyire ismert

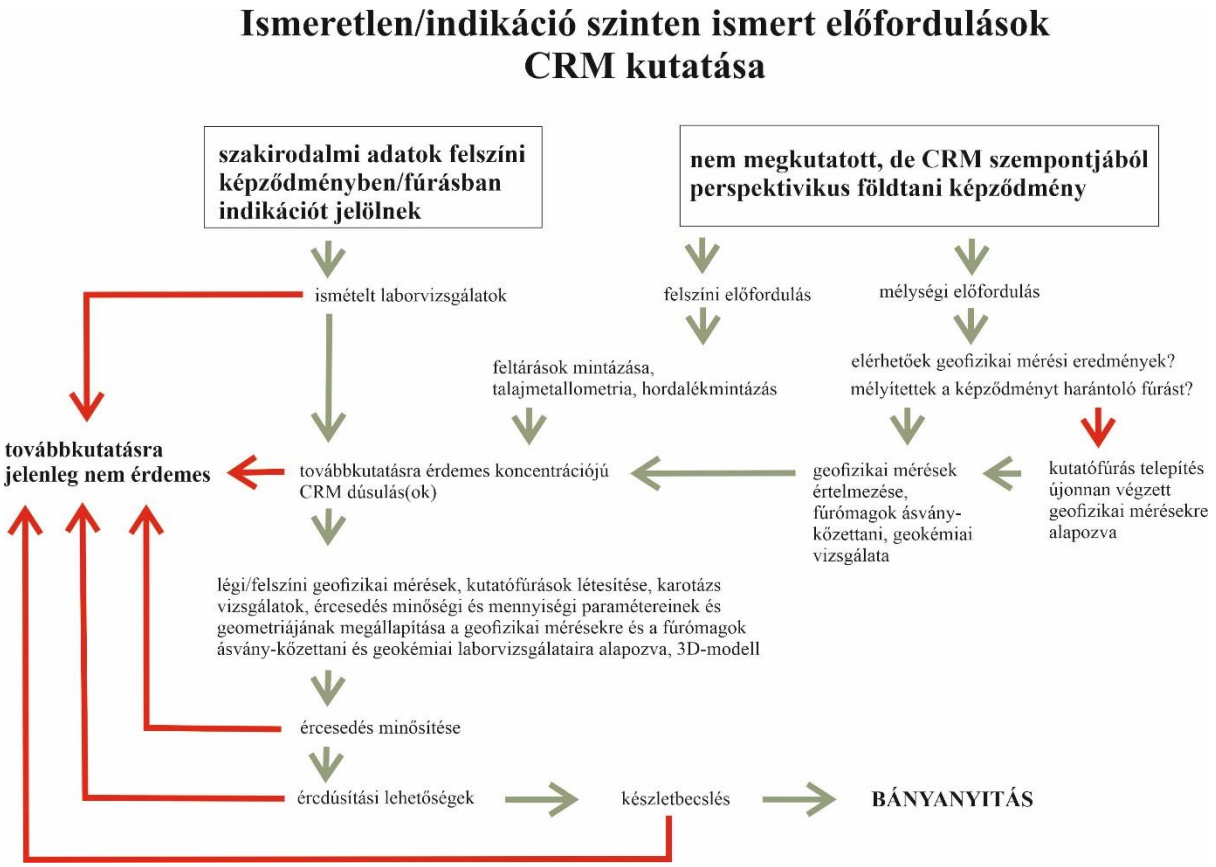
ércesedésekről rendelkezésünkre álló információ mennyisége és minősége területenként jelentősen eltér, amely az egyes előfordulásokhoz kapcsolódó kutatási feladatok leírásában is tükröződik.

Több, ma már kritikusként és/vagy stratégiaiként meghatározott elem (pl. lítium, ritkaföldfémek) korábban nem volt keresett, és nem, vagy csak kismértékben bányászták. Ezeknek a nyersanyagoknak a hazai elterjedéséről viszonylag keveset tudunk. Az eddig csak korlátozott mértékben, és csak bizonyos nyersanyagtípusokra, elemekre megkutatott előfordulásoknak ezekre a kritikus nyersanyagtípusokra, elemekre is irányuló megkutatása és vizsgálata fontossá vált egy-egy terület valódi potenciáljának megítélése szempontjából (pl. Mátra, Börzsöny, Zempléni-hegység). Archív minták vizsgálatával már kimutattuk, hogy egyes bezárt bányáinkban visszamaradt ércek többféle hasznosítható kritikus nyersanyagot tartalmaznak, melyekről korábban nem álltak rendelkezésre adatok. A már valamennyire ismert ércesedett területeinkkel szemben vannak az országban olyan területek is, amelyekről még nem, vagy csak nagyon kevés információval rendelkezünk, de földtani analógiák, illetve egyéb indikációk alapján potenciálisan tartalmazhatja valamelyik kritikus nyersanyag dúsulását (greenfields exploration). Ezen területek kutatásának folyamatát az 1. ábra foglalja össze.

Kifejezetten kritikus nyersanyagok kutatására irányuló munka 2010-et követően állami feladat, illetve egy 2012-2014 közötti alapkutatási projekt (CriticEl) keretein belül valósult meg, azonban a lehetséges kritikus nyersanyag-lelőhelyek teljes körű feltárását eredményező szisztematikus, átfogó, rendszerszemléletű ércföldtani vizsgálat Magyarországon még nem történt. Az SZTFH Földtani Szolgálata a már ismert nyersanyag-előfordulások kutatásán túl térképezéseken, mintázásokon, fúrómagvizsgálatokon nyugvó, ásvány-kőzettani-, geokémiai-, szerkezetföldtani- és geofizikai vizsgálatokra alapuló komplex nyersanyagkutató tevékenységet végez. Ezen eredmények felhasználásával számos új, eddig nem ismert kritikus nyersanyag-előfordulás felfedezésére lehet számítani.

Hazánk vezető egyetemein (Eötvös Loránd Tudományegyetem [a továbbiakban: ELTE], Szegedi Tudományegyetem [a továbbiakban: SZTE], Miskolci Egyetem [a továbbiakban: ME) olyan, nemzetközi szinten is elismert kutatóműhelyek működnek, amelyek szakmai hátterükkel, alapkutatási tevékenységükkel, valamint utánpótlásképzésükkel jelentősen támogatják az átfogó, a nemzetközi gyakorlatban is követett rendszerszemléletű kutatási projektek megvalósítását. Az eredményesség elengedhetetlen feltétele az SZTFH-ban meglévő adatvagyonon túlmenően mindazon információ, amely az országban működő, több évtizedes múlttal rendelkező, nyersanyagkutatással és bányászattal kapcsolatos tevékenységet végző állami tulajdonú cégek (Nitrokémia Zrt., MECSEKÉRC Zrt., Rotaqua Zrt.) birtokában van. A fentiek alapján az SZTFH az ELTE, a SZTE, a ME, a Nitrokémia Zrt. és a MECSEKÉRC Zrt. bevonásával szeretné végrehajtani azt a kutatómunkát, mely Magyarország lehetséges kritikus nyersanyag-lelőhelyeinek minél szélesebb körű felmérését, feltárását célozza. A nyersanyagkutatáshoz kapcsolódó intézmények körének bővítésén túl a projekt

megvalósításához megfelelő minőségű és mennyiségű laboratóriumi és informatikai kapacitásra, valamint szakmai humántőkére van szükség.



1. ábra Indikáció szinten ismert/ismeretlen területek kutatásának egyszerűsített folyamatábrája.

Vizsgálati eredményeink, valamint az egyetemeken és az említett állami cégek keretében zajló szakmai tevékenységek alapján állítottuk össze a Nemzeti Feltárási Programba illesztett hazai kritikus nyersanyag-előfordulások javasolt kutatási programját. A Program elsődlegesen primer ásványi nyersanyagok kutatását célozza, kismértékben foglalkozik másodlagos nyersanyagok vizsgálatával és feltárásával. A vizsgálni kívánt nyersanyagok között szerepelnek ércek, ipari nyersanyagok és fosszilis energiahordozók is, jellemzően a Dunántúli-középhegység (főleg üledékes ásványi nyersanyagok), az Északi-középhegység (főleg vulkáni működéshez köthető ércesedések), a Dél-Dunántúl és a Soproni-hegység területéről.

Az ország geológiai adottságai alapján az alábbi kritikus fontosságú nyersanyagok kutatásában látunk perspektívát: antimon, arzén, bauxit, barit, bizmut, kobalt, réz, gallium, germánium, hélium, könnyű-és nehéz ritkaföldfémek, lítium, mangán, nikkel, foszfor, titán. A felsorolt elemek között számos olyan van, amely önmagában nem bányászható, hanem egy másik (érc)ásvány nyomelemeként leválasztható, dúsítható. A 12 pontból álló Nemzeti Feltárási Programot a hasznosulási potenciál, a megkutatottsági szint, a rendelkezésünkre álló

adatvagyon, illetve az eredmények eléréséhez szükséges időráfordítás és új adat igény mérlegelésével meghatározott sorrendben mutatjuk be (1. táblázat). Az első 5 projekt egykori bányászat által érintett területek földtani kutatását foglalja magában (brownfields exploration), majd ezt követik az indikációk és földtani analógiák alapján perspektivikusnak vélt területek kutatási programjai (greenfields exploration).

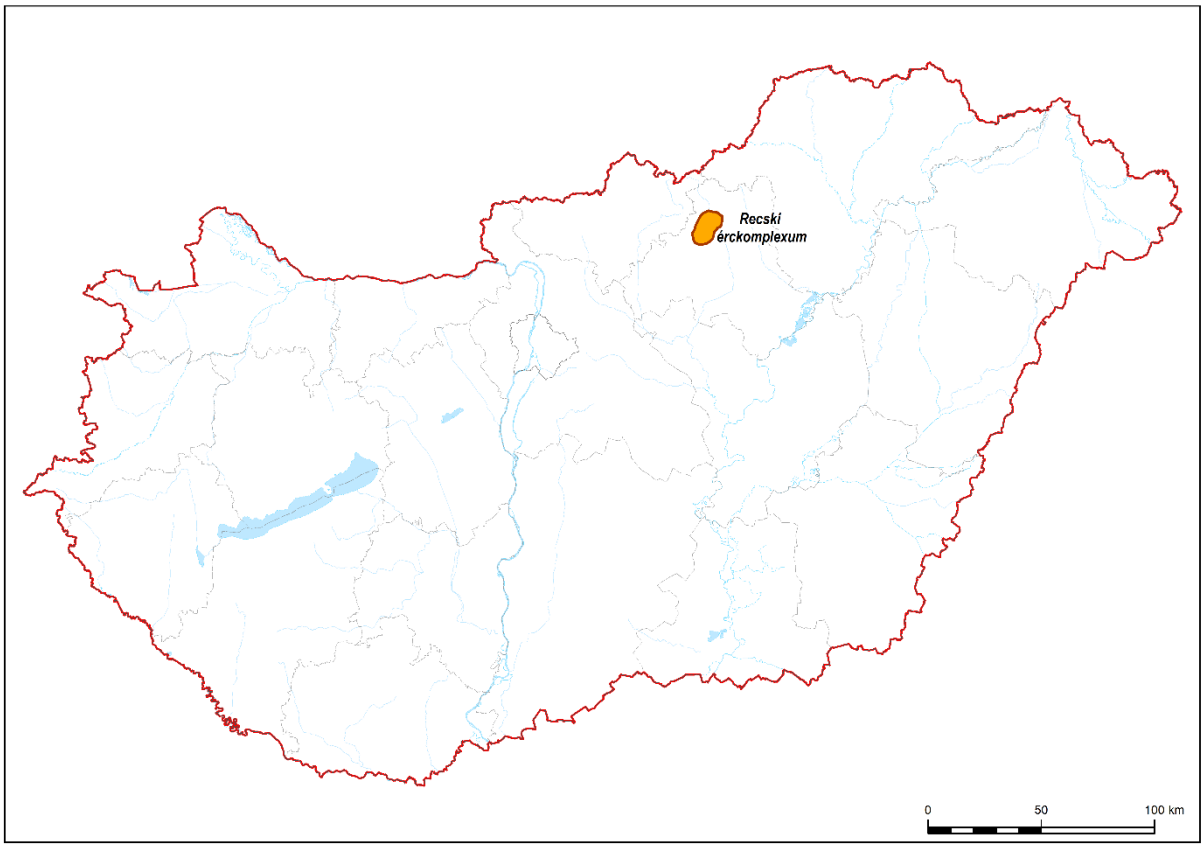
S. sz.	Kutatási projekt megnevezése	Potenciális kritikus (és nemzetgazdaságilag jelentős) nyersanyag
Barnamezős feltárási projektek:		
1	A recski érckomplexum réz és egyéb kritikus nyersanyag potenciáljának kutatása	antimon, arzén, bizmut, platinafémek, réz (nemesfémek, tellúr, rénium)
2	Magyarországi bauxitok és a vörösiszap kritikuselem potenciálja	bauxit, gallium, titán, RFF
3	Magyarországi mangánércek kritikus nyersanyag tartalma	mangán, foszfor, RFF
4	A Rudabányai-hegység kritikus nyersanyag potenciálja	barit, kobalt, nikkel, réz, RFF
5	Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés kritikus nyersanyag potenciálja	arzén, bizmut, kobalt, mangán, réz (nemesfémek, indium, ón)
Zöldmezős feltárási projektek:		
6	Foszforit és foszfátokhoz köthető ritkaföldfém előfordulások kutatása	foszforit, foszfátok, RFF
7	Torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatása Magyarországon	titán, RFF (arany, cirkónium)
8	A Dél-Dunántúl pre-mezozoós aljzatának kritikus nyersanyag potenciálja (titán, kobalt, nikkel, nemesfémek)	titán, kobalt, nikkel, (nemesfémek)
9	A magyarországi neogén vulkáni területek lítium dúsulásainak felderítő kutatása	antimon, lítium (nemesfémek)
10	Magyarországi cinkércek kritikus nyersanyag potenciálja	gallium, germánium, mangán (ezüst, indium, kadmium, ón, réz)
	Recsk mélyszint	
	Gyöngyösoroszi	
	Mátra-egyéb terület	
	Nagybörzsöny	
	Pátka	
	Rudabánya	
11	A geotermikus és olajkísérő fluidumokhoz kapcsolódó lítium potenciálja	lítium
12	Magyarország hélium potenciálja	hélium

1. táblázat A kutatási projektek sorrendje és fontosabb ismert jellemzőik

Mint látható, a kutatási területek és a kutatási projektek több esetben átfednek egymással (cink ércek vizsgálata), így a kapott eredmények megfelelő értelmezése és integrálása hozzájárulhat a kevésbé megkutatott területek alaposabb megismeréséhez.

2. Kutatási projekt javaslatok

2.1. A recski érckomplexum réz és egyéb kritikus nyersanyag potenciáljának kutatása



2. ábra A recski érckomplexum elhelyezkedése.

2.1.1. Célterület és projekt bemutatása

Nemzetgazdasági szempontból a recski érckészletek stratégiai jelentőségűek, mivel azok a rézen túl jelentős mennyiségű más fémvagyont (Zn, Pb, Au, Mo) illetve kritikus és más, a modern technológiákban nélkülözhetetlen elemek (pl., Re, In, Bi, Te) koncentrálódásait is tartalmazzák.

A recski érckomplexum (2. ábra) egy porfíros-epitermás rendszer kivételes teljességgel megőrzött példája. A teljes nyersanyag-készlet öt, egyazon hidrotermás ércképződési rendszer különböző zónáiban képződött érctípushoz kapcsolódik:

1. felszín közeli Cu-Au-Ag-As tömzsös-breccsás epitermás érctípus (Lahóca-Lejtakna)
2. felszín közeli epitermás Au-Ag teléres-breccsás érctípus (Veresvár-Veresagyagbérc)
3. Mélyszinti Cu-Mo-Au porfíros érctípus
4. Mélyszinti Cu-Zn-Fe szkarnos érctípus
5. Mélyszinti metaszomatikus-teléres Zn-Pb-Ag karbonát-kiszorításos érctípus

Az érctípusok megkülönböztetése azért is fontos, mivel főelem, és nyomelem koncentrációjuk, megkutatottságuk mértékei, lehetséges művelési és ércfeldolgozási sajátosságaik eltérnek

egymástól és ezt a telepmodellek, készletek, ércminőségek és az esetleges kitermelés megvalósíthatóságának értékelésében figyelembe kell venni. A recski mélyszinti érckutatás meg lett szakítva, nem fejeződött be. A réz árának esése miatt a kutatás és a kutatóbánya fenntartása 1999-től nem kapott további állami finanszírozást. A kutatás nyersanyag-potenciálja jelentős. A mélyszinti kutatás fő objektuma a porfíros ércesedés volt. Ez jelentős mennyiségű ércvagyont geometrizált, de az ércminőség eddig még nem elégséges a gazdaságos bányászathoz. A szkarnos ércesedés dúsabb, de változékonysága miatt nagyobb kutatásigényű. A szkarnos ércesedéssel potenciálisan érintett térrész mintegy 10%-ban vannak változó sűrűséggel kutatási adatok.

A kutatóbánya bezárását követően az érdemi hasznosítást megakadályozta a nem az 1990-es éveket követően bevezetett nemzetközi szabványok szerint elvégzett kutatás, az analitikai eredmények minőségének kétségessége, a kutatási dokumentáció elavult volta, valamint a meghirdetett tenderek szigorú gazdasági feltételrendszere. A legfontosabb hiányosságokra mutatott rá a többek között a 2016-17-ben nemzetközi hites személy (Competent Person) irányításával és ellenjegyzésével a KPMG, Golder Zrt. és a MECSEKÉRC Zrt. által készített jelentés.

A Recsk mélyszinti érclelőhely és a hozzá genetikailag szorosan kapcsolódó felszíni-felszínközeli ércesedések (azaz a recski érckomplexum) JORC, vagy más releváns nemzetközi szabvány szerinti validált újra vizsgálata archív minták alapján, valamint az adatok megfelelő digitális elérhetőségének biztosítása ezt a problémát jelentősen csökkenti, és hozzájárulhat az érctelep valódi értékének felméréséhez és a mai követelményeknek megfelelő alapokon történő piacosításához. Hosszabb távon pedig a bánya újra nyitásával megnyílik a lehetőség a felszín alatti kutatás folytatásához, egy ezt eredményesen megvalósító kutatási tender kiírásához.

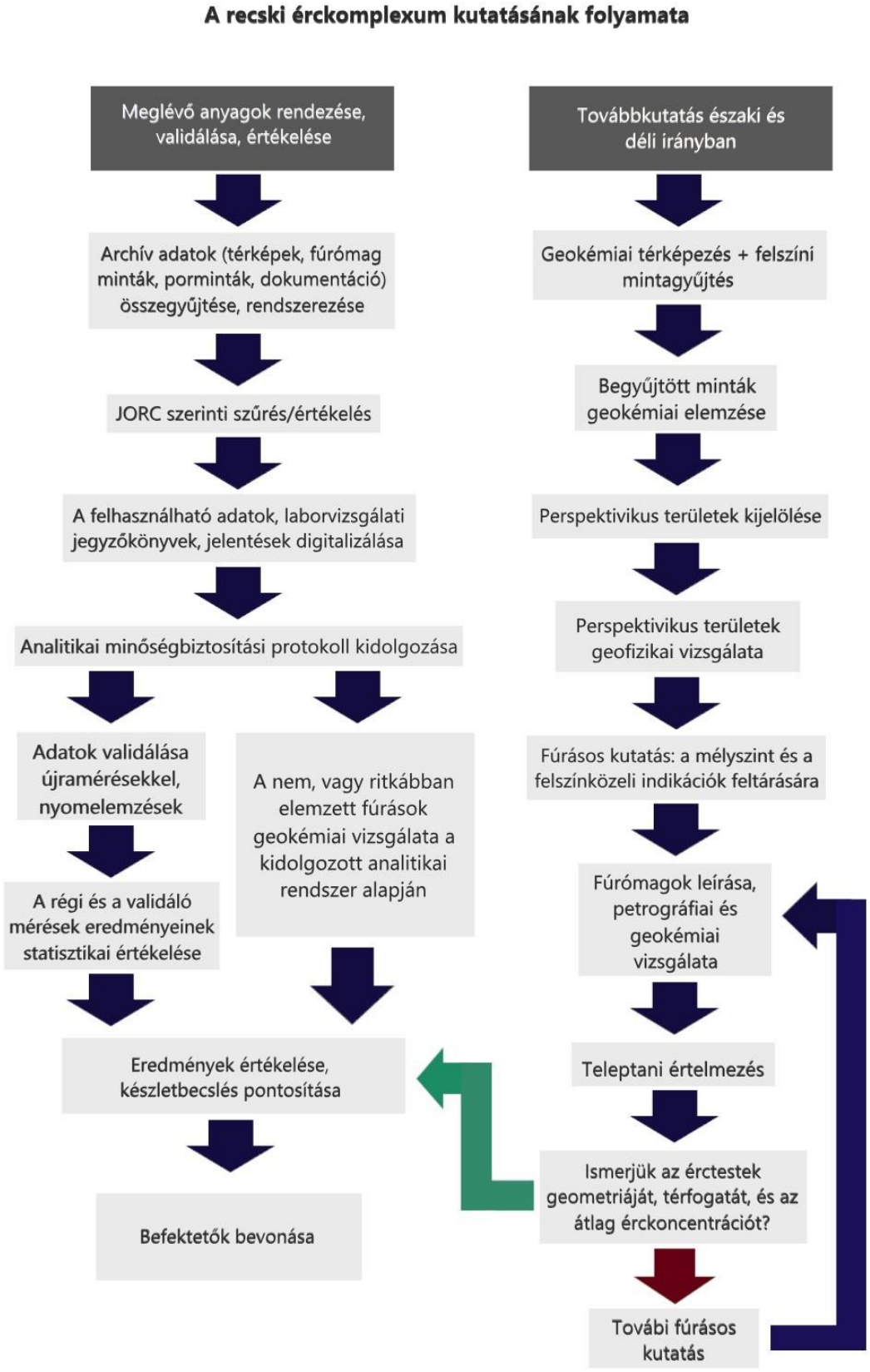
2.1.2. Kutatási feladatok ismertetése

- Az archív adatok, anyagok, térképek és minták felkutatása, összegyűjtése, értékelése, digitalizálása és adatbázisba szervezése. Adatgyűjtés arról, hogy mely fúrásminták, illetve porminták találhatók a Nitrokémia Zrt-nél, és más helyeken. A mintákkal kapcsolatos archív dokumentáció összegyűjtése, rendszerezése, digitális adatbázis készítése. Az adatok statisztikai, valamint JORC (vagy más releváns nemzetközi jelentéstételi sztenderd) kritériumok szerinti értékelése, szűrése, megbízhatóságuk vizsgálata. A papíralapon meglevő jelentések, laborjegyzőkönyvek, anyagok digitalizálása, valamint a térképek georeferálása, digitalizálása is ehhez a feladathoz tartozik. Fontos eleme a feladatnak az archív mérések, minőségbiztosítási jegyzőkönyvek dokumentálása és az elérhető laborjegyzőkönyvek csatolása a mérésekhez.
- A régi geofizikai mérések újraértelmezése modern módszerekkel és az újraértelmezett adatok beépítése. Ide tartoznak a meglévő gravitációs adatok (Bouguer-anomália, szűrt gravitációs, gravitációs hatóperem térkép, relatív sűrűség (3D grid)), földi és légi

geomágneses mérések, valamint légi radiometriai mérések (urán, tórium, kálium alaptérképek). A rendelkezésre álló geofizikai (gravitációs, mágneses, légi geofizikai) adatok korszerű, szoftverekkel és informatikai rendszerekben történő újrafeldolgozása.

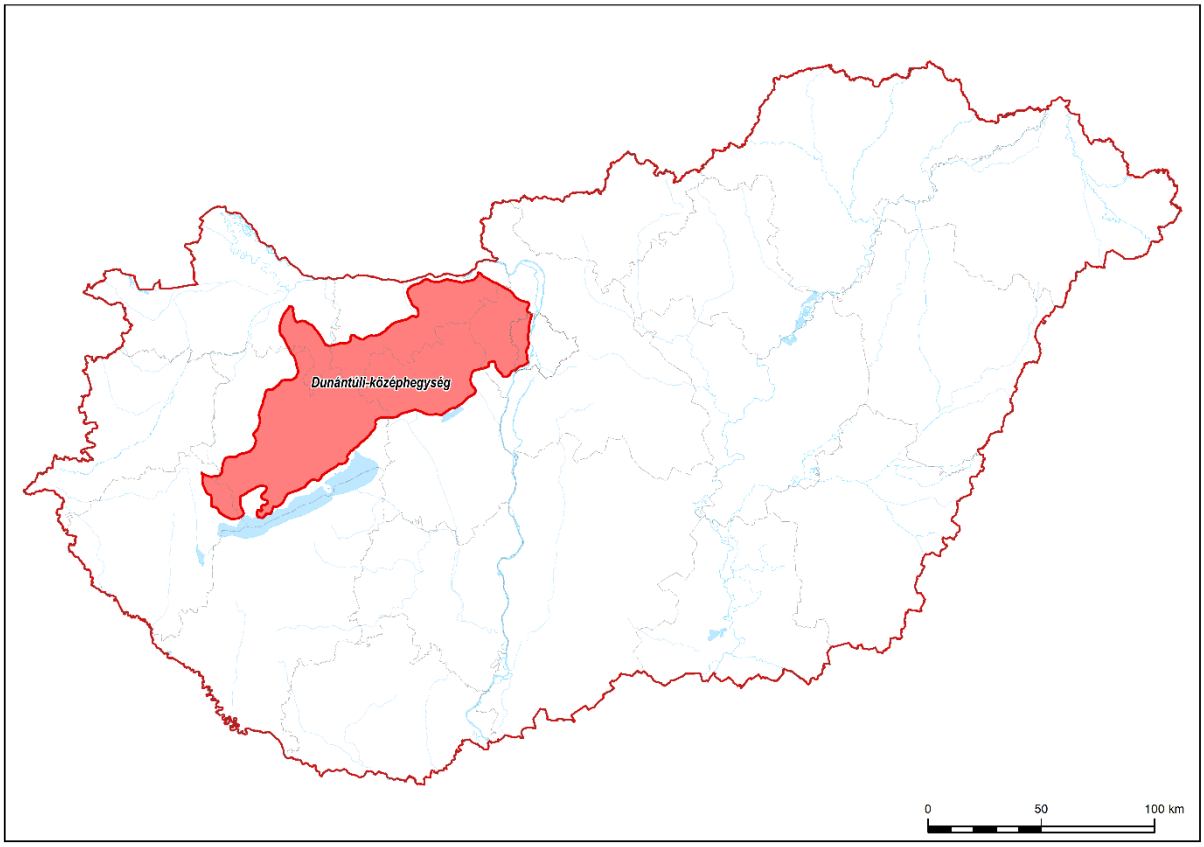
- Az archív adatok alapján földtani-ércföldtani modellépítés.
- Az archív kémiai elemzési adatok validálása, javítása, összehasonlítása, statisztikai értékelése. Statisztikailag értelmezhető mennyiségű archív mérési eredménnyel rendelkező minta újramérése, a régi eredményekkel való összevetése és statisztikai értékelése. A munkafázis magában foglalja a nyomelemek mérését is, amelyek nem történtek meg az archív minták esetében. Fontos az analitikai minőségbiztosítási protokoll kidolgozása és alkalmazása (megfelelő számú duplikát, blank és más laborokban történő kontroll mérések végzése, valamint a jegyzőkönyvek és laborbizonylatok csatolása az adatbázishoz) az elemzések során.
- Nem megkerülhető a kritikus és technológiailag fontos mellék- és nyomelemeknek az egyes érctípusok ásványfázisaiban való jelenlétének meghatározása sem, mivel ezek az adatok az ércdúsítmányok várható értékének meghatározásában és az érctípusok egymástól eltérő hasznosíthatóságának a felmérésében elengedhetetlenek.
- Az érc- és bányaföldtani jellemzők háromdimenziós modellezését az elemeloszlásokon túlmenően ki kell terjeszteni a kőzettani és kőzetátalakulási jellemzők sajátosságainak ismeretével, a tömeges geokémiai és az ásványfázisoknak megfelelően végzett fő- és nyomelemvizsgálatok mintáin végzett ásványtani-kőzettani vizsgálatok révén.
- A nemzetközileg és befektetői oldalról is értékelhető megújított recski adatbázisban az ásványtani, kőzettani, geokémiai és ércminőségi paramétereken alapuló háromdimenziós modellezés mellett szükséges a recski ércképződési folyamatokat leíró és értelmező genetikai modell pontosítása és beépítése a telepdokumentációba. Ez a nemzetközi szabványoknak megfelelő és megkívánt ismeret, melyhez a szükséges kiegészítő vizsgálatok az ELTE és a ME kutatócsoportjaiban már megkezdődtek és további kismértékű anyagi és intellektuális ráfordítással teljessé tehető. E modern szemléletű modell az érckomplexum zöld-, és barnamezős tovább kutatását is támogatja.
- Új felszíni geofizikai mérések végzése. Az érctest lehatárolásának érdekében újonnan kivitelezett felszíni geofizikai mérések is szükségesek, nevezetesen geoelektromos (ERT, GP, TEM, MT), teszt 2D reflexiós szeizmikus, továbbá szeizmikus tomográfia.
- A vizsgálatba bevont minták pontos térbeli azonosításához a releváns fúrólyukak ferdeség méréseinek a körülményeit is tisztázni kell. A pontos geometriai pozíciók meghatározásához szükség van a régi ferdeségmérési jegyzőkönyvek felkutatására, és az abban lévő adatok, eredmények újraértékelésére. Az RM jelű fúrások állapotát fel kell mérni és az átjárható lyukakban újra el kell végezni a ferdeségméréseket.
- Az adatvalidálás érdekében – a geofizikai méréseken túl – szükséges lenne néhány külszíni fúrást 1500 m mélységig lemélyíteni. Az itt nyert fúrási mintákból nyert adatok már nem a régi fúrásokból származnának, az új és aktuális adatok alapján el lehet végezni a teljeskörű korszerű anyagvizsgálatot, el lehet készíteni a részletes földtani alapdokumentációkat, valamint beazonosítható lenne a fúrások pontos térbeli helyzete is.

A recski érckomplexumra vonatkozó kutatási feladatok összegzését és sorrendjét a 3. ábraán mutatjuk be.



3. ábra A recski érckomplexum kutatásának egyszerűsített folyamatábrája.

2.2. Magyarországi bauxitok és a vörösiszap kritikuselem potenciálja



4. ábra A hazai bauxitlelőhelyek döntő többsége a Dunántúli-középhegységben helyezkedik el.

2.2.1. Célterület és projekt bemutatása

A hazai bauxit lelőhelyek döntő többsége a Dunántúli-középhegységben helyezkedik el (4. ábra). A hazai bauxitbányászat során mintegy 108 millió tonna ércet termeltek ki 1926–2010 között, ennek 28%-át a külfejtések adták. A bauxit nagy része a karsztvíz szintje alatt helyezkedik/helyezkedett el. A rendszerváltás előtt a bányászat érdekében, a termelő lelőhelyek vízutánpótlását csökkentendő, a Dunántúli–középhegység területén nagymértékű regionális karsztvízszint süllyesztést végeztek. A bányászatot lehetővé tevő akció 1990-ig tartott. A beavatkozást ezután fokozatosan leállították s ez a hazai bauxitbányászat és alumíniumipar hanyatlásához, majd - a 2010. évi sajnálatos vörösiszap-katasztrófát követően - rövidesen teljes felszámolásához vezetett. Az alumíniumipar számára nyersanyagot szolgáltató nagyüzemi bauxittermelés hazánkban 2013-ban szűnt meg teljesen. 2018-ig a Bakonyoszlop-II. telep bauxitjára (és a kapcsolódó kőszénvagyon értékesítésére) telepített EOSZÉN Kft bányája kis mennyiségben a szlovákiai pirogén timföldgyárak számára még exportált bauxitot, de 2020-ban ez az utolsó privát bauxitbánya is bezárt. Fontos megjegyeznünk, hogy a bauxitbányászat megszűnését Magyarországon nem a készletek kimerülése okozta, hanem a gazdasági környezet változása és a nem megfelelő privatizáció.

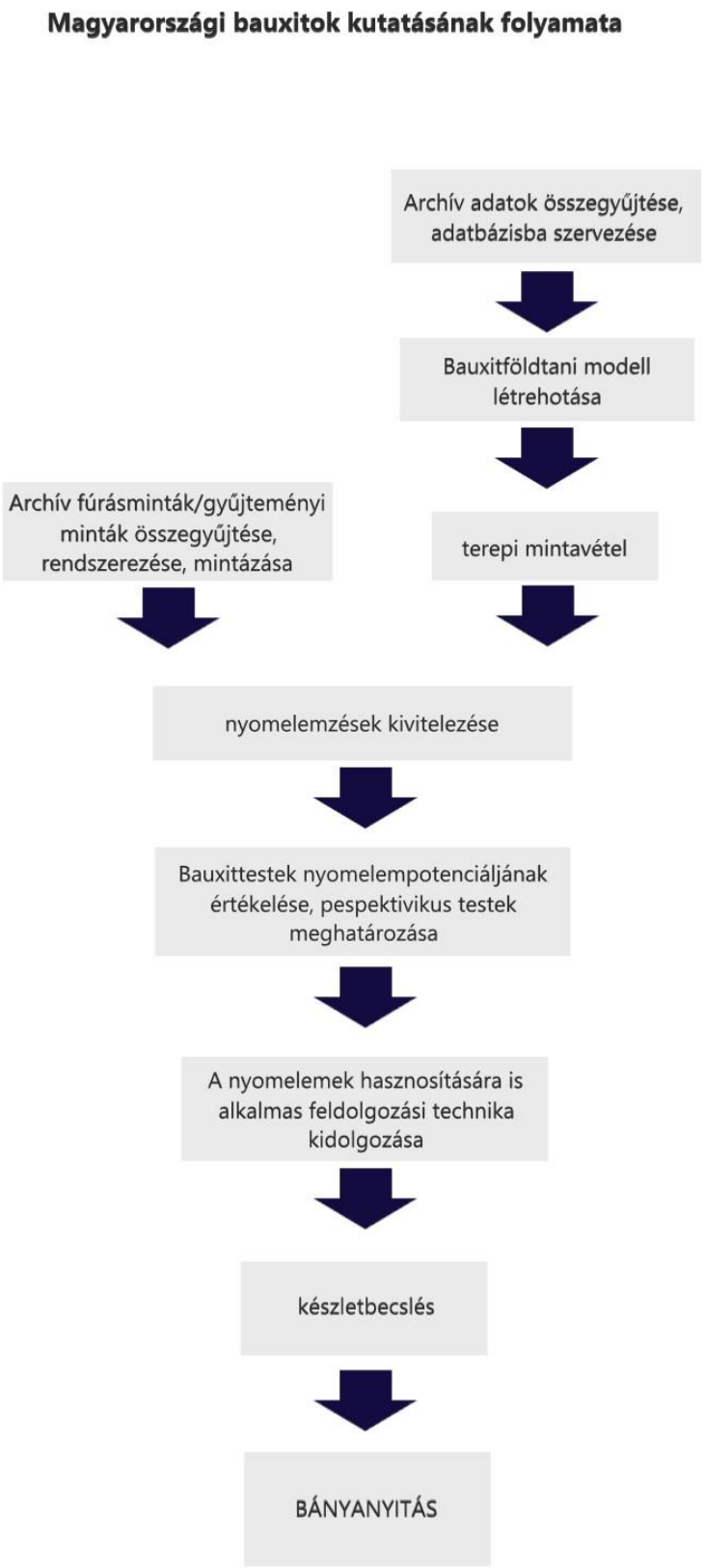
A jelenleg nyilvántartott hazai bauxit mennyisége mintegy 124 Mt földtani vagyonból áll (kitermelhető vagyon 79,8 millió tonna), melyből 34,6 Mt helyezkedik el a karsztvízszint fölött. Ehhez párosulhatnak a nem nyilvántartott reménybeli vagyonelemek is.

A bauxit nem csak az alumínium érceként hasznosult. Az alumínium mellett hasznosították a galliumot is, amely szintén kritikus elem és korunk high-tech elektronikai iparának egyik nélkülözhetetlen eleme. Az iharkúti bauxitokban 317 minta elemzésével a Ga_2O_3 tartalom 22 és 104 mg/kg között volt (Szantner et al 1986). Galliumra számolva ez 16-77 mg/kg Ga koncentrációt jelent. Ha a Ga értékek átlagát vesszük, ami 46,5 mg/kg, akkor ez 1231 t Ga vagyont jelent a karsztvízszint fölötti bauxitok teljes letermelése esetében. A bauxitok más kritikus nyersanyagokat (mint pl. Ti, V, ritkaföldfémek) is tartalmaznak változó mennyiségben. Azonban mind a nyomelemek, mind a RFF koncentrációjára vonatkozóan a hazai bauxitokból csak régi (a '70-es, 80-as évekből származó) adatok állnak rendelkezésre. Hasonló minták modern módszerekkel történő ellenőrző elemzése (SZTFH elődintézmény MFGI, CRITICEL 2014, ill. REEBAUX 2019) azt mutatta, hogy a régi nyomelemzések, módszertani okokból, többnyire túlbecsülték a RFF-koncentrációkat.

2.2.2. Kutatási feladatok ismertetése

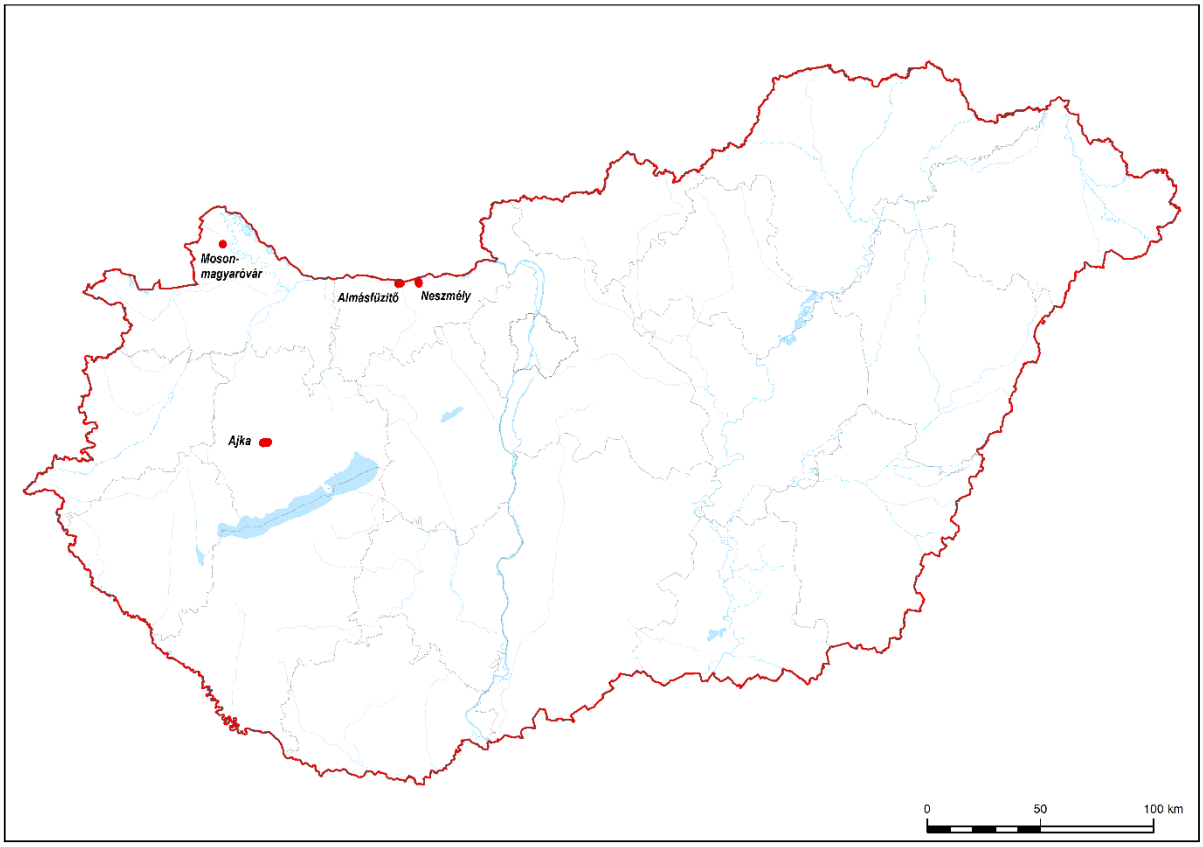
- Az archív földtani-geofizikai adatok összegyűjtése értékelése és adatbázisban tárolása. A további bauxit perspektívák megítélése szempontjából kiemelt jelentőségűek a korábbi kutatások során reménybeli készlettel rendelkező területek. Tekintettel a több évtizedes bauxitkutatásra és bányászatra, az archív adatok mennyisége óriási.
- Földtani- bauxitföldtani modell építése az archív földtani-geofizikai adatok alapján.
- A földtani modell alapján új lelőhelyek azonosítása.
- Archív fúrások és különböző mintaraktárakban (pl. Zirci Bakony Múzeum, SZTFH magraktárak, stb.) elfekvő gyűjteményi anyagok összegyűjtése és katalogizálása az ismert felszíni, illetve karsztvízszint feletti bauxittestekből.
- Felszínen elérhető bauxittestek és archív fúrások anyagának mintázása.
- A minták elemzése ICP MS-sel a nyomelemek és RFF jellemző mennyiségének és kötődésük módjának (diszkrét ásványfáziosokban, vagy a bauxit szubmikroszkópos méretű Fe-Al-fázisain adszorbeálódva) megállapítására.
- A jelentősebb nyomelemkoncentrációkat mutató bauxittestek azonosítása, lehatárolása
- Javaslat a hasznosítható nyomelemek körére.
- A vizsgált bauxittestek nyomelempotenciáljának értékelése. (Az ismert bauxittestekből származó mérések fényében az egyes bauxittestek nyomelem potenciálját külön értékeljük, kiválasztva a hasznosítható nyomelemekben gazdagabb telepeket/teleprészeket (pl. Ce általában a telepek felső szakaszán, míg Nd alul, a fekű-határ közelében dúsul.)

A bauxit kutatásának egyszerűsített folyamatát mutatja az 5. ábra.



5. ábra A hazai bauxitok kutatásának egyszerűsített folyamatábrája.

2.2.3. Vörösiszap



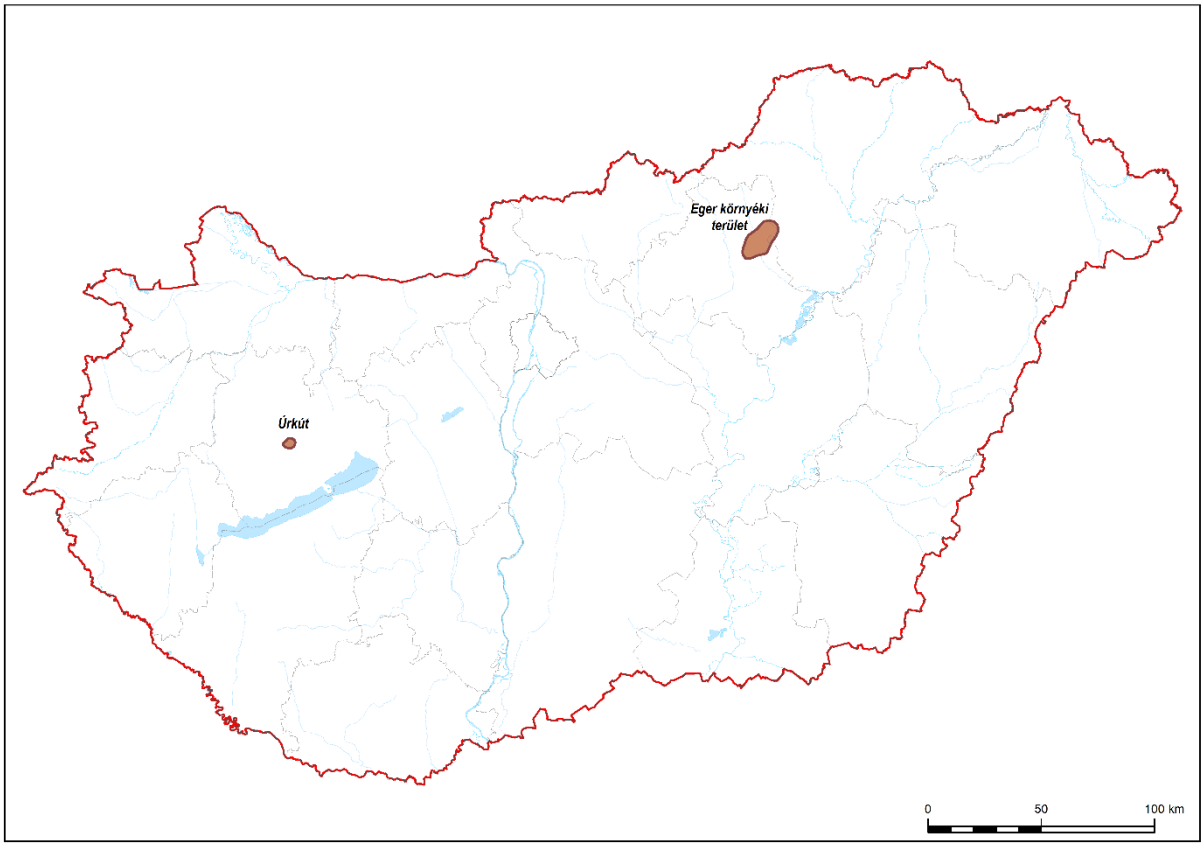
6. ábra Magyarország vörösiszap hányói.

Magyarországon a bauxitbányászat és az alumíniumfeldolgozás melléktermékét az igen erősen lúgos kémhatású vörösiszapot 4 nagy tározóban deponálják (Ajka, Neszmély, Almásfüzítő, Mosonmagyaróvár; 6. ábra), melyekben mintegy 50 millió tonna anyag van. A vörösiszapokról egy átfogó elemzési kampány keretében 2012-ben az MFGI-ben készültek kémiai elemzések, melyek jó alapot adnak a további értékelések és vizsgálatok elvégzésére. Amennyiben reális képet akarunk alkotni ezek jelentőségéről, valódi koncentrációjáról, mindenképp új, szisztematikus mintavételen alapuló elemzésekre lenne szükség. A bauxitok és a feldolgozásuk után visszamaradt vörösiszap hasznosítását ezen új ismeretek birtokában lehetne újragondolni és újraértékelni. A vörösiszapokban a RFF (+ Sc) dúsulása a bauxitokétól eltérő logikájú. A bauxitban nem előforduló, másodlagos fázisok akkumulálják a kritikus elemeket (pl. kankrinit) és ezek térbeli elrendeződése is a bauxitétól eltérő tendenciát mutat (gravitációs differenciáció). Ezért az összes vörösiszaptároló szisztematikus ásványtani, geokémiai és térbeli feltárása indokolt. Ezen információk nélkül készlet nem számítható. A vörösiszap hányókkal kapcsolatban a következő feladatok azonosíthatók:

Rövidtávon (5 éven belül) a kutatás célja a vörösiszaphányók szisztematikus vizsgálata és a benne levő hasznosítható nyersanyagok készleteinek meghatározása.

Hosszútávon a feltárt nyomelemek hasznosítására is képes új bauxit feldolgozási technológia kidolgozása. (A vörösiszap esetleges újrafeldolgozása, amelyre - számos külföldi szabadalom mellett - létezik az egykori Fémipari Kutató Intézetben, valamint az MTA KK Anyagtudományi és Környezeti Kémiai Intézetében kidolgozott magyar technológia is).

2.3. Magyarországi mangánércek kritikuselem tartalma



7. ábra A hazai mangánérc előfordulások elhelyezkedése.

2.3.1. Célterület és projekt bemutatása

Úrkút: Mn-érc és mangános iszaptároló kutatás

A kutatás célja dúsíthatósági kísérletek elvégzése, optimalizálása a karbonátos ércre, valamint a hazai mangánérc és az ahhoz kapcsolódó esetlegesen hasznosítható további kritikus elemek (pl. kobalt és nikkel) felderítése (7. ábra). A hazai mangánércvagyon döntő hányada a Dunántúli-középhegységben nagyrészt az Úrkúti-medencében, kisebb részt az Eplényi-medencében található. Az úrkúti és eplényi mangánérc a toarci óceáni anoxikus esemény során halmozódott fel üledékes környezetben. Mivel mindkét térségben több évtizeden keresztül zajlott kitermelés, ezért a mangánérc pontos elhelyezkedését ismerjük. Az úrkúti telep esetében közel 1300 mélyfúrás, az eplényi telep esetében, több mint 230 mélyfúrás adata áll a rendelkezésünkre.

Nyersanyag szempontjából az úrkúti telep és annak mangán iszap tározója, amivel potenciálisan számolni lehet. A bányászat kezdetén az oxidos ércet termelték, majd miután az kimerült, áttértek a karbonátos mangánérc bányászatára. A mangánkarbonát szemcsemérete miatt (néhány mikrométer) a dúsítási kísérletek nem voltak sikeresek, az átlagos dúsítmány Mn-tartalma: 21% (Miskolci Egyetem, 2016). A mangánkarbonátok közvetlen felhasználása acélipari adalékanyagként volt csak gazdaságosan megvalósítható. Viszont elektrolitikus eljárással az

ilyen típusú mangénércből fémmangán előállítható (pl. Lu et al., 2016)[1]. Ezt az ércfeldolgozási technológiát számos fejlett iparú országban alkalmazzák, sőt kifejezetten az úrkúti mangánérc elektrolitikus feldolgozása során szükséges lúgzási eljárásra magyar szabadalom is létezik. Az 1960-as években elvégzett hazai és csehszlovákiai ipari kísérletek bizonyították, hogy az úrkúti ércből elektrolitikus eljárással gazdaságosan állítható elő fémmangán. Az 1970-es évek elején Zagyvarónán 150 tonna/év kapacitású kísérleti üzem építése is megkezdődött a későbbiekben kiépítésre tervezett 3000 tonna/év termelésű nagyüzem létrehozása érdekében, de ez a kísérlti üzem forráshiány miatt csak 90%-os készültségig jutott el, és a későbbiekben sem történt további beruházás e fejlesztésbe.
A jelenlegi nyilvántartott úrkúti és eplényi ércvagyon >50 Mt (SzTFH).

Eger környéki mangánérc kutatás

Az ÉK-magyarországi paleogén medencék agyagos sorozatai (Kiscelli és Tardi Agyag) szintén tartalmaznak Mn-karbonátos betelepüléseket. Ezeket Eger környékén az 1950-es években előzetesen megkutatták (Pantó és Molnár, 1953). Az agyagos kőzetek Mn-tartalmát kiragadott minták elemzése alapján 5-15 % közöttinek találták. Az érces zóna mintegy 20 km hosszan követhető Noszvajtól Eger-Demjénig. A mangánkarbonátos összlet mintegy 400 m vastagságú, melyen belül 30-nál is több, 0,1-2 m vastag mangántelep fordul elő. A karbonátos mangánérc felszínközeli részei oxidáció következtében nagyobb mangántartalmúak. E mangánérc-előfordulások a paratethysi paleogén mangánérc öv Kercs-Csiaturától Dél-Ukrajnán át Magyarországig és Szlovákiáig (kisovcei és svabovcei mangánércek) húzódó részét képezik (Molnár és Pantó, 1961). Az Eger-környéki kutatások egyik konklúziója az volt, hogy az úrkúti érchez hasonlóan nagyon finomszemcsés Mn-karbonátos érc az agyagos sorozatban csak kémiai tesztekkel-elemzésekkel ismerhető fel.

2.3.2. Kutatási feladatok ismertetése

Úrkút: Mn-érc és mangános iszaptároló kutatás:

- Az elektrolitikus ércfeldolgozási kísérletek validálása a különböző karbonátos érctípusokra (barna, zöld, szürke, fekete).
- Archív és recens kutatási földtani és geofizikai eredményeinek összegzése.

Eger környéki mangánérc kutatás:

- Archív kutatási eredmények, földtani-geofizikai adatok összegzése, a korábbi kutatásokból még fellelhető fúrási és egyéb minták összegyűjtése.
- A mangánérces formációk terepi azonosítása hordozható XRF-végzett mérések segítségével, szisztematikus mintázás.

[1] Lu J., Dreisinger D., Glück T. (2016): Electrolytic manganese metal production from manganese carbonate precipitate. Hydrometallurgy, 161, pp. 45.53

- A mangándús minták részletes ásványtani és geokémai vizsgálata (XRD, SEM, XRF, ICP-MS), minőség meghatározása akkreditált laboratóriumokban végzett elemzések révén.
- A térképezési, ásványtani és geokémiai kutatások által a felszínen lehatárolt legperspektivikusabb területeken felderítő fúrásos kutatás.
- Az elektrolitikus ércfeldolgozási kísérletek elvégzése laboratóriumi körülmények között, majd a kutatás által azonosított legperspektivikusabb érctestekből ipari körülmények között.
- Készletbecslés és előzetes gazdaságossági értékelés elvégzése.

2.3.3. Mangániszap

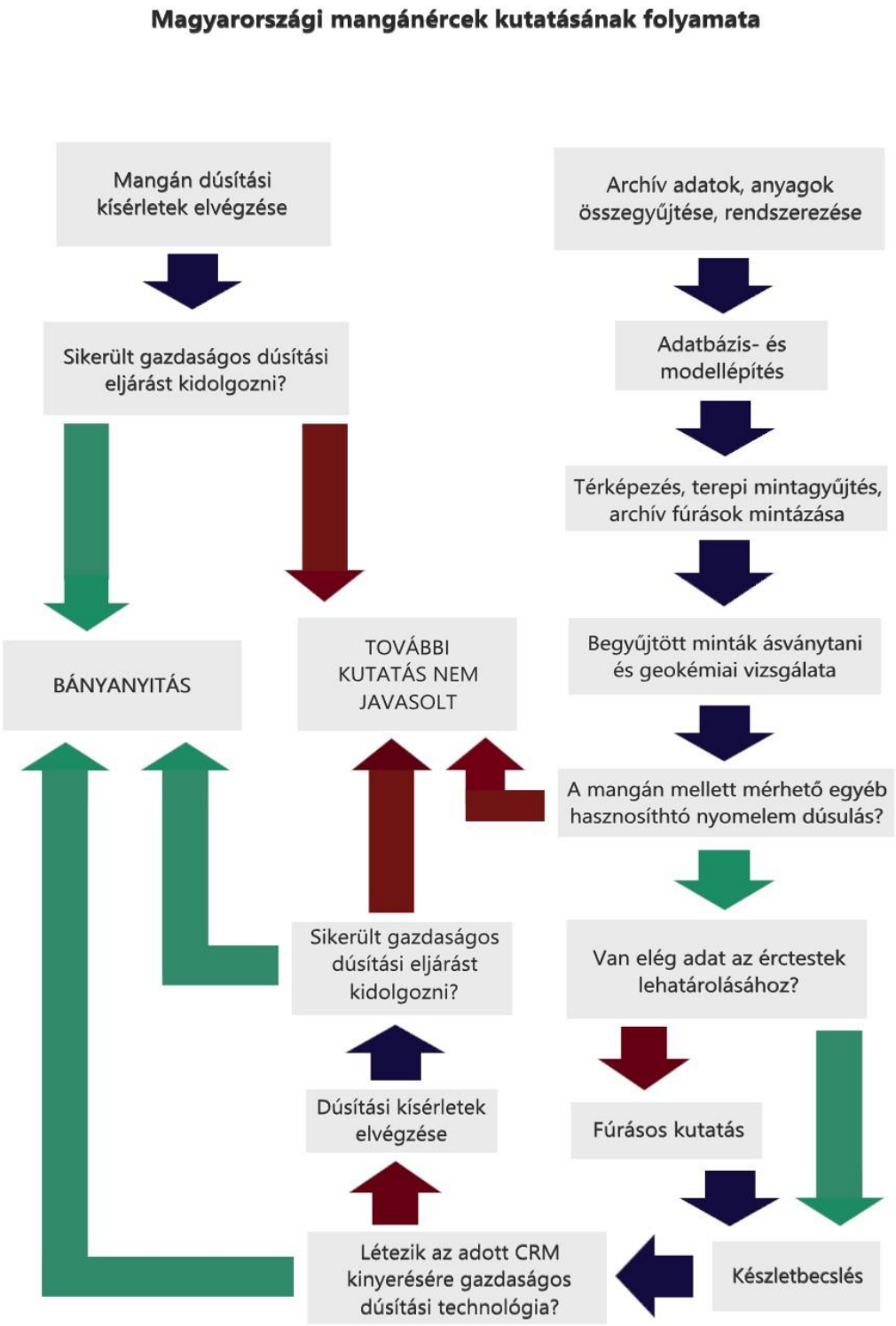
A mangános iszap becsült készlete ~1,75 Mt, mely három tározóban található: I. tározó (1926-1958) 400 kt; II. tározó (1959-1970) 700 kt; III. tározó (1971-1997) 650 kt. A mangános iszaptárolóban található anyag mangán- és vastartalmára tekintve elérhető kémiai adatok (Szabó 2006):

- Mn: 10,9-13,7%
- Fe: 14,6-16,7%

A mangániszappal kapcsolatos feladatok:

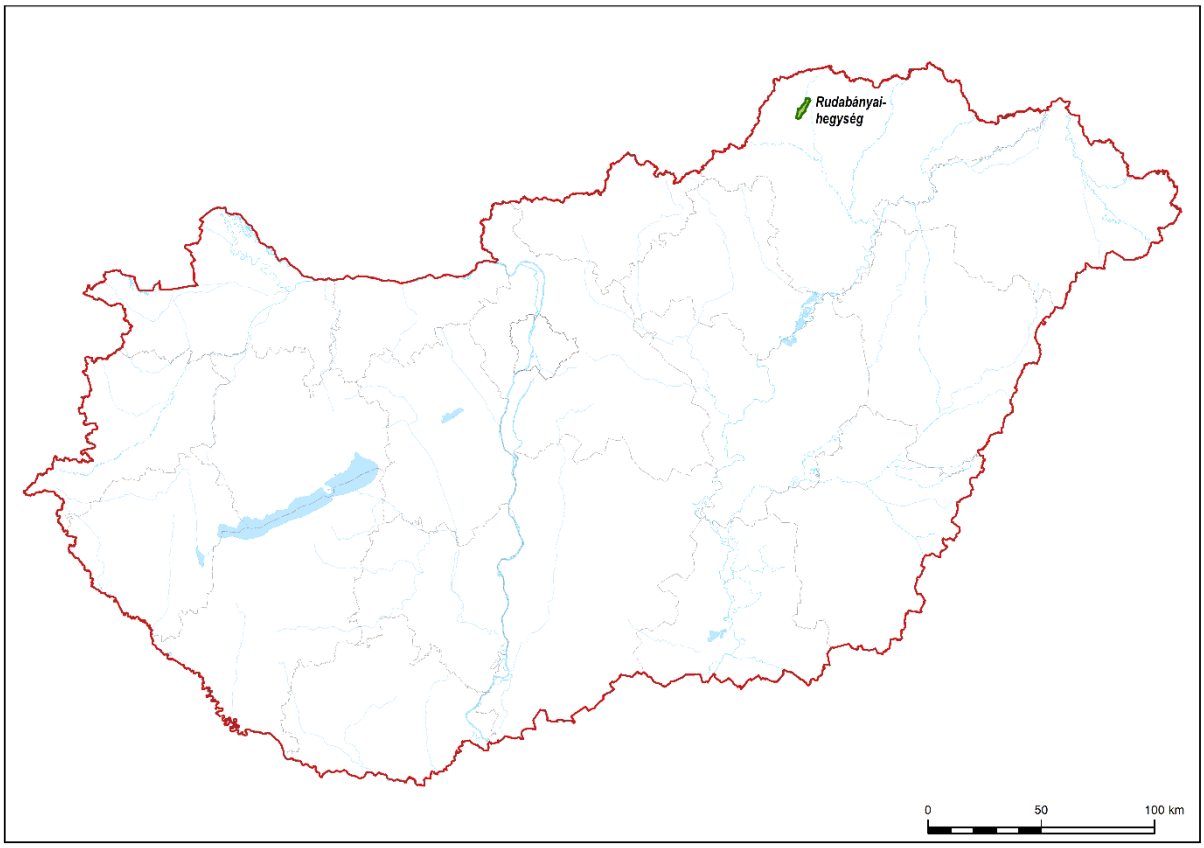
- A mangános iszap részletes ásványtani és geokémai vizsgálata: kritikus elem-tartalom, vertikális és laterális heterogenitás (terepi mintavételezés, XRD, SEM, XRF, ICP-MS).
- Az elektrolitikus ércfeldolgozási kísérletek elvégzése a mangános iszap anyagára.

A mangánérc kutatásának egyszerűsített folyamatát mutatja a 8. ábra



8. ábra A mangánérc kutatásának egyszerűsített folyamatábrája.

2.4. A Rudabányai-hegység kritikus nyersanyag potenciálja



9. ábra A rudabányai komplex ércesedés elhelyezkedése.

2.4.1. Célterület és projekt bemutatása

Rudabánya Magyarország egyik legrégebb óta bányászott térsége (9. ábra). A nyersanyagtest felszíni kibúvása és annak szupergén átalakulása által létrejött rézérc ásványok (azurit, malachit, természéz) miatt már az ókori emberek érdeklődését is felkeltette. Ezt követően a vaskortól már a vasérckészletek is a bányászat tárgyát képezték, majd a középkorban ezüstöt is kerestek. A nagyüzemi vasércbányászat az 1880-as években indult meg, mely a bánya 1985-ös bezárásáig tartott. A bő 100 év alatt főleg a jó minőségű barnavasércet termelték, de emellett a pátvasércet és az ankeritet is hasznosították. Ezek mellett kisebb mennyiségben galenitet, szulfidos rézércet, valamint baritot is termeltek.

A Magyar Geológiai Szolgálat adatai szerint (2003) a rudabányai vasércbányászat felhagyásakor még nem kitermelt ólomércesdésből 0,6 millió tonna vagyon állt rendelkezésre 1,4% Pb, 0.1% Cu és 105 g/t Ag tartalommal, míg rézércekre vonatkoztatva 1,6 millió tonna 0,6 % átlagos rézkoncentrációjú ércvagyon volt nyilvántartva.

A szűkebb értelemben vett rudabányai külfejtésben összetett ércesedés figyelhető meg, mely sok kutató figyelmét felkeltette. Az eddigi adatok alapján a terület perspektivikus nyersanyag vagyont rejt magában, melyet érdemes további kutatás keretében tovább pontosítani, majd kedvező értékek esetén hasznosítani. A barit, mint kritikus- és a réz, mint stratégiai nyersanyag mellett az ólom-cink-ezüstércek, valamint a maradék vasérc is figyelmet érdemel. Jelenlegi tudásunk alapján ez Magyarország egyetlen perspektivikus barit lelőhelye. Az új kutatási eredmények felhasználásával 4,14 millió tonna barit készlet került kimutatásra, mely jelentős értéket képvisel, mivel az Európai Unióban a barit kritikus nyersanyagnak számít. Így a rudabányai barit kitermelése európai szintű gazdasági tényező lehetne.

A területen 2007 és 2015 között folyt további nyersanyagkutatás a ROTAQUA Kft. majd az RK Bányatársaság Kft. tevékenysége keretében. A ROTAUQA Kft. „polimetallikus érc, nemesfém érc és vasérc ásványi nyersanyagok" kutatására kapott kutatási jogot, amelyet 2010-ben az RK Bányatársaság Kft.-re ruházott át. Az RK Bányatársaság Kft. az átruházott kutatási jogot „kavics, homok, agyag, barit, mészkő, dolomit, márga, gipsz, mangánérc, kvarcit és szén (lignit)" nyersanyagok körével bővítette. 2016-tól „Rudabánya" kutatási területen „új jogadományként" a ROTAQUA rendelkezik kutatási joggal, azonban kizárólag „barit és mangánkarbonát" ásványi nyersanyagok vonatkozásában, amelynek keretében fúrásos kutatási tevékenységet végzett. 2023-tól a Goldminco Kft. a Rudabánya MIN-1 területre vonatkozóan rendelkezik kutatási engedéllyel nem fémes nyersanyagok tekintetében, ideértve a baritot is.

A Rudabányai-hegységben tágabb értelmezésben több figyelemreméltó indikációt is számontartanak:

- Rudabánya és Pelsőczardó (Ardovo) közötti zónákban kimutathatóak kiugró Pb és Zn koncentrációk, melyek kutatásáról részletesebben a magyarországi Zn-ércek CRM tartalma fejezetben szólunk.
- Martonyi község határában a külfejtéssel azonos, de területileg kisebb érces terület;
- Bódvalenke határában rezes agyagpala;
- Eltemetett szerpentinesedett bázikus kőzetek (Ni, Co).
- A Szalonna-10 jelű fúrás által feltárt riolitban kimutatott F-apatithoz köthető ritkaföldfém, Y, U, P dúsulás, melyet a „Foszforit és foszfátokhoz köthető ritkaföldfém előfordulások kutatása" c. fejezetben tárgyalunk bővebben.

A külfejtés, valamint az egyéb anomáliák felszíni/felszínközeli nyersanyag elhelyezkedése, a terület infrastrukturális kiépítettsége, az eddig megismert ércgazdagsága kedvező képet nyújt a hasznosíthatóság irányába.

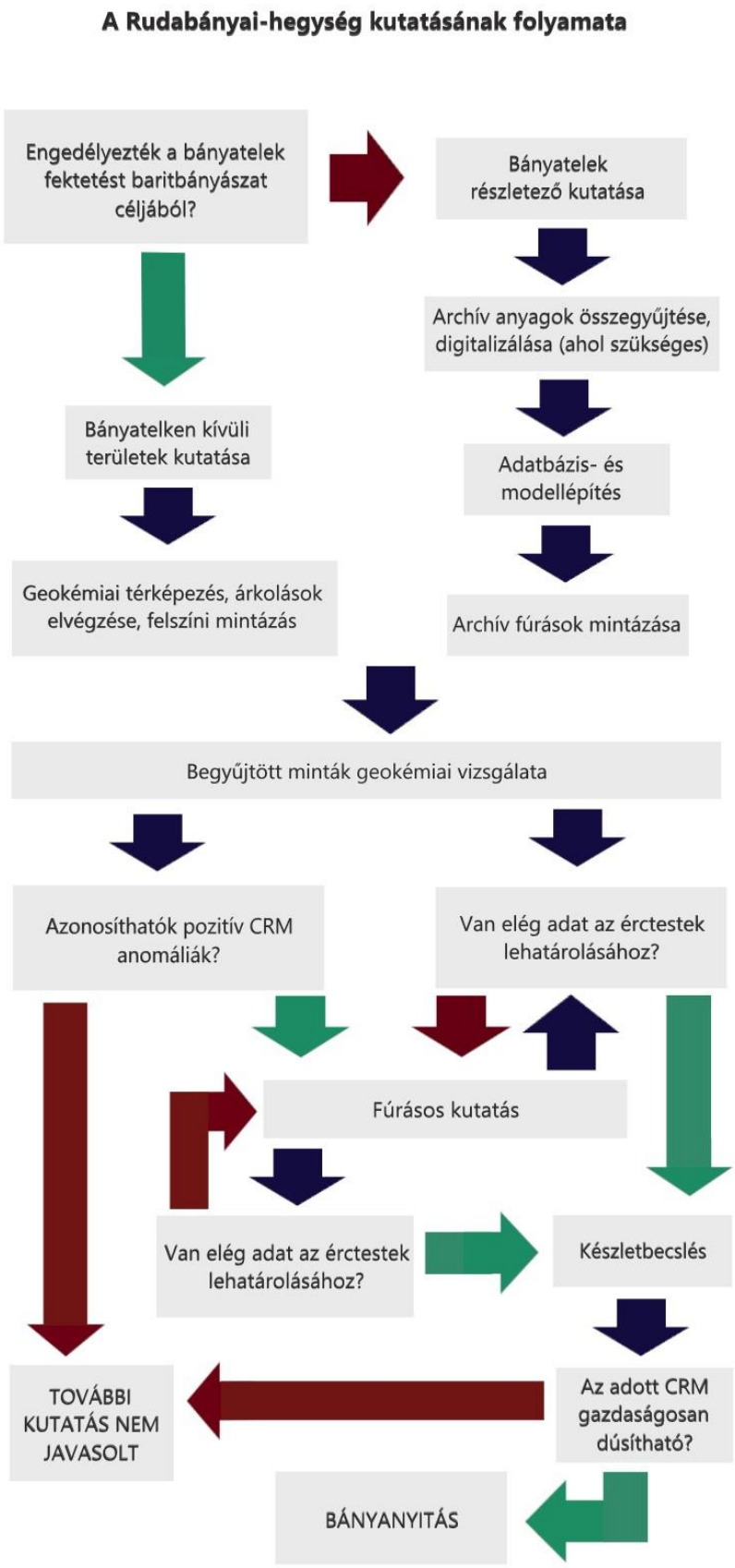
2.4.2. Kutatási feladatok ismertetése

A külfejtésre és környezetére vonatkozó kutatási feladatok:

- A jelenleg rendelkezésre álló digitális adatok összeállítása, modellépítés.

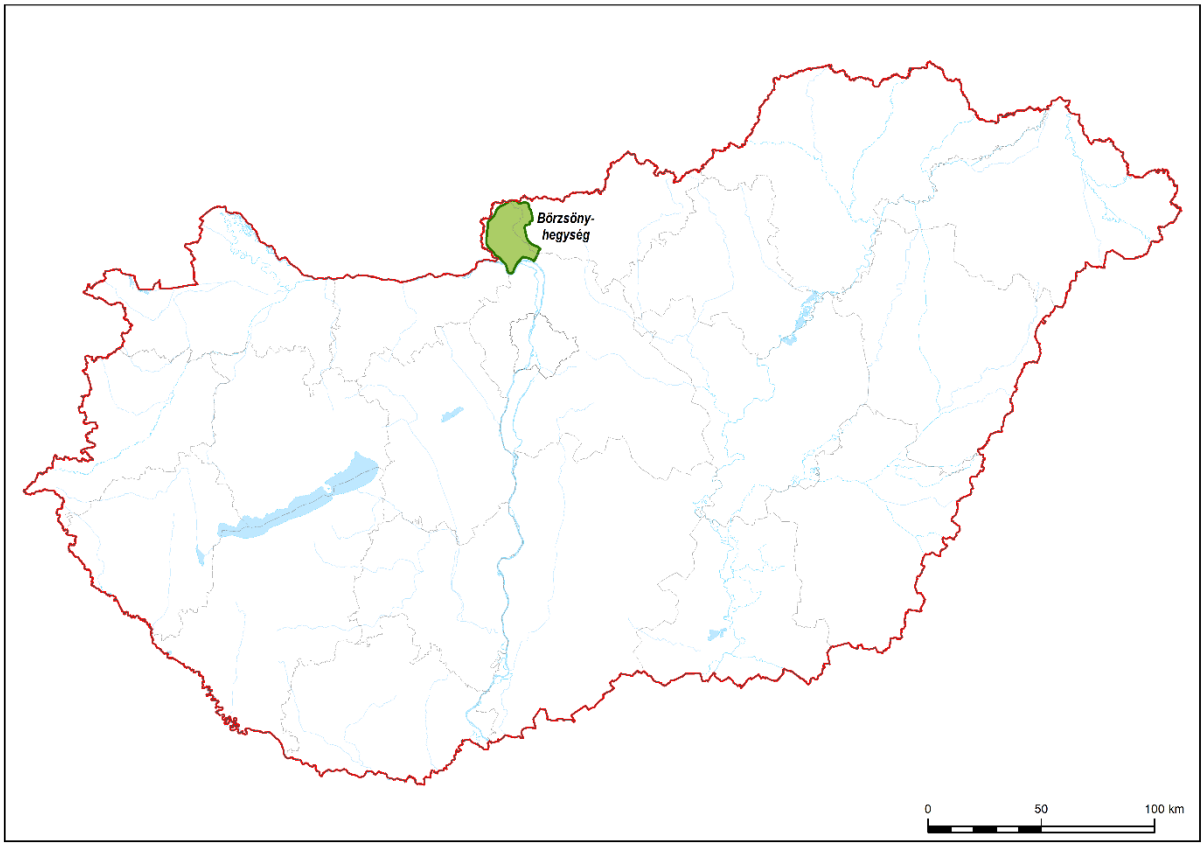
- Az archív földtani-geofizikai, fúrási és elemzési anyagok, térképek digitalizálása, összerendezése, modellbe integrálása. A friss adatok alapján a modell fejlesztésének folyamatosnak kell lennie.
- A felépített modell alapján a részletes kutatási koncepció felállítása.
- Árkolások elvégzése, felszíni, regionális kiterjedésű (triász rétegtani szinteket követő) mintázások kivitelezése, geokémiai térképezés terepi XRF segítségével.
- A rendelkezésre álló fúrások színesfém-ércesedéssel jellemzett szakaszainak mintázása.
- Meddőhányók azonosítása, lehatárolása, fúrásos mintázása
- A nyersanyagok mélységbeli felderítésére, továbbá a külfejtés tágabb környezetében azonosított kritikus elem-anomáliák szerkezeti és rétegtani kontrolljának térképezése alapján új kutatófúrások kijelölése és kivitelezése, fúrómagok dokumentálása.
- Az árkolásból, térképezésből, archív és új fúrásokból származó minták elemzése akkreditált laboratóriumban
- Az érces törészónák azonosítása.
- Szükséges minden relevánsnak vélt nyersanyagtest lehatárolása és értékelése.
- Kedvező eredmények esetén feldolgozási módszerek kidolgozása.

A rudabányai kutatások egyszerűsített folyamatát mutatja a 10. ábra.



10. ábra A Rudabányai-hegység kutatásának egyszerűsített folyamatábrája.

2.5. Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés nyersanyag potenciálja



11. ábra A kutatási célterület elhelyezkedése.

2.5.1. Célterület és projekt bemutatása

A Börzsöny-hegységi ércesedés (11. ábra) a területen végzett eddigi kutatások alapján egy epitermás-rézporfiros rendszernek tekinthető. A rendszer epitermás szintjének leginkább ismert ércesedése Rózsabánya, amely táróiból XV-XVII. században aranyat és ezüstöt bányásztak. Bár a nemesfémek felszínhez legközelebb eső, a XVII. századi technológiával elérhető dúsulásait nagyrészt kitermelték, a Rózsabánya területén, valamint a Börzsöny több ércesedési zónájában ma is mérhetőek arany és ezüst dúsulások. 1970 és 1980 között vulkanológiai, szerkezetföldtani és ércföldtani kutatás zajlott a területen, amely során 11 db térképező (50-300 m), 2 db szerkezetkutató (1000 m és 1200 m), valamint ~40 db érckutató fúrás mélyült. Az érckutató fúrások helyét főként geofizikai mérésekre alapozva jelölték ki, amelyek közül ~ 30 db sekélyebb (100-400 m), 7 db közepes (400-750 m) és 3 db nagyobb (1200 m) mélységű volt. Ezeken kívül az akkor még járható bányavágatok (19 db, összesen ~2800 fm) újra dokumentálása is megtörtént. A három nagymélységű fúrás ~800 m-től talpig akkor porfíros réz ércesedésként meghatározott ércesedést harántolt. Ezt a fúrásokból származó minták vizsgálati eredményei alapján gyenge minőségűnek tartották, bár a fúrások rendkívül alacsony száma, nem elegendő mélysége, valamint a geofizikai mérések

bizonytalansága miatt az ércesedést lehatárolni horizontális és vertikális kiterjedésében sem lehetett. A 10 éves kutatás ércelőfordulások szempontjából alapvetően a rézre koncentrált, így csak réz, ólom, cink, arany és ezüst elemzések készültek a kutatott területekről származó mintákból, az ércesedés kritikus és egyéb nyomelemtartalmát érintő érdemi kutatás ekkor nem történt. A legelső, 1960-ban végzett készletbecslés eredményei alapján a központi érces területhez kapcsolódóan 46 kt kitermelhető ólom-cink vagyont tartunk nyilván (1,72 % ólom és 0,73 % cink átlagkoncentrációval), valamint 326 kt kitermelhető nemesfémércet (Szebényi Géza 1993-ban készült vagyonbecslése alapján a nemesfémek átlag koncentrációja 1,78 g/t arany, és 44,75 g/t ezüst). A becsült vagyon mértéke nem tekinthető megbízhatónak, mivel a számítás alapját képező elemzések kevés elemre, a mai modern analitikai lehetőségekhez képest elavult technikával készültek, emellett az ércesedés tényleges kiterjedéséről is nagyon keveset tudunk.

Mivel az epitermás-rézporfíros rendszerek telepmodellje jelentős fejlődésen ment keresztül az elmúlt évtizedekben a terület ércgenetikai felülvizsgálata, illetve további, rendszerszemléletű kutatása olyan fontos, a modern nyersanyagkutatásban rutinszerűen alkalmazott adatokat szolgáltathat, amelyek elengedhetetlenek a Börzsöny valódi potenciáljának felméréséhez. A hegység ércesedésének genetikáját, illetve hasznosítható fémtartalmának meghatározását célzó vizsgálatokat közel 8 éve végzünk az SZTFH Földtani Szolgálatában, annak jogelőd intézményében, valamint az ELTE Természettudományi Karán. Az ércesedés központi területéről (Alsó-Rózsa táróból, az Alsó- és Felső-Rózsatárót összekötő Rózsa aknából, a Ludmilla táróból, a Fagyosasszony táróból, valamint a régebbi kutatások során kihajtott tárórendszer alá vájt Altáróból) származó archív minták nyomelemzése során az ércanyagban ígéretes mennyiségű bizmutot, arzént és kobaltot mértünk, mely elemek a területen eddig ismert nemesfém-ólom-cink-réz vagyon értékét növelhetik. Az arzén és a kobalt arzenopirithez kapcsolódik, a bizmut főként termésbizmut és bizmut-szulfid formájában, ritkán szulfosóként van jelen. Ezen kívül LA-ICP-MS vizsgálataink szerint értékes nyomelemek kapcsolódnak még a szfalerithez és a kalkopirithez (kadmium, indium, ón, esetenként gallium). Arzén, kobalt és bizmut együttes dúsulása a többi epitermás (felszínközeli) indikáció esetén (Kuruc-patak, Kis-hideghegy, Bányapuszta, Királyrét-Szokolya, Zálog-bérc, Nagyirtáspuszta, Koppány) is elképzelhető.

2.5.2. Kutatási feladatok ismertetése

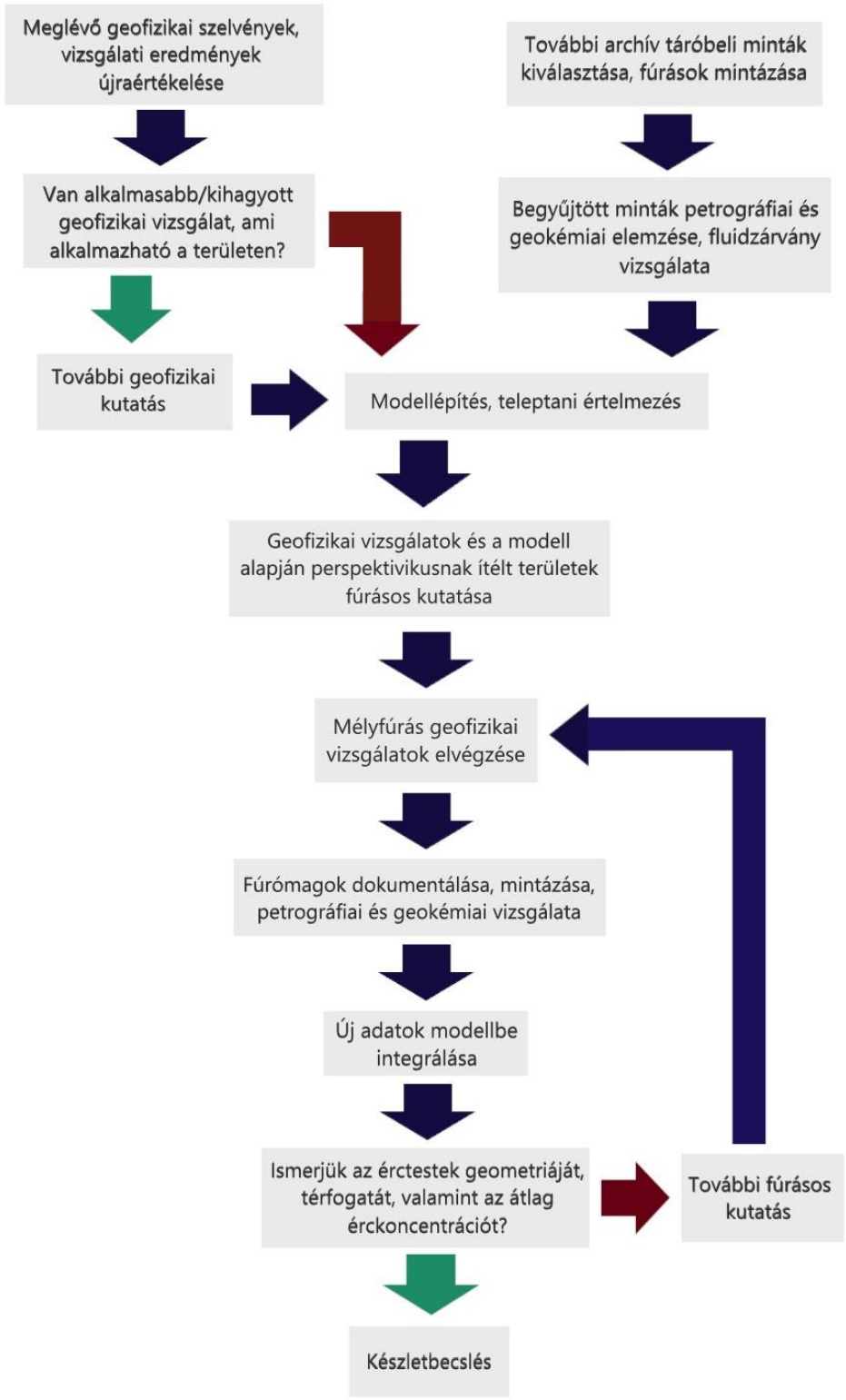
A felszíni indikációk, valamint a mélyszinti ércesedés hidrotermás rendszeren belüli elhelyezéséhez, illetve a terület perspektíváinak meghatározásához a következő feladatok elvégzése jelenthetne előrelépést:

- Az elérhető archív adatok és minták összegyűjtése, adatbázis építése.
- Geofizikai vizsgálatok archív anyagainak újraértékelése, szükség esetén új/kiegészítő mérések elvégzése – amennyiben a terepviszonyok engedik (pl. szeizmikus reflexiós mérések, tomográfia, tranziens elektromágneses mérések).

- Validált archív adatok alapján kiinduló földtani-ércföldtani modell építése.
- Hidrotermás átalakulási zonáció, valamint a vulkáni-hidrotermás fáciesek felszíni térképezése, ásványtani-kőzettani és geokémiai jellegeinek meghatározása, fluidum-kőzet kölcsönhatás modellezése, rendszerszemléletű ércföldtani modell meghatározása révén további perspektivikus területek kijelölése.
- További felszíni, illetve archív, a tárókból és a mélyített fúrásokból származó minták petrográfiai és akkreditált laboratóriumban végzett geokémiai vizsgálata (XRD, ICP OES, ICP MS, LA-ICP-MS, SEM-EDS, fluidzárvány-mikrotermometria, stabil-izotópos vizsgálatok).
- Nyersanyagkutatási célú vektorozás ásványkémiai, teljeskőzet geokémiai, fluidzárvány, indikátor ásvány és geofizikai vizsgálatok alapján.
- Új földtani- geofizikai- és geokémiai információk beépítése a modellbe.
- Geofizikai anomáliákra telepített kutatófúrások mélyítése

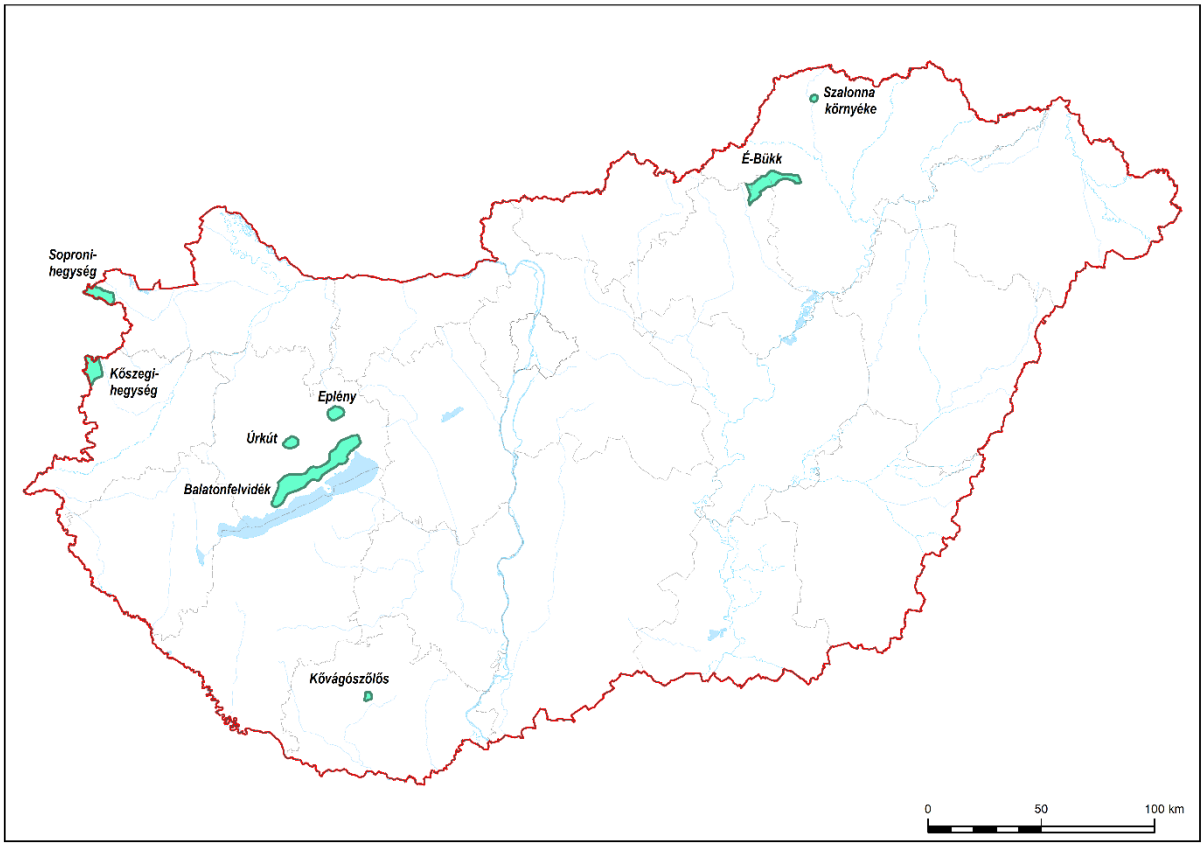
Az említett feladatok elvégzésétől és azok eredményeitől függően a terület teljes körű feltárása a geofizikai vizsgálatokra alapozott további fúrásos kutatás nélkül nem lehetséges. A kutatás folyamatát a 12. ábra foglalja össze.

Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés kutatási folyamata



12. ábra Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés kutatásának egyszerűsített folyamatábrája.

2.6. Foszforit és foszfátokhoz köthető ritkaföldfém előfordulások kutatása



13. ábra Potenciális hazai foszforit és ritkaföldfém tartalmú foszfát előfordulások.

2.6.1. Célterület és projekt bemutatása

A kutatás célja a hazai foszforitos-foszfátos előfordulások és a hozzájuk kapcsolódó ritkaföldfém (RFF) potenciál korszerű szemléletű és módszerű felderítése és célterületek kijelölése a gazdasági hasznosíthatóságot célzó további részletes kutatásokhoz (13. ábra). Foszfor-tartalmú ásványok (elsősorban apatit, monacit, xenotim) számos magmás, metamorf és üledékes kőzetben jellemzően akcesszórikus ásványokként fordulnak elő, melyek kristálykémiai sajátosságaik miatt a RFF-ekben dúsulhatnak. Azonban a kőzeteknek az akcesszórikus foszfát-ásványokhoz köthető RFF koncentrációi nem jelentenek kiemelkedő ércpotenciálokat. A ritkaföldfémek jelentősebb magyarországi koncentrálódásai (a külön projektanyagban tárgyalt torlatos előfordulások mellett) a különböző magmás és üledékes eredetű kőzeteket felülbélyegző metamorf és epigenetikus-hidrotermás folyamatok, illetve üledékes-karbonátos kőzetek felhalmozódásai során jöttek létre.

A nagy foszfor-tartalmú metamorf kőzetek magyarországi előfordulásainak egyik sajátos példája a Soproni-hegységben a MÉV által korábban folytatott U-Th kutatások során felismert RFF tartalmú kvarcit, mely kianitos csillámpalába települve lencsésen, helyenként 1 m vastagságot is elérő módon fordul elő. A kvarcitban RFF-gazdag foszfát-ásványok dúsulnak. A

RFF tartalmú kvarcit-lencsék és padok össz-RFF tartalma szeszélyesen változik, eléri a néhány százalékos mennyiséget, de helyenként (egyes mintákban) a 10%-ot is meghaladja: itt fordulnak elő a Magyarországon megismert RFF előfordulások legnagyobb értékei. Az RFF dúsulásokat tartalmazó kőzettestet a korábbi kutatások csapásirányban 250-300 m, míg dőlésirányban 100-150 m hosszban tudták kimutatni. Nagy RFF-tartalmú kőzettörmelék azonban sokkal nagyobb területen fordul elő, ami felveti annak lehetőségét, hogy a kvarciton kívül más formációkban is előfordul RFF dúsulás, illetve a kvarcit nagyobb területen is kimutatható. Kisebb (100 ppm-es nagyságrendű) RFF dúsulások a Fertőrákos környéki metamorf kőzetekben és a Kőszegi-hegység metamorf paláiban is ismertek. A kiugró RFF koncentrációk miatt a terület reambuláló kutatását javasoljuk, amelyet a MECSEKÉRC Zrt-nél rendelkezésre álló jelentések és minták alapján lehetne elkezdeni.

Az úrkúti és eplényi mangánérctelep is tartalmaz foszforit betelepüléseket, amely szintén kritikus nyersanyag. Az SZTFH jogelőd MFGI-ben történt ICP-MS mérések alapján a foszforitokban az összes ritkaföldfém mennyisége elérheti a 0,5 tömeg%-ot. A kiemelkedő RFF tartalmak felvetik annak a szükségességét, hogy az úrkúti és eplényi mangánércekből történő fém-mangán kinyerésére javasolt kísérletek elvégzése és ezek sikeressége esetén az ipari méretű eljárások bevezetése során a ritkaföldfém-tartalmak kinyerhetőségére is hangsúlyt lehet helyezni.

Jelentősebb koncentráció értékekkel (akár 1000 ppm-et is elérő össz-RFF tartalommal) epigenetikus-hidrotermás RFF indikációkat a Balatonfelvidék paleozoos, illetve pannon korú üledékes képződményeiben, továbbá a Bükk északi részének szintén paleozoos korú, gyengén metamorfizált üledékes képződményeiben azonosítottak a korábbi kutatások. Ez utóbbihoz hasonlóan, a Rudabányai-hegységben Szalonna környékén több fúrásban harántoltak 100 m vastag riolitösszletet, melyben a Szalonna-10-es számú fúrásban egy néhány m-es szakaszban anomális RFF, U, Y és P tartalmat mutattak ki. A Budapesti Műszaki Egyetem Tanreaktorában neutronaktivációs elemzéssel meghatározott La (83,0 g/t), Ce (215,0 g/t), Sm (39,0 g/t), Eu (0,93 g/t), Tb (9,4 g/t), Tm (5,5 g/t), Yb (33,0 g/t) és Lu (6,5 g/t) összes mennyisége 391,33 g/t. A többi ritkaföldfém koncentrációja a módszerrel nem volt meghatározható. A kimutatott ritkaföldfém anomália mellett igen jelentős értéket képvisel az Y (600 g/t, XRF meghatározás) és feltűnő az U értéke is (155 g/t, neutronaktivációs elemzés). A kutatás célja így a Szalonna-10 számú fúrás által harántolt riolitban megismert ritkaföldfém, Y, P és U dúsulás genetikájának, vastagságának, területi elterjedésének és esetleges gazdasági értékének a megismerése.

Ezen indikációk többnyire foszfát-ásványokhoz kötött RFF tartalma ellenőrzést kíván, annál is inkább, mivel a korábbi kutatások gyakran színképelemzéssel határoztak meg elemkoncentrációkat, és így az adatok nagyfokú bizonytalansággal terheltek.

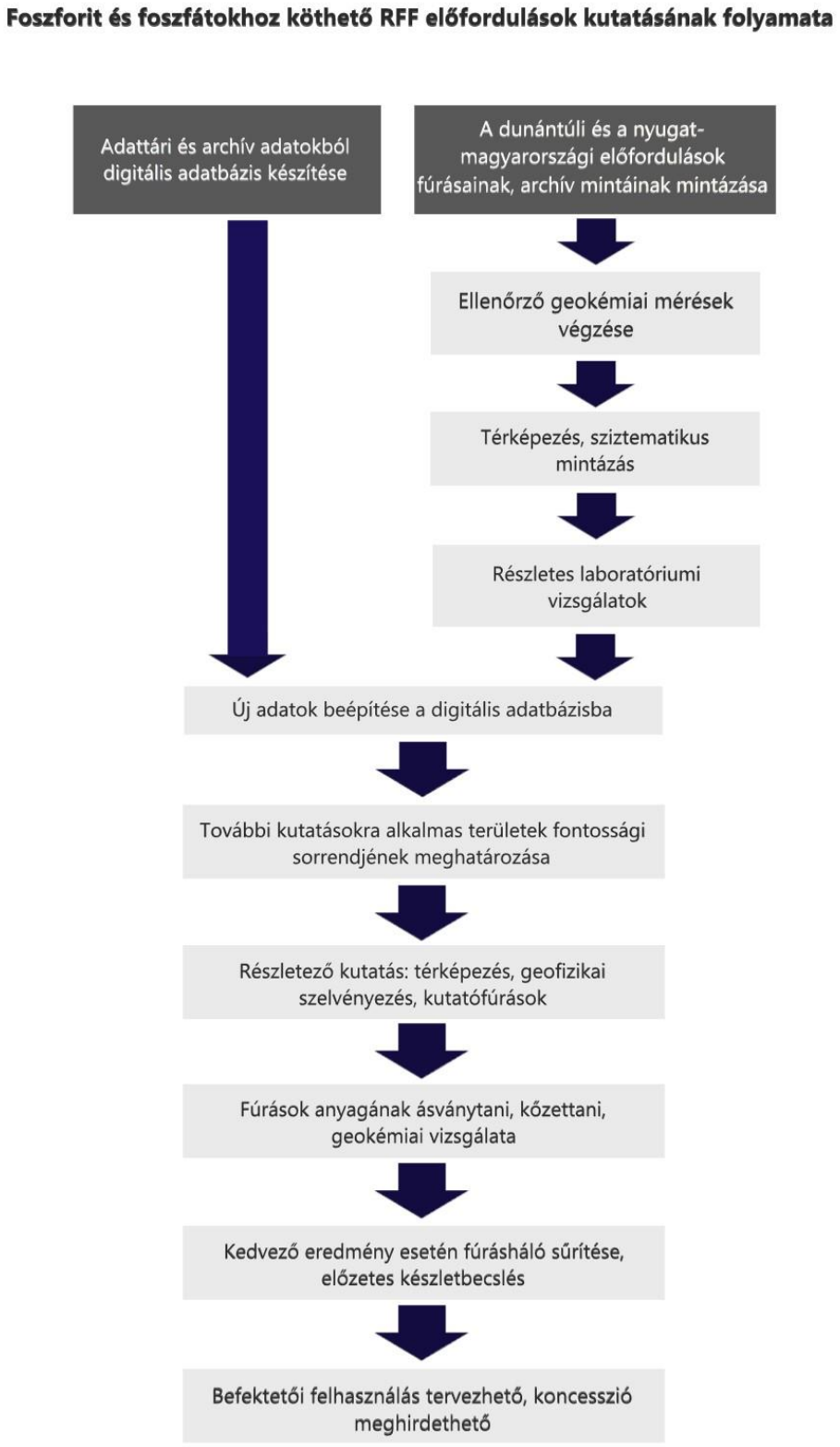
A magyarországi bauxit-telepekben is kimutatható 1000 ppm-es nagyságrendet is elérő össz-ritkaföldfém tartalom, mely főként a bauxit akcesszórikus foszfát ásványaihoz kötődik, de ezt a hazai bauxitok kritikus elemkutatásáról szóló projektanyagban tárgyaljuk.

Mivel a foszfor és foszforit szintén kritikus nyersanyag, ezért a ritkaföldfém-tartalom mellet ezekre is perpsektívikusak a fentikben felsorolt előfordulások.

2.6.2. Kutatási feladatok ismertetése

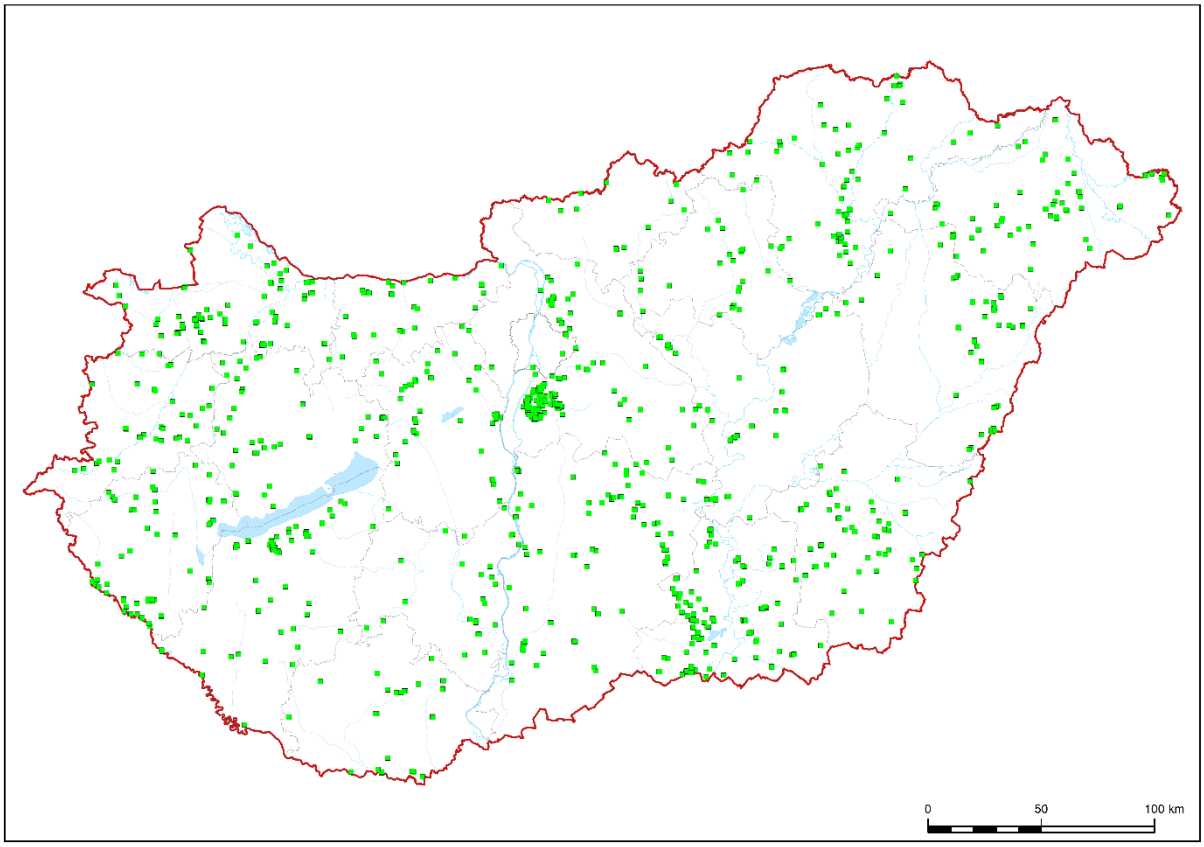
- A MECSEKÉRC Zrt-nél és az SZTFH-nál fellehető adattári jelentések, földtani-geofizikai és geokémiai adatok alapján a magyarországi RFF előfordulásokra vonatkozó egységes digitális adatbázis létrehozása.
- A legjelentősebbnek ítélhető nyugat-magyarországi foszfátásványokat tartalmazó metamorfitok, a Dunántúl foszforitos kifejlődései és az úrkúti-eplényi mangánérc, továbbá a Szalonna-10-es fúrás anyagának reprezentatív mintázása és korszerű, akkreditált laboratóriumokban elvégzett RFF elemzése a korábbi adatok ellenőrzése céljából. Ezzel párhuzamosan az egyéb indikációk (pl. É-Bükk) fúrásainak és archív mintáinak (ha léteznek), illetve a terepen begyűjthető reprezentatív mintáinak ellenőrző mérése.
- Az ellenőrző mérések eredményei alapján terepi térképezési és hordozható XRF mérésekkel támogatott szisztematikus mintázási munkálatok elvégzése a perspektivikusnak ítélt területeken.
- A begyűjtött mintaanyag részletes laborvizsgálata (XRD, ICP MS, ICP OES, EPMA, LA-ICP-MS) a geokémiai, litológiai és ásványtani jellemzőnek meghatározása céljából.
- Felszíni geofizikai vizsgálatok kivitelezése (VESZ) a Szalonna-10 számú fúrás, valamint a felszíni feltárások mellett és környezetében a riolit területi elterjedésének a megismerése céljából.
- A geokémiai, ásványtani és kőzettani vizsgálatok eredményeinek beépítése a magyarországi RFF előfordulások digitális adatbázisába és ez alapján a további kutatásokra alkalmas területek fontossági sorrendjének meghatározása.
- A részletező kutatásra alkalmasnak ítélt területe(ke)n részletező térképezés és felderítő geofizikai szelvényezés alapján felderítő kutatófúrások helyeinek kijelölése és a fúrások kivitelezése.
- A felderítő fúrások maganyagainak geokémiai-ásványtani-kőzettani vizsgálata. Kedvező eredmények esetén, ha szükséges, akkor a fúrási háló és a fúrásos adatbázis oly mértékű fejlesztése, hogy egy előzetes készletbecslés kivitelezhető legyen.
- A geokémiai, ásványtani és kőzettani vizsgálatok eredményeinek beépítése a magyarországi RFF előfordulások digitális adatbázisába.

A foszforit és a hozzá köthető ritkaföldfém előfordulások vázlatos kutatási folyamatát a 14. ábra mutatja



14. ábra Foszforitok, foszfátok és az ezekhez kapcsolódó ritkaföldfém előfordulások kutatásának egyszerűsített folyamatábrája

2.7. Torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatása Magyarországon



15. ábra A fontosabb homokbányák (lehetséges torlatok hordozói) elterjedése Magyarországon.

2.7.1. Célterület és projekt bemutatása

A világ számos országában (pl. Ausztrália, India, Brazília, Indonézia) hasznosítják a torlatos rutil-, cirkon-, ilmenit- és monacit felhalmozódásokat. Az úgynevezett „mineral-sand" olyan előfordulások összefoglaló neve, ahol a nehézásványok kis mennyisége ellenére a komplex hasznosítással a kis mennyiségben jelenlevő, de nagy értékű titánt, cirkóniumot, ritkaföldfémeket és esetenként aranyat más ásványi nyersanyagokkal együtt hasznosítani lehet. Számos kőzet tartalmaz jelentősebb mennyiségben Ti, Zr és ritkaföldfém-tartalmú ásványokat, például rutilt, ilmenitet, cirkont, monacitot, xenotimot, vagy cirkont. Ezek az ásványok nagy fajsúlyuknak, kémiai és fizikai ellenálló képességüknek köszönhetően a kőzetek mállása, aprózódása során épen maradnak, és a szállítás során osztályozódva, torlatokba koncentrálódva lerakódhatnak. Ilyen torlatok a ritkaföldfémásványok mellett más nehézásványt, pl. ilmenitet vagy kassziteritet is tartalmaznak. Ilyen torlatos telepek különböző környezetben, pl. tengerpartokon vagy folyódeltákban alakulhatnak ki. A további dúsítás, leválasztás technológiájának kidolgozásával előállítható egy ritkaföldfémben feldúsított anyag. A hazai torlatok feltérképezése, mintázása, elemzése és a ritkaföldfémekre és titánra nézve anomális anyagok további dúsítási technológiájának kidolgozása fontos hozzájárulás lehet a hazai ritkaföldfém- és titánpotenciál felméréséhez. Az SZTFH Földtani Szolgálatának jogelőd

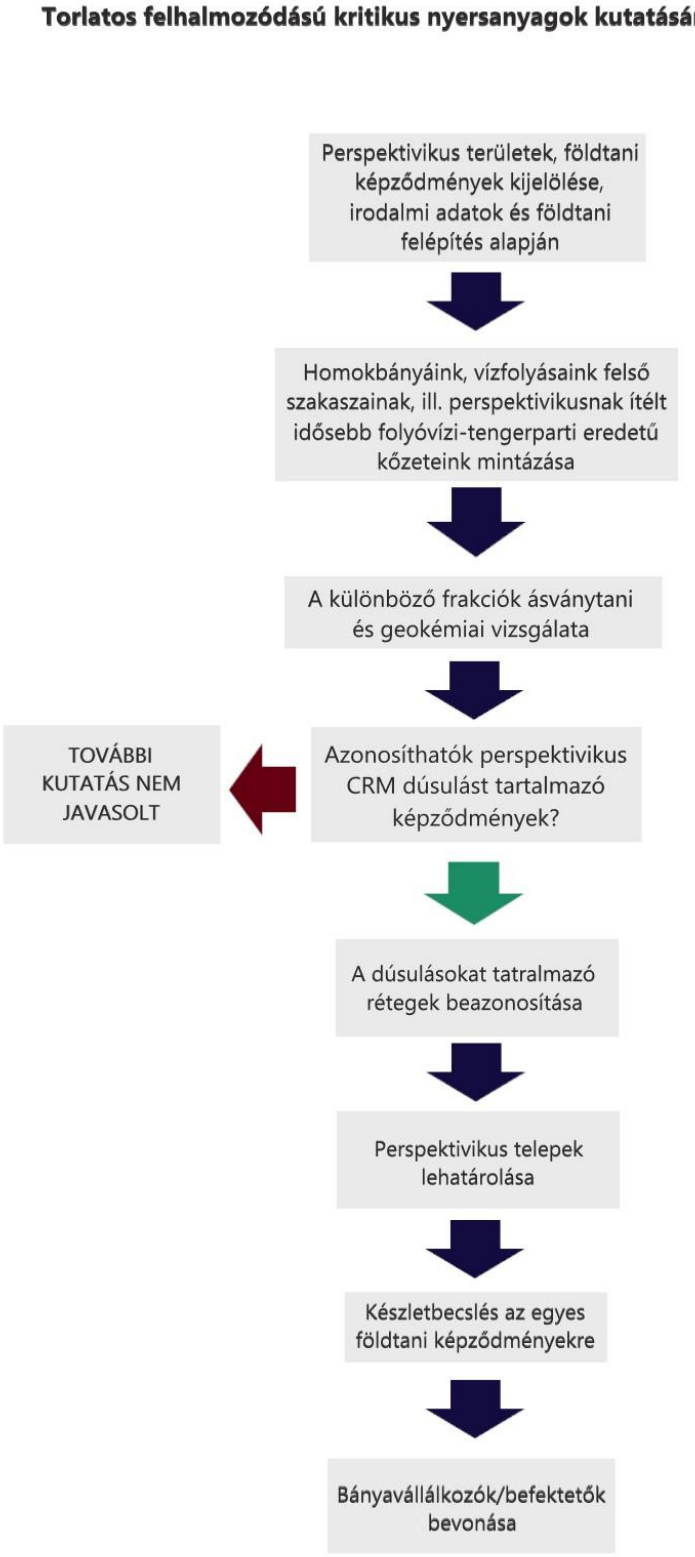
szervezeteiben (MÁFI, MBFH, ELGI, MBFSZ) 2012 óta már történtek torlatos (másodlagos) eredetű kritikus nyersanyag kutatások hazánk területén. A nehézásvány torlatok kutatásában fontos szempontok a lehordási terület földtani felépítése, a felhalmozódás módja (tengerpart, övzátony), időtartama, kiterjedése. Jogelőd szervezeteinkben a korábbi kutatások, valamint az irodalmi adatok rávilágítottak arra, hogy a különböző homokokban leginkább a ~30-80 µm közötti frakcióban dúsulnak a nehézásványok.

2.7.2. Kutatási feladatok ismertetése

A kutatási feladatok több részre bonthatóak:

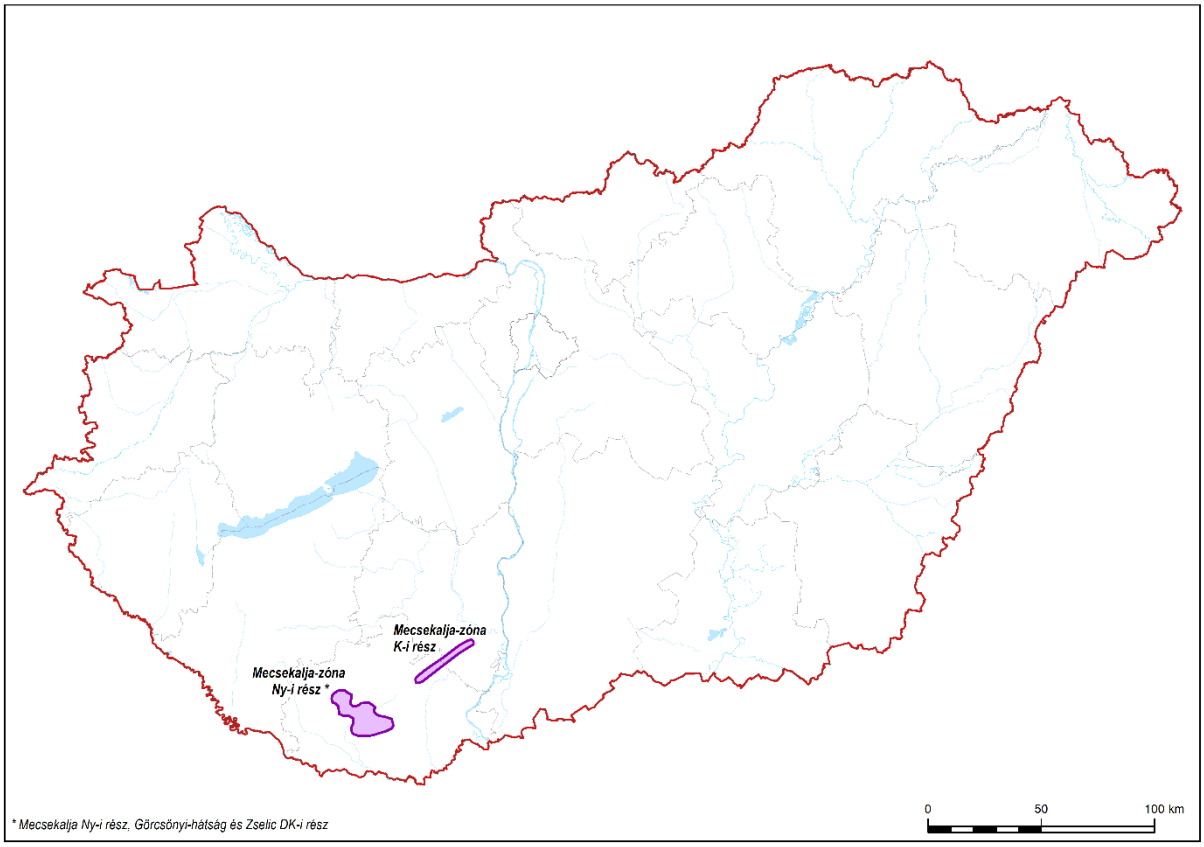
- Perspektívikus területek kijelölése a lehordási területek, a kedvező képződési földtani fáciesek, valamint irodalmi adatok alapján.
- Hazai nagyobb vízfolyásaink felső szakaszain a (recens-szubrecens) kavicsteraszok, övzátonyok mintázása (Duna, Dráva, Mura), a finomfrakció elkülönítésével (<80 µm) és $LiBO_2$-ömlesztéses feltárásával, majd ICP-OES, ICP-MS és XRD elemzésével.
- Homokbányáink (15. ábra) rétegenkénti mintázásai (terepi XRF mérésekkel kiegészítve), a finomfrakció elkülönítésével (<80 µm) és $LiBO_2$-ömlesztéses feltárásával, majd ICP-OES, ICP-MS és XRD elemzésével. Korábbi méréseink alapján például ilyen perspektivikus terület lehet a Mecsekalja-zóna metamorfitjainak, a permi riolitnak és a Mórágyi gránitnak a lepusztulásából származó pannon homokelőfordulások területe, ahol az ilmenit, rutil, anatáz, titanit, monacit, xenotim és esetenként scheelit, termésarany előfordulásaira, és frakció szerinti dúsíthatóságára számítunk.
- Paleo-torlat kutatás: teleptanilag perspektivikusnak ítélt idősebb folyóvízi-tengerparti eredetű kőzeteink vizsgálata kőzetmikroszkópiás, SEM-EDS, XRD, ICP-OES és ICP-MS mérésekkel.

A torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatásának folyamatát a 16. ábra foglalja össze.



16. ábra: Torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatásának egyszerűsített folyamatábrája

2.8. A Dél-Dunántúl pre-mezozoos aljzatának kritikus nyersanyag potenciálja (titán, kobalt, nikkel, nemesfémek)



17. ábra A Dél-Dunántúli CRM kutatási területek.

2.8.1. Célterület és projekt bemutatása

Az SZTFH Földtani Szolgálatán belüli eddigi kutatásaink, illetve szórványos archív magminták leírásai alapján kritikus nyersanyagok (titán, nikkel, kobalt, nemesfémek) potenciális dúsulásai szempontjából perspektivikus, de szinte teljesen ismeretlen és feltáratlan hazai területek mutathatóak ki a Dél-Dunántúl sekély mélységű, nagyrészt metamorf aljzatában (17. ábra). A metamorf aljzati kibukkanások felszínen csak a Mecsekalja tektonikus zónában Pécs belvárosában és a Pusztakisfalu-Zsibrik települések közötti, kb. 1,5 km széles sávban nyomozhatóak. Az innen származó egyes kőzetekben és fúrásanyagban nikkel, kobalt és nemesfémindikációk mutatkoznak. A nikkel és kobalt önálló szulfidásványokat képez (siegenit, gerssdorffit, vaesit, millerit), melyek hidrotermálisan átalakult metabázitokhoz kötődnek. A Nyugat-Mecseki terület fúrómagmintáinak laborvizsgálatai szintén nikkel, kobalt és nemesfém indikációk jelenlétét igazolta neogén üledékek alatt sekély (~80-100 m -es) mélységből. Korábbi kutatások ugyan utaltak nikkel és kobalt indikációkra a Nyugat-Mecsek területén a Helesfa és Gyód térségében mutatkozó mágneses anomáliákra 1961-ben és 1962-ben telepített fúrások anyagának vizsgálataira alapozva, de a korabeli kutatások csak a bizonytalan analitikai pontosságú színképelemzésekre hagyatkozhattak. A Helesfa-1, Helesfa-2, Gyód-2

fúrások maganyagain ICP-MS nyomelem vizsgálatokat végeztünk (összesen 21 db magmintán 70 és 432,8 m közötti mélységtartományból). A magminták ICP-MS nyomelemvizsgálataink alapján átlagosan 0,2% (2000 mg/kg) nikkelt tartalmaznak, ahol a nikkel hintett szulfidokhoz (főként pentlandit, millerit) kötődik (SEM-EDS alapján), amit a királyvizes (AR) kioldásaink is megerősítenek (Az AR-oldhatatlan szilikátokból és oxidokból $LiBO_2$ kioldással nyert legmagasabb nikkel koncentráció, az összes magmintát figyelembe véve mindössze 73 mg/kg). Jellemzőek a kőzetekben kobalt-tartalmú szulfidok is galenit és szfalerit kíséretében, mely hidrotermális hatást tükröz az ultrabázitokban. A Zóna keleti részén, Szekszárdtól DNy-ra mélyült egyes fúrások anyagából a szulfidokhoz kötött nikkel, kobalt és nemesfémanomália és esetenként magas (>1%) titántartalom jellemző, mely utóbbi főként ilmenithez kötődik. Az aljzat kiemelt területe a Mecsekalja tektonikus zóna, mely a legújabb kutatásaink alapján beilleszthető az orogén aranytelepekre jellemző szerkezetföldtani-teleptani modellekbe, sőt, a Mecsekalja-zónából származó aranytartalmú metamorfitok lepusztulását és másodlagos (torlatos) aranyelőfordulást is igazoltunk a Kelet-Mecsekben, mely egyúttal felveti a metamorf zóna lepusztulási termékeiből képződött fiatalabb üledékek torlatos-eredetű kritikus nyersanyag kutatásait is (Ti, Au).

A földtanilag összetett Dél-Dunántúli övezetben a perspektivikusnak mondható kritikus nyersanyagok (titán, kobalt, nikkel, nemesfémek) kutatását több fókuszált, kiemelt területen tervezzük:

- A Mecsekalja tektonikus zóna azon részén, ahol az aljzati metamorf képződmények felszínen, illetve sekély mélységben vannak, ez hozzávetőlegesen egy 1,5 km széles és 30 km hosszúságú sáv Pécsvárad és Szekszárd között, illetve Szentlőrinc és Pellérd közvetlen környezete.
- A Helesfa és Szekszárd közötti sáv mágneses anomáliáinak területén, ahol a hatók nem csak a kritikus nyersanyagok szempontjából mellőzendő alsó kréta alkálibazalt testek lehetnek, hanem metamorfizált, sekély mélységű ultrabázisos-bázisos képződmények is, melyek a kutatások további kiemelt képződményei.
- A Görcsönyi-hátságon lévő mágneses anomáliák területe
- A perm-korú mikrogránit-riolit testek és környezetük kutatása is indokolt lehet, amennyiben folyó kutatásaink alapján a megmintázott, hidrotermálisan átalakult, szulfidosodott magminták (Szava-1 fúrás, Gyód-tól D-re) elemzési adatai bíztató eredményekkel szolgálnak. További, perm-korú riolitot és mellékkőzeteit harántoló fúrások (Vókány-2, Egerág-7, Diósviszló-3) leírásaiban szulfidhintést és nikkel-kobalt indikációkat jeleztek.
- A Görcsönyi-hátság metamorf aljzatában igazolt, a Baksa-2 fúrás teljes mélységében általános posztmetamorf propilites felülbélyegzést rendszeresen polimetallikus ércesedés kíséri (Cu-Zn-Pb), mely már az aljzat legfelső szakaszán is jellemző.

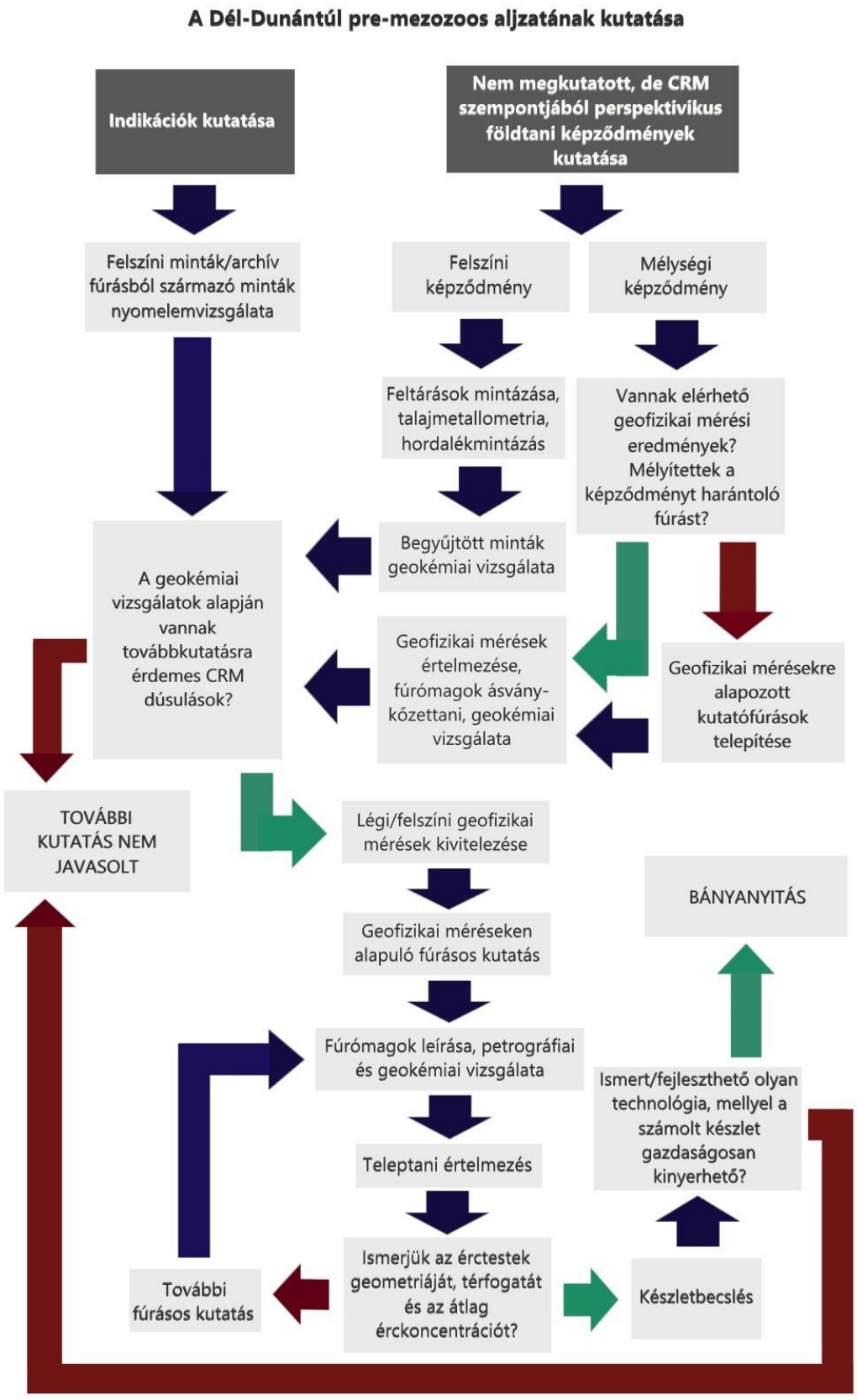
2.8.2. Kutatási feladatok ismertetése

Az eddigi kedvező eredményekre alapozva a terület továbbkutatását folytatjuk, de a felszínen nyomozható kőzetfeltárások területe rendkívül csekély, és a rendelkezésünkre álló archív fúrómagok jelentős része megsemmisült, így a további érckutatások csak fúrások létesítésével, további geofizikai vizsgálatok elvégzésével és komplex laborvizsgálatokkal folytatható:

- A területre eső földtani adatok, fúrások, geofizikai mérések összegyűjtése.
- Az Ófalu-Zsibrik közötti területen a meglévő archív fúrómagokból történt elemzési eredményeinkre, a felszíni kőzetek geokémiai vizsgálataira és az anomáliák térképezésére, valamint a geofizikai méréseinkre alapozva több sekélyfúrás pontját is kijelöltük. Kedvező eredmények esetén a terület további fúrásos kutatása indokolt.
- A teljes kutatási területen a korábban térképezett mágneses anomáliák nagyobb felbontású mágneses felszíni újra felmérése, a magminták paraméterezése és szeizmikus tomográfia szükséges. Kiemelt terület ebből a szempontból a Nyugat-mecseki mágneses anomáliák térsége (Helesfa, Gyód) és a Szekszárdtól délnyugatra eső terület. A mágneses anomáliák újra térképezésével, pontosításával és az anomáliákra telepített ~500-700 m-es fúrásokkal az eddig ismert ultrabázisos testek pontosabb körvonalazása és újabb potenciális ércesedések feltárása válna lehetségessé.
- A fúrások létesítése után a magminták szkennelése, a fúrólyukak karotázs vizsgálata és a fúrómagok komplex laborvizsgálata szükséges (petrográfia, XRD, ICP-OES, ICP-MS, AAS, SEM-EDS, LA-ICP-MS nyomelem és stabilizotóp vizsgálatok, fluidumzárvány mikrotermometria) az ércesedésekhez köthető kőzetátalakulásoknak, meddő és érces érrendszereknek térbeli és időbeli elkülönítéséhez, a paragenezisek meghatározásához, és a genetikai és 3D földtani-teleptani modellek megalkotásához.
- A permi riolitot-mikrogránitot feltáró érces fúrómagok közül eddig egyedül a Szava-1 fúrás maganyagának egy részét sikerült megmintázni, a többi fúrásanyag valószínűleg megsemmisült. Amennyiben folyó vizsgálataink kedvező eredményeket szolgáltatnak, úgy a perm korú szubvulkáni mikrogránit-riolit testek és környezetük ércesedéseinek vizsgálata bevonható a kritikus nyersanyagok kutatásaiba, amit felszíni geofizikai vizsgálatok és légigamma térképezés segíthet, magas koncentrációjú fémdúsulások esetén pedig fúrásos kutatás javasolt.
- A Görcsönyi-hátság metamorf aljzatát harántolt további fúrásokban a Baksa-2 esetén igazolt propilites felülbélyegzés és polimetallikus ércesedés nyomainak azonosítása, térbeli kiterjesztése.

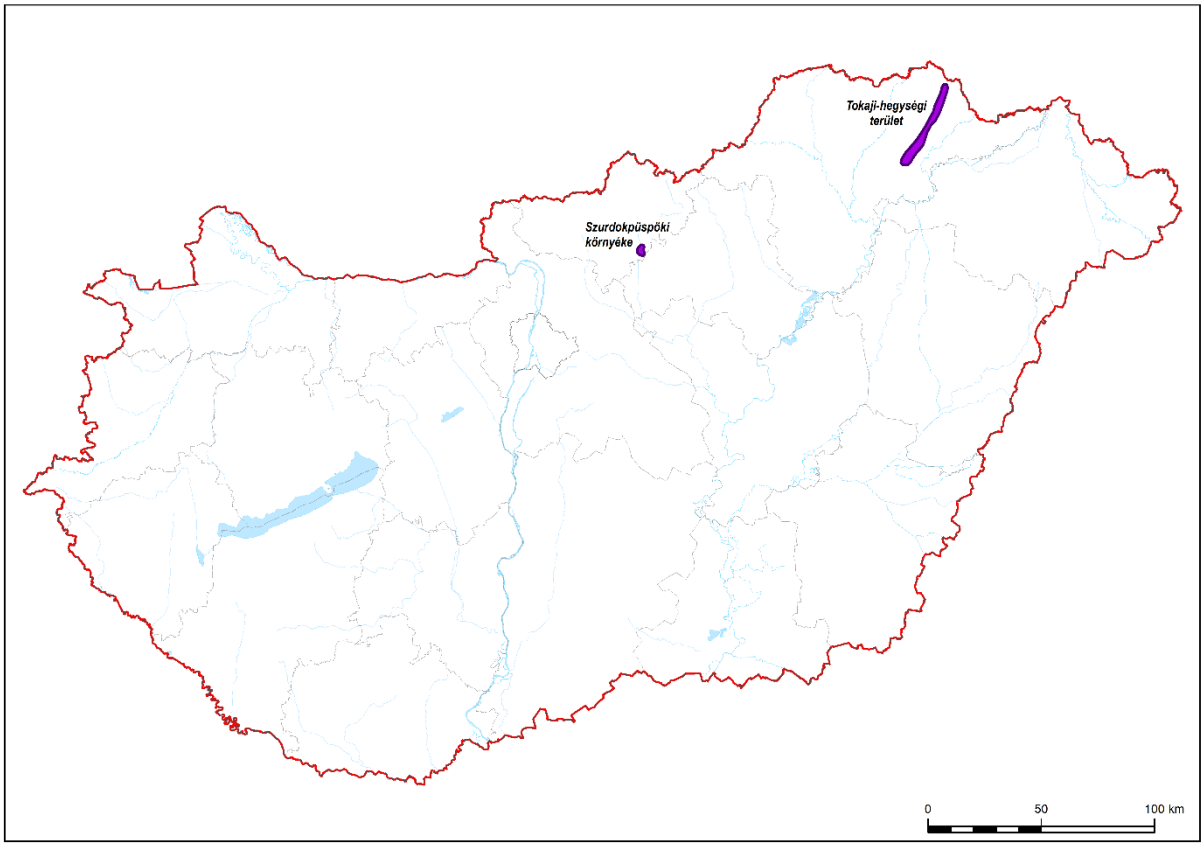
Az eddigi eredményeinkből és a rendelkezésre álló adatokból jól látszik, hogy a Dél-Dunántúl felszínközeli metamorf aljzatának szisztematikus teleptani szemléletű kutatása meglehetősen időszerű, és egybevág az EU jelenlegi nyersanyagpolitikájával: egyes előfordulások teljesen ismeretlenek, más képződmények potenciális ásványi nyersanyagai esetében pedig csupán

szórványos adataink vannak. A 18. ábra azon területek kutatási folyamatát vázolja, ahol csak nagyon kevés adattal rendelkezünk, ám a földtani-teleptani modellek alapján perspektivikusak a kritikus nyersanyagok (CRM) előfordulásait tekintve.



18. ábra A Dél-Dunántúl pre-mozooos aljzatának kutatási folyamatábrája ismeretlen, de teleptanilag perspektivikus területek, illetve indikáció szinten ismert előfordulások esetén.

2.9. A magyarországi neogén vulkáni területek lítium dúsulásainak felderítő kutatása



19. ábra A magyarországi potenciális lítium lelőhelyek elhelyezkedése.

2.9.1. Célterület és projekt bemutatása

A lítium elsődleges nyersanyagforrásai gránitos kőzetek pegmatitjaihoz és un. greizenes átalakulási zónáihoz, intermedier-savanyú vulkáni területek limnikus-hidrotermás agyagtelepeihez, szárazföldi vulkáni területek arid klímájú elzárt medencéinek sóüledékeihez (salar) és mélymedence fluidumok oldottanyag-tartalmához kötődnek. Ezek közül Magyarországon a mélymedence-fluidumok oldott Li-tartalmán kívül az intermedier-savanyú vulkanitok limnikus-hidrotermális kifejlődéseinek lehet jelentős ércpotenciálja.

A Tokaji-hegységre és az egyéb magyarországi intermedier-savanyú vulkáni egységre (Mátra, Börzsöny) az utóbbi évtizedekben kidolgozott, modern és egységes szemléletű vulkáni-hidrotermás rendszermodell alapján megállapítható, hogy a vulkanizmushoz kapcsolódó hidrotermális tevékenység felszíni zónái számos területen megőrződtek. E zónák a Tokaji-hegység és a Mátra egykori hévforrásai által táplált, jellemző módon vulkáni kaldera-szerkezetek depresszióiban, vulkáni-tektonikus süllyedékeiben kialakult limnikus medencék, melyekben jelentős anyagtelepek is képződtek. A világ egyre több pontján fedeznek föl olyan lítium érctelepeket, melyek hasonló földtani környezetben helyezkednek el. Pl.: McDermitt

Kaldera (USA, Nevada) Thacker Passnál, ahol az illites miocén tavi üledékekben 1%-os lítium koncentrációt mértek. A lítium dúsulást itt fluor is kíséri. Vagy említhetjük a nyugat-balkáni lítium-bór ércesedéseket, mint Jadar (Szerbia) és Lopare (Bosznia). Ez utóbbi esetében a bór és a magnézium is a kinyerhető elemek között van.

Az elmúlt két évben folyó lítium kutatás során Északkelet-Magyarország savanyú vulkanitjainak egyes hidrotermás elváltozást szenvedett kőzetei jelenthetik a perspektívát a földtani analógiák alapján. Az eddigi kutatásaink alapján a legígéretesebb hely az Erdőbénye melletti vulkáni-üledékes sorozatban található, ahol az Eb-165-ös archív fúrásban a lítium koncentrációja a fúrás alja felé egyértelműen növekszik. A fúrás legmélyebb pontján (148,5-150 m) elhelyezkedő agyagos erekben a lítium koncentrációja eléri az 542 mg/kg értéket. Bár a felszínhez közeli mintákban a lítium nem mutatott pozitív anomáliát, a mélység felé egyértelműen növekvő lítium koncentrációk miatt a terület perspektivikusnak tűnik. A lítium koncentráció a magnézium koncentrációval és a szmektit tartalommal mutatott pozitív korrelációt. A felszínen Mád és Rátka között több helyen mértünk 100 és 250 mg/kg közötti lítium koncentrációt, amely kiemelkedik a többi minta közül, melyek többségében 10-30 mg/kg közé esik a lítium mennyisége. Egyes mintákban megemelkedik az arzén és az antimon mennyisége is (mindkettő kritikus elem), illetve az arany (1,1 mg/kg-ig), a cézium és a rubídium is mutat jelentősnek mondható pozitív anomáliákat. Az antimon több mintában mutat dúsulást, mintegy 0,1-0,5 m/m % koncentrációban. Ha lítium tekintetében a mélység felé itt is növekvő trenddel számolhatunk, akkor a mélység felé való további kutatás és a további felszíni lítium anomáliák keresése, metallometriai térképezés végzése mindenképpen indokolt ezen a területen.

A Tokaji-hegységben kijelöltünk perspektivikus területeket részben korábbi Tokaji-hegységi munkák adatai, részben az említett eredményeink, részben pedig a hegységre vonatkozó átfogó hidrotermális ércföldtani modell alapján. Ezek alapján először a következő területeket céloztuk meg (19. ábra):

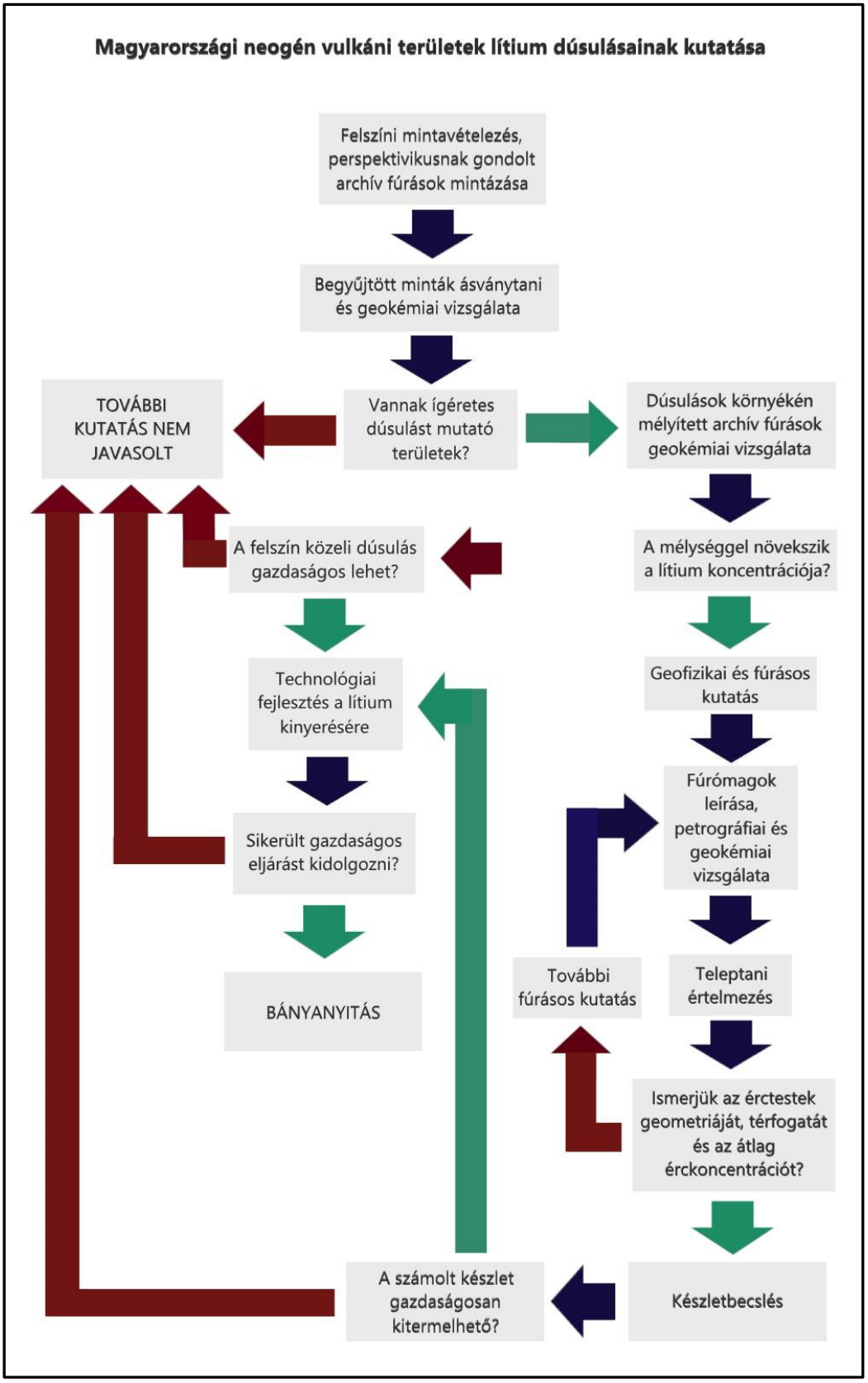
- A Tokaji hegységben:
    - Szegi környéki agyagtelepek;
    - a Mád és Rátka közötti terület limnikus-hidrotermális kifejlődései;
    - Erdőbénye limnikus bentonit-diatómit telepei;
    - Füzérradvány hidrotermális aranyércesedéssel felülírt limnikus kifejlődései;
    - Komlóska bentonit telepe;
    - Kálimetaszomatikus zónák Telkibánya, Rudabányácska és Regéc környékén
- A Mátrában:
    - Szurdokpüspöki környéke.

2.9.2. Kutatási feladatok ismertetése

- A Tokaji-hegységben, valamint a Mátrában perspektivikus területek felkutatása, azonosítása és a perspektivikus területek földtani-geofizikai adatainak összegyűjtése.

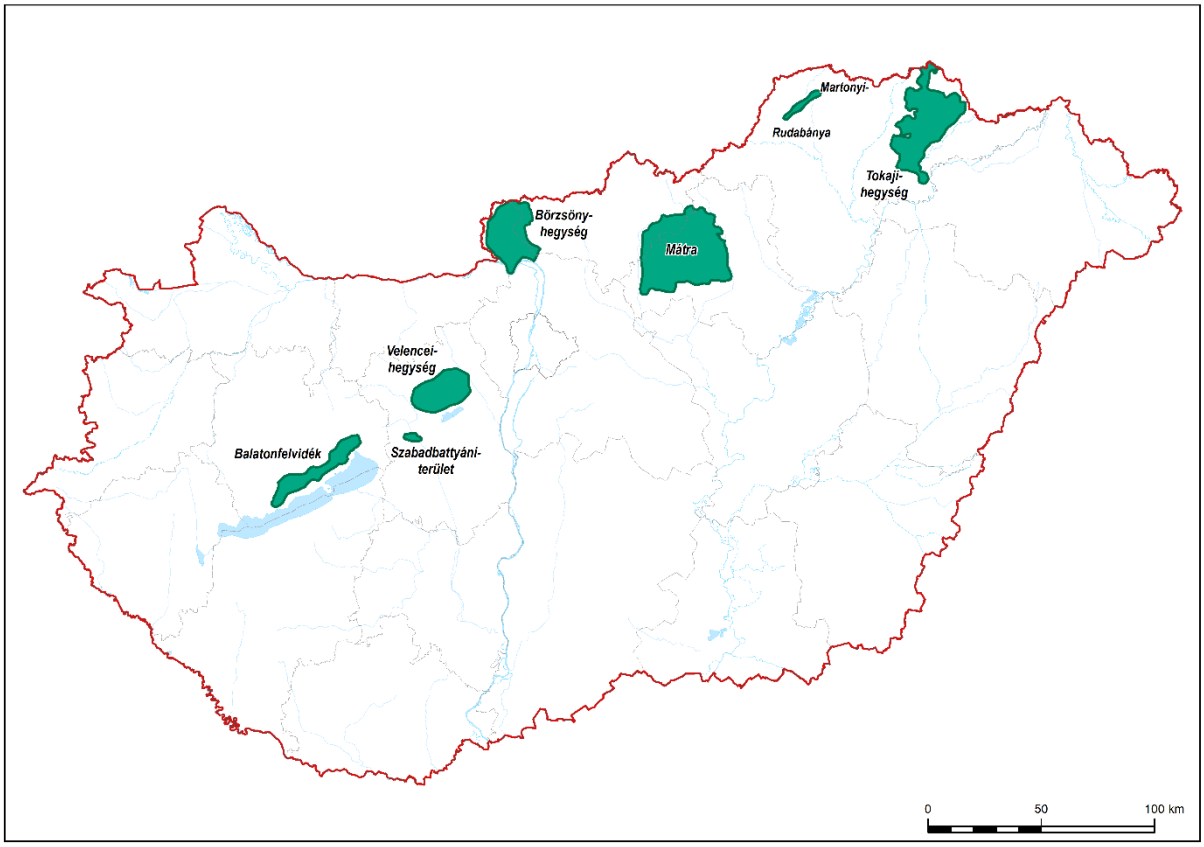
- Terepi mintagyűjtés a felszínről, különös tekintettel a hidrotermás elváltozást szenvedett tavi vulkanoszediment rétegekre, valamint az intenzív kálimetaszomatózist szenvedett kőzetekre. Ez utóbbiak feltérképezésében nagyban segítenek korábbi ércteleptani munkák, valamint a légigamma térképezés eredményei.
- Archív fúrások anyagának begyűjtése és részletes laborvizsgálata (XRD, ICP OES, ICP MS) különös tekintettel a felszíni pozitív lítium anomáliát mutató területeken.
- A felszíni pozitív lítium anomáliát mutató területeken viszonylag sekély mélységű (maximum 200-300 m mély) fúrások tervezése és kivitelezése. Az új fúrások maganyagának dokumentációja és részletes kémiai elemzése.
- Korábbi vizsgálataink alapján a lítiumra perspektivikus területeken gyakran tapasztalunk jelentősebb pozitív anomáliákat As, Sb, Rb, Cs és Au esetében is. Ezek közül az arzén és az antimon kritikus elem. A mintavételezés és a laborvizsgálatok során érdemes ezekre az elemekre is odafigyelni.
- Amennyiben a projekt finanszírozása megengedi, hosszabb távon a felszíni metallometriai térképezés és mintázás eredményeképpen kimutatott felszíni, vagy az archív fúrások vizsgálatával megismert mélységi indikációk jobb megismerése érdekében sekély, illetve mélyfúrások tervezése, kivitelezése.
- felszíni és mélyfúrásgeofizikai mérések az anomáliák lehatárolására
- Laborvizsgálatok (XRD, ICP OES, ICP MS)

A magyarországi intermedier-savanyú vulkáni területek (Tokaji-hegység, Mátra) lítium kutatás menetét a 20. ábra foglaltuk össze.



20. ábra Potenciális lítium lelőhelyek kutatásának egyszerűsített folyamatábrája

2.10. Magyarországi cinkércek kritikus nyersanyag potenciálja



21. ábra Hazai cinkérc előfordulások területei.

2.10.1. Célterület és projekt bemutatása

A cink egyik legfontosabb ércásványa a szfalerit, mely a képletében szereplő cinken és kénen túl számos más elemet is be tud építeni a szerkezetébe (Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, In, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, stb.). Ezek közül kiemelendő a Ge, Cd, In, Tl, melyeknek a szfalerit az elsődleges nyersanyaga, valamint a Ga, melynek ez az ásvány a másodlagos nyersanyagforrása. A szfalerit a Magyarországon ismert színesfém ércesedésekben széleskörűen elterjedt ásvány (21. ábra). Újabban a cink kénmentes, karbonátos érce, melynek fő ásványa smithsonit ($ZnCO_3$, régies elnevezése „gálmaérc") is jelentősebb figyelmet kapott. A karbonátos cinkércre is jellemző a kritikus nyomelemek, elsősorban a kobalt koncentrálódása. Látható tehát, hogy cink ércásványaiban különösen jó lehetőség rejlik kritikus fémek dúsulására. Mivel a nyomelem beépülést meghatározó képződési körülményekről (pl. hőmérséklet-, redox-, pH-függés, geotektonikai helyzet) már áll rendelkezésre nemzetközi tudományos szakirodalom, érdemes a hazai lelőhelyeket ilyen szemmel górcső alá venni.

A javasolt kutatás célja a hazai szfalerit és nem-szulfidos cinkérc lelőhelyek átfogó vizsgálata, a képződési körülmények rekonstrukciója alapján a lehetséges CRM-tartalmú területek azonosítása, és ezen területeken az ásványkémiai és teljeskőzetkémiai összetétel megismerése.

Ezen felül, a különböző teleptípusok rendszer-szemléletű vizsgálatával akár új, eddig nem ismert előfordulások is azonosíthatóak volnának. További cél annak vizsgálata, hogy a szfalerit előfordulásokkal szorosabb-tágabb kapcsolatban levő nem-szulfidos cinkércek hogyan, milyen körülmények és folyamatok során örökölhetik át a stratégiai szempontból fontos fémtartalmat.

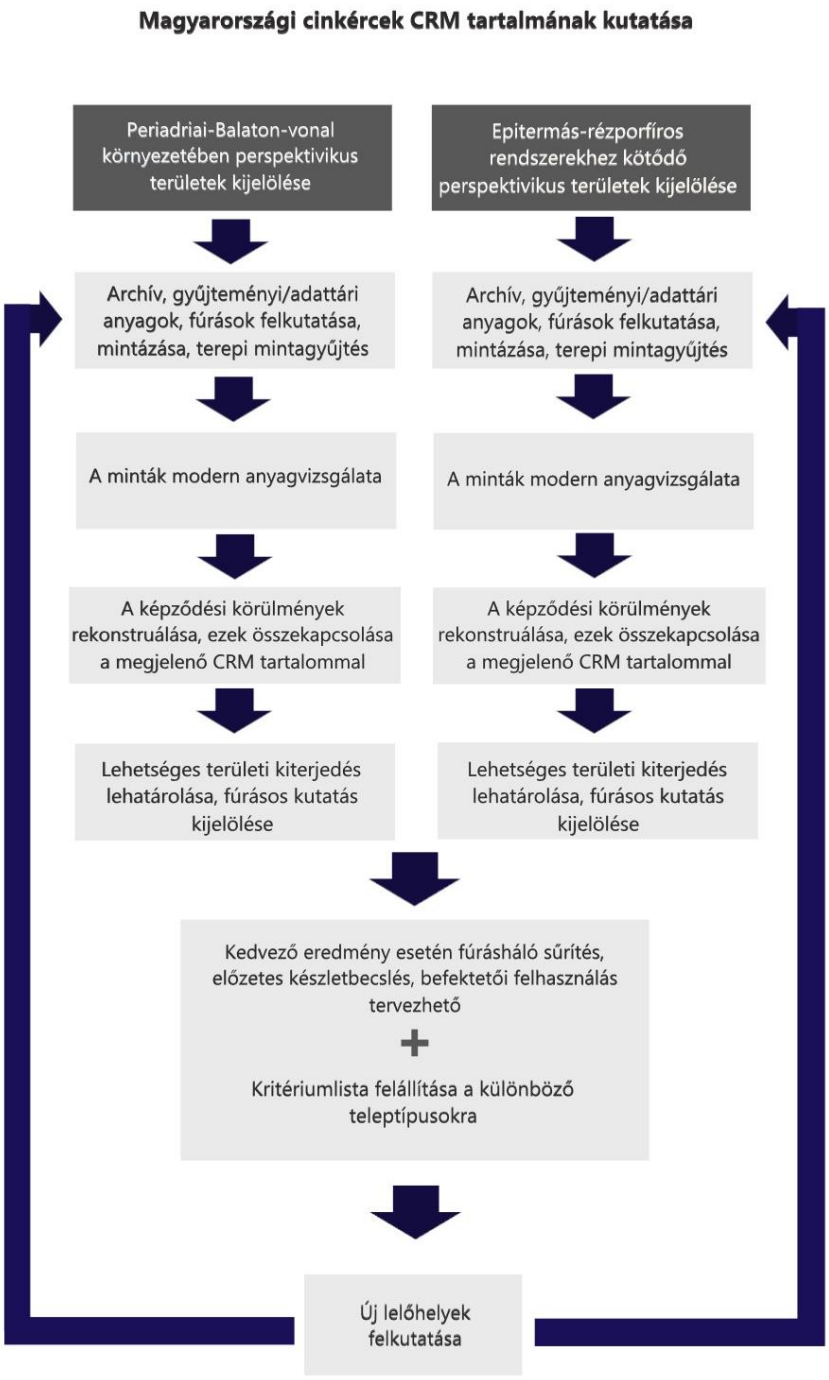
Az ásványtani ismeretek és a földtani analógiák alapján a Periadriai-Balaton-vonal mentén megjelenő Zn-Pb előfordulások (pl. Balatonfelvidék, Szabadbattyán, Velencei-hegység, Rudabánya) szfaleritje esetében elsősorban Ga és Ge tartalom remélhető. A pátkai szfalerites ércben 100-180 mg/kg Ga-ot mértünk az SZTFH Földtani Szolgálatának ICP-MS laborjában. A Rudabánya-Martonyi közötti ércvonulat és a szlovákiai Pelsőczardó (Ardovo) közötti, szintén a Periadriai-Balaton-Darnó vonal zónájába tartozó nem-szulfidos cinkércek előfordulásai jelentős területi kiterjedésűek és ezáltal kutatásra javasolt ércpotenciállal rendelkeznek. A magyarországi neogén vulkáni területek epitermás rendszereinek polimetallikus zónáihoz kötődő szfaleritben (pl. neogén Mátra, Börzsöny, Tokaji-hegység), illetve a recski polimetallikus szkarnban és karbonát helyettesítéses polimetallikus ércekben előforduló szfaleritben szintén számolhatunk kritikus elemek feldúsulásaival. A magasabb hőmérsékletű, oxidatívabb viszonyok között keletkezett szfaleritben esetleg In és Co tartalom fordulhat elő (pl. Recsk). Mivel az ELTE és a Földtani Szolgálat kutatói aktívan dolgoztak a témában az utóbbi évtizedekben, így egyes területekről már áll rendelkezésünkre részletes, modern analitikai (ICP-OES, ICP-MS, elektronmikroszondás és LA-ICPM-MS) módszereken alapuló ásvány- és teljeskőzetkémiai adatbázis, ami alapján a továbbkutatás javasolható.

2.10.2. Kutatási feladatok ismertetése

- A Periadriai-Balaton-vonal környezetében, valamint a hazai epitermás-rézporfíros rendszerekhez kötődően megjelenő perspektivikus területek azonosítása a földtani analógiák, és az előzetes saját kutatási eredmények alapján meghatározott ércföldtani rendszermodellek alapján.
- Kritériumlista felállítása a különböző teleptípusokra nézve, melynek eredményeként a már ismert előfordulásokon túl esetleges új lelőhelyek felkutatása is lehetségessé válik.
- Az azonosított perspektivikus területekről meglevő földtani és geofizikai adatok összegyűjtése, adatbázisba szervezése és előzetes földtani-ércföldtani modellek felépítése.
- Terepi mintagyűjtés, szükség esetén térképezés a kevésbé felmért, de jelentős ércpotenciálú területeken (pl. a Rudabánya-Pelsőczardó (Ardovo) közötti érces vonulat). Az utóbbi területen a terepi hordozható XRF mérések segítségével történő térképezés és mintázás vezethet eredményre, mivel a kis vastartamú szfalerit és a nem-szulfidos cinkérc finomszemcsés jelenléte a befogadó karbonát kőzetekben egyszerű terepi makroszkópos megfigyelésekkel nem azonosítható.
- Archív gyűjteményi anyagok felkutatása (fúrások, múzeumok).

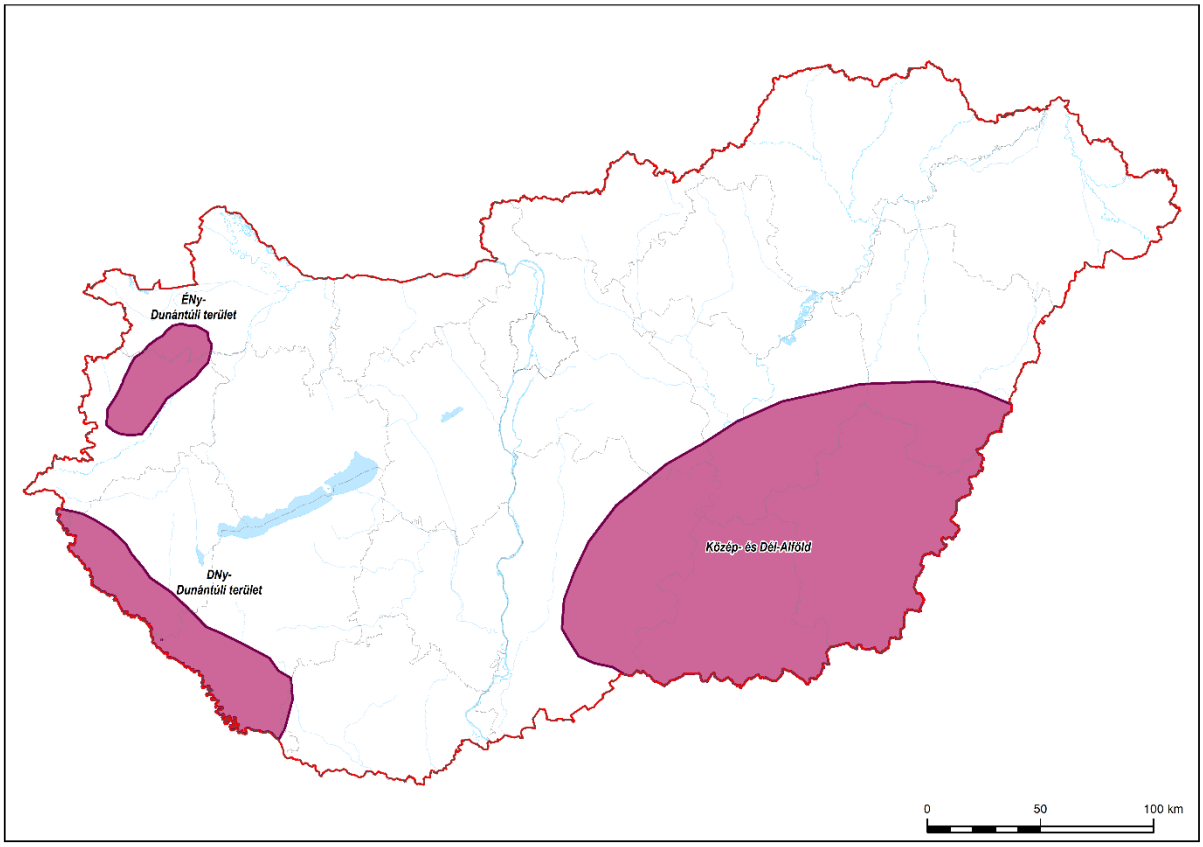
- A begyűjtött minták modern anyagvizsgálata, az anyag jellegétől függően: ásványkémia, teljeskőzet geokémia akkreditált laboratóriumban, fluidzárvány vizsgálatok, szükség esetén XRD, stabilizotóp-geokémia, stb.
- A képződési körülmények rekonstruálása, ezek összekapcsolása a megjelenő CRM tartalommal. Ez alapján a lehetséges területi kiterjedés minél pontosabb lehatárolása, a fedett, de feltételezhető potenciális kutatási területek kijelölése.
- Az így kijelölt területeken további, akár fúrásos kutatás kivitelezése.

A magyarországi cinkércek egyszerűsített kutatási folyamatát a 22. ábra mutatja.



22. ábra A magyarországi cinkércek CRM fókuszú kutatásának egyszerűsített folyamatábrája.

2.11. A geotermikus és olajkísérő fluidumokhoz kapcsolódó lítium potenciálja



23. ábra Hazai potenciális, vízben oldott lítium előfordulások elhelyezkedése.

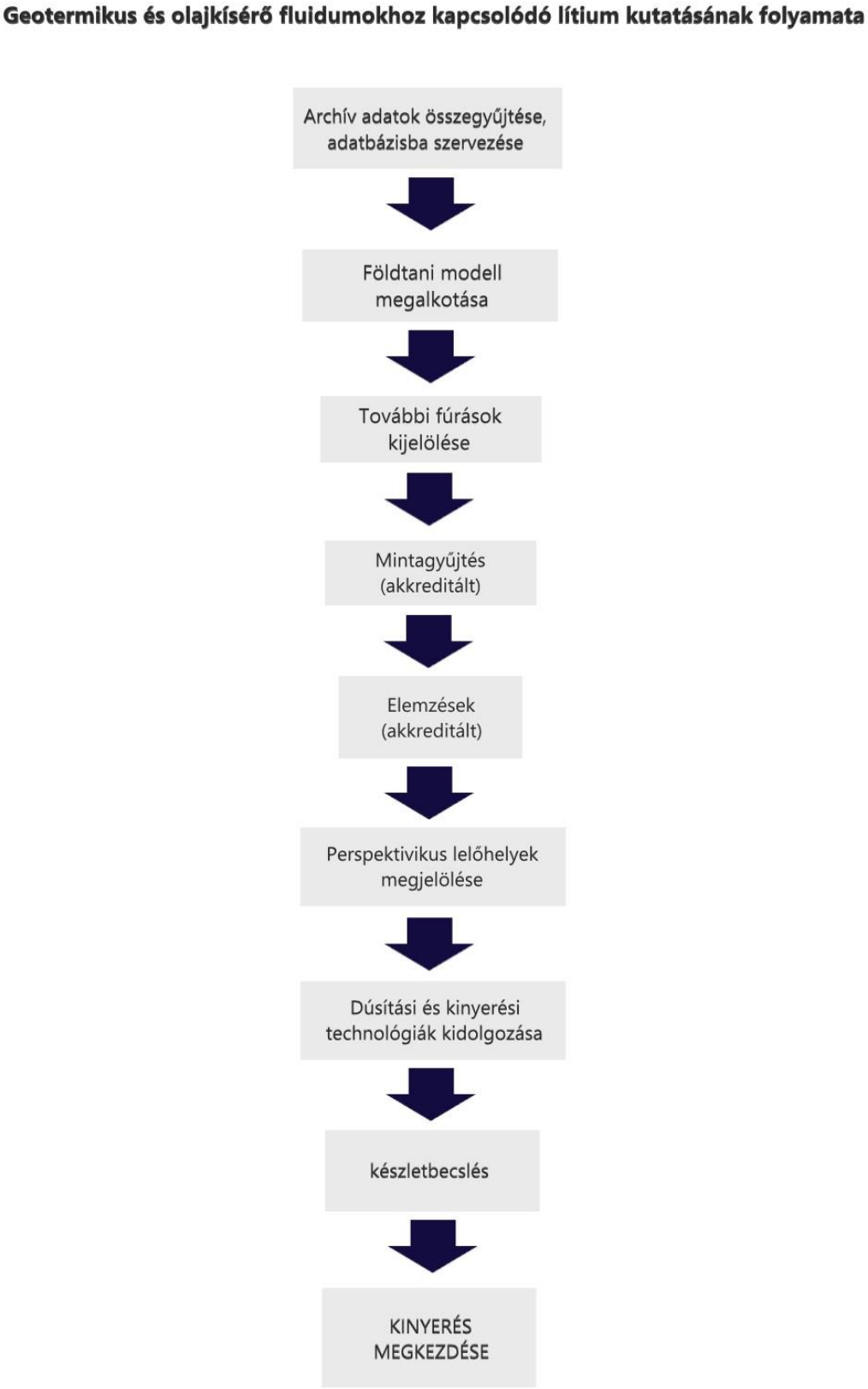
2.11.1. Célterület és projekt bemutatása

A geotermikus és olajkísérő fluidumokhoz kapcsolódóan előzetes kutatások igazolták egyes előfordulások jelentős oldott Li-tartalmát. A szénhidrogén-ipari fluidumokból végzett vízelemzések lítium koncentrációja a legperspektivikusabb területeken, jellemzően a Dél- és Közép-Alföld térségében 50 000-169 000 µg/l Li-koncentrációkat mutatnak (23. ábra). A SZTFH ezeket a kiemelkedő értékeket produkáló előfordulásokat a 2023. évtől, akkreditált mintavételezéssel elkezdte újra vizsgálni. Habár a kutatási program még folyamatban van, de az előzetes eredmények alapján az emelkedett koncentrációértékek rendre megjelennek. A legkiemelkedőbb értékeket a Battonyai- és a Pusztaföldvári-hát előfordulásaiban találtuk. A terület részletes vizsgálata, valamint az országos feltárási program befejezése közelebb vihet a hazai potenciál pontosabb ismeretéhez.

2.11.2. Kutatási feladatok ismertetése

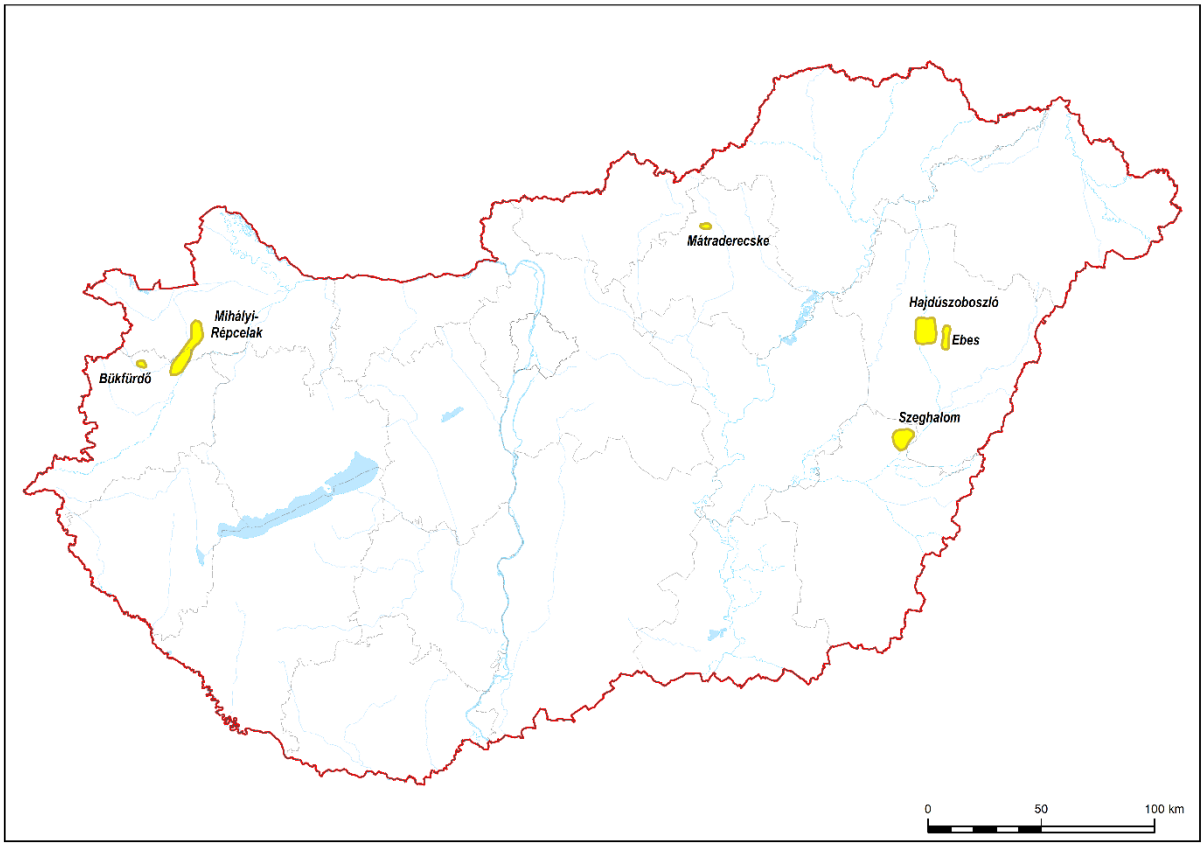
- Célszerű a víz-kőzet kölcsönhatás modellek további finomítása különböző reakció és nyomás viszonyokat figyelembe véve, az ásványosösszetétel és a víz összetétel változtatása mellett.

- Következő lépésként, többek között, megvizsgáljuk, hogy a korábbi nagy lítiumtartalmú fluidumok, vagy várhatóan potenciálisan nagyobb lítiumtartalmú felszín alatti fluidumokat mely (működő) CH-ipari bányatelepeken vagy geotermikus rezervoárokból érdemes megmintázni.
- Szükséges annak vizsgálata, hogy a Li-gazdagabb fluidumok milyen szerkezeti elemek mentén jelentkeznek.
- Feltételezhető, hogy a magas Li-koncentráció forrása a Battonyai gránit magas Li-tartalmú biotitjának átalakulása/mállása. Li-koncentráció szempontjából érdemes a többi hazai felszíni és eltemetett gránit (+-ortogneisz) területen a csillámok Li-tartalmát szisztematikusan megvizsgálni. Nemzetközi tendenciák alapján hosszú távon felmerülhet a Li felszabadítása a biotitból in situ leaching technológiával
- A szegedi termálrendszer termelt vizének és a rezervoár kőzet geokémiai összetételének szisztematikus, párhuzamos vizsgálata megmutatta, hogy a tároló üledékben mobilizálható formában, jelentős mennyiségű kritikus elem akkumulálódik. A rohamosan fejlődő in situ leaching technológia jövőbeli alkalmazhatósága szükségesség teszi a víz összetétele mellett a furadék anyag mélység helyes kémiai és ásványos összetételének ismeretét is.
  A vízben oldott lítium és más elemek kinyerésének egyszerűsített folyamatábráját mutatja a 24. ábra.



24. ábra A vízben oldott lítium és más elemek kinyerésének egyszerűsített folyamatábrája.

2.12. Magyarország hélium potenciálja



25. ábra Hazai potenciális hélium előfordulások.

2.12.1. Célterület és projekt bemutatása

A hazai szénhidrogén- és inertgáz-előfordulások He-koncentrációjának vizsgálata, elsősorban tudományos célzattal, a gázok eredetének és korának meghatározása érdekében az 1990-es évek óta folyik. Jelentősebb koncentrációjú előfordulásokat ismerünk Hajdúszoboszló, Ebes (Ballentine et al., 1991) valamint Répcelak (Palcsu et al., 2014) környékéről, de említésre méltó a szeghalmi mező koncentrációértéke is (Lollar et al., 1994) (25. ábra). E kisszámú adat szerint Magyarországon a jelentős He-koncentráció CH-gázhoz vagy nitrogén és CH-gáz keverékéhez kötődik, a CO_2 telepek héliumtartalma elenyésző. Az áttekintésből ugyanakkor az is látszik, hogy az országos, szisztematikus vizsgálatok hiányoznak, így a szénhidrogén és egyéb ismert „inert gáz" előfordulások tényleges potenciálja kevéssé ismert. Ki kell jelenteni, hogy a geotermikus hasznosításokhoz kapcsolódó esetleges He-potenciál egyáltalán nem kutatott. A korai, igen csekély számú eredmény ugyanakkor akár rendkívül jelentős potenciált is jelezhet.

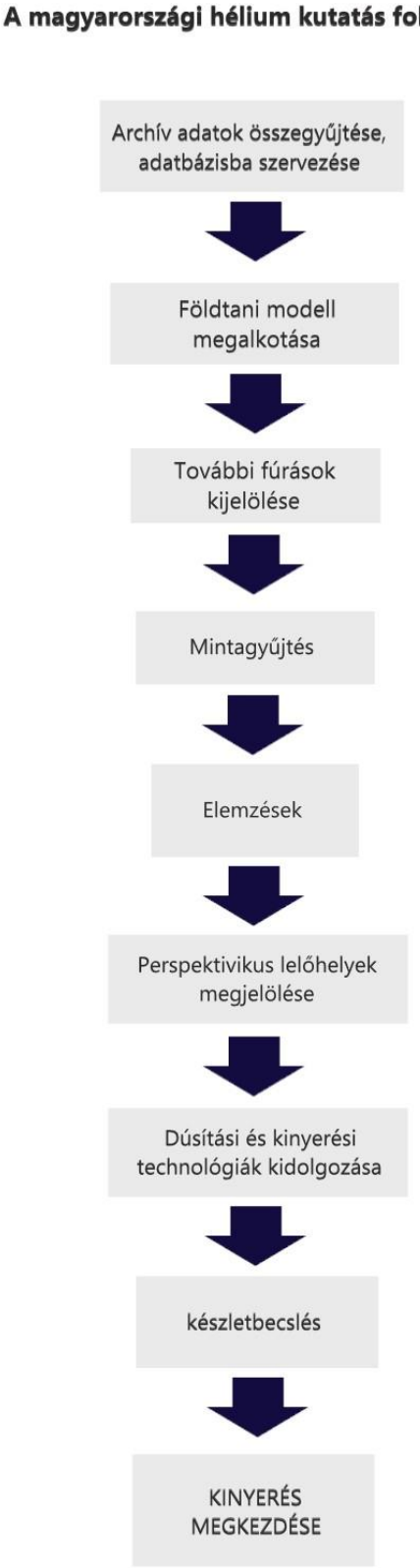
Egy országos célzott vizsgálat lehetővé tenné a hazai potenciál pontosabb ismeretét, valamint a perspektivikus területek kiválasztását, esetleg a hazai viszonyokra optimalizált leválasztási technológia kialakítása is megkezdődhetne. Meg kell ugyanakkor említeni, hogy a hazai

geotermikus fluidumok gáztartalmának (illetve fluidum kísérő gázainak) vizsgálata is jelentős eredményeket hozhat (pl.: Szelényi és Csajághy, 1941).

2.12.2. Kutatási feladatok ismertetése

- Elsődleges feladat a jelenleg elérhető magyarországi archív adatok kritikus átnézése (pl. Mihályi-Répcelak, Hajdúszoboszló, Szeghalom, Bükfürdő, Mátraderecske) és külföldi szakirodalom (pl.: Lengyelország, Ausztrália, USA, Kanada, Afrika, Németország) áttekintése, adatbázisba való gyűjtése.
- Mindezekkel párhuzamosan szükséges megindítani egy országos mintavételezési kampány megtervezését és kivitelezését. Az üzemelő, elsősorban szénhidrogén és szén-dioxid termelő kutak mellett a jelenleg nem termelt nagy inert tartalmú gázkutak teljeskörű vizsgálatára is szükség van.
- Jelentős potenciál lehet a geotermikus fluidumok héliumtartalmának kiaknázásában, így ezek tervszerű mérését és a potenciál felmérését szükséges elvégezni.
- Mindezek mellett a teljesen újszerű előfordulási környezetek kutatását is meg kell kezdeni.

Az országos héliumkutatási projekt gázmintázási feladataihoz szükséges gázmintavételi eszközök beszerzése, valamint a mintavételezés betanítása külső szakértő segítségével. A hélium kutatásának egyszerűsített folyamatábráját mutatja a 26. ábra.



26. ábra A hélium kutatásának egyszerűsített folyamatábrája.

3. Az egyes projektek várható eredményei

3.1. A recski érckomplexum réz és egyéb kritikus nyersanyag potenciáljának kutatása

A recski ásványvagyon következő 1-3 év folyamán tervezett vizsgálata során az adatok, minták, információk összegyűjtésével és kritikai elemzésével, az adatok validálásával, a begyűjtött kontrollminták megelemzésével, a földtani modell újra futtatásával és a 2017-es készletbecslés újra számolásával emelhető a földtani ismeretesség szintje, megfontolható az ércelőfordulás hasznosításának, tendereztetésének újbóli lehetősége. Az adatok és kutatási eredmények digitalizálásával, adatbázisba foglalásával, valamint a kémiai elemzési adatok 3D megjeleníthetőségével a recski érctípusok és befogadó kőzetek adatait modern, a nemzetközi jelentéstételi szabványoknak megfelelő átlátható, visszakereshető és ellenőrizhető rendszerbe foglaljuk, amely az érckutatás modern követelményeinek megfelel. Ezen adatok mellett a háromdimenziós ércföldtani-genetikai modell pontosítása és korszerű ásványtani-kőzettani és geokémiai módszerekkel végzett vizsgálatok eredményeivel történő alátámasztása szintén elengedhetetlen része a nemzetközileg elfogadott jelentéstételi követelményeknek. A meglévő geofizikai mérési adatok újrafeldolgozásával és újabb mérésekkel korszerűbb szerkezeti és földtani modell készíthető és jobban megalapozható újabb – validáló jellegű – mélyfúrások telepítése. Az érctípusok ércföldtani-ércgenetikai modelljeinek elsőrangú szakmai periodikákban (pl. Economic Geology) történő publikálása a befektetői bizalmat is növeli, mivel a földtani adatok és értelmezésük minőségét az ilyen jellegű szakfolyóiratokban alkalmazott szigorú publikációs szabályok szavatolják.

Az archív adatok egy részének újra elemzésével és statisztikai összevetésével, valamint a régi laborjegyzőkönyvek digitalizálásával a régi adatok megbízhatóságát és használhatóságát szeretnénk demonstrálni. Ezzel elősegítve az európai jelentőségű recski érckomplexum érctípusainak újraértékelését és hasznosítását. A fő fémeket (Cu, Mo, Zn, Pb) tartalmazó ásványok kritikus és stratégiai nyomelem tartalmának meghatározása a nyersanyagtelep érctípusainak megalapozottabb gazdasági értékelését támogatja.

A projekt eredményeképpen előállt validált régi és új adatok rendszerével, a nemzetközi jelentéstételi rendszereknek való megfeleléssel az európai jelentőségű recski érctelep valódi potenciáljának megítéléséhez kerülhetünk közelebb. A kutatási eredmények alapján az érctelep további kutatásához, a bánya újranyitásához és a hasznosításhoz kapcsolódó döntések meghozatala sokkal megalapozottabb lesz. Mindezek segítségével legkésőbb az első 5 év végére elérhető egy olyan ismeretességi szint, mely alapján a terület kutatási jogainak koncessziós pályáztatását lehetővé teszi.

Hosszabb távon (5-10 év) az új geokémiai, geofizikai és fúrásos adatok (komplex ásványkőzettani, vízkémiai, kőzetmechanikai) gyűjtésével és a régiek mellé való igazításával kapott eredmények a recski érckomplexum érctelepeinek jobb megismeréséhez, valódi

potenciáljának megítéléséhez és a bányanyitás megvalósíthatóságának részletesebb elemzéséhez járulnak hozzá.

3.2. Magyarországi bauxitok és a vörösiszap kritikuselem potenciálja

Az első öt évben a begyűjtött és megelemzett minták alapján reális képet kapunk a hazai bauxitok és a felhagyott vörösiszap depóniák nyomelemtartalmáról. Kijelölhetjük a nyomelemekben gazdagabb bauxitokat és vörösiszap-depóniákat. A részletesebb kutatást, mintázást ezeken a helyeken folytathatjuk. Az eredmények alapján, az azóta megváltozott gazdasági környezet ismeretében, újra gondolható a bányabezárásokat követően megmaradt hazai bauxitkincs esetleges kitermelése, hasznosítása.

5-10 éves távlatban a hazai bauxitok szélesebb körű (több elemre kiterjedő) hasznosításának megalapozása lehet a cél. Ennek keretében kidolgozható egy olyan technológia, amely az alumínium mellett a kívánt nyomelemekre is alkalmazható. (Mint már említettük, a vörösiszapok teljes feldolgozására már létezik kidolgozott technológia. Az új eredmények tükrében ennek finomhangolására nyílhat lehetőség.)

3.3. Magyarországi mangánércek kritikus nyersanyag tartalma

Úrkút: Mn-érc és mangános iszaptároló kutatás:

Az úrkúti mangánérc elhelyezkedése és az ércvagyona mennyisége jól ismert. A mangán önmagában kritikus nyersanyag, de a kapcsolódó kritikuselem-tartalomra (Co, RFF) vonatkozó adatok fejlesztésre szorulnak. Ehhez használható a jól dokumentált mintagyűjtemény.

Az úrkúti mangánérc lelőhely esetében a fő feladat a dúsíthatósági kísérletek elvégzése, optimalizálása a karbonátos ércre. 2016-ban a bánya részéről feltétel volt a dúsíthatósági kísérleteknél, hogy a dúsítás a már meglévő, a bányában rendelkezésre álló technológiával elvégezhető legyen. Ezek a kísérletek nem jártak sikerrel. A CriticEl projekt során (2014) történtek oldási kísérletek a barna és a zöld karbonátos ércre, a mangán, kobalt és RFF szelektív feltárására. A mangán feltárás két lépcsőben 97-99%-os volt, a Co esetében 70%, teljes RFF feltárása 82-84 %-ot ért el. A szelektív fémleválasztási kísérletekig a vizsgálat nem jutott el.

A jelen Nemzeti Feltárási Programban kitűzhető cél, hogy oldási és szelektív leválasztási technológiával az ércdúsítás mangánra és a további kritikus elemekre az elérhető legjobb technológiával gazdaságosan megvalósítható legyen. Az első ötéves időszakban a TRL1-2 szintről (alapkutatás, elméleti alapok kidolgozása és technológiai koncepciók és alkalmazások azonosítása) a TRL 5-6 szintre (kísérleti bizonyítékok, laboratóriumi körülmények között és technológia validálása, kísérleti környezetben) készülünk eljutni.

5-10 éves távlatban, befektető által, amennyiben a laboratórium kísérletek pozitívak, az elektrolitikus fém kinyeréses kísérletek nagymértékű (ipari) kísérletek kivitelezése a cél, amit

készletszámítás és megvalósíthatósági tanulmány elkészítése, illetve stratégiai projekt beadása követhet.

Eger-környéki mangánérc kutatás

Az 1-5 éves távlatban cél a az irodalmi adatok összegyűjtése, a felszíni mintagyűjtés és laborelemzések elvégzése. További célok: a mangános rétegek, esetleg telep(ek) lehatárolása, laboratórium léptékű elektrolitikus kísérletek elvégzése és az eredmények kiértékelése. Az eredmények folyamatos publikálásra kerülnek.

5-10 éves távlatban, amennyiben a laboratórium kísérletek pozitívak, és a kitermelésre perspektivikus érctestek azonosításra kerültek a korábbi kutatási fázisokban, cél az elektrolitikus fém kinyeréses kísérletek nagymértékű (ipari) kísérletek kivitelezése.

3.4. A Rudabányai-hegység kritikus nyersanyag potenciálja

A rudabányai külfejtés területének egy része bányatelek fektetés közeli állapotban van. A ROTAQUA Geológiai-, Bányászati kutató Mélyfúró Kft. bányatelek fektetési kérelmet nyújtott be a Hatóság felé „Rudabánya (barit, mangán-karbonát)" kutatási területen földalatti (barit) bányászati tevékenység” címen. A periódus végére, az előzetes környezeti vizsgálat- és a műszaki üzemi terv (MÜT) sikeres megszerzése esetén reális cél a bánya megnyitása. A sikeres bányatelek fektetés esetén a bányatelken belül a bányavállalkozó várhatóan a barit kivételével más, a területen már indikáció szintjén kimutatott, kritikus és stratégiai nyersanyagok validáló és felderítő fúrásos kutatását is elvégzi. A kérelem negatív elbírálása esetén legfőbb feladat a részletező kutatás elvégzése a kijelölt bányatelken kritikus nyersanyagokra, majd az eredmények alapján bányatelek fektetése. Ezzel párhuzamosan, meg kell kezdeni a bányatelek tágabb környezetének a validáló és felderítő kutatását a stratégiai, kritikus és egyéb nyersanyagokra.

Bár az érces terület jelenlegi ismereteink alapján főleg a külfejtés közvetlen környezetére korlátozódik, mivel az érces zónák egy része rétegtani szinthez kötött, és az érchordozó triász korú rétegek jelentős területi kiterjedésűek, és mivel a területet erős tektonikai hatások (térrövidülések, eltolódások) érték, így érdemes erőforrást áldozni a tágabb terület kutatására is a Rudabánya-Aggteleki hegység területén. A részletes kutatási terv célja lehatárolni a már kitermelhető ércvagyont, validálni az archív elemzési adatokat, valamint vizsgálni a reménybeli területeket is. Tehát cél a bányatelek fektetés a már felderített barit nyersanyagra, valamint a tágabb terület egyéb nyersanyag potenciáljának felderítése és megismerése, illetve részletező kutatás eldöntése. Szükséges időt és energiát fordítani az érchordozó törések, az elsődleges ércesedést létrehozó hidrotermás folyamatok vizsgálatára, mely alapján akár bővíthetjük is a keresett nyersanyagok sorát. Archív anyagok digitalizálásával, az eddig összegyűjtött digitális kutatási anyag összerendezésével, valamint az új eredmények folyamatos beépítésével

felépíthető egy olyan 3D modell, amely segítségével az eddig ismert készletadatok bővíthetők és pontosíthatók.

3.5. Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés kritikus nyersanyag potenciálja

A börzsönyi minták elemzésével nagy mértékben növelni tudjuk a terület ismeretességi szintjét, szélesebb körű analitikai módszerek használatával pedig jobban meg tudjuk érteni a hegység ércesedését kialakító folyamatokat, az általuk létrehozott érctelepek térbeli és időbeli kapcsolatát, amely hozzásegít minket a terület további perspektíváinak kijelöléséhez, bizmut, arzén, indium, réz, molibdén és nemesfém potenciáljának becsléséhez. A modern, rendszerszemléletű ércteleptani módszerek alkalmazásával az epitermás-rézporfíros rendszer további, fedett, vagy részletesebben még nem kutatott részeit is megtalálhatjuk.

Az első 5 évben a geokémiai adatok felhasználásával végzett vektorozás, illetve modellezés során ki tudjuk jelölni a részletező kutatásra javasolt területeket, melyekre a kellő források rendelkezésre állása esetén néhány kutatófúrás telepíthető. Emellett az eddigi geofizikai kutatások alapján a Rózsabánya közelében, a Rózsa-hegy DNy-i lejtőjén mért, a már ismert Rózsa-akna körüli ércesedés által okozott geofizikai anomáliánál erősebb anomáliát okozó képződmény fúrásos ellenőrzése is elvégezhető. Az Altáró érinti a kérdéses területet, de az anomália eredetét nem tárta fel. Ha ez a geofizikai indikáció valóban egy érctesthez kötődik, és az Altáró felett helyezkedik el, akkor egy felszínről indított, ~200 m mély fúrással megerősíthető a várhatóan Rózsa-akna környéki ércesedéssel analóg érctest jelenléte. Amennyiben az Altáró alatt található az anomáliát kiváltó képződmény, úgy a fúrás szükséges mélysége nő (~500 m), így költségei is nagyobbak.

5-10 éves távlatban, kellő mennyiségű és minőségű geofizikai és fúrásos kutatás kivitelezésével lehetségessé válik az egyes érctestek lehatárolása, a nyilvántartott ércvagyon mennyiségének és minőségének pontosítása, nemzetközi szabványok szerinti besorolása, illetve az eddig nem vizsgált kritikus nyersanyagok készletszintű mennyiségi meghatározása. A keletkező adatok modellbe emelésével pontosabb képet tudunk kialakítani az ércesedés genetikájáról, kiterjedéséről, amely alapján meghatározhatóak további perspektivikus területek. Csak ez után válik lehetségessé az ércvagyon lehatárolása.

3.6. Foszforit és foszfátokhoz köthető ritkaföldfém előfordulások kutatása

Rövid távon (1-5 év) a már ismert előfordulások pontosabb lehatárolása, ásványkémiai és teljeskőzet geokémiai elemzése, az ércanyag minőségi és mennyiségi meghatározása elvégezhető. Az adatok egységes adatbázisba foglalása és kiértékelése révén a további részletező kutatások irányai kijelölhetőek és telepmodellek dolgozhatóak ki a dúsulásokat létrehozó folyamatokra, segítve ezzel újabb célterületek azonosítását. Hosszabb távon (5-10 év), az ismert előfordulások előzetes kutatása alapján lehetséges a további kutatásra kijelölt

területeken az RFF ércesedés oly mértékű megismerése, hogy az koncessziós eljárás keretén belül értékesíthető legyen további nyersanyagkutatás számára.

A nevesített előfordulások közül elsőnek a Soproni-hegységben megjelenő metamorf kőzetek lehatárolását és vizsgálatát javasoljuk, tekintettel arra, hogy a MECSEKÉRC Zrt. számos korábbi kutatási adattal rendelkezik a területről és az ismert RFF koncentrációk, valamint a kiterjedése alapján ez a legpotenciálisabb előfordulás. Ezt követheti az üledékes rétegsorban megjelenő foszforitok vizsgálata, melyeknél mind a foszforit tartalomra, mind pedig a RFF tartalomra is fókuszálni kell (mindkettő CRM). Az Mn ércesedésekhez kötött foszforit gumókat a Mn-ércesedésekkel együtt javasolt vizsgálni.

A riolithoz köthető ritkaföldfém anomáliához tartozó a „Kutatási feladatok" fejezetben felsorolt feladatok kivitelezése 1-5 éves kutatási periódus alatt megvalósítható. Ennek eredményeként egyértelműen eldönthető, hogy a Szalonna-10 jelű fúrás által feltárt riolitban megismert ritkaföldfém, Y, P és U dúsulás megléte általános-e a Rudabányai-hegység riolitjában, vagy csak a fúrásban megismert riolittesthez köthető. Amennyiben az anomália általánosan jellemző a riolitra, a periódus során jellemzésre kerül az ércesedés, felszíni geofizikai módszerek, valamint ellenőrző fúrások segítségével megadásra kerül az elterjedés. A kutatás során nyert adatok alapján felépített földtani modell alapján elvégezhető a felderítő fázisú nyersanyag becslés. Kedvező eredmények esetén a terület koncesszióba-adásra kerülhet, az esetleges hasznosításra vonatkozó további információk megszerzésére további évek szükségesek, ami 5 és 10 év közötti időszak távlatában végezhető el. Kutatási eredmények konferenciákon bemutatásra és publikációkban is bemutatásra kerülnek.

3.7. Torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatása Magyarországon

Az első öt év alatt a hazai nehézásvány torlatok felmérése, mintázása és a titán, ritkaföldfém, valamint más hasznosítható nyersanyag (arany, cirkónium) potenciáljának felmérése történik. A mintázások és elemzési eredmények függvényében kijelölhetőek azok a területek és képződmények, melyek a kutatott ásványi nyersanyagok szempontjából perspektivikusak. Magyarországon korábban az SZTFH Földtani Szolgálatának elődintézményében folytak torlatos eredetű nehézásványvizsgálatok és kutatások hazai homokbányáinkban, mely eredményei alapján kijelenthető, hogy a leginkább perspektivikus frakció a 30-80 µm közötti tartomány. Az ilmenit, rutil, cirkon, monacit, xenotim mellett egyes lelőhelyeken megjelenik a scheelit, és arany is. Az ország homokbányáinak szisztematikus, rétegenkénti mintázása, a kavicsteraszok mintázása, és laborvizsgálatok elvégzése szükséges frakciók szerint. Genetikailag indokolt esetben idősebb konglomerátum és homokkőrétegek mintázása is célszerű. A terepi mintázások a nagyszámú feltárás, bánya felkeresésével időigényes feladat, így ötéves időtávlatban az országos felmérés csak a szakembergárda és a laborkapacitás bővítésével, illetve szakdolgozók bevonásával lehetséges. Mindezek mellett fontos kiemelni, hogy pozitív eredmények esetén a nehézásványdús frakciók leválasztása és a dúsítás a többi

érctípussal összehasonlítva (pl. szulfidos, karbonátos ércek) kisebb ráfordítást igénylő, könnyebben kivitelezhető eljárástechnikát igénylő folyamat.

Tíz éves időtartamot tekintve a perspektivikus képződményeknek és lelőhelyeknek a listája, valamint készletbecslések és a megfelelő dúsítási lehetőségek állhatnak rendelkezésünkre ahhoz, hogy a célterületeken megindulhasson a nehézásvány finomfrakció leválasztása. Eredményeinket a megfelelő lektorált folyóiratokban publikáljuk és éves jelentésben tesszük közzé.

3.8. A Dél-Dunántúl pre-mezozoos aljzatának kritikus nyersanyag potenciálja (titán, kobalt, nikkel, nemesfémek)

A Dél-Dunántúli kutatási területek főként paleozoos metamorfitokhoz (pl. gneisz, amfibolit, szerpentinit) és permi riolit alapkőzethez kötöttek. A nyersanyagpotenciálok 5 éves feltárásában priorizált tényező az aljzat felszíntől számított mélysége, és a felszíni kibukkanásokon, valamint fúrómagokon végzett mérési eredmények alapján kimutatott CRM indikációk genetikai típusa, amit a különböző ércföldtani modellekbe való illeszkedés határoz meg, sőt, legtöbb esetben ezek mentén a modellek mentén kezdődnek meg a potenciális területeknek és indikációknak a felkutatásai, illetve további vizsgálatai:

- A Mecsekalja nyírási zóna variszkuszi eredetű metamorfit pásztája mentén mélyreható törések és elmozdulási felületek mentén kobalt, nikkel és nemesfémtartalmú fluidumok vándoroltak és hoztak létre indikációkat, és akár gazdaságilag is jelentős ércesedéseket, melyek kimutatása jelenlegi feladatunk. A zóna sekély mélységű aljzatának kutatása először a felszíni kibukkanások mintázásával és ásvány-kőzettani, geokémiai vizsgálataival kezdődtek, melyet felszíni geoelektromos és mágneses geofizikai módszerekkel történő vizsgálatokkal egészítettünk ki. Az anomáliák pontján sikerült három sekélyfúrás pontját kijelölni. A fúrások anyagának műszeres laboratóriumi mérései (petrográfia, XRF, XRD, SEM-EDS, ICP-MS, LA-ICP-MS, raman) és az eredmények kiértékelése után, mely 2026-ban várható, pozitív mérési eredmények esetén további fúrások kivitelezése javasolt, melyeket mágneses, geoelektromos és szeizmikus mérések támogatásával kell kijelölni. Ez legkorábban 2026-ban valósulhat meg.
- A Dél-Dunántúl ultrabázisos kőzeteinek CRM-kutatása 2024-ben kezdődött a különböző mélységekből származó Gyódi, Helesfai fúrómagok ICP-MS nyomelem vizsgálataival. A Co és Ni-szulfidokat tartalmazó kőzetek további vizsgálatai 2025 -ben felszíni geofizikai mágneses mérésekkel folytatódnak, a hatók geometriájának pontosításához. 2025-2026-ban a magminták fire assay (tűzi módszer) feltárása és a nemesfémtartalom ICP-MS-módszerrel való meghatározása készül el. A felszíni geofizikai vizsgálatok folytatása a még feltáratlan ultrabázisos hatók kimutatásához elengedhetetlen, 5 éven belül azonban megvalósítható. A kijelölt pontokon a

Görcsönyi-hátság mentén várható, hogy újabb fúrások mélyítése válik szükségessé, melyek további Ni, Co (Au, platinafémek) indikációinak feltárását eredményezhetik a földtani modellek alapján.

- A permi riolitok esetében egyedül a Szava-1 fúrás egy ércesedett részlete maradt fenn dokuládás anyagként, melyet 2025-ben megmintáztunk. A fúrómagok CRM potenciáljának mérése és az eredmények kiértékelése 2025 év végéig várható. Kedvező esetben a riolit-testek továbbkutatása geofizikai módszerekkel folytatható, és az elkövetkező 5 éven belül a szükséges források segítségével fúráspontok kijelölése és lemélyítése is megvalósíthatóvá válik.

A vázolt kutatási program minden esetben intenzív geofizikai méréseket és fúrásos kutatásokat és nagy mintaszámú laboratóriumi elemzéseket jelöl meg. A Dél-Dunántúli területen kezdetben 500-600 m-es mélységig javasolt az anomália pontokon fúrások lemélyítése, majd az eredmények függvényében szükséges döntést hozni a fúrási mélység növeléséről vagy csökkentéséről és a fúrásháló sűrítéséről. A terepi és laboratóriumi mérések, fúrások kivitelezése a fúrások mélységének és számának függvényében többletforrást és humántőke bevonást igénylő komplex feladat, mely források hozzárendelése esetén 5 éven belül eredményt hoz. Mindegyik részterületen kivitelezhető ennyi idő távlatában is kezdő fúrások létesítése és az eredmények kiértékelése, de ez csak a szakembergárda bővítésével és a szükséges anyagi támogatással és a nagyszámú minták (melyek esetében pontos nemesfémkimutatást csak „fire assay" módszerrel kaphatunk) egyelőre külső laboratóriumok bevonásával (pl. ALS, Actlabs) érhető el.

Az esetleges ércesedések pontosabb, részletesebb megismeréséhez, geometriai lehatárolásához legalább 10 éves időtartam, és megfelelő számú fúráson alapuló, komplex laborvizsgálatok szükségesek. Az eddigi adataink alapján nagy valószínűséggel várható új nyersanyag lelőhelyek felfedezése, azonban a jelenlegi kutatói humántőke állomány és laborkapacitás bővítése szükséges a megfelelő eredmények eléréséhez.

3.9. A magyarországi neogén vulkáni területek lítium dúsulásainak felderítő kutatása

Az első öt évben az irodalmi adatok és a hazai vulkáni területekre kidolgozott hidrotermás ércföldtani modell alapján a perspektivikus területek fontossági sorrendjének meghatározása, valamint a felszíni mintagyűjtés és laborelemzések után kiválasztott területek közül a továbbkutatásra érdemes területek kijelölése a fő feladat. Pontosítjuk, hogy melyek azok a földtani paraméterek, melyek lítium dúsulásokat hoztak létre a Tokaji-hegységben és a Mátrában. E paramérek alapján a perspektivikus területek lehatárolása pontosítható. Az eredményeket publikáljuk, amely elősegíti a befektetői körök figyelmének felkeltését.

5-10 éves távlatban, ha jelentősebb pozitív lítium anomáliákat sikerül azonosítani és ha a projekt finanszírozása megengedi, mélyfúrások lemélyítése és anyaguk laboratóriumi elemzése

után pontosabb képet tudnánk kialakítani az ércesedés genetikájáról, kiterjedéséről, amely hozzájárul a későbbi érctest-lehatároláshoz és készletbecsléshez, valamint a földtani és ércteleptani modell megalkotásához.

3.10. Magyarországi cinkércek kritikus nyersanyag potenciálja

1-5 év: a szakirodalom és a saját korábbi kutatások alapján kijelölt perspektivikus kutatási területek alapvető terepi és egyéb anyagvizsgálata ebben az időtávban elvégezhető, amely alapján meghatározható, hogy mely földtani környezet, és mely konkrét terület a leginkább alkalmas a cinkércek CRM-tartalmának részletes kutatására. A nevesített előfordulások (Periadriai-Balaton-vonal mentén megjelenő Zn-Pb ércek és a hazai epitermás-rézporfíros rendszerek) között nem szükséges prioritáslistát felállítani, hiszen első körben átfogó kép nyújtása a cél, ez alapján tudunk a későbbiekben részletes kutatásra kijelölni területeket. Megjegyzendő azonban, hogy több olyan cinkérces terület is ismert, melyek egyéb érctartalmuk és megkutatottságuk aktuális szintje miatt prioritást élveznek. Ilyen a „brownfield" kutatási kategóriába eső recski, rudabányai és börzsönyi lelőhelyek melyek cinkérc CRM tartalmának vizsgálatát így együtt javasolt elvégezni. Az átfogó kép alapján nemcsak a részletes kutatásra tudunk kijelölni területeket, de kialakítható egy kritériumlista, melynek segítségével a már ismert előfordulásokon túl akár új lelőhelyek is azonosíthatók. A részletes kutatásra kijelölt területeken 5 éven belül elérhető egy olyan ismeretességi fok, mely alapján tervezhető, hogy a rákövetkező időszakban mikor válhat esedékessé a koncessziós pályáztatás nyersanyagkutatási feladatokra. A „brownfield" kutatási területeken továbbá – a többi CRM tartalmú ércük vizsgálatával együttesen kezelve – oly mértékű megismerés is körvonalazódhat 5 éven belül, mely alapján befektetői felhasználás tervezhető; az adott terület koncessziós eljárás keretén belül értékesíthető lehet további nyersanyagkutatás számára. Továbbá, a kutatás számos olyan eredménnyel is kecsegtet, melyek nemzetközi érdeklődésre is számot tarthatnak, így szakmai publikáció(k) készítése is várható, melyek a lehetséges befektetői körök figyelmét is felhívják a nyersanyagkutatási lehetőségekre.

5-10 év távlatban a részletes kutatásra kiválasztott területek vizsgálata tervezhető terepi felmérések, geofizikai szelvényezések, a perspektivitást ellenőrző fúrások kivitelezésével, továbbá az ezekből származó minták geokémiai és ásványkémiai elemzése révén.

3.11. A geotermikus és olajkísérő fluidumokhoz kapcsolódó lítium potenciálja

A Li és egyéb oldott kritikus ásványi nyersanyag esetében, a jogosítottak együttműködési készségétől függően, mintegy 3 év alatt lezárulhat az országos screening és az adatok értelmezése. Az eredmények elemzése alapján kiválaszthatók a perspektivikus, további részletező kutatásra alkalmas területek, az oldott ásványi nyersanyagok függvényében. A minőségi felmérésen túl előzetes, félmennyiségi potenciálbecslés is végezhető. A kinyerhető lítium mennyiség ismerete mellett az alkalmazandó technológiá(k)ról is rendelkezésre állnak az

információk. Az eredményekre alapozva eldönthető új iparág létesítésének realitása, megkezdődhet az adott potenciál kihasználását támogató jogszabályi és finanszírozási környezet kialakítása is, amiben az SZTFH Országos Bányakapitánysága közreműködik. Tervezhetővé válnak a kinyerésből származó állami bevételek, és adott esetben a vonatkozó iparstratégia megalkotására is lehetőség nyílik.

3.12. Magyarország hélium potenciálja

Mintegy 3 év alatt megtörténhet az országos screening, amelyhez kapcsolódóan az SZTFH elvégzi a szükséges előkészítési és analitikai feltételrendszer kialakítását (gázelőkészítő, GC-MS, valamint gáz izotóp analizáló). A vizsgálati eredmények alapján kiválaszthatók azok az előfordulások, amelyek termelése már a jelenlegi feltételek mentén is végezhető, rendelkezésre áll kereskedelmi forgalomban olyan technológia, amely alkalmazásával a hélium gazdaságosan kinyerhető. Kijelölhetők azok a területek, amelyekre technológiafejlesztés javasolható. Szükséges a kitermelés támogató jogszabályrendszer megalkotása is. A szabályozásba beépíthető a gázkitermelésre jogosítottak esetében a kötelező vizsgálati és jelentési körbe bevonni a héliumot is.

3.13. Általános, nem projektspecifikus eredmények és hatások:

Az egyes projektekre jellemző várható eredmények mellett keletkeznek olyan eredmények is, melyek minden projektre jellemzőek.

1-5 éven belül:

Közvetlen eredmények:

- Az archív adatok egységes keretrendszerbe és ENSZ erőforrás keretosztályozása (UNFC) szerinti osztályozásba sorolása. A UNFC használata nemcsak előírt a CRMA rendelet szerint (7., 19., 21., 27. cikkek), de az ásványvagyonnal rendelkező CRM előfordulások, illetve projektek befektetésre előkészítésében is szerepet játszik.
- Integrált adatbázisok létrehozása és hozzáférhetővé tétele, adatszoba létrehozása a tudományos munkák adatszükségleteinek kielégítésére és ezáltal a hazai ásványvagyon nyilvántartás megújítása, modernizálása.
- Az online térképbázis bővítése a kritikus fontosságú nyersanyagokat tartalmazó ásványianyag-lelőhelyekre vonatkozó alapinformációkkal.
- Az új szeizmikus mérések és geokémiai mérések eredményeinek, fúrások adatainak feldolgozása és integrálása a meglévő adatbázisokba.
- Döntést támogató rendszerek kidolgozása.
- Publikációk.
- A már ismert vagy részben ismert nyersanyag telepeink részletesebb genetikai megismerése, a rendelkezésre álló készlet információk megbízhatóságának növelése.
- Új nyersanyagtelepek azonosítása.

- Koncessziós pályázat(ok) meghirdetése, befektetők megjelenése a hazai bányászat területén.
- Új technológiák megjelenése az ásványszeparálásban, dúsításban, feldolgozásban.

Közvetett eredmények:

- Laborfejlesztések, laborkapacitások növekedése.
- A kritikus nyersanyagokhoz kapcsolódó jogszabályi háttér és engedélyezési folyamatok felülvizsgálata, különös tekintettel a másodlagos nyersanyagokra és a hulladékhasznosítási fázisra.
- A földtani-bányászati ágazati szakemberképzés erősödése.
- Potenciális lelőhelyek hozzáférhetőségének vizsgálata.
- Szorosabb együttműködés kialakítása az SZTFH, az egyetemek és a vállalati szektor között.
- Tudománynépszerűsítés, társadalmasítás, bányászati szakmakultúra megbecsülésének növelése.

5-10 éven belül:

Közvetlen eredmények:

- Bányanyitás
- Eredményesség esetén a megkezdett kutatások folytatása, területi kiterjesztése.
- Koncessziós pályázat(ok) meghirdetése.
- Az újonnan azonosított nyersanyagtelepek genetikájának és készletinformációjának megismerése.
- Publikációk
- Együttműködés a szomszédos országokkal a földtani kutatás és bányászat területén
- Új bányavállalkozók megjelenése.
- Másodnyersanyagok hasznosítására és nyomelemek kitermelésére új technológiák kidolgozása és alkalmazása.

Közvetett eredmények:

- Hazai földtani-bányászati-előkészítéstechnikai-feldolgozási kutatóműhelyek kialakítása, az innováció fejlesztése az említett szakterületeken.
- Tudománynépszerűsítés, társadalmasítás.
- Új munkahelyek létrehozása.
- A nyersanyagkutatással foglalkozók arányának növekedése, a hazai földtani-bányászati ágazathoz tartozó jól képzett, gyakorlott humán erőforrás megerősítése.

4. Rendelkezésre álló adatok

4.1. A recski érckomplexum réz és egyéb kritikus nyersanyag potenciáljának kutatása

A korábbi felszíni és bányabeli kutatások (50-es évektől kezdve) és a bányabezárás dokumentációja papíralapon rendelkezésre áll. A legfontosabb jelentések és a legtöbb bányabeli fúrás elemzésének jegyzőkönyve digitális formában is megvannak. A Nitrokémia Zrt. kezelésében lévő, Recski magmintaraktárban a korábbi külszíni és bányabeli fúrások magmintái, illetve pormintái rendelkezésre állnak.

Az utóbbi években történt kutatásaink eredményei digitális formában is megvannak, kb. 100-120 archív minta fő- és nyomelemzésével együtt. Az egyes ásványfázisok érctípusok szerinti kritikus és technológiailag fontos nyomelemtartalmára vonatkozóan az előzetes vizsgálatokat az SZTFH Földtani szolgálata és az ELTE az elmúlt években elvégezte. E felderítő kutatások ezres nagyságrendű adatbázisa jól megalapozza a további vizsgálatok tervezését, illetve az eredmények alapján a további ércföldtani kutatásokhoz szükséges geokémiai vektorok meghatározását.

A mélyszinti ércesedés kutatásának mintáit Recsken jelenleg mintaraktárakban tárolják. Ezek kezelője a Nitrokémia Zrt. A MECSEKÉRC Zrt. 2017-ben a mélyszinti bányabeli fúrások mintáit felmérte, a nyilvántartást digitális formában aktualizálta. A KPMG tanulmány készítése során az elemzési értékek validálása érdekében a nemzetközi szakértő (Competent Person vagy Hites Személy) közreműködésével és jóváhagyásával készített Mintavételi Terv alapján 1497 minta vételére és előkészítésére került sor, amely laborvizsgálatra előkészített állapotban vannak tárolva. Ezen mintákból elemzés ezidáig nem készült.

A MÉV majd jogutódjai, jelenleg a Nitrokémia Zrt. felelősségi körébe tartozó bányabezárási/tájrendezési feladatok keretében szerzett adatok, mérési eredmények digitálisan rendelkezésre állnak pl. a nyitott bányatérségek, aknák vízminősége és a korábbi bányászati tevékenység következtében létrejött meddőhányók anyagának ásvány/kőzettani/geokémiai adatai. A mintavételek, laborvizsgálatok nagyobb része akkreditált intézményekben történt.

4.2. Magyarországi bauxitok és a vörösiszap kritikuselem potenciálja

Ismert a hazai bauxitok főelem összetétele, amelyről sok megbízható archív mérés található a szakirodalomban. Már ebből is kiderül, hogy a hazai bauxitok TiO_2 koncentrációja meglehetősen magas (többnyire 1,7 és 3,4 m/m% közé esik). A Ti is kritikus elem. Egyes nyomelemek, mint pl. az alumíniummal együtt hasznosított Ga koncentrációja is ismert egyes lelőhelyeken. Szantner et al (1986) az iharkúti bauxitokból nagyszámú minta elemzési eredményeit összesítette, ahol a Ga mellett a szintén kritikus elem V-ot is mérték 9 másik nyomelemmel együtt. Azonban a többi bauxit lelőhelyről meglehetősen hiányosak az ismereteink, a megbízható, modern nyomelem mérések ritkák.

Az elmúlt évek során (ld. SZTFH jogelőd MFGI, CRTICEL 2014, REEBAUX 2019) számos, az ország különböző pontjainról származó bauxit, vörösagyag és vörösiszap mintából készült ICP MS nyomelemzés. Ezen elemzések között több is előfordult, melyekben 0,5 m/m%-nál is nagyobb összes ritkaföldfém tartalmat sikerült detektálni, általában jelentős (1-2,5 m/m %) TiO_2 koncentráció mellett.

4.3. Magyarországi mangánércek kritikuselem tartalma

Úrkút: Mn-érc és mangános iszaptároló kutatás:

Az úrkúti mangánércbánya magántulajdonban volt (Mangán Bányászati és Feldolgozó Kft. jelenleg végelszámolás alatt). A bányához tartozó magraktár több mint 23000 mintájáról digitalizált adatbázis készült 2014-2016 között (pontos leltár készült a raktárban található mintákról). A minták elérhetősége a bányabezárását követően a tulajdonos engedélyétől függ.

A bányából származó mangán iszapos hányók a bányatulajdonos területén található, így annak mintázása a tulajdonos engedélyétől függ.

A bánya által elvégzett kémiai elemzések közel 12000 adata digitalizálásra került (Bíró 2013).

Eger környéki mangánérc kutatás

A vizsgált területen kutató fúrások történtek (DJ-1 – DJ-11), melyek közül 1 fúrás maganyaga, valamint további 6 fúrás mintázott anyaga (kőzetminták, vékonycsiszolatok, csiszolat maradékok) az SZTFH rákóczibányai mintaraktárában megtalálható.

4.4. A Rudabányai-hegység kritikus nyersanyag potenciálja

A volt vasércbánya rengeteg dokumentumot halmozott fel a terület kutatásáról, műveléséről, geológiájáról. Ezek nagy része valószínűleg csak papír vagy fotó formájában található meg.

Rudabányán a Rotaqua Kft. 2007-től végez modern földtani kutatásokat az ércesedés megismerése érdekében. Ennek eredményeként részletes geokémiai adatbázissal rendelkeznek, amely adataiból ércföldtani modelleket is előállítottak. A kutatás keretében a területre vonatkozóan számos régi dokumentum került összegyűjtésre, 23 db mélyfúrás összesen 3030,3 m hosszban került lemélyítésre, rengeteg mintaelemzés készült, valamint a Miskolci Egyetemmel és az Eötvös Loránd Tudományegyetemmel összefogásban számos tudományos munka és szakdolgozat született.

2016. júniusában az RK Bányatársaság Kft. Kutatási Zárójelentést készített, és nyújtott be a Bányahatóság részére polimetallikus érc, nemesfém érc, vasérc, kavics, homok, agyag, barit, mészkő, dolomit, márga, gipsz, mangánérc, kvarcit, szén (lignit) nyersanyagokra vonatkozóan, amely jogi okok miatt nem került elbírálásra.

További információk várhatók a Goldminco Kft. kutatási eredményeként, amely keretében 9 db 200-350 m-es mélységű kutatófúrás, magmintavétellel, továbbá geofizikai mérések elvégzése van betervezve.

A Miskolci Egyetem Nyersanyagkutató Földtudományi Intézete Dr. Földessy János Professor Emeritus vezetésével hasonló módon rengeteg kutatási anyaggal rendelkezik, valamint az Eötvös Loránd Tudományegyetem Ásványtani Tanszékének kutatói is együttműködtek a térség kutatásában, így e két műhely eredményei a terület hasznosíthatóságának megértéséhez nélkülözhetetlenek.

4.5. Intruzív tevékenységhez kapcsolódó bizmutban gazdag ércesedés kritikus nyersanyag potenciálja

A Börzsöny hegységben kijelölhető továbbkutatási irányok alapjául az 1970-80 között zajlott MÁFI földtani és geofizikai kutatás eredményei (geofizikai anomáliatérképek, fúrásleírások, kutatási jelentések, vizsgálati jegyzőkönyvek, fluidzárvány vizsgálati eredmények, rögzített ásványtani észlelések, kőzettani vizsgálatok, vulkanológiai felépítés), az utóbbi ~25 évben publikált, modern szemléletű vulkanológiai-geokémiai és ércteleptani kutatások eredményei, valamint a tárókból és a mélyfúrásokból származó archív minták ércanyagának petrográfiai és nyomelemvizsgálati eredményei szolgáltatnak alapot. A dokumentumok digitálisan (szkennelve, vagy referált tudományos publikációban) rendelkezésre állnak, illetve az SZTFH Adattárában megtalálhatók. A fúrások és a vágatminták anyaga az SZTFH magraktáraiban, az SZTFH Gyűjteményi Osztálya által kezelt gyűjteményben, valamint az ELTE TTK Ásványtani Tanszékének gyűjteményében elérhető.

4.6. Foszforit és foszfátokhoz köthető ritkaföldfém előfordulások kutatása

A foszforitot, mint potenciális nyersanyagot ipari célokkal eddig nem kutatták hazánkban. A foszforittal kapcsolatban modern módszerekkel végzett mennyiségi RFF elemzéseket csak tudományos cikkekben, kőzetgenetikai kérdések eldöntésére használták, a mérések készletbecslésre nem alkalmasak. Mivel ezek a tudományos kutatások az ELTE-hez köthetőek, így mind a minták, a mérési adatbázisok, a felhalmozott szaktudás is rendelkezésünkre állnak.

A Soproni-hegység metamorf kőzeteinek RFF előfordulásait a MÉV uránkutatási programjai során azonosították. Az elsődleges cél az U és Th kutatása volt, az RFF dúsulások felismerése járulékos eredményként állt elő. A korábbiaknál részletesebb és szisztematikusabb RFF-re irányuló kutatások eredményei a terület perspektivitását megnövelhetik. Bár a kutatások anyaga és az elemzett minták részben elérhető, új mintagyűjtés és elemzések szükségesek sztenderdizált modern műszerekkel, lehetőség szerint akkreditált laboratóriumban.

Az úrkúti és eplényi mangánércről nagyszámú mérés áll rendelkezésre a bezárt bánya dokumentációiban és az egyéb kutatási anyagokban, illetve monográfiákban.

A Rudabányai-hegységben és a Bükkben található riolithoz köthető ritkaföldfém, Y, U, P dúsulásra vonatkozólag csak a fentebb ismertetett vizsgálati eredmények állnak rendelkezésre. Az elemzési eredmények az adott, ma is általánosan használt, megbízható vizsgálati módszerekkel készültek. A témával kapcsolatban újabb vizsgálatok nem készültek, azonban a megismert dúsulások és az esetlegesen kimutatásra kerülő esetleges ércesedési típus indokolja a megismert anomáliák újbóli kutatását.

4.7. Torlatos felhalmozódású kritikus nyersanyagok kutatása Magyarországon

- A torlatkutatások alapját képezik az SZTFH jogelőd intézményeiben folytatott több éves vizsgálat-sorozat jelentései, ahol a különböző lelőhelyek mintázásainak az eredményei mellett a feltárási módszertan is kifejtésre került.
- a témában megjelent publikációk
- működő kavics-homokbányák jelentései
- SZTFH térképszerver
- paleotorlat-kutatása esetén SZTFH magraktárak (Rákóczibánya, Szolnok) és adatbázisai

4.8. A Dél-Dunántúl pre-mezozoos aljzatának kritikus nyersanyag potenciálja (titán, kobalt, nikkel, nemesfémek)

Saját kutatásaink a témában 2019-óta folynak, aminek alapja a Keleti-Mecsek recens-szubrecens torlatos aranyelőfordulásainak a forráskőzet kutatása volt, aminek eredményeképpen nyert megállapítást, hogy a miocén időszaki folyóvízi törmelékek kőzetanyagából kipergő aranyszemcsék metamorf, képlékeny deformáción átesett kvarcithoz és képlékenyen deformált gránithoz kötődnek, ami az ásvány-kőzettani és geokémiai kutatási eredményeink alapján a Mecsekalja metamorf zónából származhatott. Mindezt megerősíti, hogy a miocén időszakban a folyóvízi szállítási útvonalak DK-ről ÉNy-ra történtek a metamorf kőzetekből és szintén metamorfózison átesett gránitból álló egykori hegység (ami ma Geresdi-dombsággá szelídült) térségétől a Mecsek irányába. A felfedezéssel elindult a tektonikus zóna teleptani kutatása felszíni térképezéssel és terepi XRF vizsgálatokkal, felszíni mintázással, mikroszkópiás és komplex laborvizsgálatokkal (XRD, mikro-XRD, ICP-OES főkomponens elemzések, ICP-MS nyomelemzések, SEM-EDS vizsgálatok, Raman spektrometria, LA-ICP-MS nyomelemzések) (valamint U-Pb geokronológiai vizsgálatok az ércesedések orogén ciklusokhoz való kapcsolatának elkülönítéséhez, együttműködve az ELTE-TTK Ásványtani Tanszékével). Az anomáliák területét 50 cm-es mintavételi közönként újravizsgáltuk. A felszíni mintázás jelenleg is folyik, valamint az elérhető fúrások mintázásai és laborvizsgálatai is. 2022-től felszíni geoelektromos és mágneses geofizikai vizsgálatokat végzünk a területen, melyet a jelenleg futó projekt keretében idén is folytatunk. A nagyszámú felszíni mintákon és fúrómagokon végzett mérési eredményeink és a teleptani modellek alapján rajzolódott ki az a jelenlegi kép, miszerint a perm kortól a késő pleisztocénig biztosan aktív Mecsekalja nyírási zóna, és az azt alkotó variszkuszi gneisz, amfibolit, kvarc-szericitfillit, valamint a zónában, illetve

a mentén lévő mágneses anomáliák hatóit képviselő meta- ultrabázitok-bázitok titán-, nikkel-, kobalt- és nemesfémekre nézve perspektivikus képződmények. A korábbi egyes fúrómagleírások alapján, melyek szulfidosodott riolitokról és mellékkőzeteikről számoltak be (Szava-1, Vókány-2, Egerág-7, Diósviszló-3) a kritikus nyersanyag kutatásba a közeli szubvulkáni, szulfidhintéses-eres permi riolit-testeket és közvetlen környezetüket is bevontuk.

A Dél-Dunántúl sekély mélységű aljzatának ércteleptani kutatásában a saját mérési eredményeken túl a következő adatbázisokra és forrásokra építhetünk:

- geomágneses és más geofizikai anomáliatérképek
- archív fúrások leírásai
- jelentések
- publikációk
- közgyűjteményi anyagok, adatbázisok
- SZTFH fúrómagraktárak (Szolnok, Rákóczibánya) adatbázisai, magládák és dokuládák mintái
- MECSEKÉRC mintaraktárában fellelhető magminták (?)

4.9. A magyarországi neogén vulkáni területek lítium dúsulásainak felderítő kutatása

A lehetséges lítium előfordulások kutatása az utóbbi két évben folyt, amelyhez a területen mélyített archív fúrások SZTFH magraktáraiban elérhető fúrómagjai álltak rendelkezésünkre, illetve ezt kiegészítettük felszíni mintavételezéssel is. A mintákból XRD, ICP OES fő- és nyomelemzés, valamint ICP MS nyomelemzés készült. A lítiumot ICP OES-sel határoztuk meg. A vizsgálatok eredményei digitális formában rendelkezésre állnak. A Tokaji hegység terültére vonatkozóan az ELTE kutatásai alapján egy átfogó ércföldtani modell született, mely alkalmas a Li- dúsulásokat hordozó limnikus-hidrotermás képződmények előfordulásainak pontosítására, az azokat kialakító földtani folyamatok modellezésére. E modell az elővizsgálatok szerint más hazai neogén vulkéni egységekre is alkalmazható.

4.10. Magyarországi cinkércek kritikus nyersanyag potenciálja

A javasolt kutatási területek tágabb környezetében az utóbbi évtizedekben számos, akár ásványkémiai jellemzőket is érintő kutatás folyt, azonban ezek közül kevés az, mely modern módszerekkel, sztenderdizált műszerekkel történt. Vannak azonban olyan előfordulások, ahol az ELTE és a Földtani Szolgálat kutatóinak, valamint a Nitrokémia Zrt.-nek jelentős modern kutatási adatbázisa van, ilyenek például –de nem kizárólag– a Periadriai-Balaton-vonal mentén előforduló különböző Zn-Pb előfordulások, Recsk, Börzsöny és Gyöngyösoroszi. E területekről felszíni, gyűjteményi és fúrásokból származó mintákon is dolgoztunk, munkánk során részletes ásványkémiai (EPMA, LA-ICP-MS) adatbázist építettünk fel. Az Aggtelek-Rudabányai hegység igen nagy területén ismert nem-szulfidos cinkércének modern kutatási projektjét a Miskolci

Egyetemmel együttműködésben most készítik elő az ELTE kutatói, melyhez alapul a ME kutatóinak korábbi, publikációkban elérhető eredményei szolgálhatnak.

4.11. A geotermikus és olajkísérő fluidumokhoz kapcsolódó lítium potenciálja

A korábbi, elsősorban az 1980-as években gyűjtött szénhidrogénipari fluidumok lítiumtartalmának vízelemzésére kiválasztott minták visszaigazolták a várt, relatív nagyobb lítiumkoncentrációkat. A jelenlegi gyakorlatban 0,01 – 0,2% Li található a „bányászható" brine-okban. Ez kb. 100-2000 mg/l lítiumkoncentrációnak felelhet meg. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy ez elsősorban a dél-amerikai szalárok hasznosítására vonatkozik.

Az archív (3920 db vízelemzés) adatok alapján 10.000 – 20.000 mg/l feletti lítiumkoncentráció több helyen is előfordul az országban, elsősorban a Dél- és Közép-Alföldön, de előfordul a Délnyugat-Dunántúlon és az Északnyugati régióban is. Az 1980-as évek rendelkezésre álló CH-ipari mintáinak eddigi saját újra elemzése alátámasztotta a 10.000–30.000 mg/l közötti lítiumkoncentrációkat. Ezen minták alaphegységi paleozoos vagy mezozoos kőzetekből, valamint miocén üledékekből származnak.

A vízben oldott Li-tekintetében egy országos screening kampány kezdődött 2023-ban az SZTFH irányításával, amely egyes kelet- és dél-alföldi olajkísérő vizek akkreditált mintavételezését és kémiai elemzését elvégezte. A program a következő években DNy-, illetve Ny-Magyarország területén folytatja a mintavételezést. A program nagyságrendileg 50 db termelőkút megmintázását és analízisét jelenti. A kutak kiválasztását az előzetes indikációk (magas összoldottanyag-tartalom), illetve a víz által megmintázott földtani környezet alapján végeztük.

További információkat várunk az új geotermikus létesítmények zárójelentéseinek elkészüléséből, mivel a vonatkozó jogszabályok (20/2022 (I. 31.) SZTFH rendelet) előírása szerint az engedélyes a vízösszetételeket, beleértve számos kritikus nyomelem koncentrációját, a kutatási zárójelentésben köteles megadni. Ennek segítségével, az olajkísérő vizek mellett a geotermikus céllal kiemelt vizek összetételéről is országos adatrendszer felépülésével számolunk.

4.12. Magyarország hélium potenciálja

A magyarországi He-kutatás történetét talán érdemes Szelényi és Csajághy (1941) székesfehérvári termálvíz feltárásával kezdeni. A lemélyített fúrás által 600 m alatt harántolt dioritból beáramlott 2:1 arányban nitrogénből és metánból álló gázban 15200 ppm héliumot mutatott ki. A következő szisztematikus vizsgálatokat a hajdúszoboszlói (és ebesi) gázmezőn végezték. Itt az 1 km-nél mélyebben lévő, termogén CH-gázból és kisebb arányban biogén metánból álló telepeiben a hélium átlagos koncentrációja elérheti az 1000 ppm-t (Ballentine et al., 1991). Említésre méltó a szeghalmi termogén gáztelepek héliumtartalma is, ahol Sherwood

Lollar és munkatársai (1994) szerint 200–300 ppm. Ezzel szemben a kismarjai CO2 telep He-tartalma csupán néhány ppm.

A legújabb kutatások során a répcelaki mező több telepének vizsgálatát végezték. A kutatások (Palcsu és munkatársai, 2014) szerint a „tiszta" CO2 telepek héliumtartalma néhány ppm, míg az összesen 10–20%-nyi termogén gázt és nitrogént tartalmazó felsőbb telepekben a hélium eléri, sőt számos esetben jelentősen meg is haladhatja az 1000 ppm-t.

A Nemzeti Feltárási Programhoz hasznos alapadatokat biztosítanak az SZTFH Országos Bányakapitányságán vezetett nyilvántartások (pl. ásványvagyon-nyilvántartás és bányászati területek nyilvántartása), illetve a Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár archív és folyamatosan bővülő dokumentum, illetve digitális adatállománya.

5. A kutatási projektek kivitelezése során keletkező adatok

A kutatási projektek több munkafolyamata során keletkeznek adatok, melyeket a könnyebb kezelhetőség érdekében célszerű adatbázisba rendezni. A kutatás kezdeti fázisában ezek főként a terepi térképezés során létrejövő térképek, mintavételi pontok koordinátái, terepi XRF által mért eredmények, illetve az egyéb forrásból származó minták (archív gyűjteményi-múzeumi minták, fúrómagokból vett minták, kutakból vett minták) adatai. Terepi vizsgálatok alkalmával keletkeznek a felszíni geofizikai mérési adatok, valamint a recski érckomplexum kutatása kapcsán a még műszerrel járható fúrólyukak ferdeségmérésének eredményei. A már részletesebben ismert, régebben is kutatott területek esetén az adatbázis építésének egyik első momentuma az elérhető archív dokumentumok (labor jegyzőkönyvek, kutatási jelentések, térképek, szelvények) értékelése, validálása, majd a megfelelő minőségű adatok digitalizálása és rendszerezése. A recski érckomplexum, a Rudabányai-hegység, valamint a Soproni-hegység kutatásának esetében kérdéses a külsős cégek által kezelt adatok (Nitrokémia Zrt. kezelésében lévő minták, illetve a MECSEKÉRC Kft. tulajdonában lévő adatbázis) helyzete, ezek bevonásához megállapodás szükséges.

A mintagyűjtést, valamint azok makroszkópos, illetve petrográfiai vizsgálatát követően az egyes mintákból kinyerhető geokémiai információkhoz különböző laborvizsgálatok útján jutunk el. Ezek lehetnek ásványtani minősítési vizsgálatok, (XRD, DTA-TG, IR spektroszkópia), kémiai minősítő vizsgálatok (AAS, ICP-OES, ICP-MS), ásványkémiai vizsgálatok (elektronmikroszonda, SEM-EDX/WDX, LA-ICP-MS, RAMAN, stabilizotóp vizsgálat), valamint termometriai vizsgálatok (fluidzárvány-mikrotermometria). A kutatások hosszútávú folyamatosságának, valamint az adatok összehasonlíthatóságának biztosítása érdekében fontosnak tartjuk egy Nemzeti Földtudományi Labor létrehozását az SZTFH és az együttműködő egyetemek laboratóriumi bázisán. Egy ilyen infrastruktúra a CRM kutatási projektek kifutása után is ki tudná szolgálni a hazai és regionális tudományos tevékenység elemzési igényeit. Az SZTFH, az egyetemek, illetve a kutatásban résztvevő partnerek (pl. MECSEKÉRC Zrt.) laborjainak kapacitását meghaladó mintamennyiség esetén, valamint a kontrollmérések elvégzésére külső akkreditált labor bevonása szükséges. A minták előkészítése a vizsgálat típusától függ, így ugyanabból a mintából többféle anyag is keletkezhet (pl.

csiszolat, por, oldat, ásványszeparátum, stb.). A vizsgálatok után megmaradt minták tárolása, rendszerezése az SZTFH telephelyein megoldható (pl. Fúrómagraktárak, Gyűjtemény).

Amennyiben az előzetes geofizikai és geokémiai vizsgálatok alapján indokolt, a kutatás következő fázisa a fúrásos kutatás, amelyhez lyukgeofizikai mérések, kőzetmechanikai vizsgálatok, illetve vízmintavételezés-vízkémiai elemzések is kapcsolódnak. A kiemelt fúrómagok megfelelő dokumentálása, felezése és mintázása után újabb laborvizsgálatok elvégzésével bővíthető a már kialakult tudás- és adatbázis. A fúrómagok tárolása az SZTFH Fúrómagraktáraiban megoldható.

6. Adatok feldolgozása, értelmezése, a különböző területek perspektívájának meghatározása

A kutatás során nyert geokémiai adatok felhasználásával fluidum-kőzet kölcsönhatási modellek állíthatók elő az ércesedést kialakító fluidum fejlődésének meghatározásához, ezen kívül a geokémiai információk alapján becsülhetők olyan termodinamikai paraméterek, amelyekre alapozva a továbbkutatáshoz szükséges vektorokat tudunk kijelölni. A geokémiai és a földtani információk háromdimenziós összesítése alapján olyan teleptani-földtani rendszermodellek állíthatók elő, amelyek segítik az érctest lehatárolást, a vagyonbecslést, és további, perspektivikus területek kijelölését. A nagyszámú adat értelmezését segíti különböző geostatisztikai módszerek alkalmazása is. Mindehhez megfelelő, nyersanyagkutatási feladatokra optimalizált szoftvert szükséges alkalmazni (pl. IoGAS).

A recski érckomplexum kutatásához kapcsolódóan Recsk Mélyszint ércelőfordulás ásványvagyonának első számítógépes modellezését a MECSEKÉRC Zrt. 2012-ben Surpac programban végezte el. Ugyanerre 2016-ban a Golder Zrt. Vulcan programot alkalmazott. Ezek során természetesen geostatisztikai elemzések is készültek. Az érctestek 3D adatbázisát az új adatokkal kiegészítjük, geostatisztikai elemzést végzünk és az adat validálás eredményeire támaszkodva az ásványvagyont újra értékeljük. Az értékelés során az új nyomelem adatokat is figyelembe vesszük.

Fontos megemlíteni, hogy az egyes nyersanyagok potenciálját nem csak az érctest mérete, valamint az abban jelen lévő érckoncentráció határozza meg, hanem az adott nyersanyag kinyerésére alkalmazható dúsítási technológia minősége is jelentős mértékben befolyásolja azt. A Feltárási Programban szereplő kritikus nyersanyagok némelyike esetén nem létezik megfelelő minőségű dúsítási technológia (pl. mangán, Li-agyagok, ritkaföldfémek), így legalább azon nyersanyagok esetében, amelyekből ismert készletekkel rendelkezünk, érdemes lehet figyelmet fordítani ilyen jellegű ipari kísérletek elvégzésére is, mivel ezek sikeressége esetén jelentősen növelhető egy-egy terület/nyersanyag nemzetgazdasági jelentősége. Magyarországon jelenleg a Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Karán működő Nyersanyagelőkészítés és Környezettechnológia Intézet foglalkozik dúsítási eljárásokkal, ezen kívül a kísérletek elvégzéséhez szükséges laboratóriumi háttérrel is rendelkezik.

6.1 Adatbázis szerkezet, tartalom, elérhetőség

A kutatás során keletkezett és nyilvánossá teendő adatok a nemzetközi összehasonlíthatóság érdekében az EU térinformációs infrastruktúrája (INSPIRE) szabályainak megfelelő formátumban készülnek. A megjelentetni kívánt adatokat az Európai geológiai adatinfrastruktúra (EGDI) online felületén tesszük közzé.

6.1.1 Adatmodellek

A kijelölt kutatási területekről származó vizsgálati adatokat, illetve az azokkal kapcsolatos archív adatokat, térképeket, jelentéseket, egységes koncepció szerint felépített adatbázis rendszerbe kell szervezni. Az adatállomány a tárolt információk jellege alapján a következő témacsoportokba sorolható:

- Nyersanyagkutatási és bányászati engedéllyel rendelkező területek
- Nyersanyag lelőhelyek, ásványvagyon adatok
- Földtani – geofizikai modellek
- Mérési projektek, kampányok
- Vizsgálati adatok
    - felszíni geológiai észlelések, geofizikai mérések
    - fúrólyukbeli mérések
    - laboratóriumi vizsgálatok
- Archív dokumentumok, kutatási jelentések

Az Európai adatszolgáltatókra nézve kötelező INSPIRE irányelv ezekkel a témacsoportokkal kapcsolatban nemzetközi informatikai szabványokra épülő adatmodellek használatát írja elő. (ld. https://inspire-mif.github.io/uml-models/approved/html/) A **bányászati nyilvántartási** adatok tárolására és megosztására az INSPIRE Annex III, MineralResources adatmodell használatával lehetséges. Ez az alábbi – a Nemzeti Feltárási Program szempontjából – releváns osztályokat tartalmazza:

- MineralOccurrence
- ExplorationActivity
- Resource, Reserve, UNFC Classification

Ezek az elemek jól használhatók a kijelölt kutatási területeken lehatárolt előfordulások, illetve a hozzájuk kapcsolt vagyonbecslések leírására.

Az INSPIRE Annex III, Area Management Restriction and Regulation Zones adatmodell a Területszabályozási övezetek, esetünkben a kutatási és bányászati engedéllyel rendelkező területek szempontjából fontos. Ez megfelel az SZTFH BATER nyilvántartásban szereplő bányatelkeknek és kutatási területeknek.

A **geológiai adatok** esetében az ajánlott szabvány az INSPIRE Annex II Geology/Geology. Ennél részletesebb leíráshoz a GeoSciML 4.1 használandó.

A **geofizikai mérések** tárolása és megosztása az INSPIRE Annex II Geology/Geophysics adatmodell használatával történik. Az ehhez használható osztályok a következők:

- GeophMeasurement
- GeophObjectSet
- GeophModel

Ezek az elemek alkalmasak minden felszíni és mélyfúrás-geofizikai mérés, illetve feldolgozott adat megosztására. A GeophMeasurement-ből éd GeophModel-ből származtatott adattípusok mérési geometria szerint szétválasztva valósítják meg a konkrét geofizikai elemeket.

Mérések:

- pont geometria – mérő állomások, szondázások
- vonal geometria – mérési vonalak (2D szeizmikus mérés, radar, egyenáramú szelvényezés)
- poligon geometria – területi mérések (3D szeizmikus mérés, interferometria)

Modellek:

- vonal geometria – rétegsorok
- felületi fedvények – kiértékelt szelvények (2D szeizmikus feldolgozások, ellenállás metszetek)
- térbeli fedvények – 3D szeizmikus tömb

Az eredmények ipari standard formátumú állományok (SEGY, LAS, stb) formájában csatolhatók. Az adatmodell a GeophObjectSet osztályon révén támogatja a mérési és feldolgozási kampányok, kutatási projektek leírását is.

Részletes **vizsgálati adatok** megosztására az INSPIRE irányelv az Observations And Measurements szabvány használatát írja elő. Ez egy általános keretrendszer, amely felszíni, felszín alatti és laboratóriumi vizsgálatok dokumentálására egyaránt alkalmas. A kiindulási alap a Térbeli mintavételi alakzat (Spatial Sampling Feature) amely két fő részből áll: geometria és tetszőleges számú vizsgálat (Observation). Minden vizsgálat tartalmazza a mérést leíró metaadatokat, és az eredményt, ami lehet egy mennyiség, adatrekord, táblázat, vagy idősor.

Az egyszerű adatszerkezet a vizsgálatok sokféleségét digitális szótárak segítségével kezeli. A szótárak megvalósításához az RDF SKOS szabvány használata javasolt.

Mélyfúrási adatok leírásához az INSPIRE Annex II Geology/Geology Borehole osztály használható. Az EGDI (Európai Geológiai Adatinfrastruktúra) ugyanehhez az EPOS projektben kifejlesztett egyszerűsített BoreholeIndex használatát írja elő. Ez tartalmazza a mélyfúrás törzsadatait és a kapcsolódó vizsgálati eredményekre mutató linkeket, témakör szerinti csoportosításban. (rétegsor, geofizikai mérési eredmények, vízföldtan, vízszint monitoring stb.)

6.1.2. Adatbázisok

Az ásványi nyersanyag adatok tárolására a GeoERA és Geological Service for Europe (2022-2027) GSEU projektekben való részvételünk okán rendelkezésünkre áll a MIN4EU adatbázis. Ez az Európai Geológiai Szolgálatok közösségének (EuroGeoSurveys) tagszolgálatai által közösen fejlesztett rendszer, amely lefedi a bányászat teljes vertikumát, és INSPIRE konform adattárolást valósít meg. A rendszer használatával szerteágazó és részletes nyilvántartás lehetséges.

Az INSPIRE-hez kapcsolódó koncepcionális adatmodellek fizikai implementációjára az elmúlt években számos erőfeszítés történt. Az ALFA adatbázis rendszer alapvető célja ennek a

megvalósítása volt, így jó alapként szolgál a Nemzeti Feltárási Programban kiépítendő informatikai rendszer felépítéséhez. Függetlenül attól, hogy ez a rendszer kapcsolódik-e vagy sem külső adatszolgáltatási felületekhez a nemzetközi szabványoka épülő, egységes szemléletű földtani információs rendszer megbízható alapot biztosít a belső adathasználati igények kielégítéséhez és az egységes koncepción alapuló adatvagyon kezelés megvalósításához.

Ennek az infrastruktúrának a kiépítése megfelelően képzett, földtanban, geo-informatikában, adatbázis és web szerviz technológiákban egyaránt jártas szakértői háttér nélkül nem megvalósítható.

6.1.3. Adatmegosztás

Az INSPIRE konform adatszolgáltatás alapja a szabványos webszervizek használata. Az adatok elérését a koncepcionális adatmodellekre épülő adatbázisokból az OGC (Open Geospatial Consortium) szabványoknak megfelelő szervizekkel kell biztosítani. A nagyértékű adatkészletek (High Value Dataset) esetében (mint pl. a CRM adatkör) kiemelten fontos a F.A.I.R. (F: megtalálható, A: hozzáférhető, I: megfeleltethető, R: újrahasznosítható) adatszolgáltatás elveinek megfelelő gépi kereshetőség és olvashatóság. Ennek szokásos módja a WMS/WFS alapú GIS szolgáltatások, az OGC API Feature, SensorThings API eszközök, valamint az ISO-19115 szabványra épülő metaadat katalógusok (CSW – Catalogue Service for the Web) használata. Az SZTFH INSPIRE adatszolgáltatása jelenleg is ilyen metaadat katalógus rendszer segítségével történik. Az SZTFH CSW szerver szüretelési lehetőséget biztosít a Nemzeti INSPIRE Geoportál, valamint az EGDI metaadat katalógusa felé.

Az ISO-19115 metaadatok adatkészletek és web szervízek leírására valók. Tartalmazzák az adatkészletek kereséséhez szükséges legfontosabb kulcsszavakat, szöveges leírását, az adatok elkészítésének módját, az adatok elérhetőségét és a hozzáférési korlátozásokat is. Archív és újonnan keletkezett térképek, jelentések áttekintését segítő adatbázisként használhatók.

Ásványi nyersanyag témakörben az SZTFH EGDI (European Geological Data Infrastructure) felé történő adatszolgáltatása (adatvédelmi okokból limitált tartalommal) a MIN4EU adatbázisból történik egy Deegree web szerveren keresztül, amely magas színvonalú WFS szolgáltatást biztosít. A szolgáltatást havi rendszerességgel szüreteli az EGDI központi adatbázisához kapcsolt alkalmazás. Ugyanez az adatbázis a Nemzeti Feltárási Program keretében születő tartalommal felhasználható a belső adattárolási és adatszolgáltatási igények kielégítésére is.

7. A Nemzeti Feltárási Program ipari, akadémiai és társadalmi kapcsolódásai

A program összeállítása során kiemelten fontos volt egy szakmailag egységes, agilis, és közös álláspontón alapuló feltárási program kialakítása. Ennek érdekében életre hívtuk a CRM Kerekasztalt, amelyben a SZTFH Földtani Szolgálata mellett minden földtudományi képzéssel rendelkező egyetem (Eötvös Loránd Tudományegyetem, Miskolci Egyetem, Szegedi Tudományegyetem), a két legjelentősebb földtudományi civil szervezet (Magyarhoni Földtani Társulat, Magyar Geofizikusok Egyesülete), a CRMA kapcsán érintett minisztériumok (Energiaügyi Minisztérium, Nemzetgazdasági Minisztérium), valamint az állami tulajdonú bányavállalkozások (a Nitrokémia Zrt., és a MECSEKÉRC Zrt.), és az SZTFH Országos Bányakapitányság munkatársai foglaltak helyet, mindazok, akik érintettek a kritikus ásványi nyersanyag kutatásban.

A Kerekasztal lehetővé teszi, hogy a feltárási programba becsatornázzuk az államigazgatási, akadémiai, társadalmi és ipari igényeket és tapasztalatokat annak érdekében, hogy a program által elérni szándékozott szakmai eredmények minél nagyobb „spill-over" hatást tudjanak elérni. Célunk olyan tartós kompetenciák felállítása és szakmai eredmények elérése, amely képes a hazai nyersanyagkutatást tartósan prosperáló irányba elmozdítani.

A feltárási program elemeinek kidolgozásában, illetve a későbbiekben azok végrehajtásában kulcsfontosságú a közösségépítés. Az egyes kutatási témák és irányok közös munkával kerülnek végrehajtásra, a CRM kerekasztal résztvevői kompetenciáik és erőforrásaik függvényében, de folyamatosan segítve a Földtani Szolgálat munkáját. Csak hosszútávú közös munka révén válhatnak a kutatási témák gazdaságilag is érett, bányászatilag értelmezhető projektekké.

Szintén fontos szempont volt már a tervezéskor, hogy a projektekkel kapcsolatos információkat a GSEU projekt által alkalmazott egységes szemléletű földtudományi adatrendszerben strukturálva, UNFC besorolással, egy ún. CRM digitális adatszobába rendezve kínáljuk fel a piaci szereplők számára. Ezáltal jelentős mértékben támogatható és gyorsítható a piaci beruházási döntés, áttekinthető az adatállomány és az elvégzett munka. A feltárási program elsődleges feladata a földtudományi szakmai kihívások mellett valójában a nemzetgazdasági célú ásványi nyersanyagvagyon feltérképezése és lehetőség szerint mihamarabbi hasznosításának előkészítése. Ezért az állami kutatási tevékenység során mindig figyelemmel kell lenni a piaci, már a konkrét hasznosítás előkészítését célzó kutatás igényeire.

A CRM digitális adatszoba létrehozásának célja, hogy lehetőséget biztosítson majd az összegyűjtött CRM információk digitális földtani-geofizikai adatrendszerekbe rendezve történő megismerésére, azáltal, hogy a digitálisan elérhető földtani és geofizikai adatok elemzéséhez szükséges eszközöket és információkat egy helyen teszi elérhetővé a szakemberek számára. Ennek keretében térinformatikai és földtani-geofizikai elemző szoftverek közvetlen használatára is biztosítunk hozzáférést, amelyek lehetővé teszik az adatok helybeli elemzését, a különböző paraméterek gyors összevetését és a szakmai döntéshozatal támogatását.

Különösen fontosnak tartottuk a program összeállításakor figyelembe venni, hogy a hazai ásványi nyersanyagkutatási irányultságú földtudományi és bányamérnöki szakemberek számának csökkenését megállítsuk. Az egyetemi képzőhelyek bevonása lehetővé teszi, hogy a szakmai utánpótlás számára egyértelmű, hosszútávú célokat támasszunk, ezzel pedig jövőképet állítsunk, biztosítva a hazai ifjú szakemberek jövőbeli boldogulását.

A CRM nemzeti feltárási program kiemelt célja a tudásmegosztás és kapacitásépítés. Ezért az alábbi formákat a partnerekkel közösen a szakmai eredményekhez igazítva minél nagyobb mértékben kell kiaknázni:

• **Workshopok/szemináriumok/konferenciák**: Tematikus szakmai események szervezése, amelyek a földtudományi és bányászati ágazatból összegyűjtik az érintetteket (stakeholder) és lehetőséget biztosítanak a CRMA végrehajtásával kapcsolatos meglátásaik, kutatásaik és esettanulmányaik megosztására. Külön hangsúlyozandó, hogy ezen lehetőségek alkalmával a szakemberek találkozhatnak, eszmét cserélhetnek és új kapcsolatokat alakíthatnak ki egymással.

• **Közös publikációk/kutatási dokumentumok:** Ösztönözzük a közös társszerzős cikkek és tanulmányok létrejöttét, amelyek hozzájárulhatnak a tudásbázis bővítéséhez.

• **Képzés és oktatás:** Bízunk benne, hogy a program előrehaladásával olyan programok kidolgozása is megkezdődhet, amelyek célja a munkaerő, a kutatói szakemberállomány és az érintett civil szervezetek megfelelő technológiákkal, módszerekkel és szemléletével kapcsolatos készségeinek fejlesztése. A CRM rendelet végrehajtása, illetve a Nemzeti Feltárási Program támogatására az SZTFH Országos Bányakapitánysága 3 részes UNFC tréninget szervez 2025-ben a bányafelügyeleti és a földtani szolgálati munkatársak részére, akik az ásványvagyon-gazdálkodásban vagy a Program UNFC osztályozást megalapozó feladataiban érdekeltek.

8. A Nemzeti Feltárási Programmal kapcsolatos monitoring, értékelési és frissítési feladatok

A CRM rendelet 19. cikkének (1) bekezdése szerint a Nemzeti Feltárási Programot legalább ötévente felül kell vizsgálni és szükség esetén aktualizálni kell, továbbá a CRM rendelet 19. cikkének (5) bekezdése szerint Magyarországnak évente jelentéstételi kötelezettsége van a nemzeti feltárási programban szereplő intézkedések végrehajtásának előrehaladásáról.

Ezen feladatok ellátását biztosítja, hogy a CRM Kerekasztal legalább évente összeül és kiértékeli az SZTFH és a hazai CRM program kidolgozásában és kapcsolódó kutatásokban résztvevő akadémiai és ipari partnerei által készített éves szakmai beszámoló alapján az előrehaladást, valamint ez alapján további intézkedéseket, változtatásokat, illetve következő évi szakmai tervet javasol. Az így előálló dokumentum az éves jelentés része lehet, melyben a Nemzetgazdasági Minisztérium az Európai Bizottságot tájékoztatja A CRM Kerekasztal tanácsadói funkciója a CRM rendelet végrehajtásával kapcsolatos tagállami szintű további szakpolitikai, szabályozási kérdések esetében is hiánypótló lesz.

Ezzel a módszerrel képes lesz az SZTFH az egységes szakmai támogatást a kritikus ásványi nyersanyagkutatásban megőrizni és a szakmai közösséget folyamatosan építeni. Ez különösen azon esetekben lesz kiemelten fontos, amikor az egyes kutatási projektek esetében nem a várt vagy elvárt eredmények születnek és jelentős mértékű felülvizsgálatra lesz esetleg szükség.

Szintén fontos eleme a nyomonkövetési folyamatnak, hogy az éves tagállami jelentés beküldését követően az SZTFH szervezésében CRM szakmai napot rendez, amelyben az egyes projektek előrehaladását szakmai előadások keretében ismerhetik meg a szakmai érdeklődők.

A CRM rendeletben meghatározottak szerint az SZTFH működteti azt a weblapot, amelyen térképek segítségével lesznek nyilvánosan hozzáférhetőek mindazon lelőhelyek és a lelőhelyekre vonatkozó meta-adatrendszerek, amelyek kritikus fontosságú nyersanyagokat tartalmaznak, és amelyeket a nemzeti feltárási programban meghatározott intézkedések keretében gyűjtött össze. A meglévő tájékoztató felületeken túl ezen a honlapon is sor kerül a CRM adatszobával kapcsolatos részletes tudnivalók ismertetésére.

9. A Nemzeti Feltárási Program erőforrásigényei

A Program végrehajtása során az egyes kutatási projektek eltérő munkaprogrammal rendelkezhetnek, de mindegyikre az alábbi általános csoportosítás érvényes:

- Korábbi kutatások és meglévő adatok összegyűjtése, újraértékelése: a területen és tágabb környezetében végzett korábbi feltárási tevékenységek, beleértve a régi fúrási adatok, a bányászati nyilvántartások és a korábban azonosított indikációk újraértékelése, átértékelése.
- Földtani térképezés: A terület földtani jellemzőinek a nyersanyagkutatás igényeit kielégítő, rendszerint a már létező földtani térképeknél részletesebb léptékű (1:5000 – 1:2000 méretarányú) feltérképezéssel történő megértése kritikus fontosságú. Ez segít azonosítani az ásványosodott zónákat és a potenciális erőforráscélokat.
- Geofizikai mérések és ásványtani, kőzettani, geokémiai laboratóriumi vizsgálatok: A geofizikai felmérésekből (pl. mágneses, gravitációs, elektromágneses) és ásványtani, kőzettani, geokémiai elemzésekből származó adatok további betekintést nyújthatnak a felszín alatti területbe és hozzájárulnak a kritikus nyersanyagokat tartalmazó telepek kialakulásának megértéséhez, és ezek alapján a nyersanyagkutatásban alkalmazható földtani- és folyamat modellek kidolgozásához.
- Feltáró fúrások: Bizonyos projektek esetében szükség van fúrásra a pontosabb megértés érdekében már az állami kutatási szakaszban is. A fúrási programok eredményei, mint például a magminták, kulcsfontosságúak az ásványkincsek mennyiségének és minőségének meghatározásához.

A Nemzeti Feltárási Program végrehajtásához négy típusú erőforrásra van szükség:

1. Humán erőforrás: Szükséges szakértői és technikusi állomány, akik a fenti feladatokat az egyes projektek esetében a munkaprogramnak megfelelően magas szinten végre tudják hajtani. Belső képzések segítik a feladatokban résztvevő munkatársakat (pl. a CRM rendeletben előírt ENSZ erőforrás keretosztályozás, azaz UNFC alkalmazása).
2. Digitális infrastruktúra: Szükséges teljesítményű számítási erőforrások és adatrendszerek, valamint adatrögzítő, feldolgozó és értelmező szoftverek.
3. Kutatási infrastruktúra: A tudományos vagy technológiai feltárásokhoz elengedhetetlen a laboratóriumokhoz, adattárakhoz szükséges hozzáférés. Ide tartoznak a speciális mérési berendezések vagy technológiák is (pl. analitikai vagy geofizikai mérő eszközök).
4. Pénzügyi források: A földtani kutatások jelentős pénzügyi ráfordítást igényelnek és megtérülésük közép-hosszú távon várható. az ásványi-nyersanyag mennyiségi és minőségi meghatározásához költségesebb feltáró kutatásokra is szükség van.

Különösen fontos hangsúlyozni, hogy bár javarészt az elérhető adatok rendszerezése megtörtént, azok legjobb esetben is csak a 70-80-as évek technológiai és módszertani színvonalán használhatóak fel, nemzetgazdasági hasznosságukról ebben a formában nem lehet még beszélni. Európai szinten szakmai tény, hogy míg a kilencvenes évekig kb. 20 elem volt a nyersanyagkutatás fókuszában, addig ma ez a szám már megduplázódott és folyamatosan csak növekszik, továbbá régen a 300 m-nél sekélyebb térrészre fókuszáltak, most akár 1500-2000 m mélységig van gyakorlati haszna a potenciálkutatásnak.

A program összeállításakor az erőforrások tervezése különösen kritikus cél, hogy csak olyan kompetenciák jöjjenek létre, amelyek tartós nemzetgazdasági hasznosságot eredményeznek. Ez azt jelenti, hogy a kutatási munkaprogramok fejlesztési és operatív kiadásainak összeállítása során a következő szempontok érvényesültek:

- csak nemzetgazdaságilag értelmezhető tevékenységek kerültek a programba,
- amennyiben indokolt infrastrukturális fejlesztések végrehajtása (akár labor, akár digitális), azok horizontálisan minél nagyobb mértékben támogassanak más munkaprogramokat is, kihasználatlan vagy partikuláris kapacitások ne jöhessenek létre,
- az emberi erőforrások tekintetében támogatja a fiatal szakértők képzését és bekapcsolódását a hazai CRM kutatásba, hogy a keletkező szakértelem és kompetencia minél szélesebb körben hasznosuljon, további kutatási eredményeket indukálva.

Mindezek alapján a Program keretében létrehozásra kerül a CRM Nemzeti Laborhálózat, amely az SZTFH és a CRM Kerekasztal résztvevőinek akkreditált és nem akkreditált földtudományi laborkapacitásaihoz biztosít a CRM kutatásokba bevont kutatóműhelyeknek központi laborkapacitást. Ezzel biztosítható, hogy a partnerekkel együttműködésben, költséghatékony módon, minél nagyobb laborkihasználtságot és mérési kapacitás jöjjön létre, amely kompetencia a nyersanyagkutatás alappillérévé tud válni. A CRM Nemzeti Laborhálózat infrastrukturális (műszerállomány) fejlesztése is szükséges azon elemzési kompetenciák esetében, melyek szükségesek a korszerű és a befektetői körök által is elfogadott minőségű adatok előállítására, de jelenleg még nem állnak rendelkezésre az együttműködő partnereknél.

A Nemzeti Feltárási Program elfogadását követően az egyes munkaprogramok erőforrástervezése pontos lebontásra és priorizálásra vár. Jelenleg az erőforrásigények csak aggregáltan állnak rendelkezésre, annak érdekében, hogy a szakmai és szakpolitikai rugalmasság megmaradjon.

A Nemzeti Feltárási Program elfogadását követően történik meg az egyes munkaprogramok erőforrástervezése. Ennek megfelelően a Nemzeti Feltárási Program pontos munkaprogramját és költségvetését minden évben önállóan kell megtervezni és végrehajtani. A Nemzeti Feltárási Program finanszírozásába lehetőség szerint be kell vonni a piaci szereplőket is, a mindenkori költségvetési tervben elkülönítve a piaci és állami finanszírozási igényt. A költségvetés által ténylegesen finanszírozott összeg a mindenkori központi költségvetés tervezésekor kerül megállapításra.