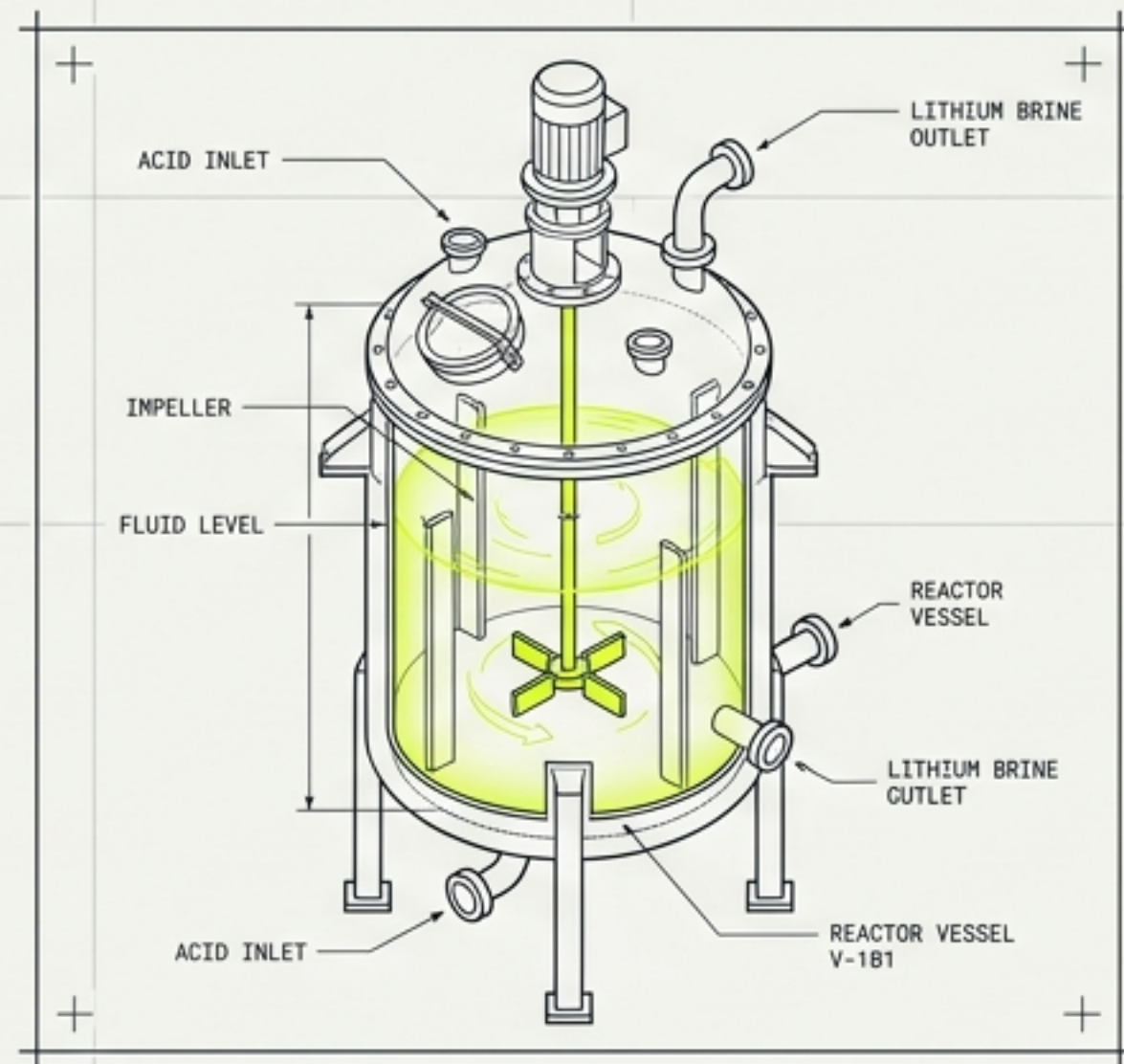


INŽENIRSKI DOSJE // ŠTUDIJA PRIMERA: ROCK ZERO

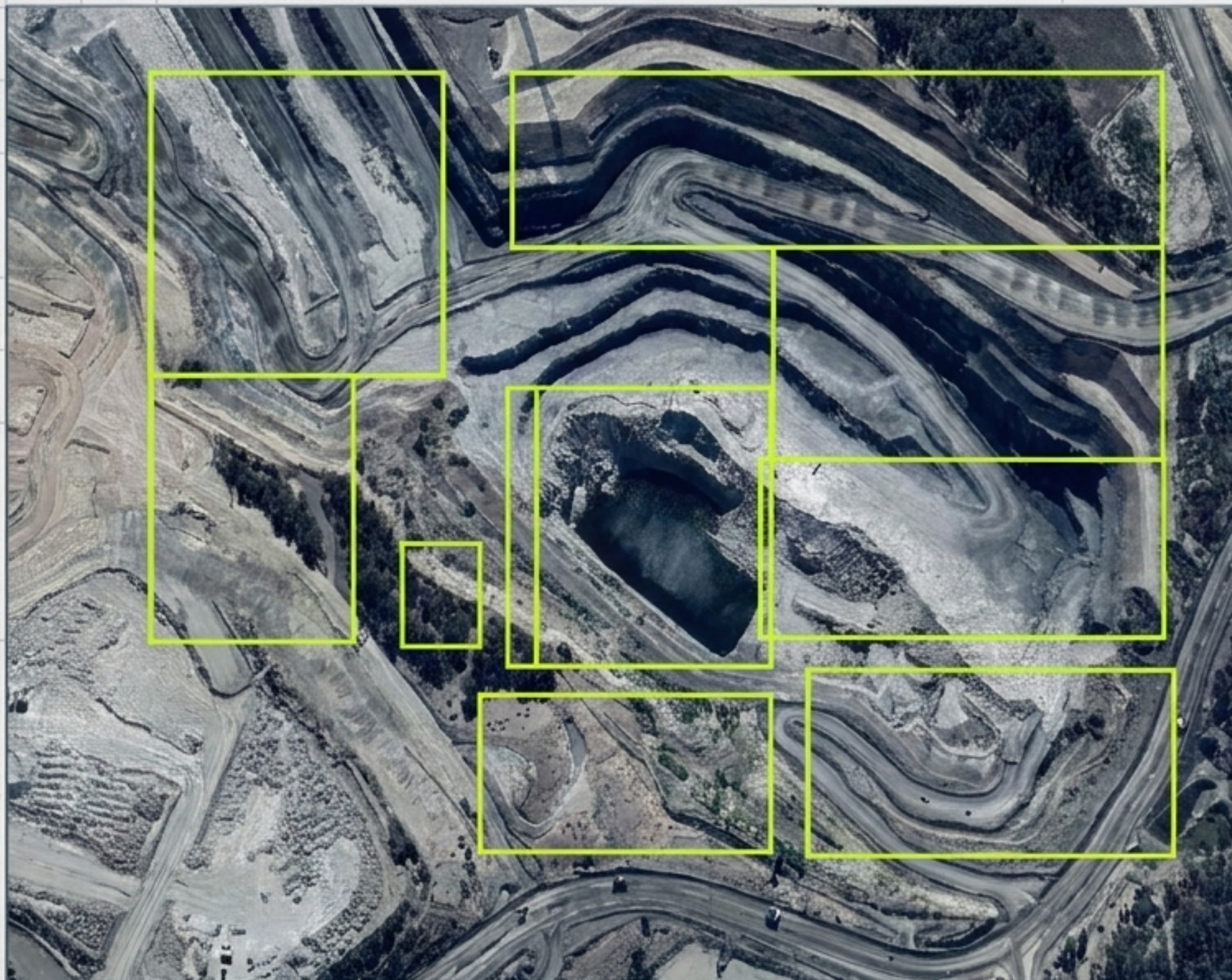
Dekarbonizacija ekstrakcije litija: Od makro problema do molekularne rešitve

Tehnična in ekonomska analiza nizkotemperaturnega raztapljanja silikatov za prehod v krožno rudarjenje.

VKLJUČUJE: PROCESNE SCHEME,
TEHNO-EKONOMSKO ANALIZO,
SCALE-UP PARAMETRE



Status quo: Energetsko in prostorsko potratna paradigma



Slanice (Brine Pools)

Potrebujejo ogromne površine in dolgotrajno izhlapevanje (tisočletni naravni procesi ujeti v bazenih). Geografsko močno omejene.



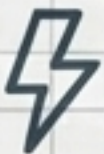




Trde kamnine (Hard-Rock/Spodumen)

Prevladujoča taktika. Zahteva miniranje, ekstremne temperature (praženje v pečeh) in obdelavo z nevarnimi kemikalijami.

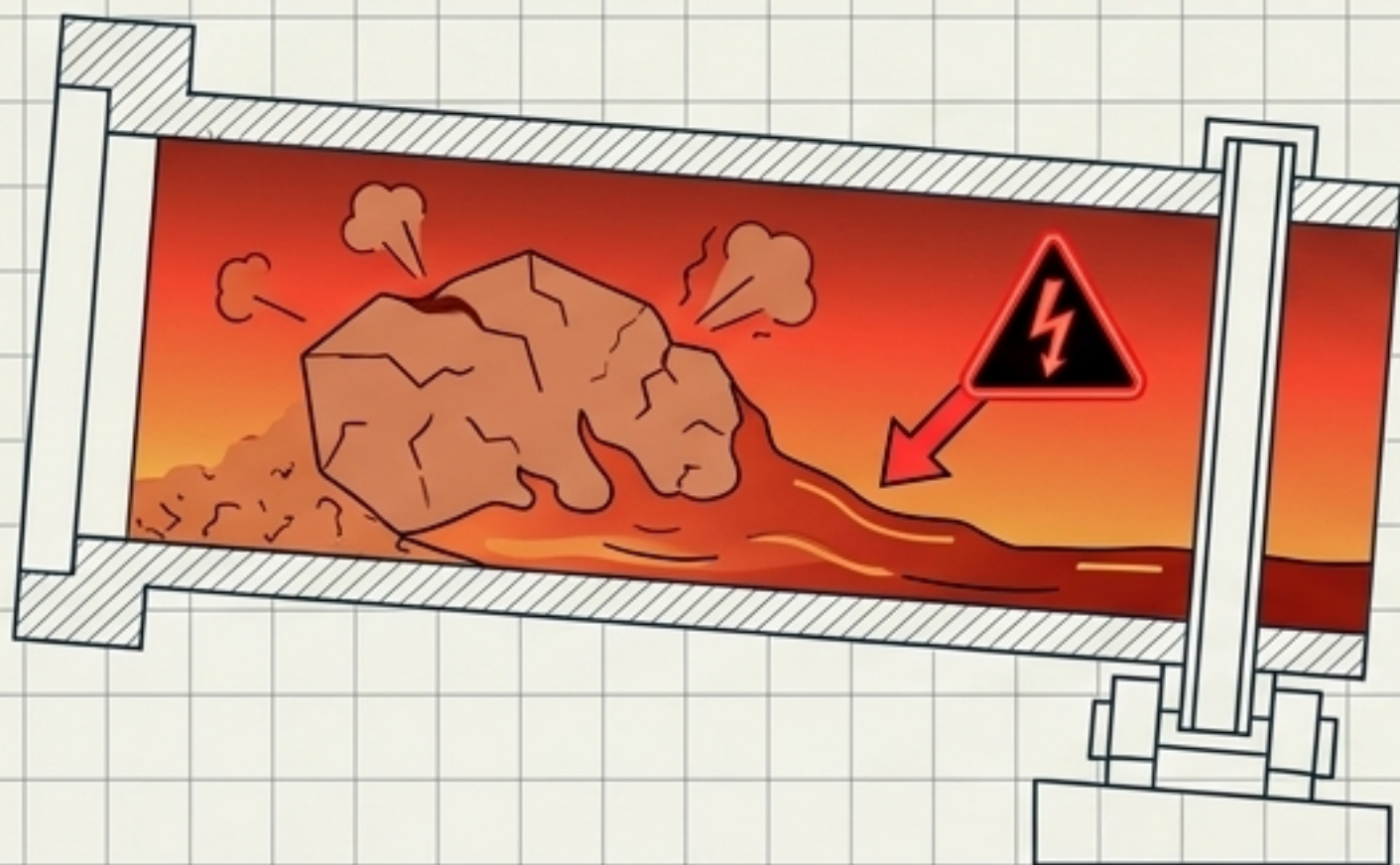
IDENTIFICIRANO OZKO GRLO:
Trenutni procesi so bodisi prepočasni in prostorsko potratni (slanica) ali pa energetsko in kemijsko nevzdržni (praženje).

Primerjalna matrika metod ekstrakcije

		Konvencionalna slanica	Praženje kamnin	Rock Zero (Šibka kislina)
	Geografska omejenost	Visoka (specifične regije)	Srednja	Nizka (katerikoli silikati)
	Potreba po prostoru / času	Ogromna (bazeni) / Več mesecev	Srednja / Dnevi	Majhna (reaktorji) / Pod 12 ur
	Energetska intenzivnost	Nizka (sončna evaporacija)	Ekstremna (Super-visoke temp.)	Nizka (cca. 95 °C)
	Kemikalije / Varnost	Zmerna	Nevarna topila	Obvladljiva (Brez HF)
	Izkoristek rude	Samo litij	Predvsem litij (veliko jalovine)	Popoln (‘Nose-to-tail’)

Premagovanje barriere fazne transformacije

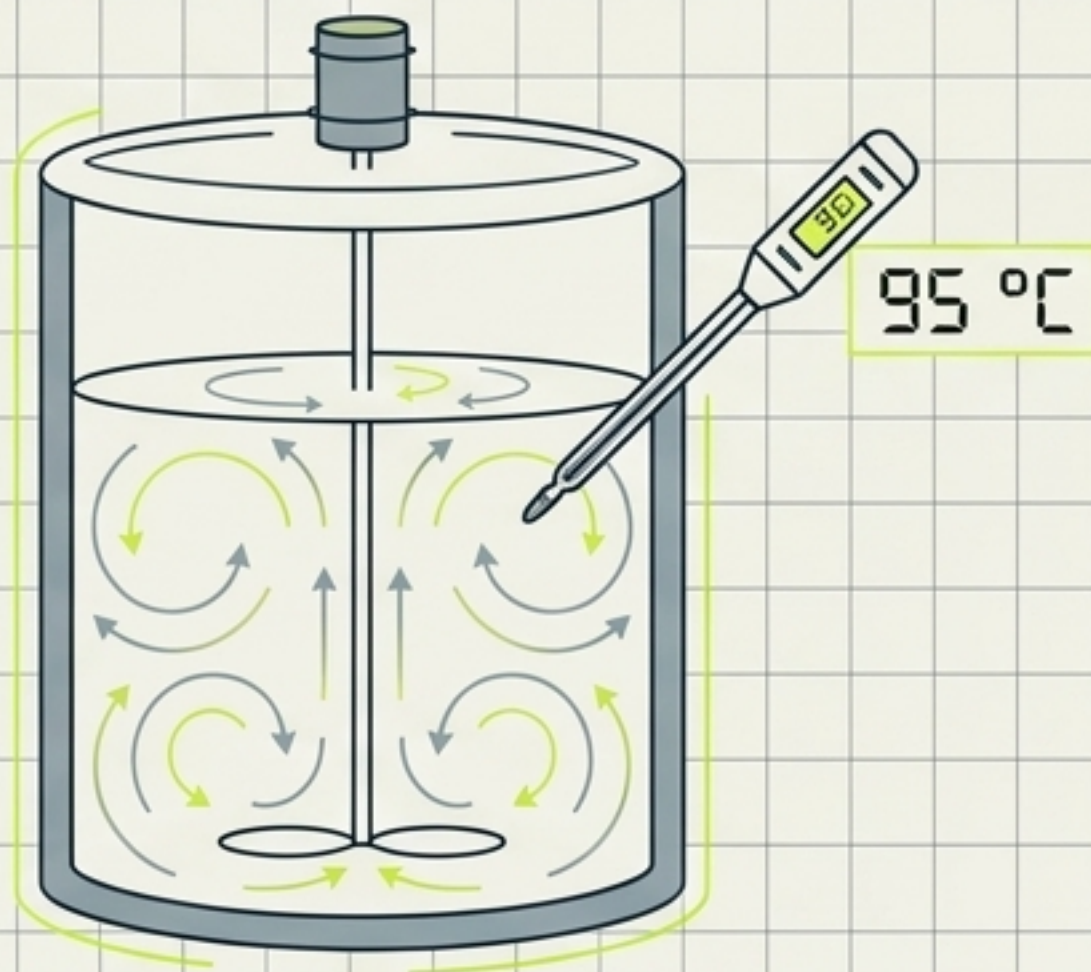
Status Quo



Tveganje zasteklitve.

Trenutni ključni korak je praženje spodumena pri ekstremnih temperaturah za doseganje fazne transformacije (nabrekanje materiala). Ruda s preveč železa ne preide pravilno skozi spremembo, temveč se stopi v neuporaben steklast material.

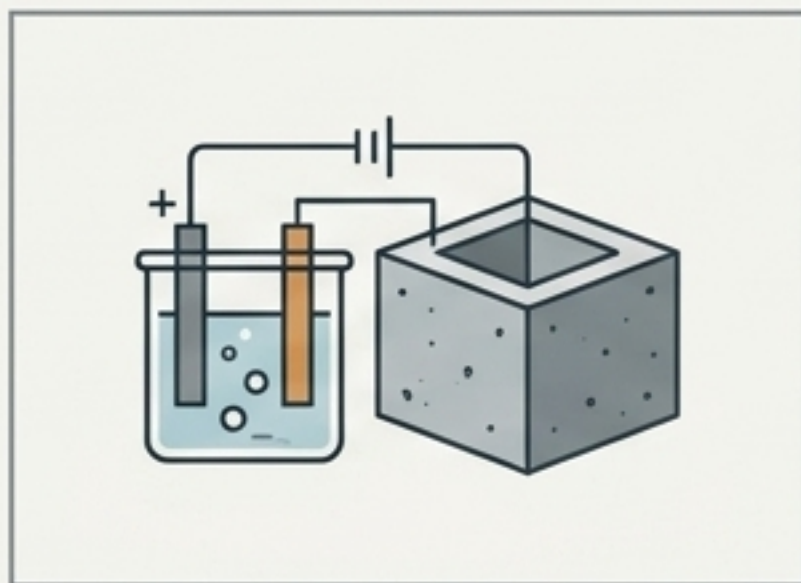
New Paradigm



Selektivno raztapljanje.

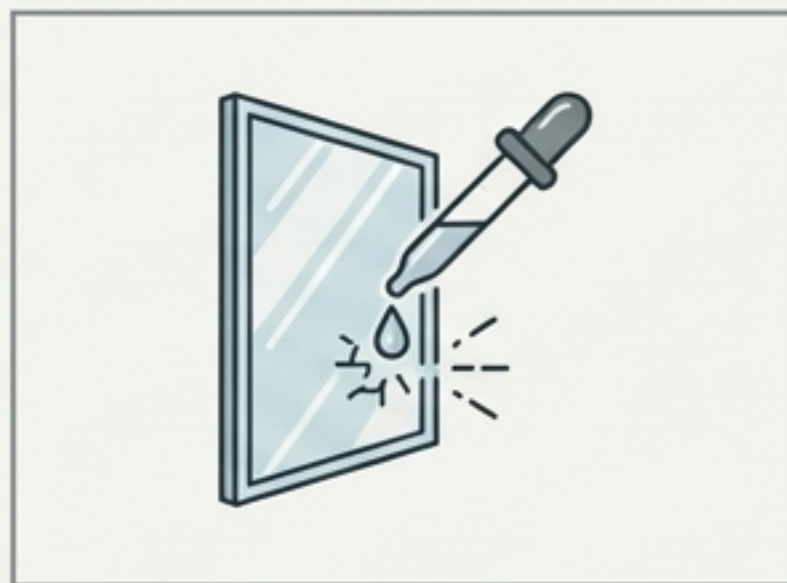
Proces v preprostih mešalnih rezervoarjih pri zgolj ~95 °C. S tem tehnologija odklene uporabo manj čistih rud in drastično zmanjša porabo energije in emisije ogljika.

Matrica prenosa znanja: Od kopalnice do rudnika



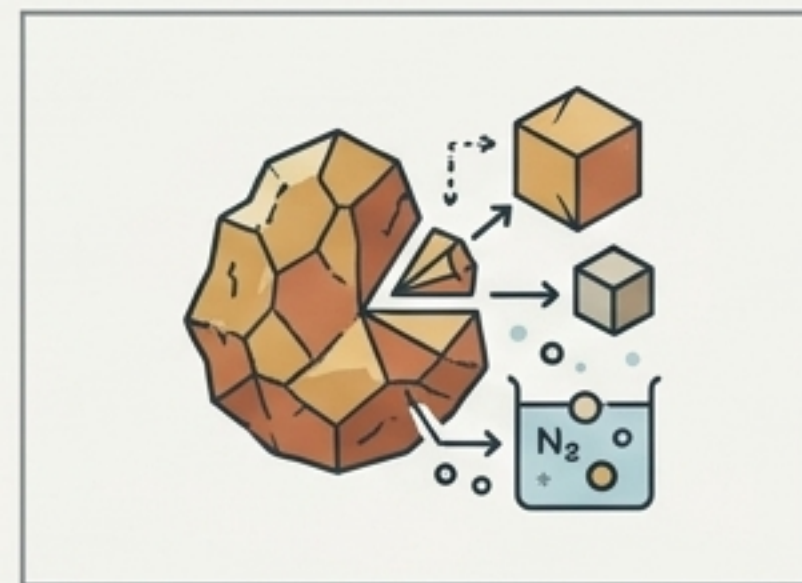
Problem (Sublime Systems)

Iskanje vira visoko reaktivnega **silicijevega dioksida** za močnejši elektrokemični cement. Zavedanje o potrebi po raztapljanju nereaktivnih materialov.



Katalizator (Osebna izkušnja)

Raziskovalci se spomnijo prenove tuš kabine pred 25 leti. Uporaba paste za jedkanje stekla (ki je narejeno iz **silike**). Odkritje **amonijevega fluorida** kot aktivne snovi.



Aplikacija (Rock Zero)

Prenos ugotovitve iz komercialne paste na problem industrijskega raztapljanja **silikatnih mineralov** - posebej **spodumena**, glavne rude za **litij**.

Kemijski labirint: Problem fluorovodikove kisline

Silikati so izjemno nereaktivni. Raztapljanje zahteva skrbno načrtovano kemijo.

Raztapljanje silikatov



Močne kisline

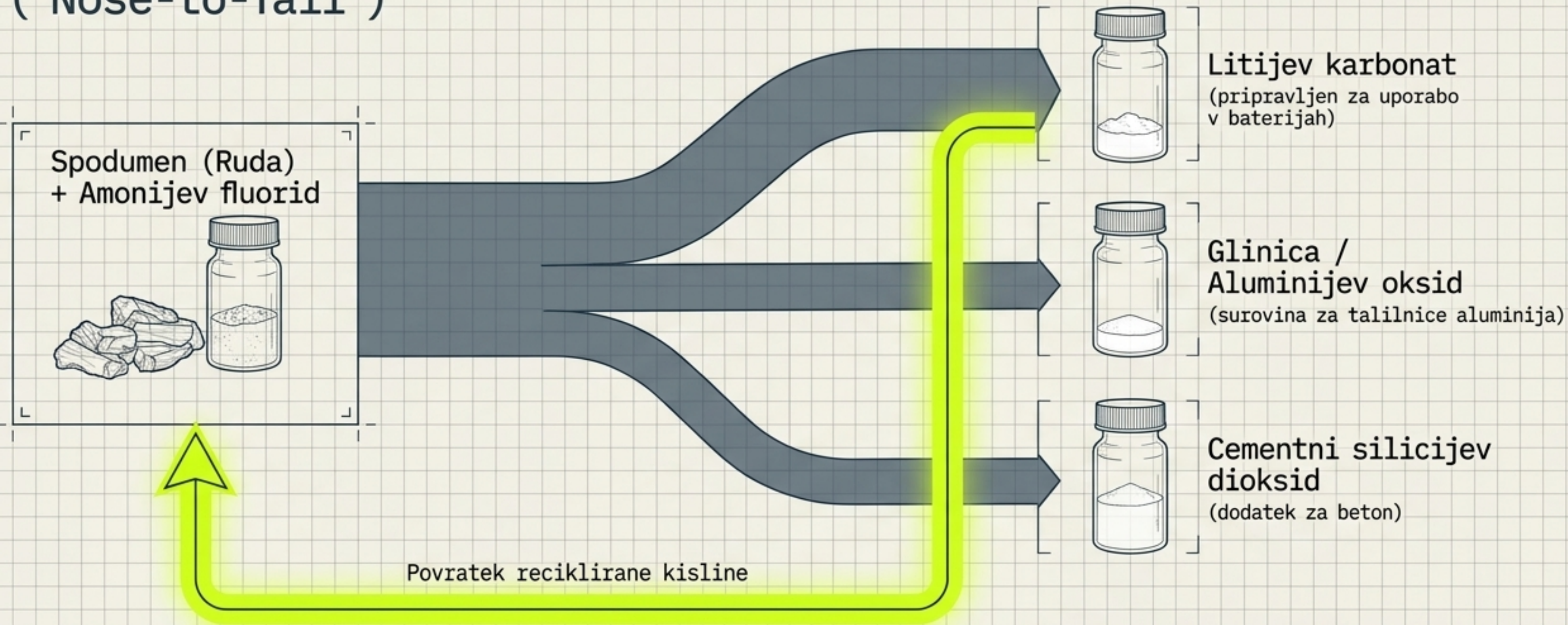
Konvencionalna fluorova topila reagirajo in kot stranski produkt ustvarijo fluorovodikovo kislino (HF) – izjemno nevarno in korozivno kemikalijo, neprimerno za varno industrijsko povečevanje merila. (Slepa ulica)



Šibke kisline

Amonijev fluorid. MIT raziskovalci so odkrili pogoje, pod katerimi ta kislina učinkovito jedka silikate, ne da bi pri tem nastajala nevarna HF kislina. (Inovacija)

Diagram toka snovi: Koncept celovitega izkorištka (‘Nose-to-Tail’)



**EKSTRAKCIJSKI ČAS SKRAJŠAN
NA MANJ KOT 12 UR.**

Tehno-ekonomska armaturna plošča: Obvladovanje tržnih tveganj



Tržna opozorila:

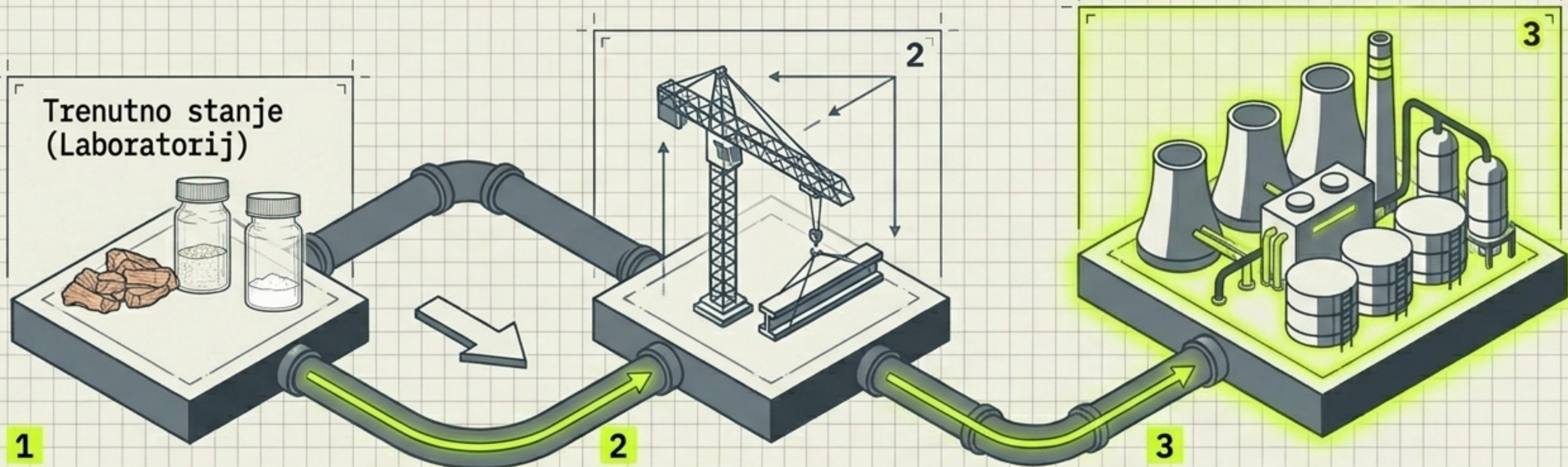
Trg je izjemno volatilen.

Kljub rasti povpraševanja zaradi baterij, tehnologija tekmuje z obstoječimi giganti in tehnološkimi alternativami (npr. natrij-ionske baterije, ki ne potrebujejo litija).

Ciljna cena: < 6.000 \$/tono

Ob predpostavki visoke stopnje reciklaže amonijevega fluorida bo proces stroškovno nižji od obstoječih metod iz trdih kamnin in popolnoma konkuren pridobivanju iz slanice.

Časovnica inženirskega povečevanja merila (Scale-up)



1

Trenutno stanje (Laboratorij)

MIT laboratoriji trenutno procesirajo koncentrat spodumena v serijah po 3 kilograme v enostavnih rezervoarjih. Odkrit cenovno ugoden industrijski vir kisline.

2

2026 (Gradnja)

Iskanje lokacije in načrtovanje pilotne tovarne (Rock Zero). Pogovori s partnerji za postavitev infrastrukture na obali Velikega slanega jezera.

3

2027 (Operativna faza)

Pričakovan zagon obrata. Potrditev sposobnosti kontinuiranega obratovanja z obvladovanjem reciklaže kisline na industrijski ravni.

Sinteza: Od padca energetske bariere do krožnega gospodarstva

Resnična vrednost te inovacije ni le v zamenjavi ene kisline z drugo, temveč v kaskadnem učinku:

Energija

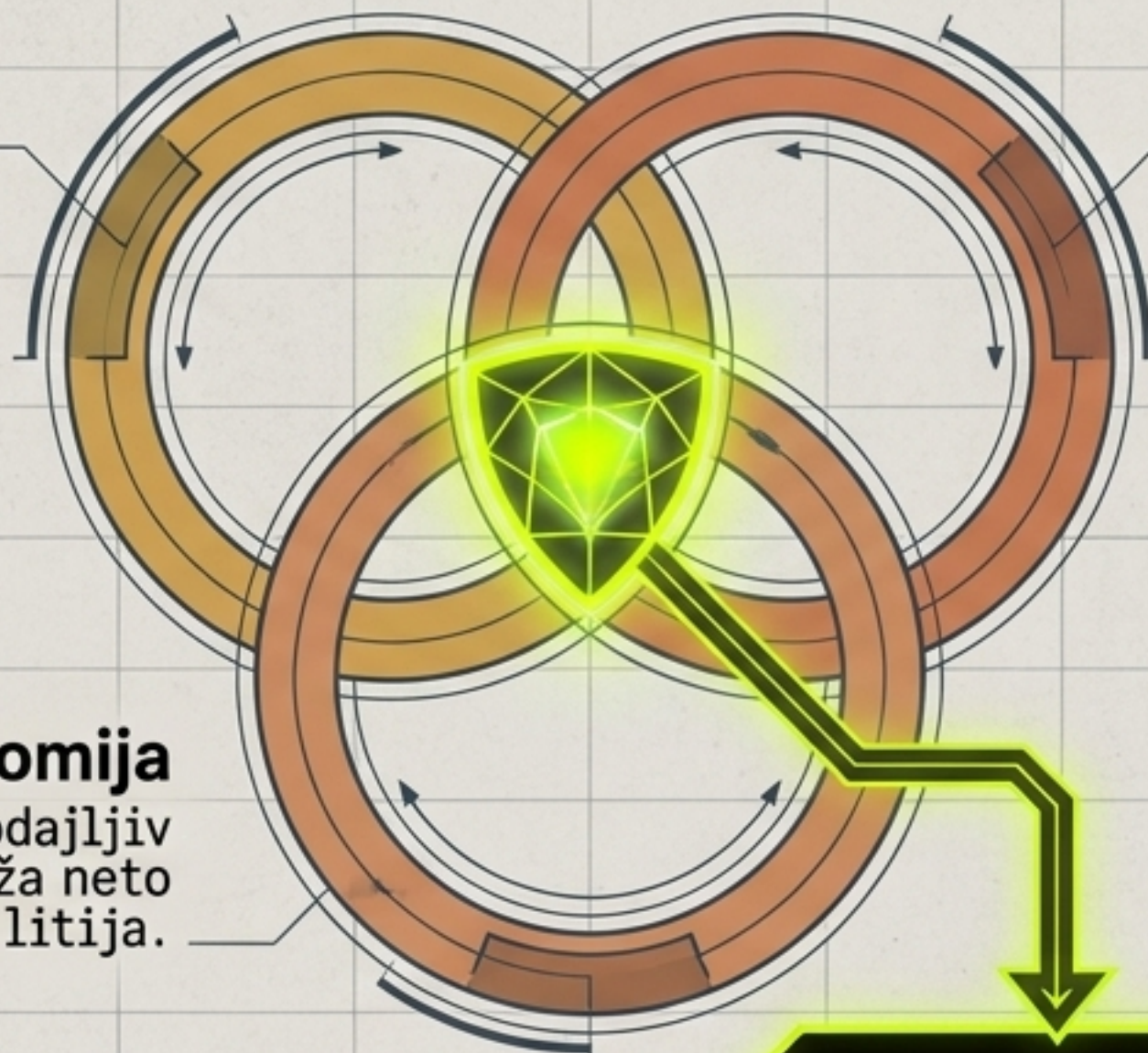
Znižanje procesne temperature na 95 °C prepreči uničujočo zasteklitev rude bogate z železom.

Material

Ohranjena kristalna struktura omogoča, da se silikati selektivno razgradijo na osnovne gradnike (aluminij, beton).

Ekonomija

Nekoč jalovina postane prodajljiv stranski produkt, kar niža neto strošek ekstrakcije litija.



Rešitev je večdimenzionalna – hkrati rešuje ogljični odtis, stopnjo izkoristka rude in operative stroške, pri čemer se odpira pot k dejanskemu rudarjenju brez odpadkov.

Onkraj litija: Univerzalni ključ za silikate



“Zemeljska skorja je narejena iz silikatov.”

— Benjamin Mowbray, soustanovitelj in CTO, Rock Zero

Potencial tehnologije sega daleč preko baterijske industrije. Ko enkrat obvladamo nizkotemperaturno, varno in ekonomično raztapljanje silikatnih vezi, odklenemo nov, trajnostni način pridobivanja praktično vseh mineralov, ki tvorijo temelj našega planeta.