

IZZIVI OSKRBOVALNIH VERIG STRATEŠKIH MATERIALOV ZA PROIZVODNJO ELEKTRIČNIH VOZIL

MARJAN SENEGAČNIK,¹ DUŠAN MEŽNAR²

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
marjan.senegacnik@um.si

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
dusan.meznar@um.si

Čeprav so električni avtomobili znani praktično že vse od začetka razvoja avtomobilizma, pa so več desetletij imeli le obrobni pomen. Ponovno se je, v glavnem iz okoljskih razlogov, zanimanje za električne avtomobile začelo povečevati okrog leta 2000, predvsem pa po letu 2010. Električni avtomobili so postali še posebej aktualni po odločitvi Evropske unije, da bodo po letu 2035 ukinili proizvodnjo avtomobilov z motorji na notranje izgorevanje. Pri uvajanju električnih avtomobilov se pojavlja več problemov, ki so povezani tako z njihovo proizvodnjo kot uporabo ter tudi oskrbo odsluženih avtomobilov. Pričujoči prispevek se osredotoča na fazo proizvodnje električnih avtomobilov. Za njihovo izdelavo so potrebni nekateri materiali, ki jih avtomobili z bencinskimi in dizelskimi motorji ne vsebujejo, ali pa jih vsebujejo v mnogo manjši meri. Predvsem gre za snovi, ki se uporabljajo za izdelavo baterij in magnetov za elektromotorje. Prispevek obravnava strateške, logistične, ekonomske, tehnološke in okoljske vidike problematike pridobivanja in rafiniranja nekaterih od teh materialov: litija, kobalta in kovin iz skupine redkih zemelj.

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fov.2.2024.9](https://doi.org/10.18690/um.fov.2.2024.9)

ISBN
978-961-286-821-5

Ključne besede:
električni avtomobili,
strateški materiali,
oskrbovalne verige,
litij,
kobalt,
redke zemlje



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fov.2.2024.8](https://doi.org/10.18690/um.fov.2.2024.8)

ISBN
978-961-286-821-5

Keywords:

electric vehicles,
strategic materials,
supply chains,
lithium,
cobalt,
rare earth metals

THE CHALLENGES OF SUPPLY CHAINS FOR STRATEGIC MATERIALS FOR ELECTRIC VEHICLE PRODUCTION

MARJAN SENEGAČNIK,¹ DUŠAN MEŽNAR²

¹ University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
marjan.senegacnik@um.si

² University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
dusan.meznar@um.si

Despite the fact that electric cars have been known since the very beginning of the automotive era, they played only very marginal role for many decades. Interest in electric cars increased again around 2000, mainly for environmental reasons, but especially after 2010. Electric cars have become especially relevant after the European Union's decision to stop the production of vehicles with internal combustion engines after 2035. Several problems arise during deployment of electric cars which are connected with their production, use and end-of-life cars handling. The present paper is concerned with the phase of electric cars production. The production of electric cars requires certain materials, which cars with an internal combustion engine do not contain at all or contain in much smaller quantities. These are mainly materials needed to make batteries and magnets for electric motors. The paper deals with the strategic, logistical, economic, technological and environmental aspects of the extraction and refining of some of these materials: lithium, cobalt and rare earth metals.



1 Izzivi oskrbovalnih verig strateških materialov za proizvodnjo električnih avtomobilov

Oskrbovalna veriga proizvodnje električnih avtomobilov se sooča z več izzivi, med katerimi so:

- **Trajnost:** Za proizvodnjo električnih avtomobilov je potrebna velika količina strateških materialov, kot so litij, kobalt in nikelj, rudarjenje in rafiniranje teh materialov pa ima lahko velik vpliv na okolje. Zagotavljanje trajnosti oskrbovalne verige, vključno z zmanjševanjem vpliva rudarjenja in rafiniranja na okolje ter izvajanjem praks odgovornega pridobivanja predstavlja zelo velik izziv za industrijo (Ali idr., 2017).
- **Zadosten obseg proizvodnje:** Povpraševanje po električnih avtomobilih se hitro povečuje, vendar oskrbovalna veriga za proizvodnjo električnih avtomobilov še ni dosegla stopnje obsega proizvodnje, ki je potrebna za zadovoljitev tega povpraševanja. Sestavni del tega problema so povečanje proizvodnih zmogljivosti za baterijske celice in pakete ter gradnja novih tovarn in infrastrukture za proizvodnjo električnih avtomobilov (Breiter idr., 2022).
- **Stroški:** Stroški električnih avtomobilov so v primerjavi z avtomobili z motorjem z notranjim izgorevanjem še vedno razmeroma visoki. Deloma je to posledica visokih cen baterij, ki so glavni sestavni del električnih avtomobilov.
- **Logistika in prevoz:** Električni avtomobili zahtevajo specializirano logistiko in prevoz, vključno z ravnanjem in prevozom velikih baterijskih sklopov ter namestitvijo polnilne infrastrukture (Dong idr., 2014). To predstavlja veliko oviro, zlasti v regijah, kjer infrastruktura še ni vzpostavljena.
- **Regulativno okolje, zakoni in predpisi:** Vladne politike in predpisi lahko pomembno vplivajo na trg električnih vozil. Pomanjkanje doslednosti predpisov in spodbud zelo močno otežuje načrtovanje prihodnje rasti in naložb.
- **Pridobivanje materialov in varnost oskrbe strateških materialov:** Ker se povpraševanje po električnih vozilih povečuje, sta razpoložljivost in varnost dobave ključnih materialov, kot so litij, kobalt in nikelj, za industrijo skrb vzbujajoča (Nguyen idr., 2021).

- **Recikliranje in upravljanje ob koncu življenjske dobe:** Življenjska doba električnih avtomobilov je krajša od življenjske dobe običajnih avtomobilov, zato je upravljanje ob koncu življenjske dobe, vključno z recikliranjem in odstranjevanjem, zelo pomemben faktor.

2 **Glavna tveganja oskrbovalnih verig strateških materialov za proizvodnjo električnih avtomobilov**

Oskrbovalne verige električnih vozil so izpostavljene kar precejšnjim tveganjem. Politični vidiki oskrbovalne verige električnih vozil se nanašajo na načine, na katere lahko vladne politike in predpisi vplivajo na proizvodnjo, distribucijo in sprejetje električnih vozil. To vključuje vprašanja, kot so vladne spodbude za proizvodnjo in nakup električnih vozil, predpisi o infrastrukturi za polnjenje električnih vozil in tarife za komponente električnih vozil, uvožene iz drugih držav. Poleg tega lahko pride do političnih razprav in lobiranja glede uporabe določenih materialov v baterijah električnih vozil ter morebitnega okoljskega vpliva proizvodnje in odlaganja električnih vozil. S tem je povezanih kar nekaj tveganj, in sicer:

- **Odvisnost od redkih zemeljskih kovin:** Številne komponente električnih vozil, kot so baterije, motorji in elektronski nadzorni sistemi, zahtevajo redke zemeljske kovine, ki se pogosto pridobivajo iz majhnega števila držav. Ta odvisnost od majhnega števila dobaviteljev lahko povzroči tveganja v oskrbovalni verigi in nestanovitnost cen (Meadows idr., 1972).
- **Proizvodnja baterij:** Proizvodnja baterij za električna vozila zahteva precejšnjo količino energije in materialov, obstajajo pa tudi pomisleki glede okoljskega vpliva proizvodnje baterij ter tveganja nestanovitnosti cen surovin.
- **Infrastruktura za polnjenje:** Pomanjkanje infrastrukture za polnjenje je lahko ovira za uvedbo električnih vozil, razvoj in vzdrževanje infrastrukture za polnjenje pa je lahko tudi tveganje za oskrbovalne verige električnih vozil.
- **Proizvodne zmogljivosti:** Povpraševanje po električnih vozilih hitro narašča in obstajajo pomisleki glede sposobnosti proizvajalcev, da bodo sledili povpraševanju in proizvajali vozila po konkurenčnih cenah.
- **Politična in regulativna tveganja:** Vladne politike in predpisi lahko močno vplivajo na industrijo električnih vozil, kot so tarife za uvožene

komponente električnih vozil, lokalne zahteve glede vsebine in predpisi o infrastrukturi za polnjenje.

- **Tveganja kibernetike varnosti:** Vse večja uporaba tehnologije v električnih vozilih, kot so napredni sistemi za pomoč voznikom (ADAS) in povezane avtomobilske storitve, lahko ustvari nove ranljivosti za kibernetike napade.

3 Strateški materiali za proizvodnjo električnih avtomobilov

Proizvodnja električnih avtomobilov je zelo odvisna od strateških materialov, med drugim:

- **Litij:** Litij je ključna sestavina litij-ionskih baterij, ki se uporabljajo za pogon električnih vozil. Litij je razmeroma redka kovina, njegovo rudarjenje in rafiniranje pa imata lahko velik vpliv na okolje, zato je strateški material za industrijo električnih vozil.
- **Kobalt:** Kobalt je še ena ključna sestavina litij-ionskih baterij in se uporablja kot katodni material. Kobalt je, tako kot litij, razmeroma redka kovina, njegovo pridobivanje pa je povezano s kršitvami človekovih pravic in degradacijo okolja.
- **Nikelj:** Nikelj se v nekaterih litij-ionskih baterijah uporablja kot katodni material. Ni tako pomemben, kot sta litij in kobalt, vendar je še vedno pomemben za proizvodnjo električnih vozil.
- **Grafit:** Grafit se uporablja v anodi litij-ionskih baterij in je pomemben za proizvodnjo električnih vozil.
- **Baker:** Baker je bistvena sestavina motorjev električnih avtomobilov in polnilne infrastrukture.
- **Aluminij:** Aluminij se uporablja pri proizvodnji karoserij in okvirjev električnih avtomobilov.
- **Redke zemeljske kovine:** V nekaterih motorjih električnih avtomobilov in polnilni infrastrukturi se uporabljajo redke zemeljske kovine, vključno z neodimom, prazeodimom in disprozijem. Te kovine so ključnega pomena za proizvodnjo električnih avtomobilov, vendar so tudi razmeroma redke in drage.

Zaradi redkosti teh materialov in okoljskih vplivov njihovega pridobivanja gre za strateške materiale, ki so ključnega pomena za proizvodnjo električnih vozil, zato je upravljanje njihove oskrbovalne verige ključni dejavnik za industrijo. Poleg tega je recikliranje teh materialov bistvenega pomena za zmanjšanje vpliva na okolje in zagotavljanje trajnosti industrije.

V naslednjih poglavjih so nekoliko podrobneje predstavljeni nekateri tehnološki, strateški in okoljski vidiki litija, kobalta in kovin iz skupine redkih zemelj.

3.1 Litij

3.1.1 Lastnosti in nahajališča litija

Litij je v elementarnem stanju srebrno-bela kovina. Litij je najlažji izmed vseh kovin oziroma sploh izmed elementov v trdnem agregatnem stanju in ima pri temperaturi 20 °C gostoto 0,534 kg/dm³. V naravi se ne nahaja v elementarnem stanju. V majhnih količinah je prisoten v mnogih magmatskih kamninah in vodah mineralnih virov in slanih jezer. Najpomembnejši minerali, ki vsebujejo litij, so spodumen, petalit, lepidolit in ambligonit, izmed katerih je gospodarsko najpomembnejši spodumen (Di Maria idr.; 2022; Sharp, 1990; Royal Society of Chemistry, 2023). Litij se precej uporablja v zlitinah z magnezijem in aluminijem, saj so tovrstne zlitine lahke in precej trdne. Tudi litijeve spojine se uporabljajo na raznih področjih, npr. v steklu in keramiki, za maziva, pri organskih sintezah, v klimatskih napravah itd. (Sharp, 1990; Royal Society of Chemistry, 2023; U.S. Geological Survey; 2021; Kelly idr., 2021). Najpomembnejše področje uporabe litija pa je v zadnjem obdobju izdelava baterij, za katere se uporabi po podatkih iz leta 2021 kar 71 % litija (U.S. Geological Survey, 2021).

Pridobivanje litija poteka tako z ekstrakcijo iz rudnin kot z izsuševanjem slane vode. Največji svetovni pridelovalec litija je Avstralija, sledijo pa Čile, Kitajska in Argentina. V Avstraliji pridobivajo litij iz rudnin, v Čilu in Argentini iz slanice iz slanih jezer, na Kitajskem pa po obeh postopkih (Fawthrop, 2020; U.S. Geological Survey, 2021). Tako ocenjujejo, da je 65 % svetovne proizvodnje litija pridobljeno iz slanice (Di Maria idr., 2022). Voda slanih jezer vsebuje koncentracije litija med 1000 in 3000 ppm, medtem ko morska voda le 0,17 ppm (Talens Peiró idr., 2013). Svetovna proizvodnja litija v letu 2019 je znašala 86.000 ton, za leto 2020 pa je

ocenjena na 82.000 ton. Proizvodnja po posameznih državah je prikazana v tabeli 1. Iz tabele 1 je razvidno, da med pomembnimi proizvajalkami praktično ni evropskih držav, saj je v tabeli 1 navedena le Portugalska, a z majhno proizvodnjo v primerjavi z največjimi proizvajalkami (U.S. Geological Survey, 2021). V tabeli 1 ni podatkov za ZDA, ki ima sicer samo en objekt za pridobivanje litija v Nevadi (Fawthrop, 2020). Največja nahajališča litija so v Južni Ameriki, v tako imenovanem litijevem trikotniku, ki si ga delijo Bolivija, Argentina in Čile. Izmed teh držav so največje ocenjene zaloge v Boliviji, vendar so ta nahajališča iz različnih, tako tehničnih, geografskih in političnih razlogov zaenkrat praktično neizkoriščena (Fawthrop, 2020). Za razliko od Bolivije pa sta Argentina in predvsem Čile med najpomembnejšimi proizvajalkami. Ocenjene količine zalog litija so podane v tabeli 2 (U.S. Geological Survey, 2021; Fawthrop, 2020).

Tabela 1: Proizvodnja litija po državah v letih 2019 in 2020

Država	Proizvodnja 2019 (tone)	Proizvodnja 2020 *(tone)
Avstralija	45.000	40.000
Čile	19.300	18.000
Kitajska	10.800	14.000
Argentina	6.300	6.200
Brazilija	2.400	1.900
Zimbabve	1.200	1.200
Portugalska	900	900
Kanada	200	-
Skupaj	86.100	82.200

*vrednosti proizvodnje v letu 2020 so ocenjene

Vir: U.S. Geological Survey, 2021.

Tabela 2: Ocenjene svetovne zaloge litija

Država	Ocena zalog (milijoni ton)
Bolivija	21 ^a 21 ^b
Argentina	19,3 ^a 17 ^b
Čile	9,6 ^a 9 ^b
ZDA	6,8 ^b
Avstralija	6,4 ^a 6,3 ^b
Kitajska	5,1 ^a 4,5 ^b
DR Kongo	3,0 ^a

Država	Ocena zalog (milijoni ton)
Kanada	2,9 ^a
Nemčija	2,7 ^a

Vir: ^a U.S. Geological Survey, 2021

^b Fawthorp, 2020.

Kot je razvidno iz tabele 2, ima izmed evropskih držav največje ocenjene zaloge litija Nemčija (2,7 milijona ton), sledijo pa Češka republika (1,3 milijona ton), Srbija (1,2 milijona ton), Španija (300.000 ton), Portugalska (270.000 ton) ter Avstrija in Finska (obe po 50.000 ton) (U.S. Geological Survey, 2021).

3.1.2 Litijeve ionske baterije

Litijeve ionske baterije so se izkazale kot izjemno uporabne na najrazličnejših področjih zaradi velike energetske gostote in specifične moči ter tudi dolge življenjske dobe. Razvitih je bilo več vrst litijevih ionskih baterij, ki se med seboj predvsem razlikujejo glede sestave katode. Najpomembnejši tipi litijevih baterij so prikazani v tabeli 3 (Dragonfly Energy, 2022).

Tabela 3: Različne izvedbe litijevih ionskih baterij

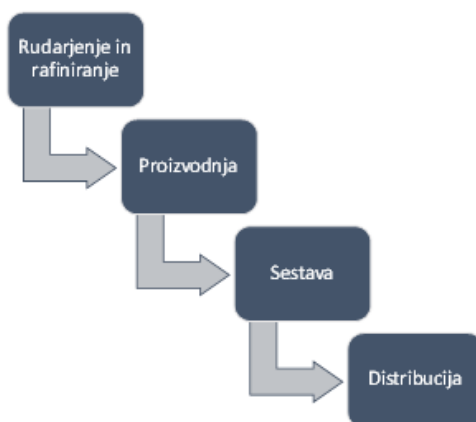
Vrsta litijeve baterije	Katoda	Anoda
Litijev železov fosfat (LFP)	Litijev železov fosfat (LiFePO ₄)	Grafit (C)
Litijev kobaltov oksid (LCO)	Litijev kobaltov oksid (LiCoO ₂)	Grafit (C)
Litijev manganov oksid (LMO)	Litijev manganov oksid (LiMn ₂ O ₄)	Grafit (C)
Litijev nikljev manganov kobaltov oksid (NMC)	Zmes oksidov litija z nikljem, manganom in kobaltom (LiNi _x Mn _y Co _z O ₂)	Grafit (C)
Litijev nikljev kobaltov aluminijev oksid (NCA)	Zmes oksidov litija z nikljem, kobaltom in aluminijem (LiNi _x Co _y Al _z O ₂)	Grafit (C)
Litijev titanat (LTO)	Litijev manganat (LiMn ₂ O ₄) ali litijev nikljev manganov kobaltov oksid (LiNi _x Mn _y Co _z O ₂)	Litijev titanat (Li _x Ti _y O _z)

Vir: Dragonfly Energy, 2022.

Kot je razvidno iz tabele 3, se baterije med seboj razlikujejo v sestavi katode, medtem ko je anoda iz grafita (modifikacija ogljika). Izjema so le LTO baterije, kjer je anoda iz litijevega titanata, medtem ko je katoda takšna, kot pri LMO ali NMC baterijah (Dragonfly Energy, 2022).

V iskanju najboljših karakteristik so bile razvite različne izvedbe baterij. Pomembne lastnosti baterij so energijska gostota, specifična moč, življenjska doba, cena in varnost. Seveda pa je vedno potrebno izbrati določen kompromis, saj boljše lastnosti na enem področju praviloma pomenijo nekoliko slabše lastnosti na nekem drugem področju (Dragonfly Energy, 2022).

3.1.3 Litijeva oskrbovalna veriga



Slika 1: Litijeva oskrbovalna veriga

Oskrbovalna veriga za litijeve baterije, prikazana na sliki 1, vključuje več stopenj, vključno z rudarjenjem in rafiniranjem surovin, proizvodnjo sestavnih delov baterij, sestavljanjem baterij in distribucijo končnim uporabnikom:

- **Rudarjenje in rafiniranje:** Surovine za litijeve baterije, kot sta litij in kobalt, se pridobivajo na različnih lokacijah po svetu. Ti materiali se nato rafinirajo in predelajo, da nastanejo spojine, ki se uporabljajo pri proizvodnji baterij.

- **Proizvodnja:** Sestavni deli baterije, kot so elektrode in elektroliti, se proizvajajo z uporabo prečiščenih materialov. Te komponente se nato sestavijo v celice, ki so osnovni gradniki baterije.
- **Sestava:** Celice se nato sestavijo v baterijske sklope, ki so končni izdelki, ki se uporabljajo v številnih napravah, kot so pametni telefoni, električna vozila in sistemi za shranjevanje energije.
- **Distribucija:** Dokončani baterijski paketi se nato distribuirajo proizvajalcem naprav, ki uporabljajo baterije, ter distributerjem in trgovcem z baterijami.

3.1.4 Ekološki vidiki in tveganja v okviru oskrbovalnih verig litija

Z oskrbovalno verigo litijevih baterij je povezanih več okoljskih tveganj, in sicer je pridobivanje in rafiniranje litija proces, ki zahteva veliko vode, kar lahko obremeni lokalne vodne vire in povzroči pomanjkanje vode v regijah, kjer je ta že omejena. Prav tako pridobivanje litija lahko povzroči degradacijo tal z odstranjevanjem avtohtone vegetacije in erozijo tal. Pri rafiniranju in predelavi litija in drugih surovin lahko pride do izpusta onesnaževal v zrak in vodo. Poleg tega odlaganje uporabljenih litij-ionskih baterij prispeva k onesnaževanju. Proizvodni proces litij-ionskih baterij in pridobivanje surovin povzročita znatne emisije ogljika, ki prispevajo k podnebnim spremembam, prav tako pa pridobivanje litija in drugih kovin v naravnih habitatih povzroča izgubo biotske raznovrstnosti in razdrobljenost ekosistemov. Obstajajo pa tudi poročila o kršitvah človekovih pravic pri rudarjenju kobalta in drugih kovin, ki se uporabljajo v litij-ionskih baterijah, vključno z delom otrok in nevarnimi delovnimi pogoji.

Te težave je mogoče ublažiti z izvajanjem trajnostnih praks, kot so recikliranje starih baterij, uporaba obnovljivih virov energije za napajanje proizvodnega procesa in večja preglednost v oskrbovalni verigi, da se zagotovi odgovorno pridobivanje materialov.

Pridobivanje litija iz slanic (vode slanih jezer) ima manjši ogljični odtis kot pridobivanje iz rudnin, saj se za izsuševanje vode uporablja večinoma sončna energija, medtem ko se pri pridobivanju iz rudnin uporablja elektrika ali pa energija fosilnih goriv. Po drugi strani pa tudi izsuševanje slanic povzroča veliko porabo vode

in zmanjšanje biotske raznovrstnosti (Di Maria idr., 2022). V tabeli 4 je prikazana primerjava emisij toplogrednih plinov za pridobivanje litija po dveh različnih procesih, iz slanice (podatki za pridobivanje iz vode slanega jezera na območju Salar de Atacama v Čilu) ter iz rude spodumenita v zahodni Avstraliji, kjer pa nadaljnje procese izolacije izvajajo na Kitajskem. Vključeni so podatki za dve litijevi spojini, litijev karbonat (Li_2CO_3) in litijev hidroksid monohidrat ($\text{LiOH} \times \text{H}_2\text{O}$) (Kelly idr., 2021).

Tabela 4: Primerjava okoljskih vplivov pri pridobivanju litija iz slanice in rudnin

Dejavnost	Pridobivanja iz slanice	Pridobivanje iz rude
Koncentriranje*		
Emisije toplogrednih plinov	0,08 – 0,18 g CO_2 ekv/t	0,42 t CO_2 ekv/t
Poraba energije	1300-2800 MJ/t	5500 MJ/t
Poraba vode	2,95-7,30 m^3 /t	3,4 m^3 /t
Proizvodnja Li_2CO_3		
Emisije toplogrednih plinov	2,7 - 3,1 t CO_2 ekv/t	20,4 t CO_2 ekv/t
Poraba energije	30.000 - 36.000 MJ/t	218.000 MJ/t
Poraba vode	15,5 - 32,8 m^3 /t	77 m^3 /t
Proizvodnja $\text{LiOH} \times \text{H}_2\text{O}$		
Emisije toplogrednih plinov	6,9 - 7,3 t CO_2 ekv/t	15,7 t CO_2 ekv/t
Poraba energije	76.600 – 82.900 MJ/t	187.200 MJ/t
Poraba vode	31 – 50 m^3 /t	69 m^3 t

Vir: Kelly idr., 2021.

*Pri pridobivanju iz slanice je upoštevano izhlapevanje slane vode do koncentrirane slanice s 6 % vsebnostjo litija, pri pridobivanju iz rudnin pa koncentriranje spodumenitne rude.

Kot je razvidno iz tabele 4, so vplivi na okolje – poraba energije in emisije toplogrednih plinov ter tudi poraba vode - kar precej večji pri pridobivanju litija iz rudnin kot pa iz slanice. Se pa karakteristike slanih voda ter tudi pogoji pridobivanja iz različnih nahajališč pri pridobivanju litija iz slanic precej razlikujejo, zato tudi vplivi na okolje varirajo. Upoštevati je treba, da predelava rudnin poteka večinoma na Kitajskem, kjer je tako toplotna kot električna energija večinoma pridobljena iz premoga in bi z uporabo drugih virov bilo možno znižati ogljični odtis (Kelly in sod., 2021). Prednost pridobivanja iz rudnin pa je v tem, da je možno neposredno pridobiti litijev hidroksid ($\text{LiOH} \times \text{H}_2\text{O}$), kar je za proizvodnjo baterij bolj ugodno kot pa v primeru, ko je izhodna spojina Li_2CO_3 . Pri pridobivanju iz slanice pa je nujno potrebno najprej pridobiti litijev karbonat (Li_2CO_3) (Kelly idr., 2021; Di Maria idr., 2022).

Poteka precej raziskav za razvoj novih postopkov za pridobivanje litija iz obeh glavnih virov (Di Maria idr., 2022; Kelly idr., 2021; Flexer idr., 2018) . Čeprav je poraba vode pri pridobivanju litija iz slanice nižja kot pa pri pridobivanju iz rude, izhlapi pri tem postopku zelo velika količina vode. Ob upoštevanju dejstva, da proces poteka v izredno sušnem okolju, to predstavlja precejšnjo obremenitev okolja. Zato so prisotne ideje, da bi litij izločili iz slanice brez izhlapevanja in bi preostanek slane vode izpustili nazaj v slano jezero. Flexer idr. (2018) pa so predstavili idejo, da bi po izolaciji litija iz vode izločili tudi ostale soli in tako pridobili tudi pitno vodo za industrijske, komunalne in kmetijske potrebe.

Pričakovati je, da bo v prihodnosti zelo pomemben vir pridobivanja litija tudi recikliranje, a v sedanjem obdobju je zaradi majhnih količin iztrošenih baterij delež litija iz sekundarnih virov še zanemarljiv (Di Maria idr., 2022).

3.1.5 Recikliranje litija in ekonomski vidiki v okviru oskrbovalnih verig

Recikliranje litijevih baterij je pomembno iz več razlogov, med drugim zaradi zmanjšanja vpliva rudarjenja in pridobivanja novih materialov na okolje, ohranjanja naravnih virov in zmanjšanja količine odpadkov na odlagališčih. Stroškovna učinkovitost recikliranja litijevih baterij je odvisna od več dejavnikov, vključno z vrsto uporabljenega postopka recikliranja, trenutno tržno ceno predelanih materialov in stroški odstranjevanja nerecikliranih baterij.

Litijeve baterije je mogoče reciklirati na več načinov:

- **Mehansko recikliranje:** Ta postopek vključuje razgradnjo baterije na manjše sestavne dele, kot so elektrode in elektrolit, ki se nato obdelajo, da se iz njih pridobijo kovine in drugi materiali za ponovno uporabo. S to metodo je mogoče obnoviti veliko količino materialov, uporabljenih v prvotni bateriji, vendar obnovljeni materiali morda niso enake kakovosti kot prvotni materiali. Na splošno je mehansko recikliranje stroškovno najučinkovitejša metoda za pridobivanje kovin iz litij-ionskih baterij. Stroški te metode se lahko razlikujejo glede na vrsto baterije in stopnjo pridobivanja kovin. Bistveni kriterij ekonomičnosti pa je, da so pridobljene kovine vredne več kot stroški recikliranja baterije.

- **Kemično recikliranje:** Pri tej metodi se s kemičnimi postopki materiali baterije razgradijo na sestavne dele, ki se nato ločijo in očistijo za ponovno uporabo. Pri tem postopku se lahko pridobijo materiali višje kakovosti kot pri mehanskem recikliranju, vendar je postopek bistveno dražji. Kemično recikliranje je praviloma dražje od mehanskega, vendar lahko z njim pridobimo kakovostnejše materiale. Ta metoda je lahko stroškovno učinkovita, če je mogoče predelane materiale prodati po dovolj visoki ceni, da se nadomestijo stroški recikliranja.
- **Termično recikliranje:** Pri tem postopku se baterija segreva v okolju brez kisika, pri čemer kovine in drugi materiali izhlapijo. Izhlapele snovi se nato kondenzirajo in zberejo za ponovno uporabo. S to metodo je mogoče pridobiti visok odstotek prvotnih materialov, vendar zahteva specializirano opremo in ima visoke stroške energije. Termično recikliranje na splošno velja za najučinkovitejšo metodo za pridobivanje materialov iz litij-ionskih baterij, vendar je lahko drago zaradi visokih stroškov opreme in potrebne energije.
- **Hibridno recikliranje:** Ta metoda združuje elemente mehanskega, kemičnega in termičnega recikliranja, da se materiali čim bolj predelajo. Hibridno recikliranje velja za stroškovno učinkovito metodo, saj združuje prednosti različnih postopkov recikliranja, kar lahko poveča stopnjo predelave materialov in zmanjša stroške.

Pomembno je opozoriti, da vseh litijevih baterij ni mogoče reciklirati in da obrati za recikliranje morda ne sprejemajo vseh vrst baterij. Poleg tega morajo postopek recikliranja litijevih baterij izvajati specializirana podjetja z ustrežno opremo in varnostnimi ukrepi za preprečevanje morebitnih nevarnosti.

Poleg stroškov recikliranja je treba upoštevati tudi stroške odstranjevanja nerecikliranih baterij. Odlaganje ali sežiganje izrabljenih baterij je lahko drago in ima lahko tudi negativne vplive na okolje, zato je recikliranje dolgoročno stroškovno učinkovitejša možnost. Na splošno se lahko stroškovna učinkovitost recikliranja litijevih baterij razlikuje glede na vrsto baterije, uporabljeno metodo recikliranja in tržne pogoje za predelane materiale. Z razvojem novih tehnologij in postopkov se recikliranje nenehno spreminja.

3.2 Kobalt

3.2.1 Izzivi oskrbovalne verige kobalta

Oskrbovalna veriga kobalta, ključne sestavine litij-ionskih baterij, se sooča z izzivi, kot so:

- **Kršitve človekovih pravic:** Poročali so o kršitvah človekovih pravic pri pridobivanju kobalta, vključno z delom otrok in nevarnimi delovnimi pogoji. Veliko rudnikov kobalta je v Demokratični republiki Kongo (DRK), kjer obstaja veliko tveganje izkoriščanja in zlorabe delavcev (Moran idr., 2014).
- **Degradacija okolja:** Rudarjenje kobalta povzroča znatno degradacijo okolja, vključno s krčenjem gozdov, erozijo tal in onesnaževanjem vode.
- **Pomanjkanje preglednosti:** Oskrbovalna veriga kobalta je zapletena, zato je težko izslediti izvor kobalta in zagotoviti, da je bil pridobljen odgovorno. Zaradi pomanjkanja preglednosti je težko spremljati in reševati težave v oskrbovalni verigi.
- **Tveganja oskrbovalne verige:** Oskrbovalna veriga kobalta je občutljiva na motnje, kot so spremembe rudarskih predpisov in naravne nesreče, ki lahko vplivajo na razpoložljivost in ceno kobalta.
- **Odvisnost od nekaj držav:** Večina kobalta se izkoplje v DR Kongo, zato je oskrbovalna veriga odvisna od te države. To povečuje tveganje motenj v oskrbovalni verigi in nestanovitnosti cen.
- **Recikliranje in upravljanje ob koncu življenjske dobe.**

Za reševanje teh težav morajo podjetja v oskrbovalni verigi kobalta izvajati odgovorne prakse pridobivanja, kot je zagotavljanje, da kobalt izvira iz rudnikov, ki izpolnjujejo mednarodne standarde na področju človekovih pravic in varstva okolja, ter povečanje preglednosti v oskrbovalni verigi. Poleg tega lahko naložbe v recikliranje in ravnanje z izdelki, ki vsebujejo kobalt, ob koncu njihove življenjske dobe pripomorejo k zmanjšanju onesnaževanja okolja.

3.2.2 Lastnosti in pridobivanje kobalta

Kobalt (s kemijskim simbolom Co) sodi med prehodne elemente periodnega sistema in je kovina sivo-bele barve z nekoliko modrikastim odtinkom ter ima feromagnetne lastnosti. V naravi se nahaja v obliki mineralov smaltita (CoAs_2) in kobaltita (CoAsS). Večinoma pa je kobalt prisoten skupaj z bakrom, nikljem ali svincem in ga je najlaže pridobiti iz preostankov izolacije navedenih kovin (Cotton in Wilkinson, 1972).

V zadnjih letih se največ kobalta uporablja za baterije in se delež uporabe v te namene zaradi uvajanja električnih avtomobilov še povečuje. Velik del litijevih ionskih baterij v katodi vsebuje kobalt (LCO, NMC, NCA in delno tudi LTO baterije). Kobalt je prisoten tudi v nikljevih baterijah (nikelj-kadmijeve in nikljeve kovinsko-hidridne baterije) (Cobalt Institute, 2021). Poleg tega se kobalt uporablja še v mnoge druge namene, v veliki meri za razne zlitine, ki imajo odlično odpornost proti obrabi (U.S. Geological Survey, 2023; Sharp, 1990). Zaradi feromagnetnih lastnosti se kobalt veliko uporablja tudi za proizvodnjo magnetov. Med permanentnimi magneti, ki se uporabljajo v motorjih električnih avtomobilov, so pomembni magneti, ki vsebujejo kobalt in kovino iz skupine redkih zemelj, samarij (First4Magnets, 2023; Magnetpartner, b.d.).

Problem predstavlja visoka cena kobalta, ki predstavlja 25 do 30 % cene baterij. Zato je tudi veliko naporov usmerjenih v razvoj tistih tipov litijevih ionskih baterij, ki v katodi ne vsebujejo kobalta (npr. LFP ali nekatere variante LTO baterij), vendar bo verjetno kobalt ostal vsaj še nekaj časa zelo pomembna sestavina baterij (Green Car Congress, 2023; Muralidharan idr., 2022).

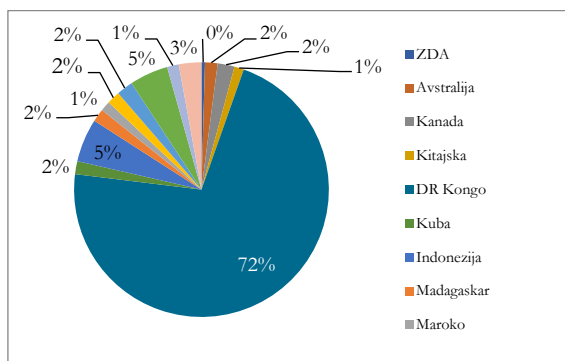
Proizvodnja kobalta je v letu 2022 narasla do rekordnih vrednosti. Predvsem se je povečala v DR Kongo in Indoneziji. DR Kongo je, kot je tudi razvidno iz tabele 5 in slike 2, brez konkurence največji pridelovalec kobalta, saj prispeva okrog 70 % svetovne proizvodnje. Kitajska je največja proizvajalka rafiniranega kobalta, ki pa pretežno izvira iz kobalta, pridobljenega v DR Kongo. Kobalt večinoma pridobivajo kot stranski proizvod pri proizvodnji bakra in niklja, izjeme predstavljajo le pridobivanje kobalta v Maroku, delno v ZDA in ročno pridobivanje kobalta v DR Kongo. Proizvodnjo in ocenjene rezerve kobalta v posameznih državah prikazuje tabela 5 (U.S. Geological survey, 2023).

Tabela 5: Proizvodnja in ocenjene rezerve kobalta v posameznih državah

Država	Proizvodnja 2021 (t)	Proizvodnja 2022 (t)	Rezerve (t)
DR Kongo	119.000	130.000	4.000.000
Avstralija	5.295	5.900	1.500.000
Kanada	4.361	3.900	220.000
Rusija	8.000	8.900	250.000
Kitajska	2.200	2.200	140.000
Kuba	4.000	3.000	500.000
Indonezija	2.700	10.000	600.000
Madagaskar	2.800	3.000	100.000
Maroko	2.300	2.300	13.000
Papua Nova Gvineja	2.953	3.000	47.000
Filipini	3.600	3.800	260.000
Turčija	2.400	2.700	36.000
Ostale države	4.567	5.200	610.000
Skupaj	165.000	190.000	8.300.000

Vir: U.S. Geological Survey, 2023.

Na sliki 2 je prikazan delež posameznih držav v svetovni proizvodnji kobalta za leto 2022 (U.S. Geological Survey, 2023).

**Slika 2: Deleži svetovne proizvodnje kobalta po posameznih državah v letu 2022.**

Vir: U.S. Geological Survey, 2023.

3.2.3 Okoljski vidiki pridobivanja in obdelave kobalta

Farjana idr. (2019) so opravili sistematično analizo življenjskega cikla (LCA) pridobivanja kobalta v Avstraliji, ki je ena izmed pomembnejših svetovnih proizvajalk kobalta. Ugotovili so, da največjo obremenitev okolja pri pridobivanju kobalta predstavljajo emisije toplogrednih plinov, h katerim predvsem prispeva

porabljena električna energija. Te vplive bi bilo možno zmanjšati z uporabo električne energije iz brezogljčnih virov. Drug pomemben vpliv pa povzroča razstreljevanje, kjer prihaja do emisij dušikovih oksidov in trdnih delcev. Trdni delci vsebujejo med drugim kobalt, kadmij, mangan in arzen, ki predstavljajo nevarnost za razna, tako rakava kot tudi druga obolenja. Do emisij trdnih delcev poleg razstreljevanja prihaja tudi pri kopanju, vrtnanju in pretovarjanju materiala. Ocenjeno je, da pri pridobitvi 1 kg kobalta nastane okrog 20 g emisij delcev PM₁₀ in 2 g delcev PM_{2,5}. To ogroža predvsem delavce, pri katerih lahko, zaradi izpostavljenosti kontaminiranemu zraku, prihaja do težav z dihanjem. Prihaja tudi do kontaminacije zemlje, rastlin in živali. Tako so lahko posredno ogroženi tudi drugi prebivalci, ki sicer niso poklicno izpostavljeni delu s kobaltom (Farjana idr., 2019).

Ker kobalt pogosto predstavlja stranski produkt pridobivanja bakra in niklja, je smiselno primerjati vplive na okolje za vse tri kovine. Iz primerjav je razvidno, da nikelj povzroča precej večje vplive na okolje kot kobalt in baker (Farjana idr., 2019).

Omeniti je potrebno, da so procesi pridobivanja kobalta v Avstraliji skrbno nadzorovani. V DR Kongu, kjer pridobijo večino svetovne proizvodnje kobalta, pa o poteku procesov ni na razpolago podrobnih podatkov. Okrog 80 % kobalta tudi tam pridobijo na industrijski način, ki verjetno poteka podobno kot v Avstraliji, medtem ko 20 % pridobijo v majhnih rudnikih, kjer rudo nabirajo večinoma ročno, brez ustrezne zaščitne opreme, in kjer delajo celo otroci (Nogrady, 2020).

So pa v Kongu bile opravljene raziskave z biomonitringom prebivalcev na območju Katange, najpomembnejšega svetovnega nahajališče kobalta. Kljub temu, da so bili v raziskavo vključeni ljudje, ki niso poklicno izpostavljeni delu s kobaltom, so bile v vzorcih urina odraslih prebivalcev koncentracije kobalta 4,5-krat, pri otrocih pa 6,6-krat višje kot pri kontrolni skupini oseb. Tudi v vzorcih iz okolja s področja Katange so ugotovili od 6 do 40-krat višje koncentracije kobalta kot pri vzorcih iz kontrolnih območij. Ugotovili so, da vnos kobalta v organizem pri odraslih ljudeh v glavnem poteka s hrano, pri otrocih pa z zaužitjem prahu (Cheyns idr., 2014).

3.3 Izzivi oskrbovalne verige redkih zemelj

Oskrbovalna veriga redkih zemeljskih kovin, ki se uporabljajo v različnih visokotehnoloških proizvodih, vključno z električnimi vozili, vetrnimi turbinami in potrošniško elektroniko, se sooča z veliko izzivi, in sicer:

- **Degradacija okolja:** Rudarjenje in rafiniranje redkih zemeljskih kovin lahko povzroči znatno okoljsko škodo, vključno z onesnaževanjem zraka in vode, krčenjem gozdov in erozijo tal.
- **Kršitve človekovih pravic:** Poročali so o kršitvah človekovih pravic pri rudarjenju redkih zemeljskih kovin, vključno z delom otrok in nevarnimi delovnimi pogoji (Rosen, 2009).
- **Geopolitična tveganja:** Večina redkih zemeljskih kovin na svetu se izkoplje na Kitajskem, kar lahko povzroči geopolitična tveganja, kot je tveganje motenj v dobavi ali sprememb izvoznih politik.
- **Pomanjkanje:** Redke zemeljske kovine so razmeroma redke in bo njihova razpoložljivost po vsej verjetnosti v prihodnosti omejena.
- **Visoki stroški:** Rudarjenje in rafiniranje redkih zemeljskih kovin je lahko drago in energetsko intenzivno, kar lahko poveča stroške končnih izdelkov.
- **Pomanjkanje kapacitet za recikliranje:** Primanjkuje infrastrukture za recikliranje redkih zemeljskih kovin, zato je upravljanje ob koncu življenjske dobe izdelkov, ki vsebujejo te kovine, izziv, s katerim se vedno bolj spopada industrija.
- **Kompleksna dobavna veriga:** Dobavna veriga redkih zemeljskih kovin je zapletena in globalna, zato je težko izslediti izvor kovin in zagotoviti, da so nabavljene na odgovoren način.

Za reševanje teh težav morajo podjetja v oskrbovalni verigi redkih zemeljskih kovin izvajati odgovorne prakse pridobivanja, kot je zagotavljanje, da se redke zemeljske kovine pridobivajo iz rudnikov, ki izpolnjujejo mednarodne standarde za človekove pravice in varstvo okolja, ter povečati preglednost v oskrbovalni verigi. Poleg tega lahko naložbe v recikliranje in upravljanje ob koncu življenjske dobe izdelkov, ki vsebujejo redke zemeljske kovine, pomagajo zmanjšati vpliv rudarjenja na okolje in zagotovijo trajnostno oskrbo s temi kovinami v prihodnosti.

3.3.1 Uporaba redkih zemelj v električnih avtomobilih

Električni avtomobili uporabljajo tri glavne različice motorjev: asinhroni indukcijski motor, sinhroni motor s permanentnim magnetom in električno vzpodbujeni sinhroni motor. Najboljšo učinkovitost izmed vseh (94-95 %) dosegajo sinhroni motorji s permanentnim magnetom (ArenaEV, 2022). Zaradi velike učinkovitosti uporaba motorjev s permanentnimi magneti še vedno močno prevladuje. Po podatkih za leto 2021 so motorji s permanentnim magnetom tako imeli 84 %-ni delež na trgu električnih avtomobilov, v prvi polovici leta 2022 pa se je ta delež še malo zvišal, na 86 % (Edmondson, 2022).

Permanentni magneti pogosto vsebujejo nekatere kovine iz skupine lantanidov, (imenovanih tudi redke zemlje), predvsem neodim (Nd), samarij (Sm), prazeodim (Pr) in disprozij (Dy).

Lantanidi (ali tudi lantanoidi) so skupina kemijskih elementov, ki jih v periodnem sistemu običajno najdemo v posebni vrstici, ki jo pišejo pod glavno tabelo, in obsega elemente od lantana (La) z vrstnim številom 57 do lutecija (Lu) z vrstnim številom 71. Položaj teh elementov v periodnem sistemu je prikazan na sliki 3. Za to skupino kovin se pogosto uporablja tudi izraz redke zemlje, še posebno v angleščini (rare earths), vendar večkrat poleg 15 elementov iz skupine lantanidov med redke zemlje uvrščajo še elementa skandij (Sc) in itrij (Y) (Britannica, b.d.; Lazarini in Brenčič, 1984; Oxtoby idr., 1999; Sharp, 1990). Lazarini in Brenčič (1984) poudarjata, da poimenovanje redke zemlje ni najbolj primerno, saj beseda zemlja izvira iz starega poimenovanja za kemijski element, ki so ga uporabljali v 18. stoletju. Poleg tega pa ti elementi v naravi sploh niso tako redki. Le v mineralih so prisotni v nižjih koncentracijah in jih je težko izolirati (Lazarini in Brenčič, 1984; Nayar, 2021).

Magnetic Technologies, 2023). Neodimovi magneti so tudi precej občutljivi na korozijo in praviloma potrebujejo zaščitno prevleko, običajno iz niklja ali pa kombinacije niklja in bakra. Samarij-kobaltovi pa so bolj korozijsko odporni in ne potrebujejo zaščitne prevleke (Magnetpartner, b.d.).

Povpraševanje po lantanidih oziroma redkih zemljah močno narašča in je ocenjeno, da se bo, še posebno povpraševanje po neodimu in disproziju, predvsem zaradi proizvodnje električnih avtomobilov in vetrnih elektrarn, v obdobju do leta 2040 močno povečalo (Nayar, 2021). Sicer se ti materiali uporabljajo v mnogih elektronskih napravah in so prisotni tudi v avtomobilih, ki jih poganja motor z notranjim izgorevanjem, vendar električni avtomobil potrebuje šestkrat več surovin mineralnega izvora kot avtomobil z bencinskim motorjem, vetrna elektrarna pa devetkrat več kot termoelektrarna na plin (IEA, 2021; Nayar, 2021). Ocenjujejo, da se je poraba redkih zemelj zaradi proizvodnje vozil povečala s 7.000 ton v letu 2015 na 17.000 ton v letu 2020 (Arnold Magnetic Technologies, 2023).

Za pridobivanje redkih zemelj sta v uporabi predvsem dve metodi, ki pa obe močno obremenjujeta okolje. Pri prvi metodi odstranijo vrhno plast zemlje, jo prepeljejo do izpiralnega bazena in dodajo kemijske reagente za separacijo kovin, kot sta amonijev sulfat ali amonijev klorid. Vendar pa tak proces povzroča obremenjevanje zraka, erozijo in kontaminacijo podtalnice (Nayar, 2021; Earth.Org, 2020). Pri drugi metodi pa v tla izvrtajo luknje, v katere namestijo cevi iz polivinilklorida in gume, ter po njih črpajo raztopine reagentov, da izpirajo zemljo na površino. Tako dobljeno brozgo nato dovedejo v izpiralni bazen, kjer nato poteka ekstrakcija kovin. Škodljivi vplivi na okolje so načeloma enaki kot pri prvi metodi. Pogosto tudi cevi ostanejo v zemlji (Nayar, 2021; Earth.Org, 2020). Pri obeh načinih pridobivanja nastanejo precejšnje količine nevarnih odpadkov. Kot navaja Nayar (2021) pridobivanje 1 tone kovin iz skupine redkih zemelj povzroči nastanek okrog 2.000 ton nevarnih odpadkov. Med procesom rudarjenja pride do emisij 13 kg prahu, 75 m³ odpadnih vod, 9.600 do 12.000 m³ odpadnih plinov in nastane okrog 1 tona radioaktivnih odpadkov. Vzrok je v tem, da so v nahajališčih redkih zemelj pogosto prisotni tudi nekateri radioaktivni elementi, predvsem uran in torij (Nayar, 2021).

Lantanide je mogoče pridobivati sicer tudi na drugačne načine, ki predstavljajo manjšo obremenitev za okolje, vendar pa so precej manj ugodni iz stroškovnega vidika (Earth.Org, 2020). Kot enega izmed razlogov, da je Kitajska praktično

prevzela monopol nad svetovno proizvodnjo lantanidov oziroma kovin iz skupine redkih zemelj, pogosto navajajo razlog, da na Kitajskem ne izvajajo tako dosledno ukrepov za varstvo okolja kot na primer v Severni Ameriki ali Avstraliji. V letu 2016 je Kitajska zagotovila 85 % vseh količin redkih zemelj, Avstralija, kot drugi najpomembnejši proizvajalec, pa le 10 %. Po podatkih za leto 2018 pa je Kitajska proizvedla 120.000 ton teh kovin, ZDA pa le 15.000 ton. Ocenjujejo, da je sicer na Kitajskem le okoli 35 % vseh svetovnih zalog teh kovin. Si je pa Kitajska zagotovila nadzor tudi nad precejšnjim delom zalog teh snovi v več afriških državah (Nayar, 2021). Problemi glede oskrbe s temi kovinami so tako v precejšnji meri strateški in okoljski.

Tako je postala celotna svetovna proizvodnja permanentnih magnetov, ki pa je ključen dejavnik pri proizvodnji električnih avtomobilov in vetrnih elektrarn, bistveno odvisna od Kitajske. Tudi cene lantanidov so v zadnjih letih močno narastle. Predvsem države Evropske unije so močno odvisne od uvoza, saj trenutno deluje le en obrat za ločevanje redkih zemelj v Estoniji, v načrtu je tudi začetek proizvodnje magnetov. Evropa praktično vse redke zemlje uvažata, od tega kar 95 % s Kitajske (DW, 2023). Opaziti je težnje evropskih proizvajalcev avtomobilov po uporabi motorjev, ki ne potrebujejo permanentnih magnetov (ArenaEV, 2022; Edmondson, 2022). Verjetno pa bo na situacijo bistveno vplivalo odkritje velikih nahajališč redkih kovin na severnem Švedskem, predvsem v bližini mesta Kiruna, kjer deluje eden izmed največjih rudnikov železa na svetu (DW, 2023). Sicer to odkritje ni posebno presenetljivo, saj so bili prvi lantanidi sploh konec 18. stoletja odkriti v mineralu ytterbitu, ki so ga našli v bližini mesta Ytterby na Švedskem (Lazarini in Brenčič, 1984). Ocenjujejo, da so v tem območju zaloge okrog 1 milijona ton oksidov redkih zemelj, kar predstavlja največje nahajališče v Evropi, a je v primerjavi z vsemi ocenjenimi svetovnimi zalogami (okrog 120 milijonov ton) precej majhen delež. Kljub temu bi lahko pomembno prispevalo k temu, da Evropa ne bi bila pri teh kovinah popolnoma odvisna od uvoza. Ocenjujejo tudi, da bodo kovine iz tega nedavno odkritega nahajališča lahko na trgu šele čez 10 do 15 let (Euronews.green, 2023). V tabeli 6 so ocenjene svetovne zaloge kovin iz skupine redkih zemelj, izražene v milijonih ton oksidov teh kovin v letu 2021 (Statista, 2021). Ker so bile zaloge na Švedskem odkrite šele v letu 2022, v tabeli 6 še niso upoštevane. Iz tabele 6 pa je razvidno, da pred tem v Evropi omembe vrednih zalog praktično ni bilo, če odštejemo Grenlandijo, ki še vedno delno spada pod Dansko, čeprav ima

visoko stopnjo avtonomije in tudi ni članica Evropske unije (Uradni list Evropske unije, 2006).

Tabela 6: Ocenjene svetovne zaloge kovin iz skupine redkih zemelj v letu 2021

Država	Ocena zalog (milijoni ton)
Kitajska	44
Vietnam	22
Brazilija	21
Rusija	21
Indija	6,9
Avstralija	4,0
ZDA	1,8
Grenlandija	1,5
Tanzanija	0,89
Južna Afrika	0,79

Vir: <https://www.statista.com/statistics/277268/rare-earth-reserves-by-country/>

4 Strategije za izboljšanje stanja in reševanja problemov oskrbovalnih verig strateških materialov za proizvodnjo električnih avtomobilov

Za premagovanje problemov v oskrbovalni verigi električnih vozil je mogoče izvesti več strategij, vsekakor pa so najpomembnejše naslednje možnosti ukrepanja in odzivanja:

- **Odgovorno pridobivanje virov:** Izvajanje odgovornih praks pridobivanja virov, kot je zagotavljanje, da materiali, uporabljeni v proizvodnji električnih vozil, izvirajo iz rudnikov, ki izpolnjujejo mednarodne standarde za človekove pravice in varstvo okolja, lahko pomaga pri reševanju vprašanj, kot so kršitve človekovih pravic in degradacija okolja (Moran idr., 2014).
- **Transparentnost:** Povečanje preglednosti v oskrbovalni verigi lahko pomaga izslediti izvor materialov, uporabljenih v proizvodnji električnih vozil, in zagotoviti, da so nabavljeni odgovorno. To je mogoče doseči z uporabo tehnologije veriženja blokov ali drugih sistemov sledljivosti.
- **Recikliranje in upravljanje ob koncu življenjske dobe:** Naložbe v recikliranje in upravljanje ob koncu življenjske dobe sestavnih delov električnih vozil, kot so baterije in drugi materiali, lahko pomagajo zmanjšati vpliv rudarjenja na okolje in zagotovijo trajnostno oskrbo z materiali za prihodnost.

- **Diverzifikacija dobave:** Diverzifikacija virov materialov, ki se uporabljajo v proizvodnji električnih vozil, pomaga zmanjšati tveganja motenj v dobavi in v spremembi izvoznih politik.
- **Sodelovanje:** Sodelovanje med podjetji, vladami in drugimi zainteresiranimi stranmi pomaga pri reševanju izzivov oskrbovalne verige, kot je gradnja novih tovarn in infrastrukture za proizvodnjo električnih vozil.
- **Inovacije:** Razvoj novih tehnologij in procesov pomaga zmanjšati stroške električnih vozil, izboljšati njihovo zmogljivost in varnost ter povečati razširljivost oskrbovalne verige.
- **Vladne politike in zakonodaja:** Vladne politike lahko imajo ključno vlogo pri reševanju izzivov oskrbovalne verige. Vlade lahko spodbujajo razvoj infrastrukture za recikliranje in upravljanje izrabljenih vozil, vlagajo v raziskave in razvoj ter spodbujajo rast industrije električnih vozil.
- **Obvladovanje tveganja v oskrbovalni verigi:** Nujno je imeti vzpostavljen načrt za obravnavo morebitnih motenj v oskrbovalni verigi in zmanjšanje njihovega vpliva.

Z izvajanjem teh strategij lahko podjetja v oskrbovalni verigi električnih vozil pomagajo pri reševanju okoljskih, socialnih in gospodarskih izzivov proizvodnje električnih vozil ter zagotovijo trajnostno in stroškovno učinkovito dobavo materialov za prihodnost.

Literatura

- Ali, S.H.; Giurco, D.; Arndt, N.; Nickless, E.; Brown, G.; Demetriades, A.; Durrheim, R.; Enriquez, M.A.; Kinnaird, J.; Littleboy, A.; et al. (2017). Mineral supply for sustainable development requires resource governance. *Nature* 2017, Vol. 543 (7645) str. 367–372. doi: 10.1038/nature21359.
- ArenaEV (2022). Different types of electric motors used in EVs. Pridobljeno 12.1. 2023 na https://www.arenaev.com/different_types_of_electric_motors_used_in_evs-news-214.php
- Arnold Magnetic Technologies (2023). Neodymium verse SmCo magnets for hybrid electric vehicles - Permanent magnets dominate EV. Arnold Magnetic Technologies. Pridobljeno 19.1. 2023 na <https://www.arnoldmagnetics.com/blog/neodymium-vs-smco-magnets-for-hybrid-electric-vehicles/>
- Breiter, A., Horetsky, E., Linder, M., Rettig, R. (2022). Power spike: How battery makers can respond to surging demand from EVs. McKinsey & Company. Pridobljeno 27.1. 2023 na <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/power-spike-how-battery-makers-can-respond-to-surging-demand-from-evs>
- Britannica (b.d). Rare-earth Element. Pridobljeno 12.1. 2023 na <https://www.britannica.com/science/rare-earth-element>

- Cheyns, K., Lubaba Nkulu, C.B., Kabamba Ngombe, L., Ngoy Asosa, J., Haufrond, V., De Putter, T., Nawrot, T., Muleka Kimpanga, C., Luboya Numbi, O., Kabyla Ilunga, B., Nemery, B. & Smolders, E. (2014). Pathways of human exposure to cobalt in Katanga, a mining area of D.R. Congo. *Science of the Total Environment*, Vol. 490, str. 313-321.
- Cobalt Institute (2021). Cobalt is used in a wide variety of applications. Cobalt use – (C) Cobalt Institute 2021. Pridobljeno 15.2. 2023 na <https://www.cobaltinstitute.org/about-cobalt/cobalt-life-cycle/cobalt-use/>
- Cotton, F.A., Wilkinson (1972). *Advanced Inorganic Chemistry – A Comprehensive Text (Third Edition)*. John Wiley & Sons, New York etc.
- Di Maria, A., Elgoul, Z. & Van Acker, K. (2022). Environmental assessment of an innovative lithium production process. *Procedia CIRP*, Vol. 105, 672-677. doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.112
- Dong, J., Liu, C., & Lin, Z. (2014). Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles: An activity-based approach using multiday travel data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 38, str. 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.11.001>
- Dragonfly Energy (2022). A Guide to the 6 Main Types of Lithium Batteries. Dragonfly Energy®. Pridobljeno 3.2. 2023 na <https://dragonflyenergy.com/types-of-lithium-batteries-guide/>
- DW (2023). Sweden discovers Europe's largest known rare earths deposit. Deutsche Welle. Pridobljeno 20.1 2023 na <https://www.dw.com/en/sweden-discovers-europes-largest-known-rare-earths-deposit/a-64365661>
- Earth.Org (2020). How Rare-Earth Mining Has Devastated China's Environment. Earth-Org. Pridobljeno 16.1. 2023 na <https://earth.org/rare-earth-mining-has-devastated-chinas-environment/>
- Edmondson, J. (2022). The EV Market Doubles Down on Permanent Magnets Despite Material Costs. IDTechEx. Pridobljeno 18.1. 2023 na <https://www.idtechex.com/en/research-article/the-ev-market-doubles-down-on-permanent-magnets-despite-material-costs/28314>
- Euronews.green (2023). Swedish mining company discovers Europe's largest deposit of rare earth elements. Euronews.green. Pridobljeno 23.1. 2023 na <https://www.euronews.com/green/2023/01/13/swedish-mining-company-discovers-europes-largest-deposit-of-rare-earth-elements>
- Farjana, S.H., Huda, N. & Mahmud, M.A.P. (2019). Life cycle assessment of cobalt extraction process. *Journal of Sustainable Mining*, Vol. 18(3), str. 150-161.
- Fawthrop, A. (2020). Top six countries with the largest lithium reserves in the world. NS Energy. Pridobljeno 1.2. 2021 na <https://www.nsenegybusiness.com/features/six-largest-lithium-reserves-world/#>
- First4Magnets (2023). Strongest Magnets. First4Magnets® bring your ideas to life. Pridobljeno 18.1. 2023 na <https://www.first4magnets.com/tech-centre-i61/information-and-articles-i70/strong-magnets-i153>
- Flexer, V., Baspineiro, C.F. & Galli, C.I. (2018). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Sci.Total.Environ.* 639, str. 1188-1204. doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.05.223.
- Green Car Congress (2023). DOE: Cobalt is the most expensive material used in lithium-ion batteries. Green Car Congress – Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility. Pridobljeno 16.2. 2023 na <https://www.greencarcongress.com/2022/03/20220308-cobalt.html>
- IEA (2021). Clean energy demand for critical minerals set to soar as the world pursues net zero goals. Pridobljeno 13.1. 2023 na <https://www.iea.org/news/clean-energy-demand-for-critical-minerals-set-to-soar-as-the-world-pursues-net-zero-goals>
- IMA (2018). Application of neodymium magnets in electric motors. IMA. Pridobljeno 19.1. 2023 na <https://imamagnets.com/en/blog/applications-neodymium-magnets-electric-motors/>
- Kelly, J.C., Wang, M., Dai, Q. & Winjobi, O. (2021). Energy, greenhouse gas and water life cycle analysis of lithium carbonate and lithium hydroxide monohydrate from brine and ore resources and their use in lithium ion battery cathodes and lithium ion batteries. *Resources, Conservation & Recycling*, 174, 105762 doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105762

- Lazarini, F., Brenčič, J. (1984). *Splošna in anorganska kemija*, DZS, Ljubljana.
- Magnetpartner (b.d.). What Is a Permanent Magnet? Complete List of Perma-Magnets. Magnetpartner Powerfull Magnets. Pridobljeno 20.1. 2023 na <https://magnetpartner.com/what-is-a-permanent-magnet>
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. & Behrens, W.W. (1972). *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*; Universe Books: New York, NY, USA.
- Moran, C.J., Lodhia, S., Kunz, N.C. & Huisingsh, D. Sustainability in mining, minerals and energy: New processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future. *J. Clean Prod.* 2014, Vol. 84, str. 1–15.
- Muralidharan, N., Self, E.C., Dixit, M., Du, Z., Essehli, R., Amin, R., Nanda, J & Belharouak, I. (2022). Next-Generation Cobalt Free Cathodes – A Prospective Solution to the Battery Industry's Cobalt Problem. *Adv. Energy Mater.* 12, 2103050. <https://doi.org/10.1002/aenm.202103050>
- Nayar, J. (2021). Not So »Green« Technology: The Complicated Legacy of Rare Earth Mining, *Harvard International Review*. Pridobljeno 12.1. 2023 na <https://hir.harvard.edu/not-so-green-technology-the-complicated-legacy-of-rare-earth-mining/>
- Nguyen, R.T., Eggert, R.G., Severson, M.H. & Anderson, C.G. (2021). Global Electrification of Vehicles and Intertwined Material Supply Chains of Cobalt, Copper and Nickel. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 167, str. 115-138. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105198>
- Nogrady, B. (2020). Cobalt is critical to the renewable energy transition. How can we minimize its social and environmental cost. May, 14, 2020. *Ensia*. Pridobljeno 10.1. 2022 na <https://ensia.com/features/cobalt-sustainability-batteries/>
- Oxtoby, D.W., Gillis, H.P. & Nachtrieb, N.H. (1999). *Principles of Modern Chemistry – Fourth Edition*, Saunders College Publishing, Forth Worth etc.
- Rosen, M.A. (2009). Sustainability: A Crucial Quest for Humanity—Welcome to a New Open Access Journal for a Growing Multidisciplinary Community. *Sustainability*, Vol. 1, str. 1–4. <https://doi.org/10.3390/su1010001>
- Royal Society of Chemistry (2023). Lithium. Royal Society of Chemistry. Explore all Elements. Pridobljeno 30.1. 2023 na <https://www.rsc.org/periodic-table/element/3/lithium>
- Sharp, D.W.A. (1990). *The Penguin Dictionary of Chemistry*, Penguin Books, London.
- Statista (2021). Reserves of rare earths worldwide as of 2021, by country. Statista. Pridobljeno 23.1. 2022 na <https://www.statista.com/statistics/277268/rare-earth-reserves-by-country/>
- Talens Peiró, L., Villalba Mendéz, G. in Ayres, R.U. (2013). Lithium: Sources, Production, Uses, and Recovery Outlook. *JOM*, Vol. 65, str. 986-996. DOI: 10.1007/s11837-013-0666-4.
- Uradni list Evropske unije (2006). Sklep sveta z dne 17. julija 2006 o odnosih med Evropsko skupnostjo na eni strani ter Grenlandijo in Kraljevino Dansko na drugi strani. Pridobljeno 17.2. 2023 na <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006D0526:SL:HTML>
- U.S. Geological Survey (2021). Lithium. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021. Pridobljeno 1.2. 2021 na <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-lithium.pdf>
- U.S. Geological Survey (2023). Cobalt. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity summaries 2023. Pridobljeno 15.2. 2023 na <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>