

### 3. STRUKTURA NAPONA ČELIJE

Srednja vrijednost ukupnog napona ćelije na industrijskom nivou kreće se oko 4 - 5 V, što zavisi od konstrukcijskih rješenja ćelije i parametara tehnološkog procesa, a ti su opet posljedica dostignutog nivoa tehničkog razvoja i važećih ekonomskih pokazatelja, kao što su cijena električne energije i stanje konjunktura na tržištu aluminija.

#### 3.1. EFEKTIVNI NAPON RAZLAGANJA

Vidjeli smo, da reverzibilni napon razlaganja glinice uz inertne anode iznosi  $E^0 = 2,211$  V (relacija 1.10.). No kako se elektrolitički proces za proizvodnju aluminija odvija uz korištenje ugljenih anoda, njihova energetska aktivnost u procesu doprinosi, da reverzibilni napon razlaganja glinice iznosi svega  $E = 1,169$  V (relacija 1.12. uz  $x = 0,9$ ). To znači da ugljene anode proizvode depolarizirajući efekt od

$$E_{\text{dep}} = E^0 - E = 2,211 - 1,169 = 1,042 \text{ V} \quad (3.1.)$$

U praksi se međutim ostvaruje efektivna vrijednost napona razlaganja glinice u iznosu od  $E_i = 1,65$  V. Razlika te vrijednosti i one dobivene izrazom (1.12.) predstavlja prema relaciji (2.15.) sumu anodnog (oko 0,4 V) i katodnog prenapona ( $< 0,1$  V) u iznosu od  $\eta_p = 0,481$  V.

Dakle, efektivni napon razlaganja glinice, odnosno polarizacijski potencijal  $E_i$  kod nominalne jakosti struje, jednak je izrazu:

$$E_i = E^0 - E_{\text{dep}} + \eta_p \quad (3.2.)$$

#### 3.2. OMSKI PADOVI NAPONA

Pored napona razlaganja  $E_i$ , u sastav ukupnog napona ćelije ulazi još i niz pojedinačnih omskih padova napona, koji se mogu grubo podijeliti u četiri grupe: pad napona u elektrolitu, padovi napona na anodi, na katodi, te padovi napona na električnim vodičima, koji povezuju ćelije međusobno.

Omski **pad napona u elektrolitu**, koji tipično iznosi  $\Delta u_e = 1,5$  V zavisi od anodne gustoće struje, međupolnog razmaka i specifičnog električnog otpora elektrolita, a ovaj potonji opet od kemijskog sastava i temperature.

**Anodni pad napona** tipično iznosi  $\Delta u_a = 0,4$  V, a sastoji se od sume padova napona u samoj anodi, zatim padova napona na čeličnim čepovima i aluminijskim šipkama, pomoću kojih se električna struja dovodi do anode, kao i na kontaktnim mjestima između spomenutih dijelova u anodnom strujnom krugu. U navedenoj tipičnoj vrijednosti od  $\Delta u_a = 0,4$  V sadržan je i prosječni porast napona ćelije uslijed anodnog efekta, koji je u pravilu  $< 0,1$  V.

Kao tipičnu vrijednost **katodnog pada napona** može se uzeti iznos od  $\Delta u_k = 0,4$  V, iako se taj napon tijekom životnog vijeka katode mijenja od oko 0,3 do 0,7 V, s time da ove najveće vrijednosti ostvaruje u kraćem vremenu pred remontom katode. Katodni pad napona kod poremećenog tehnološkog procesa, može drastično da poraste, uslijed onečišćenja dna katodnog korita ćelije.

I konačno, tipična vrijednost **pada napona u vodičima** između ćelija iznosi  $\Delta u_v = 0,25$  V. Ta je vrijednost funkcija gustoće struje u vodičima, kao i konfiguracije tih vodiča oko ćelije, uvjetovane potrebom eliminiranja MHD-fenomena u ćeliji.

### 3.3. UKUPNI NAPON ČELIJE

Kad je riječ o naponu ćelije, treba razlikovati: momentalnu vrijednost napona, ogrjevnu vrijednost, te srednju vrijednost napona ćelije.

Suma polarizacijskog napona ćelije i svih pojedinačnih padova napona daje ukupni iznos napona ćelije. No kako su vrijednosti svih parcijalnih napona na ćeliji više-manje vremenski promjenljive, to se za karakterizaciju tog tehnološkog parametra uzima njegova srednja ( $u$ ) vrijednost u tijeku dana, mjeseca ili godine. Dakle, imamo:

$$u = E_i + \sum \Delta u \quad (3.3.),$$

gdje je

$$\sum \Delta u = \Delta u_e + \Delta u_a + \Delta u_k + \Delta u_v$$

a uz korištenje relacije (3.2.) izraz (3.3.) može se pisati i kao

$$u = E^0 - E_{\text{dep}} + \eta_p + \sum \Delta u \quad (3.4.),$$

odnosno

$$u = E + \eta_p + \sum \Delta u$$

Ogrjevnim naponom ( $u_g$ ) naziva se preostali dio napona ćelije nakon što se od ukupne srednje vrijednosti ( $u$ ) oduzmu padovi napona ( $u_0$ ) na dijelovima ćelije, čija Joule-ova toplina odlazi u okolinu bez ikakvog doprinosa tehnološkom procesu. U te tzv. neogrjevne dijelove ćelije spadaju elektro-vodiči između ćelija, te neki padovi napona na anodi (anodne šipke i dr.) i katodi (dijelovi katodnih čeličnih šina i dr.), odnosno oko 10 % ukupne vrijednosti tih padova napona. Zato pišemo:

$$u = u_g + u_0 \quad (3.5.)$$

i dalje:

$$u_g = u - u_0$$

$$u_0 = \Delta u_v + 0,1 \cdot (\Delta u_a + \Delta u_k)$$

Prema relaciji (1.4.) i prema iznijetoj definiciji ogrjevnog napona, slijedi da ogrjevna električna snaga ćelije, odnosno ogrjevna satna energija  $I \cdot u_g$ , gdje  $I$  predstavlja jakost struje ćelije, mora obuhvatiti satne potrebe ( $t=1$  h) u električnoj energiji za odvijanje elektrokemijskog procesa  $H_u$ , kao i električnu snagu kojom će se satno nadoknađivati gubici  $Q$  topline u okolinu s ogrjevnih dijelova ćelije. Uvaživši aproksimaciju (izraz 1.13.), da je  $H_u \approx \Delta G^0$ , imamo:

$$I \cdot u_g = \Delta G^0 + Q, \text{ odnosno}$$

$$I \cdot u_g = E^0 \cdot I \cdot \eta_s + Q \quad (3.6.),$$

a odatle imamo, da je

$$u_g = E^0 \cdot \eta_s + \frac{Q}{I}$$

Uvrštenjem prednjeg izraza u relaciju (3.5.), imamo:

$$u = E^0 \cdot \eta_s + \frac{Q}{I} + u_0$$

Član  $Q/I$  možemo pisati kao  $u_q = Q/I$ , označivši tako dio ukupnog napona ćelije, kojim se kompenzira gubitak ogrjevne topline u okolni prostor. Zato slijedi:

$$u = E^0 \cdot \eta_s + u_q + u_0 \quad (3.7.)$$

Sada smo u mogućnosti, da predstavimo tipične vrijednosti u strukturi napona ćelije. Prema relaciji (3.3.), imamo:

$$u = 1,65 + 1,5 + 0,4 + 0,4 + 0,25 = 4,2 \text{ V}$$

Napon koji se odnosi na odvijanje elektrokemijskog procesa, uz pretpostavku iskorištenja struje od  $\eta_s = 0,9$ , iznosi:

$$u_t = E^0 \cdot \eta_s = 2,211 \cdot 0,9 = 1,99 \text{ V}$$

Napon na neogrjevnim dijelovima ćelije:

$$u_0 = 0,25 + 0,1 \cdot (0,4 + 0,4) = 0,33 \text{ V}$$

Iz relacije (3.7.) izračunavamo:

$$u_q = 4,2 - 1,99 - 0,33 = 1,88 \text{ V}$$

Pomoću prednjih tipičnih vrijednosti naponske strukture, dobivamo i odnose parcijalnih utrošaka, poznatih nam iz relacije (1.17.):

a) globalno iskorištenje energije u tehnološkom procesu:

$$\frac{E^0 \cdot \eta_s}{u} = \frac{1,99}{4,2} = 0,4738 \approx 47 \%$$

b) odavanje ogrjevnine u okolinu:

$$\frac{u_q}{u} = \frac{1,88}{4,2} = 0,4476 \approx 45 \%$$

c) gubitak energije s neogrjevnih dijelova ćelije:

$$\frac{u_0}{u} = \frac{0,33}{4,2} = 0,0785 \approx 8 \%$$