

IZGRADNJA IN KRMILJENJE PILOTNE NAPRAVE ZA RECIKLIRANJE IZRABLJENEGA KATODNEGA ODPADKA IZ PROIZVODNJE ALUMINIJA

Primož Rus, Janez Urevc, Bojan Starman, Dušan Klinar, Ana Mladenović,
Mateja Košir, Miroslav Halilović

Izveček:

Izrabljen katodni odpadki pri proizvodnji aluminija se obravnava kot nevaren odpadki. Trenutne tehnološke rešitve ne ponujajo celovite ponovne uporabe ali recikliranja odpadnega materiala, zato večina materiala konča v sežigalnicah in na deponijah. Predstavljena inovativna tehnologija za recikliranje katodnih odpadkov iz proizvodnje aluminija zapira snovno zanko proizvodnega procesa. Razstrupljene sestavine kot sta ogljikni in šamotni del ter fluoridne soli se bodo lahko uporabili v proizvodnji aluminija, v gradbenem sektorju in v industriji ognjevdržnih materialov.

Prispevek opisuje princip nove tehnologije, zasnovo pilotne naprave in krmilni sistem, ki omogoča učinkovito spremljanje in vodenje procesa z možnostjo analize dobljenih rezultatov in optimizacijo tehnologije.

Ključne besede:

SPL-Cycle, izrabljen katodni odpadki, recikliranje, zapiranje snovnih zank, pilotna naprava, avtomatizacija, šaržni proces, ISA S88.01

1 Uvod

Aluminij je ena najpomembnejših kovin, ki se pridobiva z elektrolizo taline glinice. Proces pridobivanja aluminija poteka dvostopenjsko; Najprej se iz boksitne rude pridobiva glinica, t.j. aluminijev oksid Al_2O_3 po Bayerjevem postopku. Nato pa se v elektroliznih celicah po Hall-Héroultovem postopku pridobiva primarni aluminij.

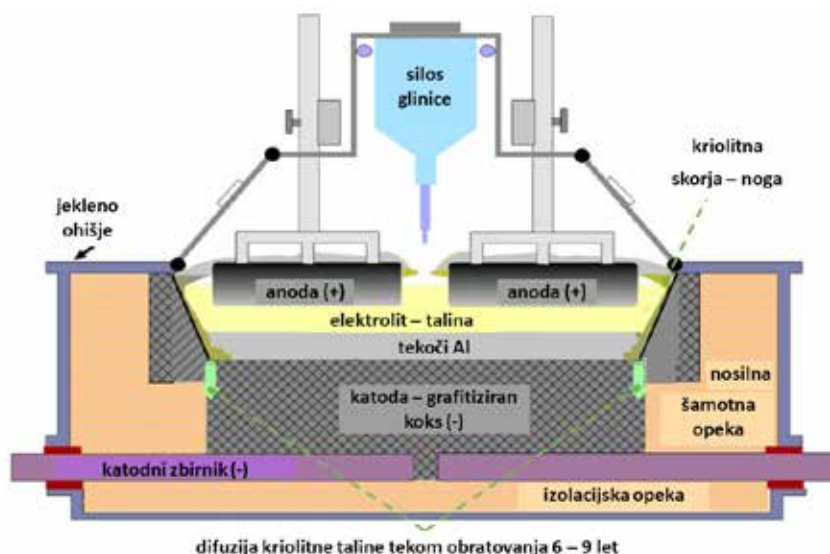
Slika 1 prikazuje elektrolizno celico, kjer se na katodi izloča kovinski aluminij, na anodi pa se sprošča kisik. Ogljikova anoda se porablja zaradi zgorevanja z nastalim kisikom v ogljikov dioksid in jo je potrebno stalno menjavati na 2–3 tedne. Nastali staljeni alu-

minij se zbira v z ogljikom obloženi katodni kadi, ki je toplotno zaščiten z oblogo iz šamotne opeke. Katodna obloga iz ogljika je porozna, zato se njena porozna struktura tekom življenjske dobe (6–9 let) prepoji s fluoridnimi solmi (NaF), pri tem pa nastajajo tudi cianidi. Na ta način dobimo impregnirane katodne obloge, ki izgubljajo električno prevodnost in jih je potrebno obnavljati vsakih šest do devet let.

Po koncu življenjske dobe se izrabljena katodna obloga elektrolizne kadi (Spent Pot-Lining – SPL) mehansko razstavi in postane odpadki. Postopek rušenja oziroma odstranjevanja se izvaja s hidravlično opremo, odpadki je po tem postopku v obliki velikih kosov in nekaj prahu, tako da ga je možno transportirati iz obrata. Odpadki se namreč razdeli na ogljikni del ali FC (first cut) in šamotni del ali SC (second cut) v masnem razmerju približno 60:40. Na vsako tono proizvedenega aluminija se proizvede približno 20 kg SPL-a.

SPL je nevaren odpadki zaradi visokega deleža topnih fluoridov in cianidov, ki predstavljajo nevarnost za okolje. V ogljiknem delu (FC) je približno 22 % vodotopnih fluoridnih soli in do 2% cianidov. Zaradi alkalnih kovin in oksidov ima odpadki tudi visok pH, zato ga je potrebno skladiščiti na suhem.

Dr. Primož Rus, univ. dipl. inž., **dr. Janez Urevc**, univ. dipl. inž., **dr. Bojan Starman**, univ. dipl. inž., **doc. dr. Miroslav Halilović**, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; **Doc. dr. Dušan Klinar**, univ. dipl. inž., ZRS Bistra Ptuj; **Dr. Ana Mladenović**, univ. dipl. inž., **dr. Mateja Košir**, univ. dipl. inž., obe Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana



Slika 1 : Shematski prikaz elektrolitske celice

SPL reagira tudi z vlago, pri čemer nastajajo vnetljivi, strupeni in eksplozivni plini.

Zaradi navedenega so bile uvedene nekatere omejitve glede uporabe in odlaganja SPL, kar je v zadnjih desetletjih vodilo v številne raziskave na tem področju [1]. V Avstraliji [2] se na primer ukvarjajo z recikliranjem topnih soli, medtem ko se inertni ostanki odlagajo na deponijah. Podjetje Befesa [3] je uvedlo novo tehnologijo za recikliranje SPL, solnih žlinder, livarskih peskov in filtrskega pepela s pomočjo katerih se lahko takšna sol reciklira. Podjetje Rusal je razvilo postopek za recikliranje SPL [4], pri katerem se soli reciklirajo v fluoridne soli kot kriolit (Na_3AlF_6), ki se uporablja pri elektrolizi glinice in ostane, ki se še vedno sežiga.

Nobena od zgoraj omenjenih tehnologij ne predstavlja tehnologije osnovane na principu »nič odpadkov«, ki bi obsegala 100-odstotno recikliranje SPL. Ogljični del (FC), ki predstavlja večinski del odpadka, je zelo uporaben material v proizvodnji aluminija, predvsem pa v metalurgiji pri pridobivanju jekla. Nobena od sedanjih tehnologij ne predvideva recikliranja očiščenega FC in SC ter uporabo v krožnem gospodarstvu, ampak le sežig in uničenje oziroma deponiranje.

Na splošno gre večina odpadkov SPL še vedno v sežig (vključno s sosežigom v cementnih pečeh) ali pa je odložena na primernih deponijah. Takšna netrajnostna obdelava predstavlja znatne stroške za proizvajalce aluminija, v povprečju 200 EUR na tono, kar na leto znaša od 15 do 30 milijonov EUR v celotni Evropi. Poleg tega se v Evropi vsako leto izgubi 160.000 ton surovin z vrednostjo najmanj 20 milijonov EUR, kar predstavlja vrednost ogljika v odpadkih SPL.

Na drugi strani se porabi 350 kg ogljikove anode na 1 tono aluminija. Medtem ko se ogljikova katoda

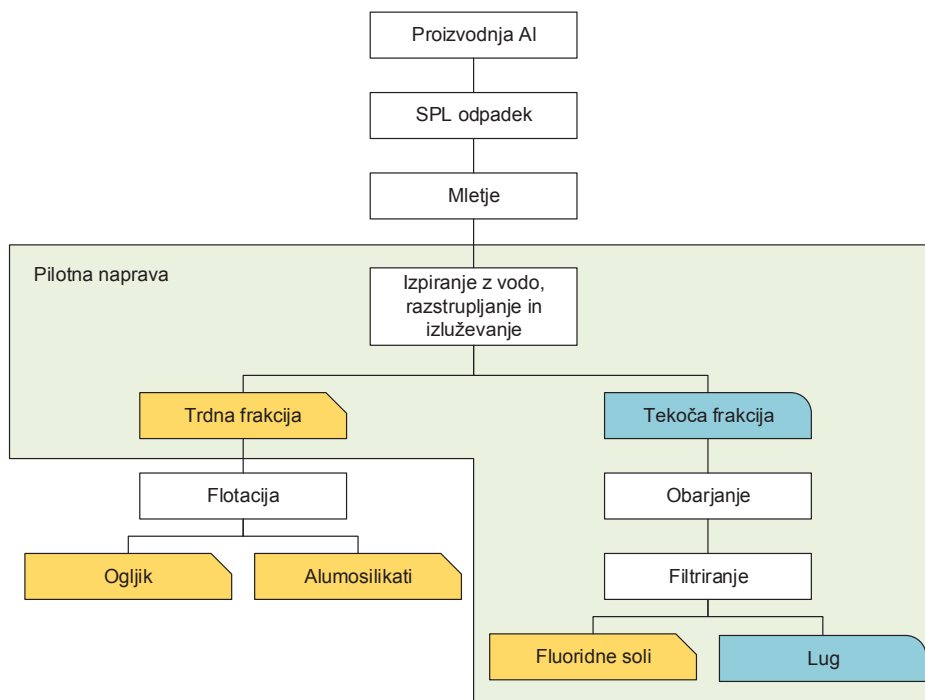
običajno kupuje na trgu, se ogljikova anoda izdelava obratu samem s stroški 350 EUR/tono ogljika. To pomeni, da je ogljik najdražji material v SPL, razen soli, ki so potrebne za elektrolit in druge materiale, ki jih je mogoče reciklirati v drugih uporabah.

Prve laboratorijske poskuse za potrditev ideje o 100-odstotnem recikliranju odpadkov SPL znotraj proizvodnega obrata sta leta 2015 izvedla Znanstveno-raziskovalni center Bistra, Ptuj in podjetje za proizvodnjo aluminija Talum, Kidričevo [5] in [6]. Na podlagi ugodnih laboratorijskih rezultatov je bil prijavljen in izbran za financiranje v okviru EIT Raw Materials projekt SPL-Cycle, katerega cilj je izdelati pilotno napravo za reciklažo SPL in pripraviti izhodne frakcije v primerni obliki za ponovno uporabo na različnih področjih industrije. Tehnologija, razvita v okviru projekta SPL-Cycle, bo omogočila zaprto snovno zanko v podjetju samem ali v lokalnem okolju in s tem izboljšala njeno ekonomičnost z zmanjšanjem ogljičnega odtisa. Razvita tehnologija je primerna za proizvajalce z manjšimi kapacitetami in za geografsko dislocirane obrate, npr. Talum Slovenija, Aluminium of Greece (Mytilineos Holding S.A.) Grčija ipd., ki v svoji okolici nimajo velikega predelovalca SPL ali drugih metalurških žlinder.

2 Tehnologija SPL-Cycle

Tehnologija SPL-Cycle je zasnovana kot postopek ekstrakcije, izpiranja z vodo in lugom (izluževanje) ter razstrupljanja pri normalnih temperaturah, in je predstavljena na sliki 2. S predelavo po tem postopku se SPL spremeni v nenevarni material, primeren za recikliranje in ponovno uporabo.

Izrabljena katodna obloga katodne kadi se razbije, zdrobi in zmelje do velikosti zrn, ki so manjši od 3 mm. Tako pripravljen material je primeren za nadaljnjo ekstrakcijo in razstrupljanje.



Slika 2 : Osnovni oris principa tehnologije SPL-Cycle

Najprej se izvede izpiranje z vodo, kjer se izločijo fluoridne soli (NaF), ki so dobro topne v vodi. Proces izpiranja poteka nekaj ur. Nato sledi izpiranje s pomočjo luga (NaOH), da izločimo še kriolit (Na_3AlF_6), ki je slabo topen v vodi. Tudi ta proces poteka nekaj ur. V času izpiranja z vodo se izvaja tudi razstrupljanje s pomočjo vodikovega peroksida (H_2O_2), da se razgradijo prisotni cianidi. Za učinkovitejše delovanje peroksida aktiviramo z UV svetlobo.

Rezultat izpiranja z vodo in lugom sta čista trdna in tekoča frakcija. V trdni frakciji ostanejo ogljik in alumosilikati, ki jih kasneje ločimo s postopkom flotacije. Tako očiščen ogljik se uporablja v industriji aluminija za izdelavo anod, za izdelavo elektrod in kot alternativno gorivo v cementarnah in jeklnah. Alumosilikati pa so primerni za uporabo v gradbeništvu za zemeljska dela in druge aplikacije, lahko tudi za izdelavo ognjevzdržnega materiala.

Tekoča frakcija vsebuje v vodi raztopljene fluoridne soli (NaF). Fluoridne soli pretvorimo s pomočjo obarjanja, kjer raztopino NaF zmešamo s $\text{Ca}(\text{OH})_2$, da dobimo suspenzijo, ki jo nato ločimo na tekočo in trdno fazo v filtrski stiskalnici. Tekoča faza je preostali lug (NaOH), ki ga ponovno uporabimo v začetnem delu procesa za izpiranje z lugom. Trdno fazo pa predstavljajo kalcijeve soli (CaF_2), ki se uporabljajo v metalurgiji za izboljševanje talilnosti žilinder pri proizvodnji jekla.

3 Izdelava in avtomatizacija pilotne naprave

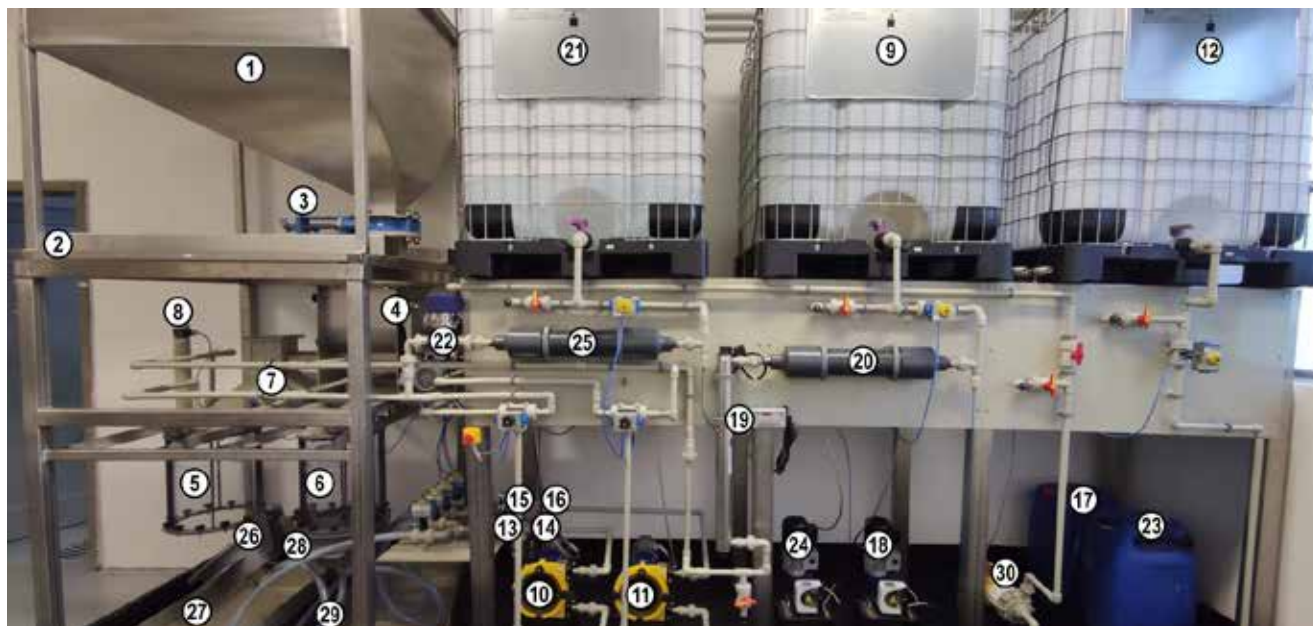
Pilotna naprava, ki je razvita v okviru projekta SPL-

-Cycle, je postavljena na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG). Naprava je postavljena v lovilni bazen za primer izlitja tekočin.

Kot je označeno na sliki 2, je pilotna naprava namenjena izpiranju in ekstrakciji zmletega materiala ter obarjanju in filtriranju izluženih soli. Temu sledi tudi postavitve opreme v prostoru, kar je razvidno iz slik 3 in 4. Oprema, prikazana na sliki 3, je namenjena izpiranju in ekstrakciji, na sliki 4 pa je prikazana oprema za obarjanje in filtriranje.

V dozirni zalogovnik iz nerjavečega jekla (1) na sliki 3 se izven prostora naloži zmlet material, nato se ga z viličarjem postavi na za to predvideno mesto dozirne naprave (2). Po namestitvi je potrebno odpreti ročni ventil (3), da se material vsuje v zalogovnik dozirnega polža (4). Sledi izbira delovnega ekstraktorja (5) ali (6) preko usmerjevalne lopute (7). V pilotno napravo sta vgrajena dva ekstraktorja iz PP in PEHD, saj lahko fazi izpiranja in ekstrakcije potekata vzporedno. S takšno konstrukcijo lahko na enostaven način povečamo kapaciteto pilotne naprave. Na dnu ekstraktorja je vgrajen filter, ki trdnim delcem preprečuje širjenje po cevovodih. Usmerjevalna loputa (7) in vsi avtomatsko vodeni ventili so pnevmatsko krmiljeni preko ventilskega otoka (43), prikazanega na sliki 5a, ki je povezan s krmilnim sistemom (44) v elektro omari na sliki 5a. Krmilni sistem z vizualizacijo (HMI) je podrobneje opisan v naslednjem poglavju.

Po izbiri ekstraktorja operater sproži doziranje materiala v ekstraktor. Po doziranju ustrezne količine materiala je naprava pripravljena na fazo izpiranja vodotopnih soli. Nivo tekočine v ekstraktorju se na dovodni strani krmili s kapacitivnima nivojskima



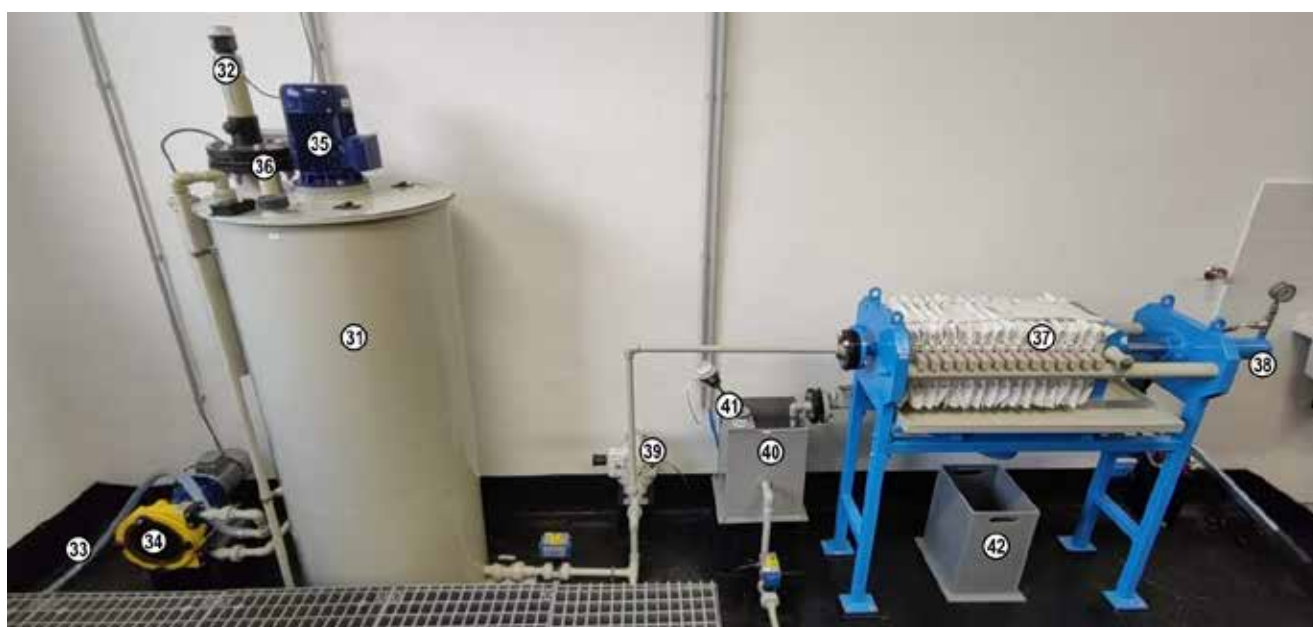
Slika 3 : Pilotna naprava, izpiranje z vodo in lugom

sondama (8) ter pnevmatskim ventilom. Tekočina priteka iz rezervoarja (9) v ekstraktor gravitacijsko ali se sesa s podtlakom. Na odvodni strani je nameščena peristaltična dozirna črpalka (10) oziroma (11), kar je odvisno od izbire delovnega ekstraktorja, s katero je mogoče regulirati količino odvedene tekočine. Peristaltične dozirne črpalke so izbrane, ker omogočajo nemoteno delovanje tudi takrat, ko niso predhodno zalite. Tekočina se po izpiranju zbira v rezervoarju (12). Med izvajanjem faze lahko operater izbere krožni način delovanja. To pomeni, da se zapre dovod in odvod nove in stare tekočine, obstoječa tekočina pa kroži preko ekstraktorja. V času izvajanja faze spremljamo na odvodni strani

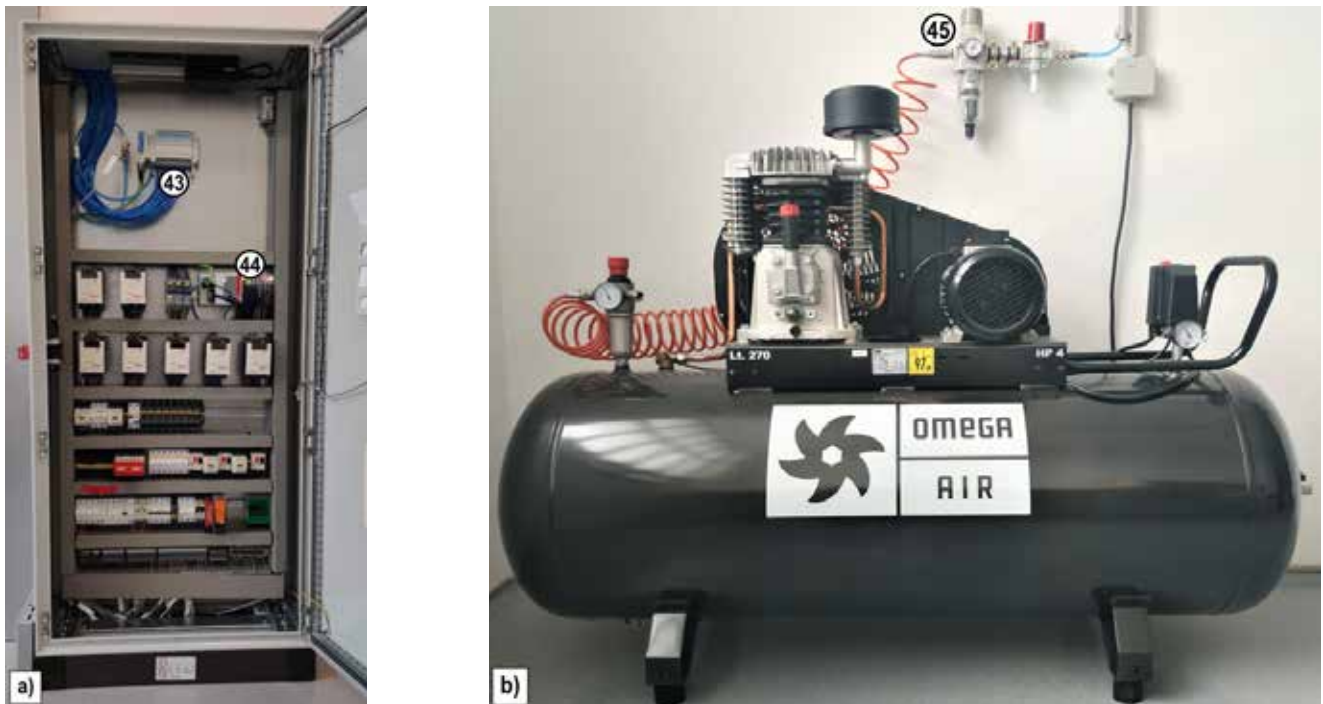
prevodnost (13) ter pH (14) oziroma (15) ter (16) in ko meritvi dosežeta želeno stacionarno stanje, je faza izpiranja končana.

Vzporedno s fazo izpiranja z vodo se izvaja faza razstrupljanja s pomočjo peroksida (17) za izločitev cianidov. Količina peroksida se regulira s peristaltično dozirno črpalko (18). Za učinkovitejše delovanje peroksid aktiviramo z UV žarnico (19). Za boljše mešanje tekočin je v sistem dodano stacionarno mešalo (20).

Sledi faza izpiranja s pomočjo NaOH za izluževanje kriolita, ki je netopen v vodi. Izvajanje faze je



Slika 4 : Pilotna naprava, obarvanje in filtriranje



Slika 5 : Pilotna naprava: a) Elektro omara in b) Enota za priprava stisnjenega zraka

podobno kot pri izpiranju z vodo, s to razliko, da se pri izpiranju uporablja lug (21). Izhodna tekočina se zbira v istem rezervoarju kot pri prvem izpiranju z vodo (12). Želena koncentracijo luga spremljamo na dovodu v ekstraktor s pomočjo merilnika prevodnosti (22). Koncentriran lug (23) se dovaja v sistem preko peristaltične dozirne črpalke (24) in stacionarnega mešala (25). Tudi ta faza omogoča krožni način delovanja. Faza izpiranja z lugom je končana, ko spremljani vrednosti prevodnosti (13) in pH (14) oziroma (15) in (16) dosežeta želena stacionarno vrednost. V tem stanju so v materialu razgrajeni cianidi, kriolit in fluoridne soli.

Po končani fazi izluževanja se ponovi faza izpiranja z vodo, nato pa se izčrpa voda iz ekstraktorja. Sledi odpiranje ekstraktorja na spodnji strani (28), da prečiščen ogljik pade v začasno zbirno posodo (29).

V drugi fazi procesa je potrebno reciklirati še odpadno tekočino, raztopljene fluoridne soli (NaF), ki se je natekla pri ekstrakciji. Odpadna tekočina se ob dodatku apna (Ca(OH)_2) obori, pri čemer je trdna frakcija oborina CaF_2 , tekoča frakcija pa NaOH , ki ga v procesu ponovno uporabimo za ekstrakcijo. Obarjanje poteka v mešalni posodi izdelani iz PP (31), prikazani na sliki 4. Faza priprava suspenzije poteka tako, da iz rezervoarja (12) na sliki 3, kjer je zbrana izprana in izlužena tekočina, ta pretoči v mešalno posodo (31). Količina dozirane tekočine se krmili z nastavljivim kapacitivnim dvo-nivojskim senzorjem (32). Apno (33) za obarjanje se dozira s peristaltično dozirno črpalko (34). Za pripravo homogene suspenzije je v mešalno posodo vgra-

jeno mešalo z Rushtonovo turbino (35). Optimalni pogoji za obarjanje CaF_2 in pripravo suspenzije se kontrolira z merilnikom prevodnosti in pH (36).

Tako pripravljena suspenzija se loči na trdno in tekočo frakcijo v filtrski stiskalnici (37), ki ima 6 plošč velikost 250×250 mm in debelino kolača 20 mm. Zapiranje in odpiranje plošč se izvaja ročno preko hidravličnega valja (38). Suspenzija se tlači v filtrsko stiskalnico s pnevmatsko dvo-membransko črpalko (39). Črpalka lahko doseže maksimalni tlak 8 barov, ki je nastavljen preko pnevmatskega regulacijskega ventila (45), prikazanega na sliki 5b.

Iztisnjena tekočina se zbira v zbirni posodi (40), ki se prazni preko delovne centrifugalne črpalke (30) na sliki (3), in se prečrpa v rezervoar (21) na sliki 3 za izpiralni lug. Na regulacijo centrifugalne črpalke vpliva dvo-nivojski senzor (41), nameščen v zbirni posodi.

Faza ločevanja je končana po iztisnjeni celotni količini suspenzije. Sledi ročno (38) odpiranje filtrske stiskalnice, da iztisnjen kolač CaF_2 pade v začasno zbirno posodo (42).

4 Krmilni sistem

Krmilni sistem temelji na dvojedrnem industrijskem krmilniku Beckhoff CX5130 z operacijskim sistemom Win10 IoT Enterprise 64 bit. Na njem se hkrati izvajata TwinCAT 3 (realno časovni PLK) in program za vizualizacijo procesa [7]. Ključna prednost uporabe takšnega računalniško krmilnega sistema pred klasičnim PLK-jem je v sočasnem izvajanju tako

krmilnega programa kot vizualizacije na enem samem sistemu. Krmilnik omogoča kratke cikle (okoli 50 μ s) izvajanja krmilnega programa.

Vhodno / izhodni moduli so modularni, kar pomeni, da jih je mogoče poljubno dodajati in odzematati ter s tem sestaviti oziroma nadgraditi v potrebno konfiguracijo. Povprečni čas pretvorbe signala iz A/D oz. D/A pri analognih moduli je 1,3 ms. Zato je čas izvajanja PLK programa nastavljen na 2 ms.

Prav tako takšen sistem omogoča enostavno povezljivost s PC svetom, kar pomeni enostaven prenos podatkov – rezultatov v obliki datotek formata csv.

4.1 Krmilni program (PLK)

Krmilni program je razvit v razvojnem okolju Visual Studio z vključenim paketom TwinCAT 3 v ST programskem jeziku. Glavni program je razdeljen na posamezne sklope – podprograme, ki si logično sledijo v naslednjem zaporedju:

Prvi podprogram *prgParametersIn* se izvede samo v prvem ciklu po zagonu krmilnika. V njem se nastavijo vsi parametri pilotne naprave, ki so bili shranjeni v stalni spomin. Stalni spomin je spomin, ki se ohrani tudi, ko je krmilnik brez napajanja.

Drugi podprogram *prgInit* se tudi izvede samo v prvem ciklu po zagonu. V njem se nastavijo vsi parametri, ki so prednastavljeni za ustrezno delovanje pilotne naprave.

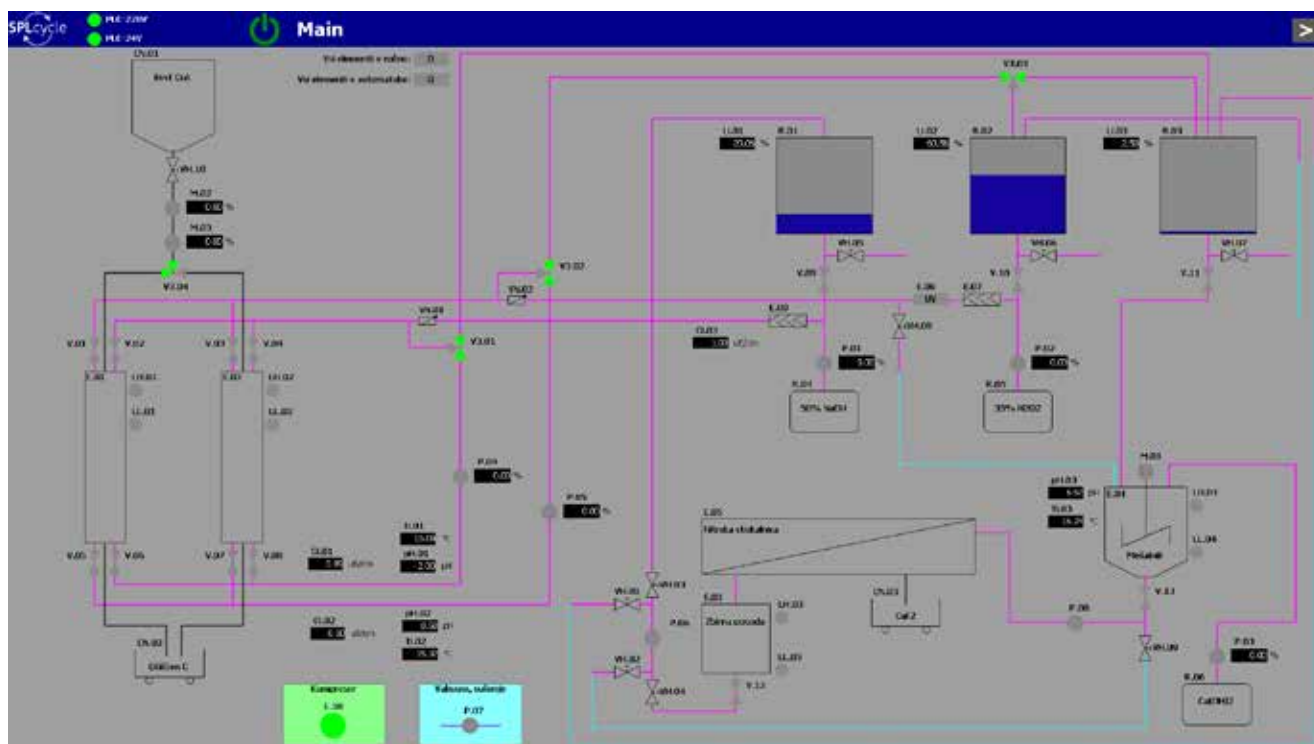
Naslednji podprogram *prgInitReq* se izvede na zahtevo. V njem se nastavijo vsi parametri pilotne naprave, ki so shranjeni v stalni spomin, na prednastavljene vrednosti.

Sledijo podprogrami, ki se izvajajo stalno. Najprej se izvede podprogram *prgImplElemIn* za obdelavo vseh vhodnih elementov, analogni in digitalni senzorji. V obeh primerih je izvedba zasnovana tako, da je možno preko vizualizacije vsiliti njihove vhodne vrednosti, za enostavno testiranje pilotne naprave in same tehnologije procesa. Vsak posamezen element ima ustrezno skalirno funkcijo, preko katere se vrednosti vhodov preslikajo v inženirske veličine.

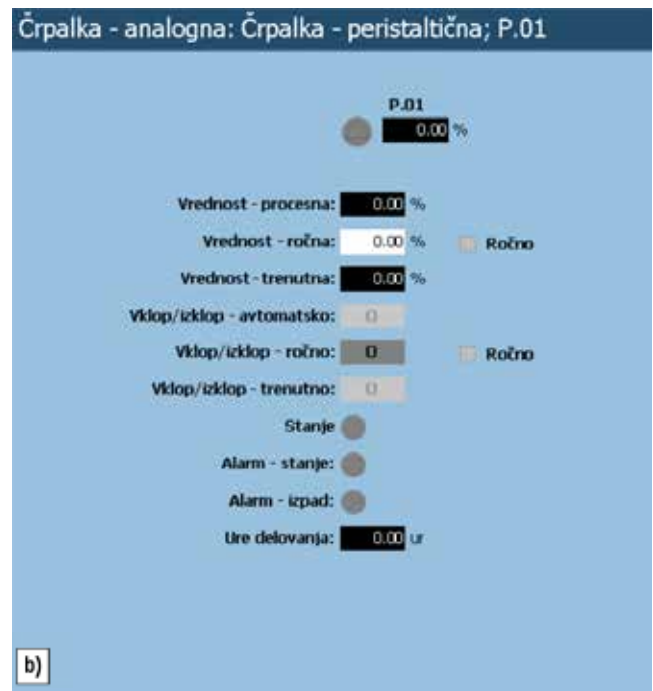
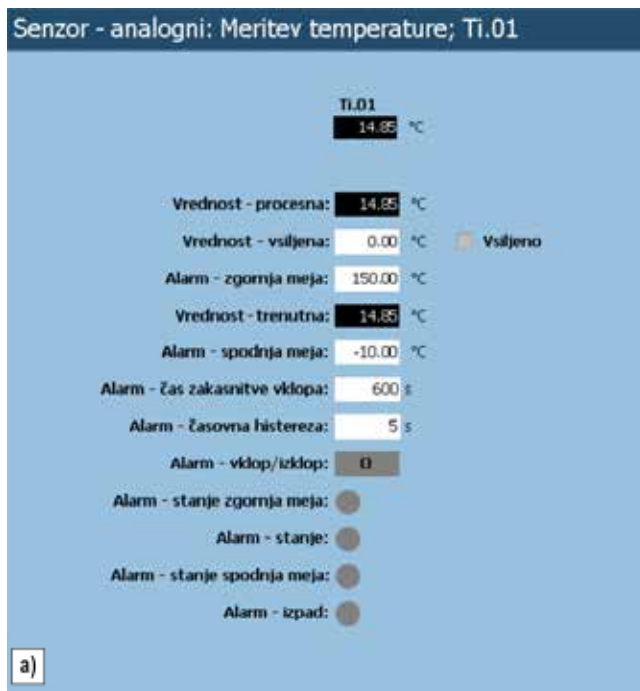
Nato sledi podprogram *prgPhase*, v katerem se obdelajo vse avtomatske faze, ki sledijo tehnološkim fazam, predstavljenim v prejšnjem podpoglavju. Pred obdelavo posameznih faz se vsem aktuatorjem avtomatski izhod nastavi status na izklopljen, tako da v posamezni fazi aktuatorji samo vklopljajo.

Sledi podprogram *prgImplElemOut* za obdelavo vseh izhodnih elementov, črpalk, ventilov in digitalnih izhodov. Elementi so zasnovani tako, da jih je možno preko vizualizacije krmiliti ročno ali pa njihovo delovanje vodijo avtomatske faze. Prav tako imajo izhodni elementi vgrajene ustrezne funkcije za preslikavo inženirskih vrednosti v izhodne veličine primerne za vodenje naprav.

Zadnji podprogram *prgParametersOut* zapiše vse spremenjene parametre v stalni spomin.



Slika 6 : Vizualizacija; Osnovni uporabniški vmesnik



Slika 7 : Pogovorno okno: a) Sensor temperature Ti.01 in b) Črpalka P.01

4.2 Vizualizacija

Na *sliki 6* je predstavljen osnovni uporabniški vmesnik za vizualizacijo tehnološkega procesa, ki sledi P&ID shemi.

S klikom na oznako elementa se odpre pogovorno okno, prikazano na *sliki 7a*, kjer je kot zgled prikazan senzor temperature Ti.01. Pri analognih senzorjih je mogoče vklopiti funkcijo alarmiranja, z vklopljeno vsiljeno vrednostjo pa simulirati vrednost sensorja v nadaljnjih preračunih. *Slika 7b* pa prikazuje pogovorno okno vizualizacije stanja in vodenja peristaltične črpalke P.01. Črpalci je možno preko tega dialoga ročno nastaviti hitrost ali jo prepustiti vodenju preko avtomatskih faz.

4.3 Vodenje avtomatiziranih faz

Vodenje avtomatiziranih faz je izvedeno na osnovi standarda ISA S88.01 [8]. Na *sliki 8* je prikazan standardni statusno / ukazni vmesnik, preko katerega je možno spremljati in izvajati standardne ukaze karakteristične za posamezno fazo, opisano v predhodnem poglavju. Uporaba tega vmesnika za normalno delo z napravo oziroma izvajanje procesa ni nujna, namenjena je predvsem razvijalcem programske opreme in zahtevnejšim uporabnikom.

Za vsakdanje delo se za upravljanje z vsemi avtomatiziranimi fazami uporablja vmesnik, prikazan na *sliki 9*. Preko tega vmesnika je mogoče nastaviti parametre faze, zagnati, zadržati ali ustaviti posamezno fazo. Prav tako nam vmesnik prikazuje stanje posamezne faze.

Fazo je možno voditi ročno ali avtomatično, kar pomeni, da jo vodimo preko druge faze.

Kot lahko sklepamo iz *slike 8*, je posamezna faza razdeljena na korake. Prehod med koraki je lahko izveden na zahtevo operaterja ali ko je dosežen nek pogoj. Pred programiranjem podprograma *prgPhase* tehnolog procesa pripravi tabelo sekvenc korakov, alarmno tabelo in tabelo parametrov. Za namen prikaza je v *tabeli 1* predstavljen primer ene od faz in sicer definicije sekvence korakov faze »Praznjenje zbirne posode iz stiskalnice«. Vse ostale faze so izvedene na enak način.

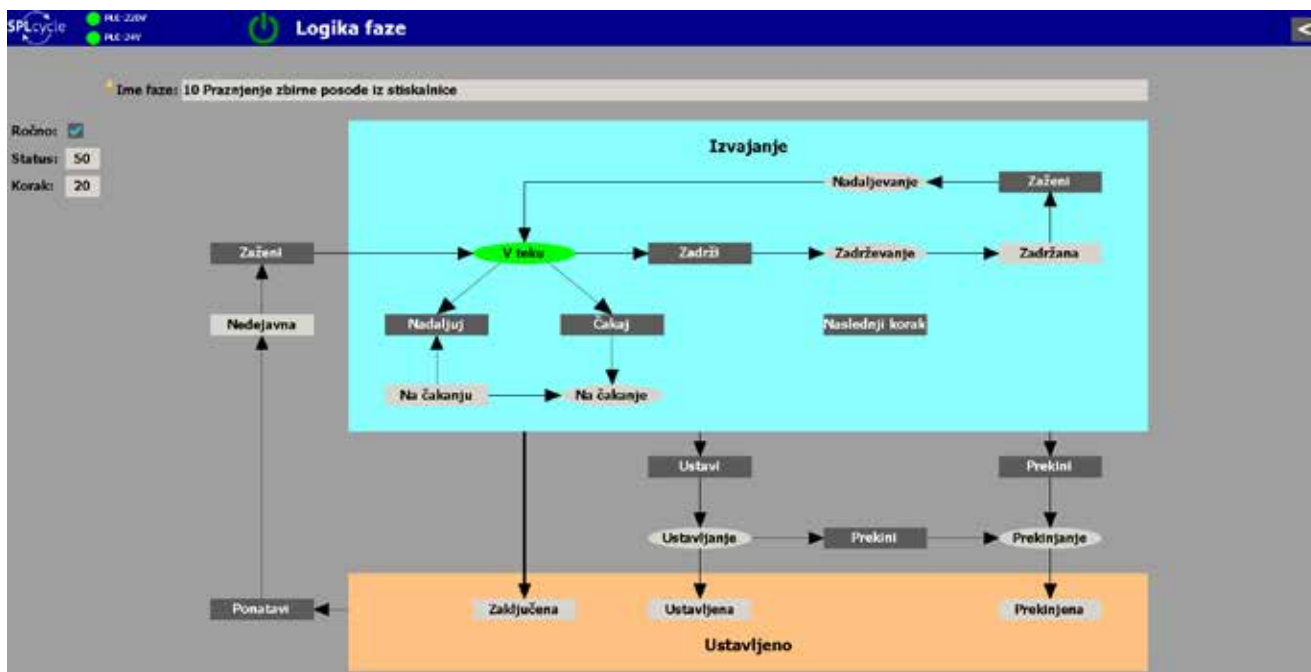
Vsaka faza preide v stanje »Zadržana« v primeru generalnega alarma ali enega od alarmov, ki vplivajo na delovanje faze. Na pilotni napravi so to izpad napetosti 24V in 220V in izklop v sili.

V *tabeli 2* so prikazani alarmi faze »Praznjenje zbirne posode iz stiskalnice«. Alarmi tipa »Opozorilo« ne vplivajo na delovanje faze, ampak samo opozorijo operaterja.

Posamezni fazi pripadajo parametri, ki jih definira tehnolog v tabeli »Parametrov faze«, za primer faze »Praznjenje zbirne posode iz stiskalnice« so prikazani v *tabeli 3*.

5 Zaključek

V okviru projekta SPL-cycle je bila predstavljena nova tehnologija recikliranja izrabljenega katodnega odpadka pri proizvodnji aluminija. Tehnologija je primerna za proizvajalce z manjšimi kapacitetami



Slika 8 : Vizualizacija; Standardni statusno / ukazni vmesnik

Faza	Korak	Opis koraka	Status	Ročno	Ukaz	
1 Doziranje ekstraktorja	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	
2 Izpiranje z vodo	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	
3 Doziranje vodikovega peroksida	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	
4 Ekstrakcija z lugom	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	
5 Doziranje koncentriranega luga	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	
6 Doziranje izlužene tekočine	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	
7 Doziranje apna	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	
8 Mešanje suspenzije	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	
9 Filtriranje suspenzije	1	Nedejavna	Nedejavna	Sporočilo	Parametri	Zaženi
10 Praznjenje zbirne posode iz stiskalnice	20	Mirovanje	V teku	Sporočilo	Parametri	Zadržaj, Ustavil

Slika 9 : Vizualizacija; Statusno / ukazni vmesnik vseh faz

Tabela 1 : Sekvence korakov faze »Praznjenje zbirne posode iz stiskalnice«

ID	Opis koraka	Krmilna akcija	Pogoj za nadaljevanje	Naslednji korak	Opomba
1	Nedejavna		Ukaz Zaženi	Naslednji	Vedno prvi korak
20	Mirovanje	Izklop črpalke P.06 Zaprtje ventila V.12	Ld.03.LH = 1	20	
30	Delovanje	Odprtje ventila V.12 Vklon črpalke P.06	Ld.03.LL = 0	30	
100	Zaključena		Ponastavitev ukaza	1	Vedno zadnji korak

Tabela 2 : Alarmi faze »Praznjenje zbirne posode iz stiskalnice«

ID	Opis alarma	Aktiven v korakih	Pogoj za alarm	Tip alarma
1	Izpad elementa	20-30	P.06.AlmState = 1 \wedge P.06.AlmErr = 1	Alarm

Tabela 3 : Parametri faze »Praznjenje zbirne posode iz stiskalnice«

ID	Ime	Opis parametra	Tip	Enota	Min	Max	Privzeto
1	N.A						

in za geografsko dislocirane obrate. Za potrditev učinkovitosti novo razvite tehnologije je bila razvita pilotna naprava, ki je postavljena v prostorih ZAG in bo v tem letu pričela s predelavo testnih vzorcev iz podjetja Talum, kar bo omogočilo nadaljnje analize in optimizacijo same tehnologije.

Avtomatizacija pilotne naprave je bila izvedena na krmilnem sistemu Beckhoff CX5130 v programskem okolju TwinCAT 3. Krmilni program skrbi za varnost, vklop / izklop aktuatorjev, spremljanje in zajemanje vrednosti iz senzorjev ter vodenje regulacijskih zank. Razvit grafični uporabniški vmesnik omogoča operaterju tako ročno kot avtomatizirano vodenje tehnološkega procesa ter mu nudi svobodo pri vnosu parametrov in preglednemu spremljanju za proces pomembnih parametrov.

Viri

- [1] G. Holywell, R. Breault, "An Overview of Useful Methods to Treat, Recover, or Recycle Spent Potlining", JOM, vol. 65, no. 11, pp. 1441-1451, 2013, <https://doi.org/10.1007/s11837-013-0769-y>.
- [2] T. K. Pong, R. J. Adrien, J. Besida, T. A. O'Donnell and D. G. Wood, "Spent potlining - a hazardous waste made safe", Institution of Chemical Engineers Trans IChemE, vol 78, Part B, pp. 204-208, 2000.
- [3] Befesa, "Salt slags and SPL Recycling Services", <https://www.befesaaluminium.com/web/en/nuestros-procesos/detalle/Salt-slags-and-SPL-Recycling-Services/>.
- [4] V. Mann, V. Pingin, A. Zherdev, Y. Bogdanov, S. Pavlov, V. Somov, "SPL Recycling and Re-processing", The Minerals, Metals and Materials Series. Trans IChemE, 78 part B, pp. 571-578, 2017.
- [5] B. Tropenauer, D. Klinar, N. Samec, J. Golob, "Circular economy model of cathode waste processing", 1st International Conference on Technologies & Business Models for Circular Economy, September, 5th - 7th, 2018, Portorož, Slovenia, <https://doi.org/10.18690/978-961-286-211-4.8>.
- [6] B. Tropenauer, D. Klinar, N. Samec, J. Golob, J. Kortnik, "Sustainable waste treatment procedure for the Spent Potlining (SPL) from aluminium production", Materials and technology, vol. 53, pp. 277-284, 2019, <https://doi.org/10.17222/mit>.
- [7] Beckhoff Automation GmbH, "The New Automation Technology Advantage", https://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/The_New_Automation_Technology_Advantage_e.pdf
- [8] ISA, "ISA88, Batch Control", <https://www.isa.org/isa88/>.

The Pilot Plant Construction and Control for Spent Pot-Lining (SPL) from Aluminium Production

Abstract:

A Spent Pot-Lining is waste from aluminium production and is treated as hazardous waste. Current technological solutions do not offer full reuse or recycling of waste material, which is why most of the material ends up in incinerators and landfills. The introduced innovative technology for recycling cathodic waste from aluminium production closes the material loop of the production process. Detoxified ingredients such as carbon and fireclay and fluoride salts can be used in aluminium production, the construction sector and the refractory industry.

The paper describes the principle of the new technology, the design of the pilot plant and the control system, which enables efficient monitoring and control of the process with the possibility of analysing the results obtained and optimizing the technology

Keywords:

SPL-Cycle, Spent Pot-Lining, recycling, closing material loops, pilot unit, automation, batch process, ISA S88.01

Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo finančni podpori projektu SPL-Cycle - »Zapiranje zanke izrabljenih katodnih odpadkov (IKO) v industriji proizvodnje aluminija (Closing the loop of the Spent Pot-line (SPL) in Al smelting process)«, ki je triletni projekt (2018-2021), sofinanciran iz strani EIT RawMaterials (št. projekta: 17141), t.j. organ Evropske unije, ki prejema podporo raziskovalnega in inovacijskega programa Evropske unije Obzorje 2020. Zahvaljujemo se tudi finančni podpori Slovenske raziskovalne agencije ARRS za programsko financiranje P2-0263.